

# **Konstrukce nástroje pro výrobu dílu části světloometu a ověření funkčnosti pomocí simulace**

Bc. Jakub Kozlovský

---

Diplomová práce  
2023

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Jakub Kozlovský</b>
Osobní číslo:	<b>T21406</b>
Studijní program:	<b>N3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Konstrukce technologických zařízení</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Konstrukce nástroje pro výrobu dílu části světlometu a ověření funkčnosti pomocí simulace</b>

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést konstrukci modelu zadané součásti.
3. Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.
4. Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
5. Nakreslit 2D řez vstříkovací formou s kusovníkem.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- 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
- 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
- WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4
- KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je navrhnout optimální parametry procesu vstřikování pro výrobu nosného dílu části světlometu a provést konstrukci vstřikovací formy na základě provedených analýz.

Teoretická část se zabývá procesem vstřikování, chováním polymerní taveniny během vstřikování, dotlakové fáze a deformacemi z toho vyplývajícími. V návaznosti na tyto výstupy ze simulačních programů je možné lépe vady predikovat a následně eliminovat.

Praktická část se zabývá optimálním navržením vtokového ústí, temperačního systému a materiálu pro jednotlivé části formy. Po zvolení těchto parametrů došlo k samotné optimalizaci procesu vstřikování a navržení konstrukce formy pro zvolený díl.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, polymery, simulace vstřikování, Moldflow, CATIA.

## **ABSTRACT**

The goal of the thesis are propose opitimal parameters of injection injection molding to produce the supporting part of the headlamp and to make design of injestio molding tool based on the Moldflow analyses.

The teoretical part contains injection process, behavior of polymer during injection, packing phase, connected deformation and deffects coming from the whole process of parts injection. In connetion with outputs from simulation analyses it is smoother to predict deffects adn afterwards eliminate.

The practical part contains optimalization of injection location, temperature system and materials of the mold parts. After choosing these parameters, was made optimalization of injection process and mold design for the selected part.

Keywords: injection, injection mould, polymers, injection moulding simulation, Moldflow, CATIA.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu doc. Ing. Martinovi Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a čas věnovaný této diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Hella, která mi umožnila psát diplomovou práci během mého trainee programu. Mé díky také především patří mému patronovi v Helle, z oddělení Moldflow simulací, Ing. Lubomíru Josefíkovi za odborné rady a věnovaný čas při konzultacích.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>12</b>
1.1 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ .....	12
1.1.1 Vstřikovací cyklu .....	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	14
1.2.1 Konstrukce vstřikovací formy .....	14
1.2.2 Základní technické údaje potřebné k návrhu formy .....	16
<b>2 CHOVÁNÍ POLYMERNÍ TAVENINY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>18</b>
2.1 FÁZE VSTŘIKOVÁNÍ .....	19
2.1.1 Fáze plnění .....	19
2.1.2 Fáze dotlaku .....	19
2.2 VISKOELASTICKÉ CHOVÁNÍ .....	20
2.2.1 Smyková viskozita .....	20
2.2.2 Rychlost smykové deformace .....	21
2.3 DEFORMACE POLYMERU PŘI TOKU .....	21
2.4 TLAKEM ŘÍZENÝ TOK .....	22
2.5 PROCESNÍ OKNO .....	22
<b>3 VADY VÝROBKŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>24</b>
3.1 ROZDĚLENÍ VAD .....	24
3.2 KONSTRUKCE VÝROBKU.....	25
3.2.1 Zaformovatelnost .....	25
3.2.2 Tloušťky stěn, tloušťky žeber, zaoblení a úkosy.....	26
3.3 SMRŠTĚNÍ.....	29
3.4 VNITŘNÍ Pnutí .....	30
3.5 STUDENÉ SPOJE .....	31
3.6 TVORBA PROPADLIN.....	33
3.7 UZAVŘENÝ VZDUCH.....	33
3.8 ORIENTACE SKELNÝCH VLÁKEN.....	34
<b>4 POUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>36</b>
4.1 CAE (COMPUTER ADIDED ENGENNERING) .....	36
4.2 SIMULAČNÍ PROGRAMY .....	36
4.3 MOLDFLOW ANALÝZY .....	37
4.3.1 Tvorba sítě.....	37
4.3.2 Materiálová data.....	38

4.3.3	Návrh plnění výrobku .....	38
4.3.4	Optimalizace chlazení .....	40
4.3.5	Optimalizace dotlaku .....	43
4.3.6	Výsledky simulace .....	43
4.3.7	Vyhodnocení výsledků.....	46
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ DÍL.....</b>	<b>49</b>
6.1	MATERIÁL DÍLU .....	50
6.2	POŽADAVKY NA PROCESNÍ PARAMETRY VÝROBY .....	50
<b>7</b>	<b>SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>51</b>
7.1	VOLBA VTOKOVÉHO SYSTÉMU .....	51
7.1.1	Vstřikovací čas u tří variant vtokového ústí.....	53
7.1.2	Vstřikovací čas u tří variant vtokového ústí.....	54
7.1.3	Teplota čela taveniny u tří variant vtokového ústí .....	55
7.1.4	Zvolené vtokové ústí .....	55
7.2	VOLBA TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU .....	56
7.2.1	Efektivita temperace u dvou variant temperací.....	58
7.2.2	Teplota temperace u dvou variant temperací .....	58
7.2.3	Tlak temperace u dvou variant temperací .....	59
7.2.4	Zvolený temperační okruh .....	60
7.3	ÚPRAVA VYRÁBĚNÉHO DÍLU NA ZÁKLADĚ CHLAZENÍ.....	60
7.4	VOLBA MATERIÁLU ČÁSTÍ FORMY .....	60
7.4.1	Deformace v oblastech bočního odformování a tvarové vložky.....	62
7.4.2	Teplota v oblastech bočního odformování a tvarové vložky .....	63
7.4.3	Zvolený materiál .....	65
<b>8</b>	<b>OPTIMALIZACE PROCESNÍCH PARAMETRŮ SIMULACE .....</b>	<b>66</b>
8.1	TVORBA SÍTĚ .....	66
8.2	VTOKOVÝ A TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	68
8.2.1	Vtokový systém.....	68
8.2.2	Temperační systém.....	68
8.3	OPTIMALIZOVANÉ PROCESNÍ PARAMETRY .....	70
8.4	VÝSLEDKY SIMULACE .....	70
8.4.1	Čas plnění.....	70
8.4.2	Tlak při přepnutí na dotlak .....	71
8.4.3	Průběh tlaku u vtokového ústí.....	72
8.4.4	Průběh uzavírací síly .....	72
8.4.5	Teplota na čele taveniny.....	73
8.4.6	Teplota.....	73
8.4.7	Tuhnutí polymeru.....	74
8.4.8	Smyková rychlost.....	75
8.4.9	Studené spoje .....	76



8.4.10	Teplota temperačního média .....	76
8.4.11	Tlak temperačního média .....	77
8.4.12	Reynoldsovo číslo .....	78
8.4.13	Teploty na částech formy .....	78
8.4.14	Deformace dílu .....	79
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZADANÝ DÍL .....</b>	<b>83</b>
9.1	DĚLÍCÍ ROVINA .....	85
9.2	TVÁRNÍK A TVÁRNICE .....	86
9.3	V TOKOVÝ SYSTÉM .....	87
9.4	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ .....	87
9.5	TEMPERACE.....	88
9.5.1	Temperace tvárníku .....	88
9.5.2	Temperace tvárnice .....	89
9.5.3	Temperace bočních odformování.....	90
9.5.4	Značení temperačních okruhů .....	91
9.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	92
9.7	KONSTRUKČNÍ PRVKY .....	93
<b>10</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>95</b>
<b>11</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>96</b>
11.1	VOLBA JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ A MATERIÁLŮ PRO SPRÁVNOU FUNKČNOST FORMY.....	96
11.2	OPTIMALIZACE PROCESNÍCH PARAMETRŮ .....	98
11.3	KONSTRUKCE FORMY A VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	98
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>105</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>106</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>109</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>110</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály jsou odvětvím s velkou mírou využitelnosti v řadě aplikací, od konstrukčních prvků přes využití v potravinářství, až po uplatnění ve zdravotnictví. Polymerní výrobky do jisté míry nahrazují běžné materiály, jakými mohou být například sklo, dřevo nebo kovy. Především díky jejich odolnosti, pevnosti, životnosti, nebo obecně kvůli modifikovatelným vlastnostem. Nedílnou součástí produkce polymerních výrobků je proces vstřikování. Tento proces je nejpoužívanější variantou pro výrobu plastových dílů. Vstřikování plastů umožňuje v krátkém časovém sledu vyrábět geometricky složité díly, od drobných velikostí, až po rozměrné součásti, a to i s vysokou přesností. Vstřikování dílů je vhodné spíše pro sériovou a kusovou výrobu z hlediska pořizovacích cen strojů a nástrojů.

Princip technologie spočívá v roztavení polymerního materiálu nad teplotu tání a jeho následnému vstříknutí do dutiny formy, která má tvar negativu vyráběného dílu, popřípadě dílů. V dutině formy dojde k ochlazení výrobku, otevření formy a následnému vyhození. Poté se forma uzavře a celý cyklus se opakuje. Části formy, které se dostávají do kontaktu s polymerní taveninou jsou cyklicky tepelně a tlakově namáhány a musí být pro dané použití uzpůsobeny.

S požadavky na přesnost, kvalitu a rychlost výroby se spolu s konstrukcí také rozvíjí simulační programy vstřikování, díky nimž lze lépe předvídat chování polymeru. Jsou také nápomocny pro zjišťování problémů, které mohou nastat při výrobě. Pro zrychlení a zefektivnění návrhu forem jsou dostupné stále se rozšiřující databáze s 3D konstrukčními prvky, které konstruktér může využít na zhotovení návrhu formy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

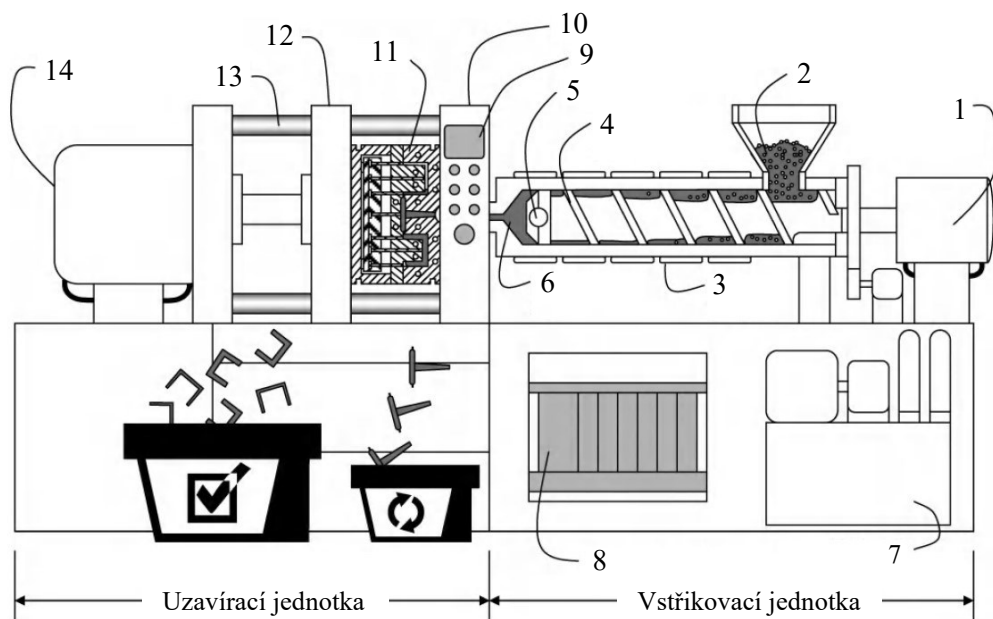
Vstřikování plastů je jeden z nejrozšířenějších způsobů výroby platových dílů. Jedná se o diskontinuální, cyklický proces, který dokáže hospodárně vyrábět složité výrobky s velmi přesnými tolerancemi za relativně krátkou dobu. Hlavními částmi jsou vstřikovací forma, která udává výsledný tvar i přesnost daného výrobku a vstřikovací stroj, který plastikuje materiál na požadovanou teplotu a poté pomocí tlaku vstříkne materiál do dutiny formy. Tento proces probíhá v cyklech. Celý proces vstřikování by měl být navržen tak, aby byl v hodný pro daný účel, což znamená, že by se měly vyrábět díly o předem stanovené kvalitě za minimální náklady, jak časové, tak finanční. [1,2]

## 1.1 Proces vstřikování

Vstřikovací procesy se mohou konstrukčně i provozně značně lišit, ale jejich základní princip zůstává stejný. Odlišnosti nastávají u násobnosti forem, počtu a umístění vstřikovacích jednotek, volbě uzavírací jednotky nebo druhu použitého materiálu.

První část procesu se odehrává ve vstřikovací jednotce. Do násypky (2) se přivede materiál, nejčastěji ve formě granulátu nebo prášku, který postupuje do válce se šnekem (4). Šnek rotuje a tím dochází k dopravě materiálu. Materiál je plastikován pomocí topných pásů (3) a disipace, která vzniká přeměnou mechanické energie na tepelnou vlivem tření, v tomto případě pomocí pohyblivého šneku a stacionárního válce. Po dosažení požadované teploty polymerní taveniny (6), dojde ke vstříknutí polymeru do dutiny nebo dutin formy pomocí šneku. Poté nastává fáze dotlaku, která kompenzuje vzniklé smrštění při chlazení výrobku. Dotlak může obsahovat 1 až 10 % z celkového objemu výrobku, záleží na druhu materiálu. Rotaci a dopředný a zpětný pohyb zajišťuje pohon vstřikovací jednotky (1), hydraulický zdroj (7) a řídicí jednotka (8).

Druhou část procesu zajišťuje uzavírací jednotka. Ta se dělí na pevnou část stroje (10) a pohyblivou část stroje (12). Mezi tyto dvě části je umístěna forma (11). Pravá část formy je stacionární a levá pohyblivá spolu s pohyblivou částí stroje. Pohyblivá část stroje se pohybuje po vodících sloupcích (13). Otvírání a zavírání formy zajišťuje pohon uzavírací jednotky (14). Celý proces vstřikování se nastavuje pomocí ovládacího panelu (9), na něm se nastaví veškeré teploty zpracování, vstřikovací tlak a vstřikovací cyklus. Vyrobené díly padají do sběrného zařízení pod formou nebo jsou odebírány ručně nebo pomocí robota. Zbytky z vtokového systému jdou na recyklaci a částečně se využijí v dalších výrobních cyklech. [1,4]



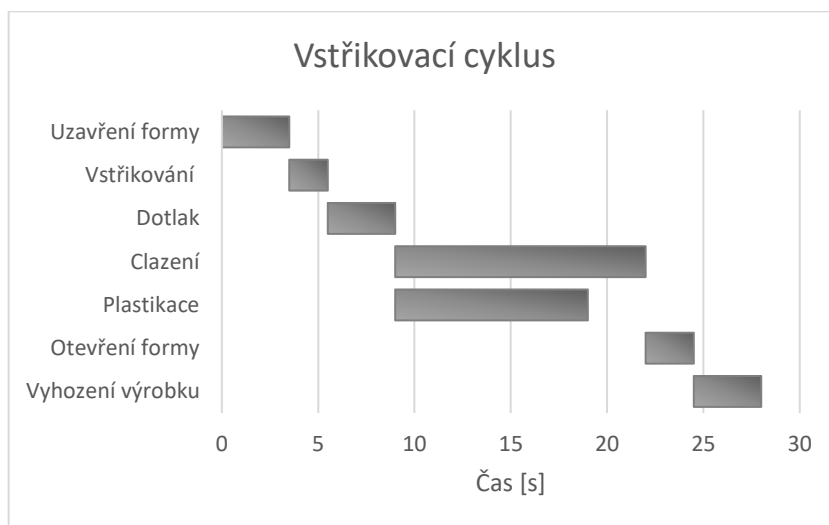
Obr. 1 Proces vstřikování [1]

- 1 – Pohon vstřikovací jednotky, 2 – Násypka s granulátem, 3 – Topné pásy, 4 – Šnek,  
 5 – Zpětný ventil, 6 – Polymerní tavenina, 7 – Hydraulický zdroj, 8 – Řídící jednotka,  
 9 - Ovládací panel, 10 - Pevná část stroje, 11 – Forma, 12 – Pohyblivá část stroje,  
 13 – Vodící sloupky, 14 – Pohon uzavírací jednotky

### 1.1.1 Vstřikovací cyklu

Na Obr. 2 je zobrazen graf s přibližným čase vstřikovacího cyklu. Jedná se o sled operací, které mají jasně dané pořadí. Při vstřikování probíhá neizotermický proces, ve kterém se v průběhu mění teplota. U vstřikovacího cyklu bývá nejčastěji za počátek označováno uzavření vstřikovací formy, dále následuje doba plnění neboli vstřikování. Vstřikování zabírá malou část celého cyklu, a proto se často optimalizuje tak, aby se minimalizoval vstřikovací tlak na napětí ve výrobku. Dále následuje dotlak, který zastupuje v cyklu větší část než vstřikování, a především kompenzuje smrštění výrobku. Po dotlaku následuje zpravidla nejdelší část cyklu a tou je chlazení. Výrobek musí být vyjmut z formy až po dosažení vyhazovací teploty. Nesmí docházet k deformacím a musí být odstraněna většina vnitřních napětí. K chlazení napomáhá temperační systém, který se snaží udržovat konstantní teplotu formy. Během chlazení dochází ve vstřikovací jednotce k plastikaci materiálu pro další vstřikovací cyklus. Při plastikaci se šnek otáčí a odjíždí dozadu, aby před sebou měl dostatečné množství materiálu pro naplnění dutiny formy, vtokového systému a rezervu v podobě polštáře, aby nedošlo ke kontaktu šneku s vnitřní stranou válce. Jako poslední dojde k otevření formy a vyhození výrobku z dutiny formy, nejčastěji pomocí

vyhazovacích kolíků nebo stíracích desek. Vyhazovací systém musí být nadimenzovaný tak, aby nedocházelo k deformaci výrobku nebo otiskům na pohledových stranách. [1,2]



Obr. 2 Graf vstřikovacího cyklu

## 1.2 Vstřikovací formy

Vstřikovací forma je komplexní systém, její hlavní funkce můžeme rozdělit na tři hlavní části. Primární funkce je zadržení polymerní taveniny a její následné ochlazení na požadovanou teplotu. Tvar výrobku udává tvarová dutina, která musí být zcela zaplněna. Druhou primární funkcí je efektivně přenášet teplo z horké taveniny do chladnější oceli formy, aby bylo možné vstřikované výrobky vyrábět co nejrovnoměrněji a nejehospodárněji. K udržení teploty formy zajišťují temperační okruhy. Třetí primární funkcí formy je bezpečné vyhození výrobku z formy. [1,5]

### 1.2.1 Konstrukce vstřikovací formy

Základní části vstřikovacích forem se skládají z několika desek vzájemně smontovaných dohromady. Vstřikovací forma se dá rozdělit na tři základní části, levá část formy, pravá část formy a vyhazovací systém formy. Forma je pomocí upínacích desek upnuta do vstřikovacího stroje. Pravá část formy je zpravidla stacionární a levá část formy společně s vyhazovacím systémem je pohyblivá a pohybuje se pomocí uzavírací jednotky. Při uzavření formy, v průběhu vstřikování, musí uzavírací jednotka udržet tlak ve formě. [1]

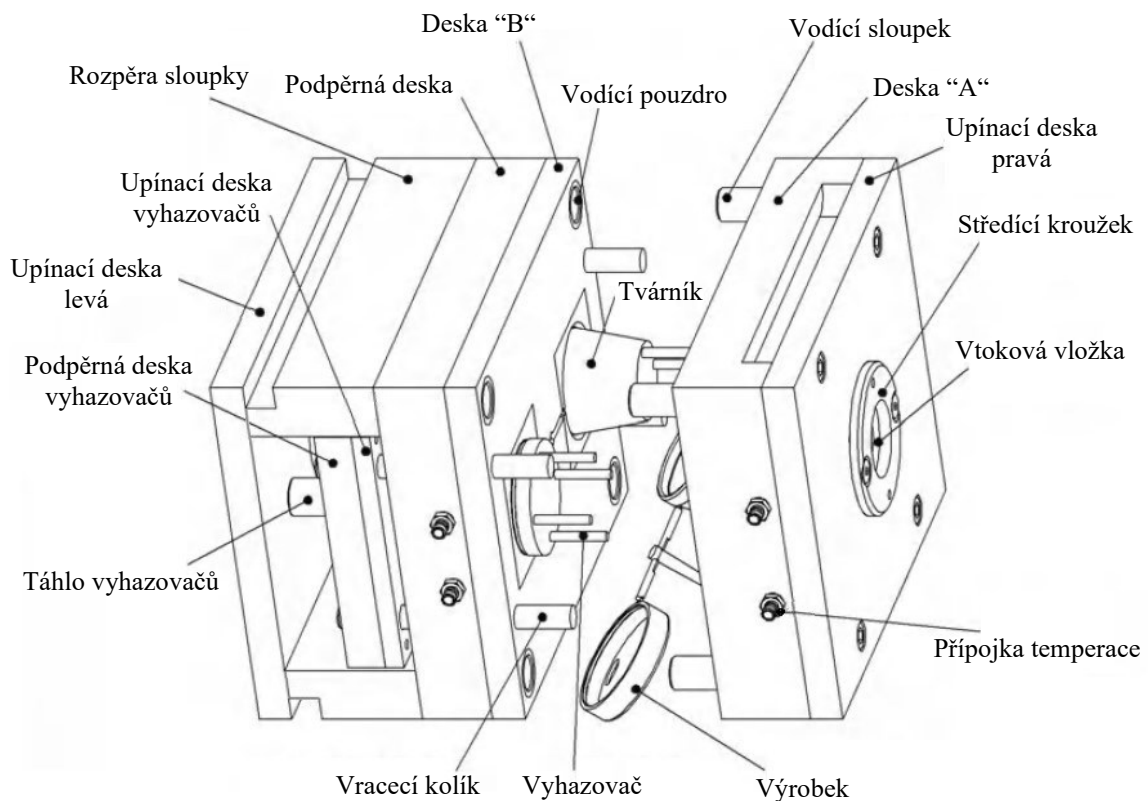
Vstřikovací formy mohou mít mnoho podob, ať už se jedná o různé variace desek, vtokových systémů, vyhazovacích systémů nebo odlišností konstrukce kvůli složitosti výrobku. Většina forem má však základní prvky, které jsou vyobrazeny na dvojnásobné

dvoudeskové vstřikovací formě se studeným vtokem vyobrazené na *Obr. 3* Dvoudeskové vstřikovací formy jsou konstrukčně nejjednodušší a jsou i značně rozšířené, jejich název vyplývá z toho, že v podstatě pouze dvě desky se dostávají do kontaktu s polymerní taveninou. [1,4]

V pravé části formy se nachází středící kroužek, který středí celou vstřikovací formu na vstřikovacím stroji a zároveň může sloužit jako podpěra při instalaci a upnutí formy na stroj. V tomto případě dle *Obr. 3* se v pravé části nachází dvě desky. První je upínací deska pravá, která je pomocí upínek připevněna ke vstřikovacímu stroji a deska "A", která slouží především jako podpěra pro tvárnici. Tvárnice dosedá na tvárník a tyto dvě části slouží jako tvarová dutina pro budoucí výrobek. Deska "A" má v sobě vyfrézované drážky, díky kterým lze upínky upevnit na upínací desku. Dále se v pravé části formy nachází rozvodný systém pro taveninu, v tomto případě se jedná o vtokovou vložku, která je typická pro studený vtokový systém. Pro správné vedení i správnou vzájemnou polohu levé a pravé části formy slouží vodící sloupky s vodícími pouzdry (levá strana formy). Jako poslední část jsou zde uvedeny přípojky na temperaci, které zajišťují propojení temperačního okruhu s čerpadlem.

V pravé části se nachází také středící kroužek. Středící kroužek je umístěn na levé upínací desce a slouží k vystředění formy na vstřikovacím stroji. Osa středícího kroužku v levé části formy je umístěna souběžně s osou středícího kroužku na pravé části formy. V pravé části formy se nachází tři desky a dva rozpěrné kroužky. První deska je deska upínací, druhá deska je podpěrná a třetí je deska "A", která zajišťuje podpěru pro tvárník. Tvárník je také zajištěn podpěrnou deskou, o kterou se opírá. Rozpěrné sloupky dávají prostor vyhazovacímu systému a stejně jako na desce "A" mají na sobě drážku, aby se upínky mohly připevnit na upínací desku. Dále jsou na levé straně umístěna vodící pouzdra, která slouží jako protikus vodících sloupků.

Poslední částí formy je vyhazovací systém, který se skládá ze dvou desek, podpěrné desky vyhazovačů a kotevní desky vyhazovačů, ve které jsou vyhazovače umístěny. Vyhazovače zajišťují správné a bezpečné vyhození výrobku z dutiny formy. Vyhazovací systém může také obsahovat vraccí kolíky. Pokud vyhazovací systém bude v poloze vyhození výrobku a forma se zavře, mohlo by dojít k poškození vyhazovačů nebo tvárníku, a právě tomuto předchází vraccí kolík. Celý vyhazovací systém se pohybuje pomocí táhla. Stejně jako samotná forma, tak i vyhazovací systém musí obsahovat vodící sloupky a vodící pouzdra, pro správné vycetování a vedení. [1,4]



Obr. 3 Vstřikovací forma v otevřeném stavu při vyhadzování výrobku [1]

### 1.2.2 Základní technické údaje potřebné k návrhu formy

Pro vyhotovení vstřikovací formy je zapotřebí znát značné množství technických údajů. Primární částí musí být znalost vyráběného dílu, s tím souvisí výkresová dokumentace, která musí definovat tvar, rozměry, hmotnost, stupeň přesnosti, jakost povrchu nebo materiál součástí. Ze znalosti výrobku a jeho použití se musí definovat dělicí rovina, umístění vtoků a vyhadzovačů. Z ekonomického hlediska je zapotřebí, aby byl výrobek tvarově snadno zaformovatelný, rozměrově dosažitelný a s minimálním dodatečným opracováním. Na návrhu dílu by se měl podílet konstruktér dílu, konstruktér formy a případně i technolog. Dalším důležitým prvkem při návrhu formy je její násobnost, která určuje počet vyráběných výrobků na jeden cyklus. Násobnost formy se vybírá s ohledem na charakter a přesnost výrobku, požadované množství výrobků, velikosti a kapacity vstřikovacího stroje, požadovaném termínu dodání a ekonomice výroby. Tvarově a rozměrově náročné výrobky se ve většině případů vyrábí jako jednonásobné. Pro konstrukci formy je také důležité, na jakém stroji se bude daný díl vyrábět. Může se jednat o variantu, kdy se zavádí nová výroba, a tudíž konstruktér může uvažovat, jaký stroj vybrat, nebo vybere ze strojů, které jsou dostupné ve firmě. U návrhu vstřikovacího stroje je důležité brát v potaz hmotnost a rozměry vyráběného dílu, požadovanou přesnost a kvalitu dílu a velikost formy. Stroj musí mít

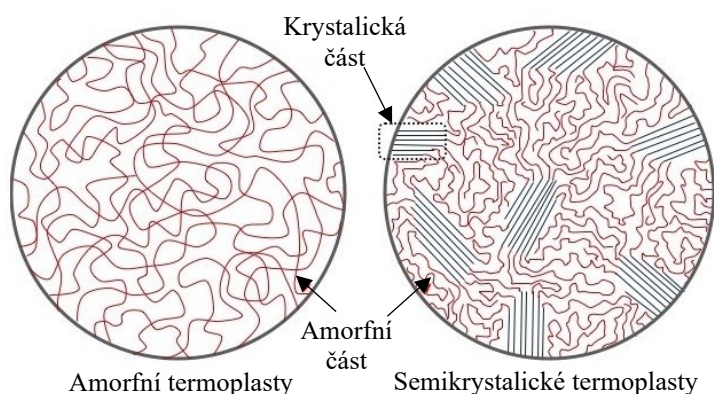


dostatečnou vstřikovací kapacitu, dostatečnou uzavírací sílu a vhodnou koncepci stroje. Dále je třeba brát v úvahu zvláštní požadavky na konstrukci od zákazníka, který může například dbát na větší přesnost výrobku, než je požadovaná, nebo například stačí menší a klade důraz na ekonomiku výroby nebo na dřívějším termínu dodání. Pokud zákazníkovi nevyhovují běžné požadavky nebo návrh výroby, může doplnit své vlastní požadavky. [3]

## 2 CHOVÁNÍ POLYMERNÍ TAVENINY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

Pro vstřikování se používají termoplasty, reaktoplasty i elastomery. Plastové materiály jsou výsledkem reakce uhlíkových prvků s kyslíkem, vodíkem, dusíkem a dalšími organickými a anorganickými prvky. Nejrozšířenější skupinou jsou termoplasty, jejich spotřeba tvoří přibližně 80 % celkové spotřeby plastů. Termoplasty mají nejjednodušší molekulární strukturu s chemicky nezávislými makromolekulami. Zahříváním měknou nebo se taví, po ochlazení se tvarují, formují a tuhnou. Několik cyklů zahřívání a ochlazování lze opakovat bez vážného poškození, což umožňuje opětovné zpracování a recyklaci. Často se do termoplastu přidávají přísady nebo plniva pro zlepšení specifických vlastností, jako je tepelná nebo chemická stabilita, odolnost proti ultrafialovému záření atd. [6,8]

Termoplasty lze rozdělit do dvou kategorií: semikrystalické a amorfní. Semikrystalické polymery při ochlazování vytvářejí částečně uspořádanou strukturu neboli krystalickou strukturu, která je charakterizována stupněm krystalinity. Mezi krystalickou fází se vyskytuje část amorfní neboli neuspořádanou strukturu. Tato amorfní část dává polymeru jeho houževnatost a ohebnost, zatímco krystalická část mu dává tuhost a pevnost. Makromolekuly jsou u semikrystalických polymerů seskupovány do lamel. Výsledný obsah krystalického podílu materiálu závisí na druhu materiálu a na ochlazování, tloušťce stěny dílu a na přidaných přísadách. Mezi semikrystalické polymery patří: PP, PE, PA, POM, PBT nebo PET. Amorfní polymer po ochlazení je tvořen pouze neuspořádanou strukturou, makromolekuly zaujímají tvar klubek. Bez přidaných plniv mají díky své struktuře menší smrštění než semikrystalické polymery. Mezi amorfní polymery patří například: PS, ABS, PVC, PMMA, PC nebo SAN. [17, 30]



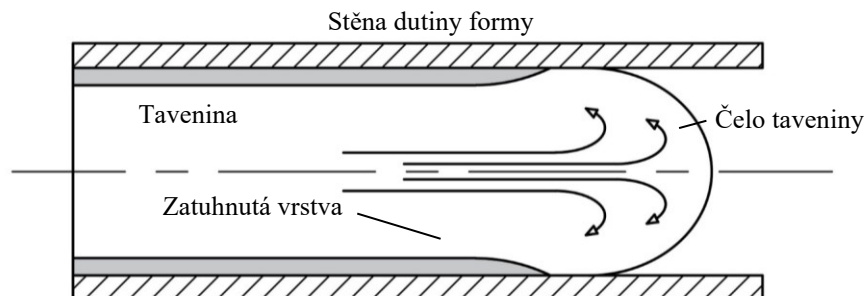
Obr. 4 Amorfní a semikrystalické termoplasty [30]

## 2.1 Fáze vstřikování

Způsob, jakým polymerní tavenina vtéká do formy, má klíčový význam pro určení výsledné kvality dílu. Proces plnění formy lze analyzovat díky možnosti předvídat tlak, teplotu a napětí. Aby mohl být díl vyroben, musí být polymerní tavenina schopna zcela zaplnit dutinu formy. Tloušťka stěny výrobku a umístění vtoků musí být specifikovány tak, aby tavenina byla schopna projít od vtoků až k okrajům dutiny. [7,9]

### 2.1.1 Fáze plnění

Fáze plnění začíná dopředným pohybem šneku vytlačovacího stroje, který uvede polymerní taveninu do pohybu. Tavenina nejprve teče vtokovým systémem a následně vyplní dutinu vstřikovací formy. Malá vrstva taveniny, která je v přímém kontaktu s povrchem formy rychle chladne a vytváří zatuhlou vrstvu, zatímco střední část zůstává roztavená. Čelo taveniny postupuje v před a roztéká se po stěnách dutiny, tato část chladne, tudíž čelo taveniny tvoří neustále jiná část taveniny. Tento typ proudění se nazývá fontánový. Fáze plnění probíhá nejčastěji do zaplnění 90 % – 99 % dutiny formy, poté následuje dotlak, který zaplní zbylý objem dutiny. [7]



Obr. 5 Fontánový tok taveniny

### 2.1.2 Fáze dotlaku

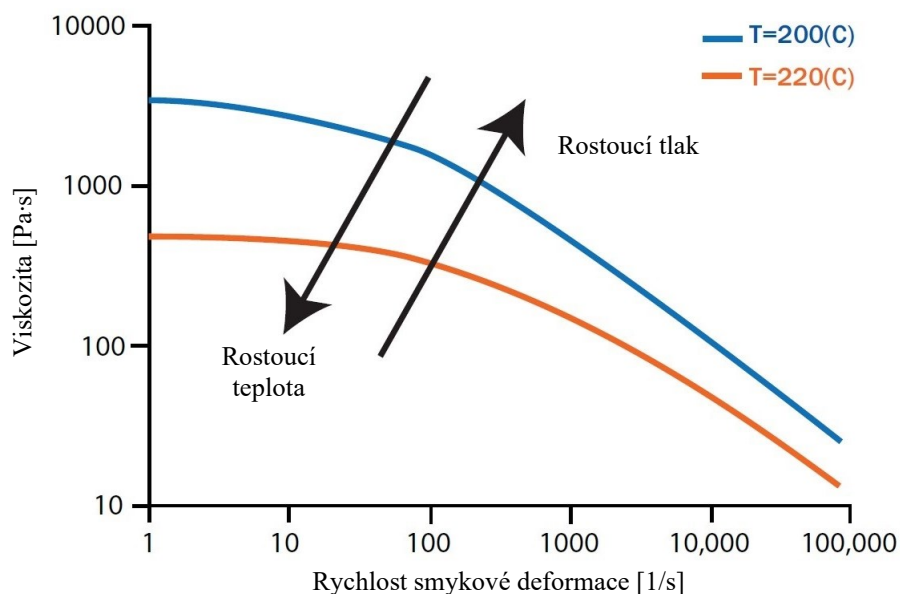
Po fázi plnění následuje fáze dotlaku. Dotlak kompenzuje smrštění výrobku během jeho chlazení v dutině formy. Délka působení dotlaku se odvíjí od zatuhnutí vtokového ústí nebo od analýzy hmotnosti výrobku v průběhu dotlaku. Tlak dotlaku je zpravidla menší než vstřikovací čas, jeho průběh může být konstantní nebo odstupňovaný, závisí na vyráběném dílu a jeho požadavcích na výrobu. Přepnutí na dotlak dochází nejčastěji v závislosti na dráze šneku nebo na vstřikovacím čase.

## 2.2 Viskoelastické chování

Roztavené termoplasty vykazují viskoelastické chování, které kombinuje charakteristiky toku viskózních kapalin a elastické pevných látek. Jinými slovy, za určitých podmínek se roztavené termoplasty chovají jako kapalina a při působení smykového napětí se neustále deformují. Při toku viskózní kapaliny se energie, která způsobuje deformaci, rozptyluje a mění se ve viskózní teplo (disipace). [7]

### 2.2.1 Smyková viskozita

Smyková viskozita taveniny je odpor materiálu proti smykovému toku. Odpor při toku polymeru závisí na vlivu orientace a konformace molekulárních řetězců. Dále viskozitu výrazně ovlivňuje teplota a tlak, vliv těchto veličin je vyobrazen. Viskozita polymerní taveniny se pohybuje v rozmezí od 2 do 3 000 Pa · s (voda  $10^{-1}$  Pa · s, sklo  $10^{20}$  Pa · s). [7,10]



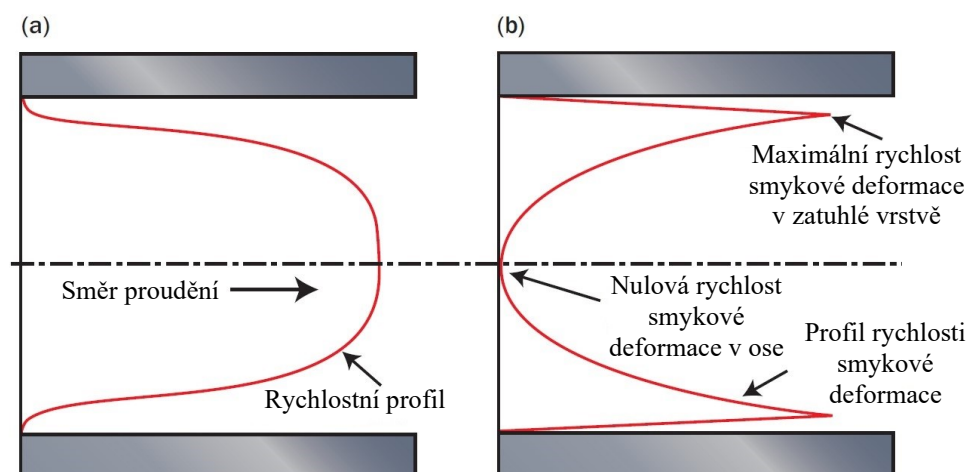
Obr. 6 Vliv teploty a tlaku na viskozitu [7]

Na Obr. 6 je znázorněný graf závislosti viskozity na rychlosti smykové deformaci. V grafu jsou uvedené dvě křivky o rozdílných teplotách. Je patrné, že viskozita je značně závislá na rychlosti smykové deformace a s jejím nárůstem viskozita klesá, proto je důležité při simulacích a samotném vstřikování predikovat dobu plnění, rychlost taveniny a rychlost smykové deformace. Dále je třeba znát teplotu a tlak v tavenině, protože při zvyšování teploty viskozita klesá a při zvyšování tlaku viskozita roste. Vzdálenosti jednotlivých křivek

od sebe u rudných materiálů se mohou lišit, pokud jsou křivky o rozdílných teplotách více u sebe je patrné, že tento materiál bude méně citlivý na změnu teplotu taveniny. [9]

### 2.2.2 Rychlost smykové deformace

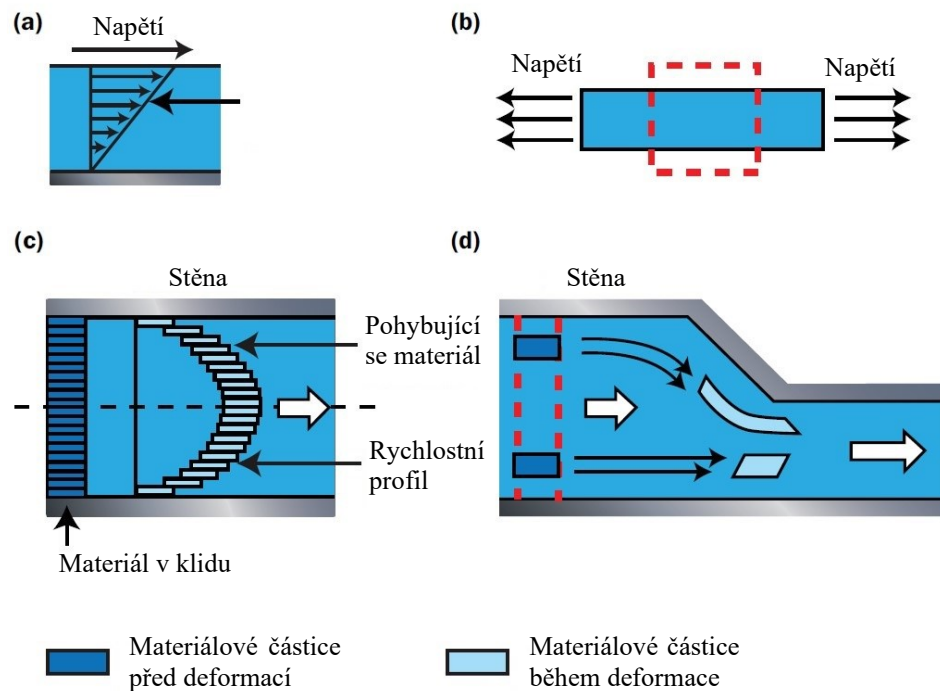
Rychlost smykové deformace závisí na rychlosti pohybu materiálových částic, které se po sobě pohybují. Na *Obr. 7 (a)* je znázorněn typický rychlostní profil, nejvyšší rychlost smykové deformace je ve zatuhlé vrstvě (b). V ose je rychlost smykové deformace nulová. V důsledku symetrie proudění nedochází k žádnému relativnímu pohybu hmotných prvků. Rychlost smykové deformace je důležitým parametrem proudění, protože ovlivňuje viskozitu taveniny a velikost jejího ohřevu. Běžná rychlost smykové deformace v dutině formy se pohybuje v rozmezí 100 až 10 000 1/s. V případě rozvodných kanálů taveniny se může dostat až okolo 100 000 1/s. [7,9]



*Obr. 7 (a) Rychlostní profil, (b) Profil rychlosti smykové deformace [7]*

## 2.3 Deformace polymeru při toku

Existují dva typy deformace polymerní taveniny při toku, smykový tok a elongační tok. Tok roztavených termoplastů při plnění vstřikovacích forem je převážně smykový, jak je znázorněno na *Obr. 7 (c)*, při kterém se jednotlivé materiálové částice "posouvají" po sobě. Elongační tok se však stává významným, protože materiálové částice podléhají prodloužení, když tavenina prochází oblastmi s náhlou rozměrovou změnou (např. oblastí vtoku), jak je znázorněno na *Obr. 7(d)*.



Obr. 8 Deformace materiálu během toku [7]

(a) prostý smykový tok, (b) prostý elongační tok, (c) smykový tok při plnění,  
 (d) elongační tok při plnění

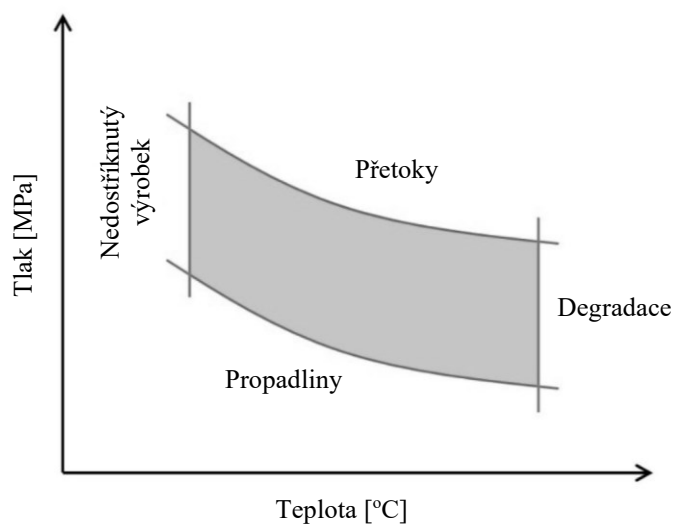
## 2.4 Tlakem řízený tok

Tok roztavených termoplastů ve fázi plnění je poháněn tlakem. Roztavené termoplasty proudí z oblastí s vysokým tlakem do oblastí s nízkým tlakem. Během fáze plnění vzniká ve vstřikovací trysce vysoký tlak, který překonává odpor toku polymerní taveniny. Tlak se postupně snižuje po celé délce toku směrem k čelu polymerní taveniny, kde tlak dosáhne atmosférické hodnoty, pokud je dutina správně odvzdušněna.

## 2.5 Procesní okno

Vlastnosti polymerů se značně liší, ať už se jedná o měrný objem při různých teplotách a tlacích, změně viskozity, tepelné kapacity, tepelné vodivosti a další. Z grafu závislosti teploty na tlaku polymerů, viz Obr. 8, je patrné, že riziko tepelné degradace se zvyšuje s rostoucí teplotou, zatímco vady způsobené propadlinami se objevují při nízké teplotě nebo při nedostatečném tlaku, což naznačuje, že snížením procesní teploty by se měl zvýšit tlak, aby tavenina správně zatekla do dutiny formy. Při příliš vysokém tlaku by došlo k přetokům. Z těchto poznatků vyplývá, že je důležité mít správný poměr tlaku vůči teplotě, nejlépe se

pohybovat s těmito parametry v procesním okně, aby nedocházelo k zmíněným nežádoucím efektům. [10,12]



Obr. 9 Procesní okno [11]

### 3 VADY VÝROBKŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

Za vadu se považuje odchylka, kterou se výsledný výrobek odlišuje vzhledem, rozměrem, tvarem, hmotností, vnitřního stavu výrobku a vlastnostmi od standardu určeného výkresem, referenčním vzorem nebo schválením od zákazníka. Vady mohou být způsobeny dodávaným materiálem, konstrukcí výrobku, konstrukcí formy a také zvolenými technologickými parametry na vstřikovacím stroji. [12,13,17,20]

Řešení vad výrobků při vstřikování lze rozdělit do dvou skupin. Skupinou první je práce při vývoji a konstrukci výrobku a konstrukce vstřikovací formy. Druhou skupinou je optimalizace vstřikovacího procesu přímo na vstřikovacím stroji. Konstrukce dílu musí být navržena tak, aby splňovala funkci v daném použití a zásady konstrukce plastových dílů (technologičnost). Parametry, které hrají významnou roli při nastavování procesu byly již zmíněny v předchozí kapitole. Především se jedná o viskozitu, rychlost smykové deformace, teplotu taveniny i stroje, tlak při vstřikování a další. [15,16]

#### 3.1 Rozdělení vad

Vady lze rozdělit do tří základních kategorií: na vady zjevné, vady skryté a vady způsobené vlastním vstřikováním. [20]

- Vady zjevné

Jedná se o vady, které lze odhalit vizuálním porovnáním s referenčním dílem nebo standardem. Lze je rozdělit na vady tvaru a vady povrchu.

Mezi vady tvaru lze například zařadit přetoky a ořepy, zvrásnění nebo zvlnění povrchu, propadliny, nedostříknutý výrobek nebo deformace výstřiku vlivem nerovnoměrného smrštění.

Mezi vady povrchu lze například zařadit změnu barvy výrobku, změny v lesku, stříbření, delaminace, jemný rýhovaný nebo pórovitý povrch, mikrotrhliny na povrchu, černé tečky nebo tokové čáry, zejména u ústí vtoku. [13,17,20]

- Vady skryté

Jedná se o vady, které nejsou na zjiřitelné vizuální kontrolou, ale ovlivňují vlastnosti výrobku. Tyto vady lze zjistit pouze pomocí speciálních zkušebních zařízení nebo laboratorními zkouškami i za předpokladu porušení výrobku.



Jedná se například o nerovnoměrnou orientaci makromolekul, vnitřní pnutí, studené spoje vakuové bubliny nebo zvýšená křehkost materiálu. [17,20]

- Vady způsobené vlastním vstřikováním

Jedná se o vady, které byly způsobeny při vstřikovacím cyklu. Mohou to být například vady deformace výrobku způsobené vyhozením výrobku z dutiny formy, stopy po vyhazovačích, tažení vlákna z trysky, samovolné vytékání taveniny z trysky, vryp na vtokové vložce, špatné dosedání vstřikovací trysky nebo poškození dutiny formy. [20]

## 3.2 Konstrukce výrobku

Konstrukce výrobku hraje významnou roli, při eliminaci vzniku vad na výrobku. Dodržením konstrukčních zásad lze předcházet vzniku vad. Konstrukce plastových výrobků musí splňovat, jak už bylo zmíněno, dvě hlavní zásady: správnou funkci v daném použití a zásady konstrukce plastových dílů.

- Funkce plastového dílu pro dané použití

Do této skupiny spadá funkčnost, estetika, ergonomie nebo bezpečnost dílu. Za tyto vlastnosti dílu má zodpovědnost konstruktér a designér dílu.

- Zásady konstrukce plastových dílů

Do této skupiny spadá zaformovatelnost, tloušťka stěn, tloušťka žeber, rádiusy, úkosy, tvary stěn dílu (z hlediska deformace dílu), tolerance výrobku nebo volba vhodného druhu plastu. [16]

### 3.2.1 Zaformovatelnost

Zaformovatelností se rozumí způsob umístění výrobku ve formě, volba dělicí roviny, volba odformování pomocí konstrukčních prvků (čelisti, šrouby nebo vytáček prvky), ale také volba a způsob provedení automatického chodu výroby a s tím spojené odformování výrobku. [16]

- Dělicí rovina

Dělicí rovina je dosedací plocha, která rozděluje formu na dvě části, pravou a levou část formy. Rozděluje tvarovou dutinu formy na tvárník a tvárnici. Hlavní funkcí dělicí roviny je správné dosednutí obou částí formy na sebe tak, aby nedošlo v průběhu vstřikování k pootvření nebo k přetečení polymeru. Těsné uzavření formy zajišťuje uzavírací jednotka,

kteřá působí příslušnou uzavírací silou na dělicí rovinu. Dělicí rovina může být v podobě rovné nebo tvarové plochy. Obecně platí, čím je jednodušší dělicí rovina, tím je snadnější výroba a kvalitnější utěsnění. Pro správný návrh dělicí roviny musí konstruktér brát v úvahu směr otevírání formy. Po otevření výrobek musí zůstat na té straně, která obsahuje vyhazovací systém, a komplikovanost dílu. Dělicí rovina by měla být co nejjednodušší, ale v případech, kdy jsou výrobky složité je nezbytné mít tvarovou dělicí rovinu, popřípadě zvolit větší počet dělicích rovin, kdy jedna je hlavní (rozděluje formu na dvě části) a zbylé jsou vedlejší. [4]

- Konstrukční prvky pro správné zaformování

Výrobek spolu s formou musí být navržen tak, aby se odformovával co nejsnáze a aby nedocházelo k jeho deformaci. Výrobek pro své snadné odformování musí obsahovat úkosy, nesmí obsahovat vnitřní dutiny nebo tvary, které by zabraňovaly jeho vyjmutí z formy. [16]

### 3.2.2 Tloušťky stěn, tloušťky žeber, zaoblení a úkosy

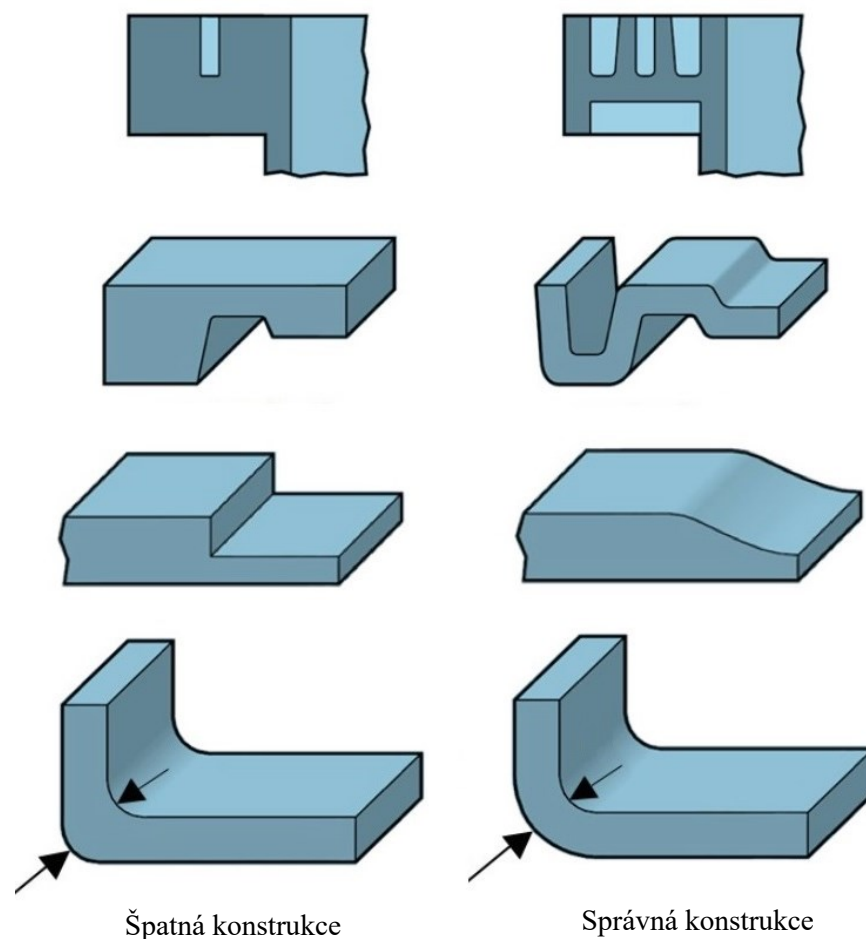
Při konstrukci dílu je důležité dbát na doporučené zásady ohledně tlouštěk stěn, tlouštěk žeber, rádiusů, výztuh, úkosů, ale také na tolerance a přesnost vstřikovaného dílu. [4]

- Tloušťka stěn

Tloušťka stěny materiálu významně ovlivňuje vlastnosti vyráběného dílu, jako jsou jeho pevnost, tuhost, vzhled, hmotnost nebo ekonomiku dílu. Tloušťka stěn je ve výsledku kompromisem mezi jednotlivými vlastnostmi, například při větší tlouště stěny bude materiálu pevnější a tužší, ale na druhou stranu bude mít větší hmotnost. Nižší hmotnost materiálu znamená nižší ekonomické náklady a také kratší výrobní cyklus. Tuhost a pevnost lze zvýšit vyztužením pomocí žeber, zakřivení, zvlněním nebo použitím jiného materiálu. [4,16]

S tloušťkou stěny musí být brána v potaz také vyrobiteľnosť dílu s ohľadom na dĺžku toku polymérnej taveniny. Jedná sa o vzdálenosť od ústí vtoku až po najvzdálenejšie miesto dutiny formy. Táto vzdálenosť je omezená tloušťkou stěny a také voľbou materiálu. Malá tloušťka stěny s veľkou dráhou toku zapríčiní vysoký tlak v dutine formy, popřípadě může dojít k nedotečení materiálu. Naopak veľká tloušťka stěny vede k predĺženiu vstrikovacieho cyklu, veľké spotrebe materiálu a náchylnosťou ke vzhľadovým vadám. [4]

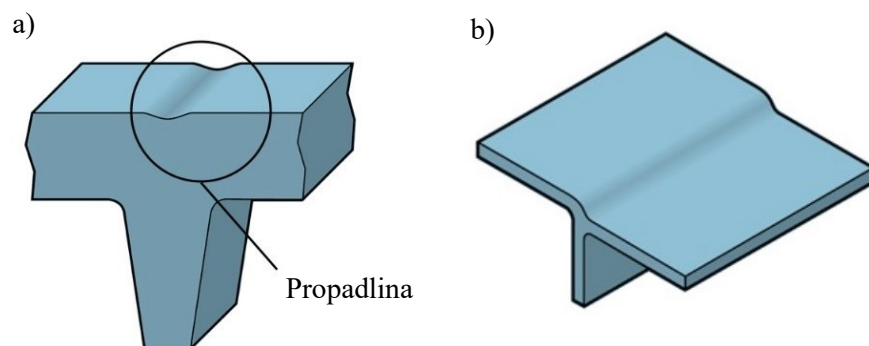
Optimálně navržený díl by měl obsahovat kontinuální tloušťku po celém svém průřezu, toto je u složitějších výrobku často nedosažitelné. Přechody tlouštěk stěn by se měly eliminovat, pokud je tento přechod nezbytný, měla by tavenina téci z menší tloušťky do větší tloušťky. Přechod by měl být plynulý, popřípadě by měly být zaobleny vnější hrany výrobku. V případě rozdílných tlouštěk stěn v průřezu výrobku mohou nastat deformace a pnutí při jeho ochlazování. Stěna s větší tloušťkou má větší smrštění než na ni navazující stěna s menší tloušťkou. Tento jev je především výrazný u neplněných amorfních termoplastů, které mají největší smrštění. U takovýchto materiálů se z pravidla přechody tlouštěk stěn mohou lišit maximálně o 10 % – 15 %, u amorfních nebo plněných plastů až 25 %. Na Obr. 9 je v levém sloupci obrázků zobrazena špatná konstrukce dílu a v pravém sloupci je zobrazené správné řešení konstrukce dílu. [4,16]



Obr. 10 Správná a špatná konstrukce výrobku s ohledem na tloušťku stěn [4]

- Žebrování

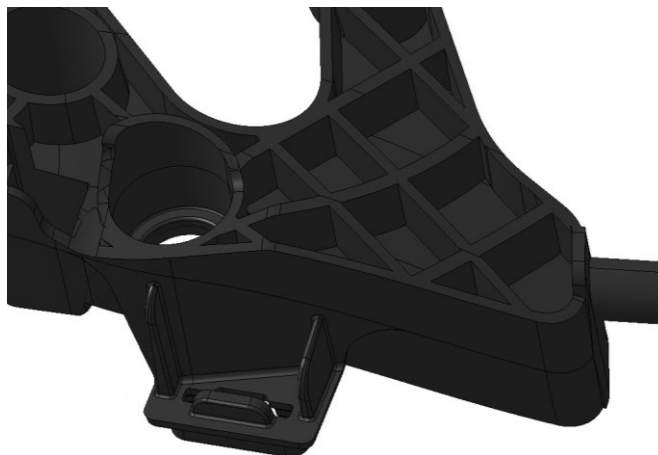
Žebra se využívají ke zvýšení tuhosti a pevnosti vyráběného dílu. Obecně tedy lze říct, že větší a tlustší žebra zajistí větší tuhost a pevnost dílu, ale nemusí tomu tak být vždy. Důležité je navrhnout správný počet žeber a jejich umístění, následně se bude od těchto parametrů odvíjet jejich velikost. Obecně lze říct, že výška, šířka a rozteč žeber by se měla odvíjet od tloušťky stěny výrobku. Žebra by měla obsahovat úkosity a zaoblení, jak pro lepší stabilitu, tak pro snadné odformování. Žebra o větší tloušťce způsobují propadliny na protější straně dílu. Kromě tloušťky žebra má na propadliny vliv také materiál, hrubost povrchu, vzdálenost o ústí vtoku a další technologické parametry. Propadliny nijak významně neovlivňují funkčnost, pevnost nebo tuhost výrobku, ale na pohledových stranách jsou nežádoucí. Významně patrné jsou na lesklých nebo odrazových plochách, zvláště u tmavých barev. U výrobků s lesklými plochami se používají tenká žebra nebo umístění odskoků a jiných tvarových úprav na protější straně žeber, které eliminují propadliny. Nejjednodušší eliminací pro vzhledové díly je dezénový povrch, v případě nutnosti hladkého povrchu je zapotřebí brát propadliny v úvahu již při konstrukci dílu a při nastavování parametrů na vstřikovacím stroji.



Obr. 11 Žebrování s ohledem na propadliny [4]

a) viditelná propadlina na protější straně žebra, b) možná konstrukční eliminace propadliny

Tloušťka žeber hraje také roli v deformaci dílu při jeho chlazení a s ním spojenému smrštění. U materiálu s izotropickým smrštěním mohou tenká žebra ztuhnout dříve a jejich smrštění může být menší než hlavní stěna výrobku, a díky tomu lze očekávat deformaci dílu. U žeber s tloušťkou větší, než je hlavní tloušťka výrobku může dojít k deformaci samotných žeber. To lze eliminovat intenzivnějším chlazením žeber. Při podobné tloušťce žeber jako je tloušťka hlavní stěny výrobku se deformace eliminují. [4,16]



*Obr. 12 Příklad žebrování (zvolený díl pro diplomovou práci)*

- Zaoblení

Zaoblení se používá pro hrany, rohy a kouty výrobku. Zaoblením lze docílit lepšího toku polymerní taveniny, zabránit se koncentraci napětí, zlepšit se odformovatelnost výrobku a také se eliminuje opotřebení formy. Při snadnějším toku polymeru lze použít nižší tlak a tím méně namáhat formu. Přidáním zaoblení se také výrazně zvýší rázová houževnatost. Doporučené minimální poloměry zaoblení se liší v závislosti na použitém polymeru a pohybují se od 0,5 mm až po 1,5 mm. [3]

- Úkosy

Jedná se o stěny, které jsou kolmé k dělicí rovině a jejich hlavním úkolem je zlepšení odformovatelnosti výrobku. Úkosy by měly mít všechny jak vnější, tak vnitřní plochy, pokud je to z hlediska konstrukce a použití dílu možné. Slepé prvky ve formě, jako jsou například žebra nebo výztuhy se zužují směrem ke svému konci. Části, které jsou tvořeny bočními odformováními obvykle nemusí být opatřeny úkosy, za předpokladu, že je prvek odformován ještě před otevřením formy. Nejčastěji se úkosy vyrábějí pod úhlem 0,5° až 2°. [3,4]

### 3.3 Smrštění

Tvarová přesnost a rozměry výrobku jsou jedny ze základních parametrů, které určují kvalitu výrobku. Dále jej může určovat drsnost povrchu nebo například vzhled povrchu. Tvarovou přesnost a rozměry výrobku významně ovlivňuje zvolený materiál, konstrukce výrobku, konstrukce dutiny vstříkovací formy, konstrukce temperačního systému, nastavení technologických parametrů na vstříkovacím stroji a také použití daného dílu. [9,17]

Tvarovou přesnost a rozměry významně ovlivňuje smrštění a deformace dílu. Deformace mívá často příčinu ve smrštění, ale může se také jednat o vnitřní pnutí. Velkou roli ve smrštění hraje použitý materiál, termoplast amorfni bude mít nižší hodnotu smrštění než termoplast semikrystalický. Dále záleží na tom, zda je plast plněný či nikoli. Dlouhá vláknitá plniva způsobují anizotropii materiálu, a tudíž bude výrobek mít jiné smrštění po délce toku než kolmo na směr toku, na druhou stranu tyto plniva zmenšují hodnotu smrštění. Anizotropii může také způsobit, kromě použitých plniv, také krystalické útvary u částečně krystalických materiálů. Smrštění u semikrystalických termoplastů materiálů se pohybuje přibližně od 1 % do 2,5 % a u amorfniích termoplastů do 1 %. Smrštění se eliminuje již při konstrukci formy, kdy konstruktér zvětší dutinu formy o velikost smrštění použitého materiálu. Smrštění se dá také částečně eliminovat fází dotlaku, zvýšením dotlakové fáze lze u semikrystalických materiálů ovlivnit hodnotu smrštění až o 0,5 % a u amorfniích až o 0,2 %. [4,9,17,18]

Smrštění materiálu lze rozdělit do dvou skupin, smrštění výrobní a smrštění dodatečné. Výrobní hodnota smrštění pro výrobky z termoplastu je definována jako rozdíl mezi rozměrem dutiny formy při teplotě 23 °C a výrobkem vyjmutým z dané formy po uplynutí min 16 hodin až 24 hodin a skladovaném v suchých prostorech, nejlépe za teploty 23 °C. Po uplynutí 24 hodin nejsou všechny rozměry úplně stabilizované a může vlivem relaxace napětí nebo sekundární krystalizace u semikrystalických materiálů dojít ke změně rozměrů. Tyto rozměrové změny se nazývají dodatečným smrštěním. Dodatečné smrštění se stejně jako výrobní smrštění udává v procentech a jedná se přibližně o 10 % z výrobního smrštění. [4,17]

### 3.4 Vnitřní pnutí

Výrobek, respektive jeho makromolekulární řetězce, během vstřikovacího cyklu nestačí zaujmout svůj termodynamický rovnovážný stav a při vyhození z dutiny formy jsou řetězce od tohoto stavu různě vzdálené. V případě, že by výrobek setrval ve formě do rovnovážného stavu, celkový vstřikovací cyklus by byl příliš dlouhý, a tudíž ekonomicky nevýhodný, proto je zapotřebí kompromisu pro délku cyklu a rovnovážného stavu makromolekulárních řetězců. Řetězce jsou po konci vstřikovacího cyklu v tzv. napjatém stavu, který se u výrobku projeví jako vnitřní pnutí. Makromolekulární řetězce i za doby používání výrobku se snaží dostat do rovnovážného stavu. Než k rovnováze dojde, jedná se o dlouhý proces, který vede k relaxaci dílu neboli ustálení napjatosti v díle.

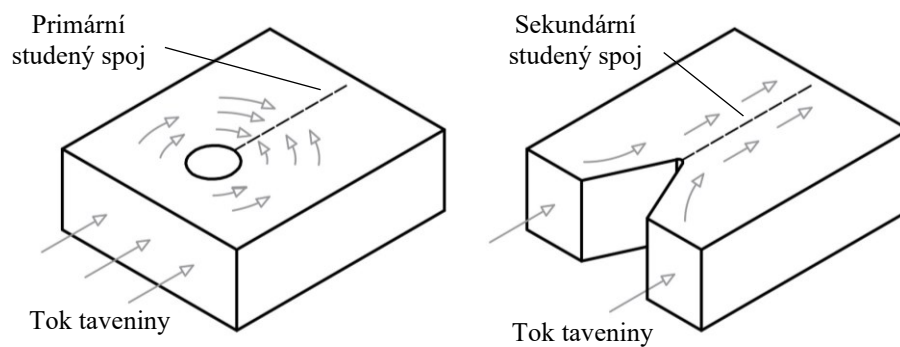
Vnitřní pnutí je stav napjatosti výrobku, zahrnuje tlakovou a tepelnou historii v jednotlivých fázích vstřikovacího cyklu. Vnitřní pnutí významně ovlivňuje teplota taveniny, teplota formy, průběh ochlazování, rychlost vstřikování, vstřikovací tlak, dotlak a další faktory procesu vstřikování. Příčinu vzniku pnutí ovlivňuje také konstrukce výrobku, konstrukce formy, navržený výrobní materiál a také technologické parametry výroby.

Vyrobít díl bez žádného vnitřního pnutí je nemožné, ale lze jej eliminovat za použití zásadami konstrukce a výroby. Negativní vliv vnitřního pnutí se nejčastěji objeví do 24 hodin od výroby dílu, proto by po tomto čase měla nastat jeho kontrola. Dále se vnitřní pnutí může projevit i při používání dílu a se sečtením mechanického namáhání může v krajním případě dojít až k jeho porušení, a to při menším zatížení, než na které byl díl dimenzován. [15]

Vnitřní pnutí může být také nazýváno zbytkové pnutí neboli reziduální napětí. Mezi vnitřní pnutí patří tepelné pnutí, které vzniká v důsledku nerovnoměrného ochlazování výrobku. Polymerní tavenina je primárně ochlazovaná od stěny dutiny formy, na stěnách se vytvoří tzv. tuhý skelet, ale vnitřní část je stále taveninou. Při ochlazování vnitřní části dojde k natažení a stlačení vnější části, protože se vnitřní část nemůže samovolně smršťovat. Vnitřní pnutí může dále nastat vlivem pnutí z nerovnoměrné orientace makromolekul a vyztužujících plniv. Další příčinou je pnutí vzniklé z nerovnoměrné krystalizace u částečně krystalických materiálů, pnutí vlivem dotlakové fáze a pnutí deformační, které vznikají v důsledku tzv. přeplnění dutiny formy. Stlačitelnost polymerních tavenin umožní, při nastavení vysokého vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti, přeplnění dutiny formy taveninou. Při otevření formy je výrobek ještě pod tlakem a na jeho povrchu vznikají tahová a vevnitř výrobku tlaková pnutí. [15,21]

### 3.5 Studené spoje

Studené spoje vznikají při spojení dvou, nebo více čel tavenin. Spojení dvou čel tavenin nastane při plnění výrobku více vtoky, při rozdělení tavenin v důsledku použití jader nebo při samotném toku polymeru dutinou formy, kdy je výrobek složitější a tavenina je nucena se rozdělovat a spojovat po dráze toku. Čela taveniny se mohou střetnout čelně, tento studený spoj se poté nazývá primární, nebo se mohou střetnout bočně a vznikne sekundární studený spoj. Jedná se o vadu, která způsobuje snížení pevnosti daného místa a zároveň se může jednat o vzhledovou vadu.



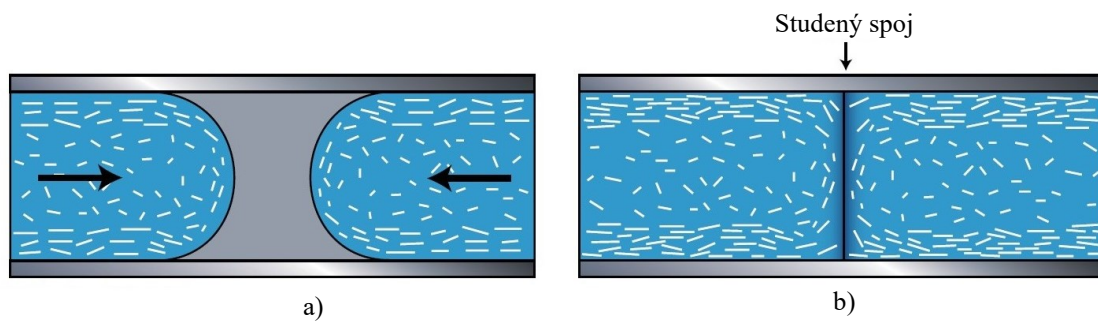
*Obr. 13 Studené spoje*

Studené spoje jsou u mnoha výrobků nevyhnutelné. Ačkoli je nelze úplně odstranit, je možné pomocí simulačních programů s vysokou přesností predikovat jejich umístění. Forma může být následně přepracována tak, aby se studené spoje nacházely v co nejméně problematické oblasti vzhledem na konstrukční, technické i estetické parametry výrobku. Studené spoje lze ovlivnit umístěním vtokového ústí, zvýšením teploty a tlaku nebo použitím kaskádovitěho plnění, čímž se studené spoje výrazně eliminují. Teplota a tlak zde hrají významnou roli. Při vyšší teplotě, co nejvíce se blíží teplotě taveniny vycházející ze vstřikovacího stroje, bude studený spoj mít malý vliv na mechanické vlastnosti výrobku. Naopak při střetu čel tavenin o nízké teplotě se významně zhorší mechanické vlastnosti. Pokud konstrukce formy a výrobku nedovoluje posunout nebo zmírnit důsledky studeného spoje, může být řešením vyhřívat dané místo, popřípadě jej méně chladit, aby došlo k lepšímu spojení čel tavenin. [7,19,21]

U plastových výrobků, u nichž je funkce přímo spjata s mechanickým zatížením, je zapotřebí brát velký důraz na eliminaci studených spojů. Zmenšení důsledků studených spojů lze provést také volbou materiálu. U amorfních termoplastů vzniká výrazné pevnostní oslabení, někdy až o 50 %, naopak u semikrystalických termoplastů je tento vliv výrazně menší, přibližně do 20 %. Také záleží na použití výrobku a jeho druhu namáhání. Studené spoje jsou nejvíce náchylné na namáhání v ohybu a v rázu, zatím co v tlaku je tento vliv nižší. [7, 20]

Významný vliv mají studené spoje také u materiálů obsahujících plniva, jako jsou například skelná vlákna. Vlákna se v místě střetu čel polymerní taveniny orientují kolmo na směr tečení a tím výrazně oslabí pevnost studeného spoje. Může se stát, že pevnost v daném místě bude nižší než pevnost samotného polymeru bez obsahu skelných vláken. [7,10]





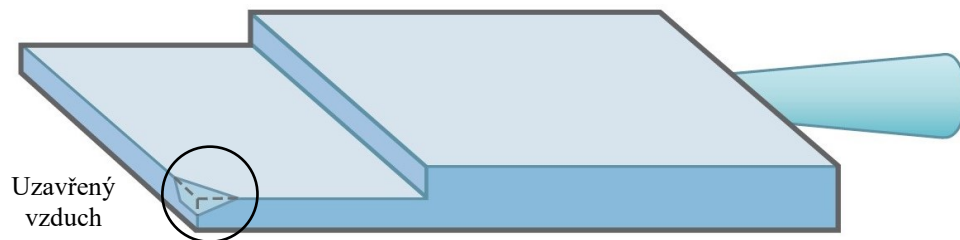
Obr. 14 Studený spoj u polymerů plněných skelnými vlákny  
 a) tok polymerní taveniny, b) setkání se dvou čel polymerní taveniny

### 3.6 Tvorba propadlin

Stopy po propadlinách jsou prohlubně malých rozměrů (obvykle v řádech setin až desetin milimetru) na povrchu výrobku. Vznikají při ochlazování a tuhnutí plastu, který přichází do styku se stěnami formy a vyskytují se tam, kde došlo k výrazné lokální změně průřezu stěny výrobku. Vrstva polymeru, která je v kontaktu s formou chladne rychleji a vnitřní vrstva pomaleji. Propadlina začne vznikat při tuhnutí vnitřní vrstvy polymeru a vlivem smrštění vtahuje vnější vrstvu a tím vznikne propadlina. Propadliny nejčastěji vznikají na protilehlých stranách žeber nebo u kuželového vtokového ústí. Lze je eliminovat správnou konstrukcí výrobku, změnou dotlakové fáze, správnou volbou bodu přepnutí na dotlak a také je lze ovlivnit intenzitou a délkou chlazení. Některé propadliny ovšem eliminovat nelze, proto je potom na posouzení zákazníka, zda na výrobku jsou propadliny zásadní či nikoli. Jedná se především o vzhledovou vadu. U výrobků, na kterých se propadliny nacházejí na nepohledových částech, nedochází k ovlivnění jejich funkčnosti ani vzhledu. [7,10,17]

### 3.7 Uzavřený vzduch

Jedná se o vzduch, který je taveninou dopraven do míst, odkud již nemůže z dutiny formy uniknout. Nejčastěji se jedná o místa, která polymer zaplňuje jako poslední, nebo místa kde se střetávají čela tavenin. Vzduch z dutiny formy uniká dělicí rovinou, vložkami a bočním odformováním. Problémová místa, kde se vzduch zadržuje, je zapotřebí obstarat odvzdušňovacími kanály. Tyto kanály musí být dostatečně velké na to, aby odvedly vzduch a nezanášely se, ale musí být dostatečně malé, aby se do nich nedostala polymerní tavenina. Průměr kanálů se liší od druhu použitého polymeru. [7,10]



Obr. 15 Uzavřený vzduch v nejvzdálenějším rohu od vtoku [17]

### 3.8 Orientace skelných vláken

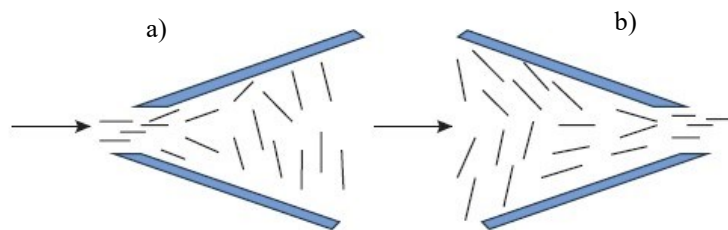
Skelná vlákna patří mezi vyztužující vláknitá plniva, která se používají pro zlepšení mechanických vlastností jako jsou houževnatost, mez pevnosti a modul pružnosti. Jedná se v podstatě o kompozitní materiály, kde výztuží je skelné vlákno a matricí je polymerní materiál. Výsledné vlastnosti závisí na procentuálním zastoupení v celkovém objemu výrobku a na orientaci vláken. Skelná vlákna mohou zastupovat až 70 % celkového objemu, ale nejčastěji se používá okolo 30 %. Skelná vlákna jsou jedny z nejpoužívanějších vláknitých plniv. Kromě nich lze použít vlákna uhlíková, aramidová, kovová nebo přírodní vlákna. Mezi přírodní vlákna patří například vlákna konopí, kokosu, lnu nebo bavlny. [4, 17]

Vláknitá plniva lze rozdělit podle jejich velikosti na krátká vlákna a dlouhá vlákna. Krátká vlákna jsou nejpoužívanější vláknitá plniva pro termoplasty. Jedná se o vlákna s kruhovým průřezem o průměru 3,5 až 24  $\mu\text{m}$  a jejich délka se pohybuje v řádech desetin až jednotek milimetrů, maximální délka bývá obvykle 3 mm. Dlouhá vláknitá plniva mají také kruhový průřez a dosahují obdobných průměrů jako krátká vlákna. Jejich délka je ale odlišná a pohybuje se nejčastěji od 7 mm až po 25 mm. [17]

Na výsledné vlastnosti výrobku plněného skelnými vlákny má vliv orientace skelných vláken, která převažuje orientaci makromolekul polymeru. Vlákna mají tendenci se uspořádat ve směru toku polymeru vlivem smykové rychlosti. Jejich orientaci významně ovlivňuje tvar a průřez výrobku a také umístění vtokového ústí. Následná orientace vláken ovlivňuje celkové smrštění výrobku. Díky obsahu skelných vláken dochází k menšímu smrštění než u samotného neplněného polymeru. Dochází k výrazné anizotropii a tím pádem k rozdílnému smrštění výrobku ve směru orientace vláken než kolmo na ně. Toto smrštění se musí brát v úvahu při konstrukci formy, aby nedocházelo k nežádoucím deformacím. U studených spojů plněného materiálu dochází k výraznému zhoršení mechanických

vlastností. Při spojení čel dvou tavenin dochází ve studeném spoji ke kolmé orientaci vláken na směr tečení a kvůli tomu má takový studený spoj výrazně nižší mechanické vlastnosti, viz *Obr. 14*.

Pro orientaci skelných vláken je primární správné umístění vtokového ústí a dodržení zásad konstrukce plastových dílů. Pokud dochází ke změně tloušťky v průřezu toku polymeru je důležité, aby polymer tekli, pokud možno z většího průřezu do menšího, čímž docílí orientace vláken ve směru toku, viz. *Obr. 16*. [17]



*Obr. 16 Orientace skelných vláken [17]*

*a) přechod z menšího průřezu na větší – náhodná orientace vláken, b) přechod z většího průřezu na menší – jednotná orientace vláken*

## 4 POUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

V dnešní době se využívá konceptu digitálního neboli virtuálního prototypu, který umožňuje před vlastní výrobou kompletně testovat a ověřovat funkčnost budoucího výrobku. Digitální prototyp zahrnuje 3D návrh modelu a jeho výkresu a dává možnost simulovat daný díl, jak při jeho výrobě, tak při podmínkách, za kterých bude výrobek používán. Může se jednat například o pevnostní analýzy, vibrační namáhání, světelnou odrazivost nebo interakci mezi navazujícími díly na sebe. Tyto simulace jsou schopny výrazně zkrátit časovou náročnost vývoje a napomáhají řešit vzniklé problémy i zpětně po vzniku chyb ve výrobě. [15]

### 4.1 CAE (Computer Aided Engineering)

V současnosti je CAE, neboli počítačem podporované konstruování, významnou součástí návrhů výrobků a samotného procesu vstřikování. CAE je metoda pro využití počítačového softwaru k usnadnění inženýrských analýz a optimalizací. Zvyšuje schopnost zvládat všechny aspekty procesu vstřikování polymerů, pomáhá šetřit čas, peníze a suroviny, snižuje zmetkovitost, zlepšuje kvalitu výrobků a urychluje uvedení nových výrobků na trh. CAE analýzy poskytují poznatky, které jsou užitečné při navrhování dílů, forem a vstřikovacích procesů. Bez těchto simulací by se spoléhalo na předchozí zkušenosti, intuici nebo zkoušky forem, což by u složitějších výrobků významně prodražilo celý výrobní proces. Dále nám CAE analýzy poskytují neméně důležité parametry o toku polymerních tavenin jako jsou potřebné tlaky, teploty, viskozita, rychlosti smykové deformace nebo potřebná rychlost vstřikování. Tyto hodnoty by bez analýz byly složitě dostupné. [7,10,15]

Stejně jako mnoho jiných nástrojů je užitečnost technologie CAE závislá na zdatnosti uživatele. Výše uvedené výhody nemohou být realizovány, pokud nebude nástroj CAE správně používán. Přesnost analýzy CAE do značné míry závisí na vstupních údajích poskytnutých uživatelem. Výsledky generované CAE analýzou, musí být uživatelem správně posouzeny a vyhodnoceny, než dojde k následné výrobě dílu. [10]

### 4.2 Simulační programy

Pro simulování procesu vstřikování je v první řadě zapotřebí vytvořit 3D model dílu, který bude následně simulován. Tento model může být sestaven v podstatě v libovolném modelovacím softwaru, jako je například: CATIA, SolidWorks, Autodesk Inventor, NX,

Solid Edge, Creo Parametric nebo Fusion 360. 3D model může být také vytvořen pomocí reverzního inženýrství, a to v případech, kdy je k dispozici již existující díl. [15, 22]

Mezi nejčastěji používané simulační programy v hodné pro řešení možných problémů při vývoji a výrobě dílů z termoplastů patří: Moldflow, Cadmould, Moldex 3D, SolidWorks Plastic nebo VISI CAD. [15]

### 4.3 Moldflow analýzy

Jedná se software od firmy Autodesk, který slouží pro simulaci procesu vstřikování. Používá se pro navrhování designu plastových dílů a forem. Odhaluje vady navrhovaného dílu a s jeho pomocí lze správně navrhnout jeho technologický design, popřípadě je nápomocen pro odstranění vad dílů, které jsou již ve výrobě. Simulace v Moldflow zahrnují například: simulaci toku taveniny, simulaci vtokového systému, simulaci chlazení, simulaci smrštění a deformace nebo simulaci umístění vtokového ústí. [23]

#### 4.3.1 Tvorba sítě

Aby bylo možné provést analýzu Moldflow, musí se na modelu vytvořit síť pomocí metody koncových prvků, která slouží k vytváření prediktivních výpočetních modelů reálných scénářů. Síť rozděluje geometrii dílu na řadu malých prvků, které jsou definovány pomocí uzlů (souřadnic v prostoru) a používají se pro výpočet simulace. Díky této síti, znalosti materiálových vlastností a nastavení procesních parametrů, můžeme předpovídat chování v reálné situaci často s velmi vysokou přesností.

Přesnost vůči reálné situaci, kterou lze získat, přímo ovlivňuje tvorba sítě. V první řadě záleží na volbě sítě. Může se jednat o síť midplane, dual domain síť a 3D síť (solid). Dále záleží na zvolení velikosti prvků sítě. Obecně lze říct, čím bude větší počet prvků na síti, tím bude větší přesnost výpočtu. Zmenšování prvků ovlivňuje délku výpočtu simulace. Je zapotřebí nastavit optimální rovnováhu mezi přesností a délkou výpočtu. [7, 24]

- Midplane

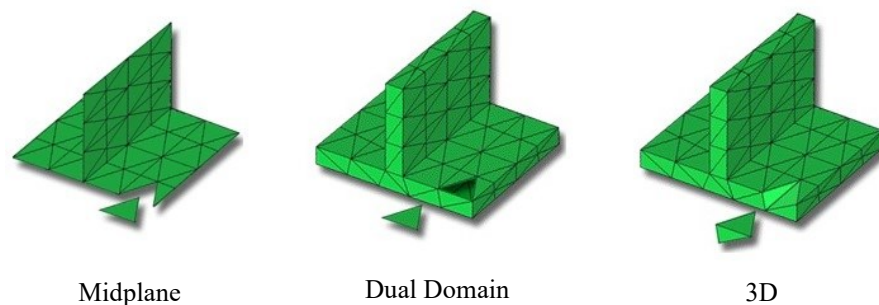
Jedná se o nejzákladnější síť. Skládá se z trojúhelníkových prvků se třemi uzly, které tvoří jednorozměrné zobrazení tvaru součásti přes její střed neboli středovou rovinu. Tloušťka dílu je reprezentována prostřednictvím atributem tloušťky aplikovaným na prvky sítě. Tato síť je obecně málo využívaná a používá se především v případě, kdy je díl tenkostěnný v celém svém průřezu. [25]

- Dual domain

Základem analýzy je plošná síť. Tato síť se taktéž skládá z trojúhelníkových prvků se třemi uzly, které tvoří jednorozměrné zobrazení na každém povrchu dílu. Jednotlivé prvky na síti jsou vzájemně srovnány v protilehlých plochách. Tloušťka výrobku je určena vzdáleností mezi protilehlými plochami. Jedná se v podstatě o síť, která plošně pokrývá povrch součásti. Tato síť se používá u výrobků, které nemají složitou geometrii a mají většinou konstantní tloušťku průřezu. Poskytuje výsledky jako například teplotu čela taveniny a smykovou rychlost v závislosti na tloušťce výrobku. [25]

- 3D síť

Základem analýzy je objemová síť. Tato síť se skládá z pevných čtyřuzlových čtyřstěnných prvků (tetrahedronů). Každý z těchto tetrahedronů má čtyři trojúhelníkové stěny a šest hran. Tato síť se využívá u složitějších výrobků, které mají dlouhou dráhu toku, rozdílné průřezy tlouštěk, velký počet rohů a velký počet stěn. Tato síť je z uvedených sítí nejpřesnější a jako jediná dokáže analyzovat výrobek po jeho celém průřezu. [25]



Obr. 17 Typy sítí [26]

#### 4.3.2 Materiálová data

Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků simulace je rozhodující mít co nejpřesnější materiálová data. Jelikož různé materiály mají odlišné vlastnosti, popřípadě se jejich vlastnosti mění na základě přidávaných přísad, je důležité pro simulaci zvolit správný materiál. Moldflow poskytuje rozsáhlou databázi obsahující informace o vlastnostech více než 8000 různých materiálů. Tyto informace jsou uvedeny na základě zkoušek jednotlivých materiálů, nejčastěji od jejich dodavatelů. [26]

#### 4.3.3 Návrh plnění výrobku

Po vložení požadovaného dílu a jeho vysítování v softwaru Moldflow je zapotřebí zvolit umístění vtoku, popřípadě vtoků, tvar vtoku, počet vyráběných výrobků na jeden

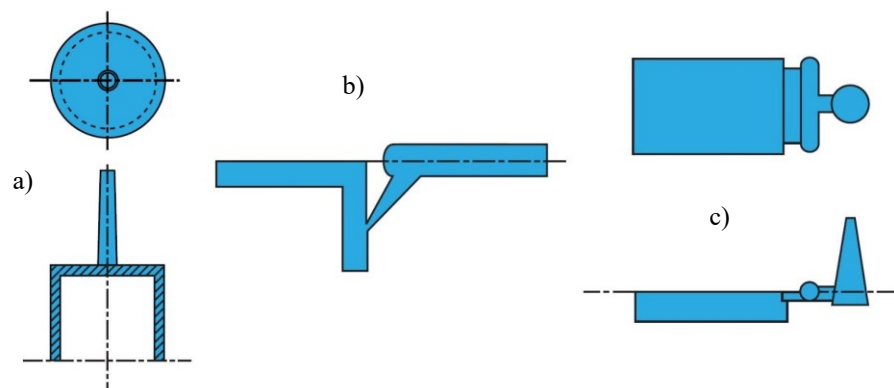
cyklus, vtokový systém a také zda se bude jednat o studený vtokový systém nebo o horký vtokový systém. [7]

- Umístění vtoku

Umístění vtokového ústí by mělo zajistit rovnoměrné proudění taveniny v celém objemu výrobku, bez přetoků a nedotoků. To lze zajistit optimalizací umístění vtokového ústí, popřípadě zvolení většího počtu vtokových ústí. Moldflow slouží jako nástroj pro ověření nejvhodnějšího vtokového ústí, a zároveň zobrazí případné vzniklé vady. Vtokové ústí se často umisťují do méně optimálních oblastí, například z důvodu menšího namáhání formy, vzhledového hlediska dílu nebo snadnější optimalizaci toku polymeru. Správné umístění vtoku může zabránit deformacím vlivem vnitřních pnutí, ovlivňuje umístění studených spojů, orientaci makromolekulárních řetězců nebo plniva ve výrobku nebo také rychlost výroby. [7, 10]

- Druhy vtokového ústí

Jedná se o prvek, který spojuje vtokový systém s výrobkem. Vtokové ústí se mohou vyskytovat v mnoha provedeních. Lze je rozdělit na manuálně odstranitelné a automaticky oddělitelné (při otevření a vyhození výrobku). Nejjednodušší vtok je plný kuželový vtok, který vede ze vstřikovacího stroje přes vtokovou vložku přímo do výrobku. Dále běžně používaným je vtok tunelový, který je při odformování samooddělitelný. Dále se používají filmové vtokové ústí. Tento způsob vtoku umožňuje použít menší vstřikovací tlak oproti tunelovému ústí. Filmové ústí se používá pro materiály citlivé na smykové napětí nebo pro materiály s nízkou tekutostí. Další druhy vtokového ústí mohou být například: vějířovité ústí, banánové ústí, bodové ústí, deštníkové ústí, talířové ústí a další. [4, 7, 10]



Obr. 18 Druhy vtokových ústí [7]

a) kuželový vtok, b) tunelový vtok, c) filmový vtok

- Vtokový systém

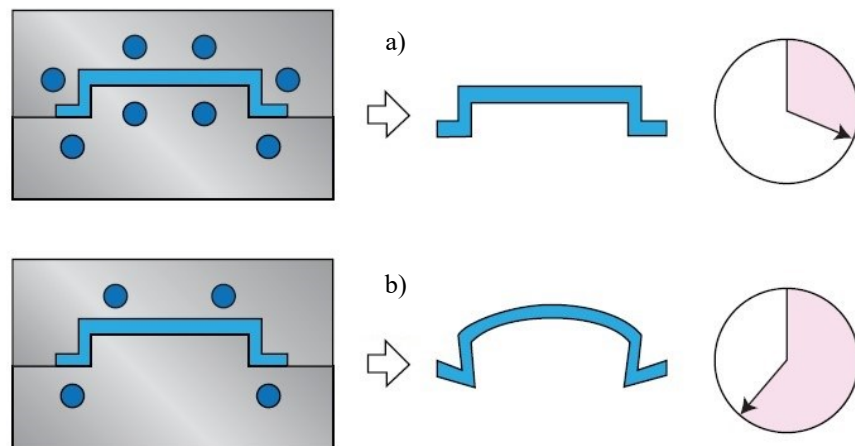
Vtokový systém by měl být navržen tak, aby dráhy toku polymerní taveniny byly co nejkratší a jejich velikost by měla být co nejmenší s ohledem na správný průtok a rychlost plnění. U vícenásobných forem by mělo docházet ke stejnému plnění všech dutin současně. Během průtoku taveniny vtokovým systémem je třeba brát ohled na disipaci a přizpůsobit tomu teplotu taveniny, která do něj vstupuje. Rovněž musí být prodloužena doba vstřikování o čas, který stráví tavenina ve vtokovém systému a také musí být zvětšena vstřikovací dávka o objem rozvodných kanálů. [7, 10]

#### 4.3.4 Optimalizace chlazení

Jakmile je navržen a zoptimalizován vtokový systém, přichází na řadu konstrukce a optimalizace chladicího systému. Analýza chlazení v Moldflou napomáhá k návrhu nejvhodnějších temperačních okruhů. Nejvhodnější temperační okruh by měl minimalizovat čas vstřikovacího cyklu, efektivně a rovnoměrně odvádět teplo, vyvažovat tlaky a minimalizovat deformace výrobků. [10]

Pro maximální účinnost temperačních okruhů by mělo být dosaženo rovnoměrného teplotního pole po celém objemu výrobku. Docílení rovnoměrného teplotního pole je obtížné u tvarově složitých výrobků, zejména v rozích. Tyto výrobky jsou více náchylné na deformace. Velmi důležité jsou také konstrukční parametry chladicího kanálu. Patří mezi ně počet chladicích kanálů, průměr chladicího kanálu a vzdálenost mezi jednotlivými chladicími kanály, přičemž se zohledňuje pevnost formy a vyrobiteľnost. Vzdálenost mezi jednotlivými chladicími kanály by měla být přibližně trojnásobkem průměru chladicího kanálu. Vzdálenost nad a pod dílem se na základě konstrukčních doporučení navrhuje ve výši dvou až trojnásobku chladicího kanálu. [7]



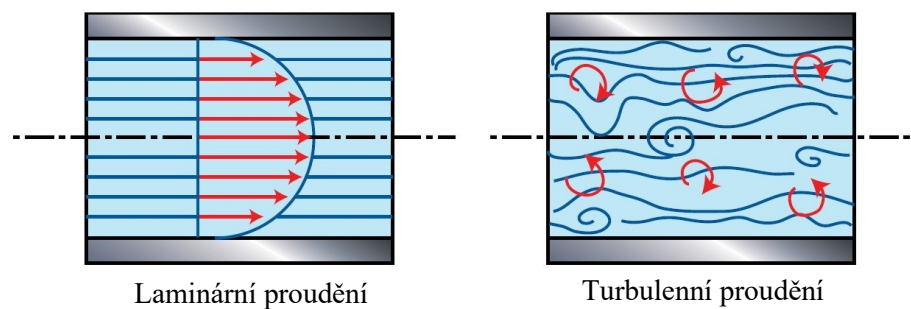


Obr. 19 Příklad správné a) a špatné temperace b) [7]

a) při správně navrženém temperačním systému se eliminují deformaci a také se zkrátí čas chlazení a tím celý vstřikovací cyklus, b) při špatně navrženém temperačním systému dochází k deformacím a prodloužení doby chlazení

Na účinnost chlazení má významný vliv také uspořádání teperačních kanálů a jejich připojení. Uspořádání se dělí na sériové a paralelní. U sériového zapojení má temperační kapalina delší dráhu toku, a tudíž mohou nastat v průběhu toku teplotní ztráty a tím dojde k nerovnoměrnému chlazení. Delší průtoková vzdálenost také obvykle způsobuje vyšší průtokový odpor. Kromě toho se na delším kanálu může snadněji usazovat vodní kámen a hůře se čistí. Paralelní zapojení má kratší dráhu a nižší odpor, ale způsobuje, že každý temperační kanál má odlišnou rychlost a tlak proudění. Z těchto důvodů může nastat nerovnoměrné chlazení. U obou zapojení záleží na konkrétním případě použití a nastavení parametrů pro temperaci. [7, 17]

Účinnost chlazení souvisí s tepelnou vodivostí materiálu, tepelnou kapacitou, hustotou, viskozitou a také s prouděním chladicí kapaliny. Proudění může být laminární nebo turbulentní. Při laminárním proudění dochází k přestupu tepla neboli předání tepla kovu do chladicí kapaliny. Při turbulentním proudění umožňuje přenos tepla vedením i prouděním. Proudění nastává při rozdílné teplotě, která způsobí rozdíl v hustotě chladicí kapaliny, dochází k pohybu jejích částí a tím se přenáší teplo. Z toho důsledku se u turbulentního proudění výrazně zvyšuje účinnost chlazení. [7, 17, 29]



Laminární proudění

Turbulentní proudění

Obr. 20 Laminární a turbulentní proudění [7]

Kromě vrtaných válcových kanálů se pro temperaci využívají například přepážky, fontány, tepelné trubice, tvarové vložky s drážkou pro proudění temperačního média nebo lze pro chlazení použít vložky vyrobené z teplovodivých materiálů. [7, 10]

- Přepážky

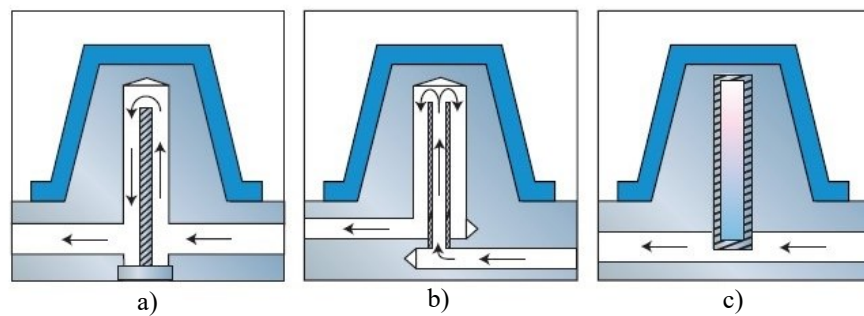
Jedná se v podstatě o chladicí kanál, který je vyvrtaný kolmo na hlavní kanál. Tento malý kanál je rozdělen na dvě části, kde jedna slouží jako přívod a druhá jako odvod temperačního média. Používají se do míst, kde by se klasickým způsobem vrtaný kanál dostal obtížně, zejména kvůli složitému přístupu a vyrobiteľnosti. Přepážky mohou být ploché nebo spirálové. [4, 7]

- Fontány

Fontány jsou podobné přepážkám s tím rozdílem, že lopatka nebo spirála je nahrazena malou trubicou. Chladicí kapalina proudí do spodní části trubice a vystupuje z horní části a připomíná fontánu. Chladicí kapalina pak stéká dolů kolem vnější strany trubice a pokračuje v proudění chladicími kanály. [7]

- Tepelné trubice

Jedná se dutý válec, ze kterého je vysán vzduch na tlak menší než 10 Pa a následně se naplní pracovní látkou. Může se jednat například o vodu, čpavek, etanol nebo toluen a vakuově se utěsní. Látka se odpařuje, když odebírá teplo z výrobku a kondenzuje, když uvolňuje teplo do chladicí kapaliny. Účinnost tepelné trubice je téměř desetkrát větší než u měděné trubky. [4, 7]



Obr. 21 Způsoby temperace [7]

a) přepážka – plochá, b) fontána, c) tepelná trubice

#### 4.3.5 Optimalizace dotlaku

Princip dotlaku již byl zmíněn v předešlých kapitolách. Optimalizace dotlaku v Moldflow analýze spočívá především ve správné volbě tlaku při dotlaku a dobu jeho působení. Díky analýze lze rozpoznat a zvolit optimální parametry pro dotlak i s ohledem na plnění a chlazení výrobku. [7, 28]

#### 4.3.6 Výsledky simulace

Výsledky simulace zahrnují řadu vypočtených parametrů, jako jsou například: čas plnění, tlak při přepnutí na dotlak, teplota na čele taveniny, tlak v průběhu plnění u vtokového ústí, teplota polymeru v průběhu cyklu, vzduchové bubliny, propadliny, studené spoje, uzavírací síla, teplota chladicího média, rychlost proudění temperačního média, deformace a jiné. [31]

Příklady některých výsledků:

- Čas plnění (fill time)

Čas plnění je jedním z nejzákladnějších výsledků. Ukazuje, za jak dlouhou dobu bude dutina zcela zaplněna a také graficky znázorňuje průběh plnění. Průběh plnění může naznačit v jakých oblastech budou nastávat problémy, například se studenými spoji nebo s uzavřeným vzduchem. Dále může být z tohoto výsledku patrné, zda se dutina plní rovnoměrně či nikoliv. Vstřikovací čas v simulaci lze nastavit několika způsoby, například: automaticky, vstřikovacím časem, průtokem nebo posuvem vstřikovacího šneku. Nejpoužívanějším parametrem pro zadání je vstřikovací čas. Výsledný čas plnění je ve většině případech vyšší než zadaný vstřikovací čas. Toto je především způsobeno kvůli

stlačitelnosti polymeru a také, že výpočet předpokládá přeplnění na dotlak ve 100 % zaplnění dutiny. Z předpokládaného dotlaku je následně vypočten průtok a ten ovlivní čas plnění. [32]

- Teplota polymeru (temperature)

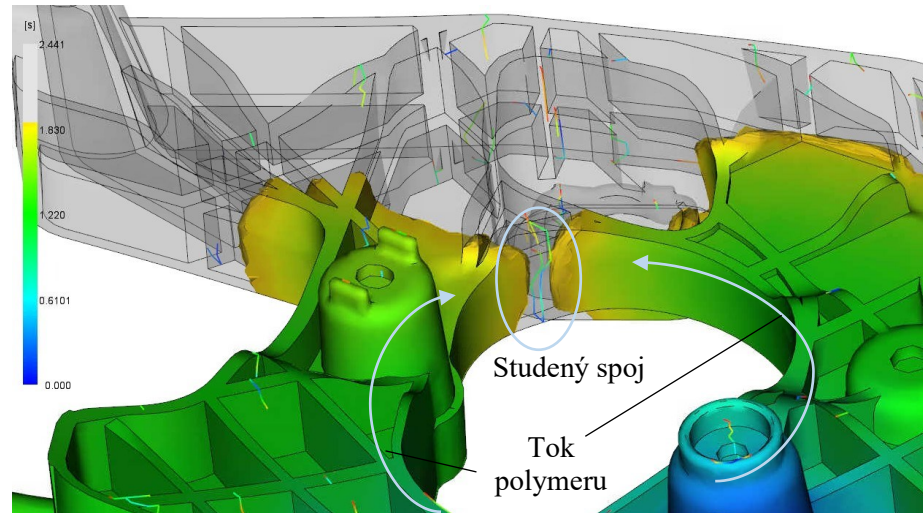
Výsledek teploty ukazuje teplotu polymeru v čase během vstřikování a chlazení, je vhodný pro zobrazení tuhnutí polymeru v dutině formy. Pokud je analýza počítána s 3D sítí, je možné vidět průběh teploty i v průřezu dílu. Teplota polymerní taveniny by se měla pohybovat v doporučených rozmezech z materiálového listu. Dále materiálový list určuje absolutní maximální teplotu, přes kterou se polymer nesmí dostat, jinak by došlo k jeho degradaci. Spolu s teplotami polymeru určuje materiálový list také doporučené hodnoty pro teplotu formy a teplotu pro vyhození výrobku. Díky těmto hodnotám z materiálového listu lze snadno zkontrolovat, zda výsledek teploty z analýzy vyhovuje či nikoli. [33]

- tlak (pressure)

Výsledek tlaku se odvíjí od plnění dutiny a udává výsledný tlak ve výrobku po celou dobu cyklu. Tlak při vstřikování bývá zpravidla nejvyšší na začátku tokové dráhy, nebo u vtokového kuželu. Díky simulaci lze pohlídat velikost tlaku, aby nepřekročil hraniční hodnoty. Pro výpočet simulace s umístěním vtoku přímo do výrobku, je doporučené mít maximální tlak do 80 MPa. Pokud je znám výkon stroje, pak se uvažuje maximálně 50 % z jeho kapacity. Pokud se v simulaci počítá již s vtokovým systémem, je doporučený tlak v rozmezí 100 MPa – 140 MPa. V případě, že je znám výkon stroje, počítá se maximálně s 80 % z jeho kapacity. [34]

- Studené spoje (weld line)

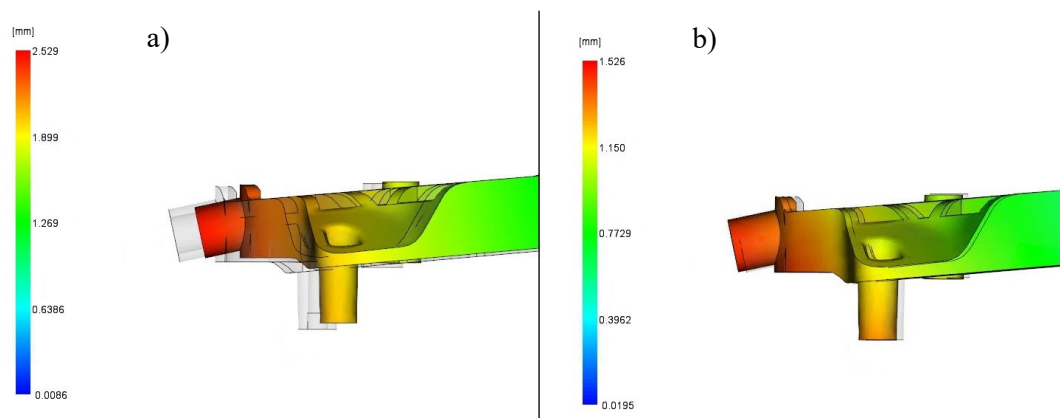
Výsledky studených spojů se dají zobrazit v několika různých variantách. Při výpočtu dílu s 3D sítí lze studené spoje pozorovat nejen jak se čela polymerních tavenin spojují v prostoru, ale také jejich následný pohyb s proudem taveniny. Nejtypičtějším výsledkem jsou studené spoje zobrazené pomocí čar, které určují jejich umístění a úhel, při kterém se dvě čela taveniny potkávají. Tento výsledek je možné například proložit časem plnění, ze kterého lze vidět, jak tavenina teče a studený spoj vzniká. Dále je možné například z teploty polymeru vidět, za jaké teploty se čela tavenin setkávají. [7, 35]



Obr. 22 Výsledek studených spojů proložený časem plnění

- Deformace (Deflection)

Tento výsledek ukazuje deformace výrobku v milimetrech. Deformace je uvedena jako celková nebo ji lze zobrazit zvlášť v jednotlivých osách. V případě, že se při volbě procesních parametrů zvolí izolace příčin deformace (isolate cause of warpage), výsledky zobrazí rozdělení jednotlivých deformací na celkovou deformaci, deformaci vlivem smrštění, deformaci vlivem chlazení a deformaci vlivem orientace vláken (pokud polymer obsahuje plniva). Z výsledků potom lze vypočítat, co má na deformaci největší vliv a na co se případně v optimalizaci zaměřit. [36]



Obr. 23 Deformace – a) deformace vlivem smrštění, b) deformace vlivem orientace skelných vláken (materiál je plněný 30 % skelných vláken)

Deformace vlivem smrštění má opačný směr oproti deformaci vlivem orientaci vláken

#### 4.3.7 Vyhodnocení výsledků

Pro každou provedenou analýzu je vygenerován souhrn výsledků, který zobrazuje vstupy analýzy a výsledky každé fáze analýzy. Výsledky analýzy je třeba posoudit na základě zadaných kritérií od zadavatele výrobku. V případě, že některé z výsledků jsou nevyhovující, je zapotřebí se vrátit zpět k zadávaným parametrům a některé z nich poupravit, popřípadě upravit místa vtoku nebo trajektorie temperačních okruhů. Většina simulací není hotova hned na poprvé a je zapotřebí umět výsledky správně vyhodnotit a dále s nimi pracovat. Simulační programy se používají jako nástroj pro dosažení optimálních podmínek pro výrobu požadovaného dílu a záleží především na znalostech a zkušenostech obsluhy těchto programů. [27, 28]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V praktické části diplomové práce byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést konstrukci modelu zadané součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnosť.
- Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou s kusovníkem.



## 6 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Vstřikovaný díl slouží jako jeden z nosných prvků světlometu, je na něj napojena řada dalších dílů, a tudíž musí zabezpečit tuhost a pevnost sestavy. Z toho důvodu je výrobek opatřen značným počtem žebér. Orientační rozměry dílu jsou 238 x 140 x 60 mm a hmotnost dílu 175,8 g (dle analýzy).

Díl byl poskytnut firmou Hella, pro provedení optimalizace výroby pomocí softwaru Moldflow a následné konstrukce formy.



*Obr. 24 Vyráběný díl – pohled shora*



*Obr. 25 Vyráběný díl – pohled zespoda*

## 6.1 Materiál dílu

Díl je z materiálu s označením Ultradur B 4406 G6. Jedná se o polybutylentereftalát (PBT) plněný 30 % skelných vláken, které materiálu dodávají větší tuhost a pevnost. PBT je semikrystalický termoplast ze skupiny polyesterů. Vyznačuje se vysokou pevností, tuhostí a odolností proti tepelné deformaci a také velmi vysokou rozměrovou stabilitou. Dále má malou absorpci vlhkosti, odolnost vůči zabarvení a chemikáliím. Používá se pro konstrukční prvky nebo také v potravinářském průmyslu. Materiálový list viz. příloha P I. [37]

## 6.2 Požadavky na procesní parametry výroby

Od výrobního procesu se požaduje, aby nebyly překročeny následující parametry:

- Deformace výrobku – 0,65 mm.
- Čas vstřikovacího cyklu – 20 s.
- Tlak při vstřikování – 130 MPa.

Dále nesmí být překročeny parametry udávané materiálovým listem:

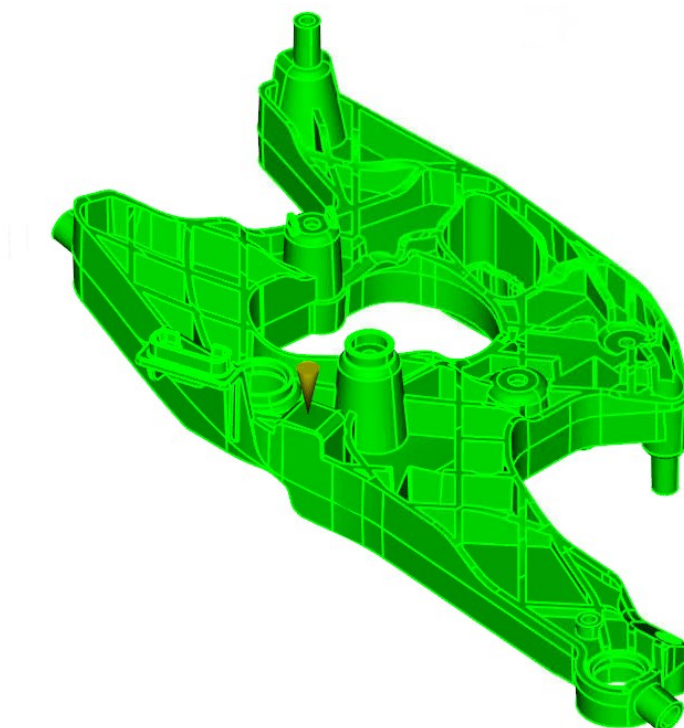
- Teplota vstřikovaného polymeru – 280 °C.
- Teplota formy – 100 °C.
- Teplota výrobku při odformování – 190 °C.
- Smyková deformace – 50 000 1/s.

## 7 SIMULCE VSTŘIKOVÁNÍ

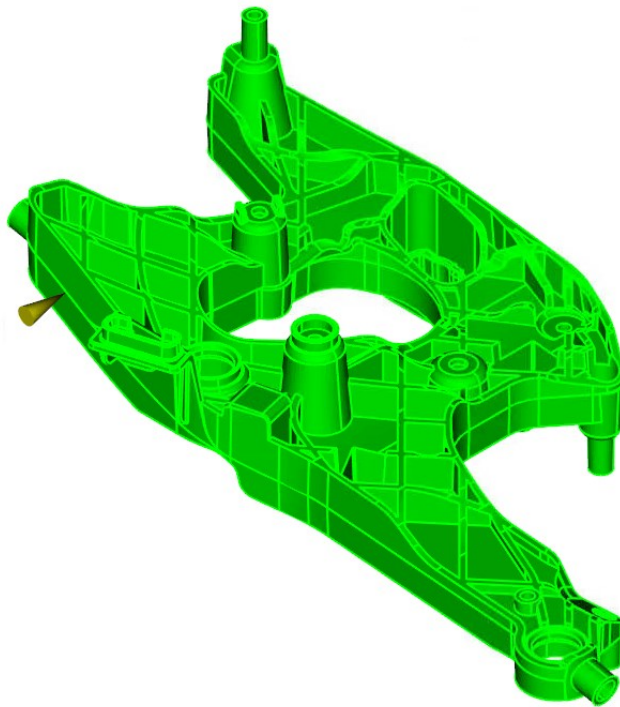
Pro vyráběný díl bylo provedeno několik analýz, jež se týkají především návržení optimálního umístění ústí vtoku, temperačních okruhů a porovnání změny materiálu na bočním odformování pro dosažení nižších deformací a teplot na tvarových částech. Po zvolení vtoku, temperace a vhodného materiálu tvarových částí, byla provedena optimalizace procesu tak, aby co nejlépe vyhovovala požadovaným parametrům, viz. odstavec 6.2. Veškeré analýzy byly prováděny v programu Moldflow 2021.2 (popis softwaru viz. odstavec 4.3).

### 7.1 Volba vtokového systému

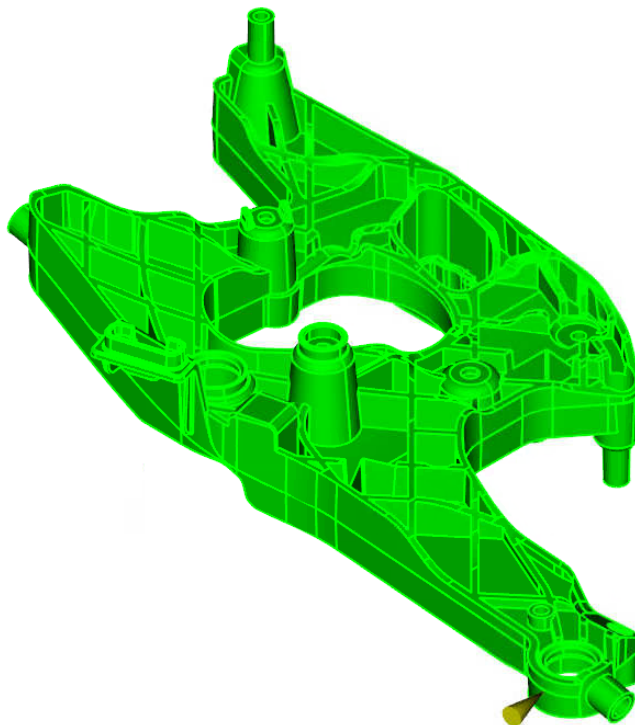
Pro volbu vtokového ústí byly navrženy 3 varianty. Vtok bude řešen pomocí horké trysky. Varianta a) počítá s umístěním horké trysky přímo do výrobku, a tudíž není zapotřebí studený vtokový systém. Varianta b) a také c) uvažuje umístění vtoku do dělicí roviny, proto by se muselo jednat o kombinaci horkého a studeného vtokového systému. U všech tří variant byly zadány stejné parametry pro analýzu.



Obr. 26 Vtokový systém varianta a), umístění horké trysky do dílu



*Obr. 27 Vtokový systém varianta b) umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku*



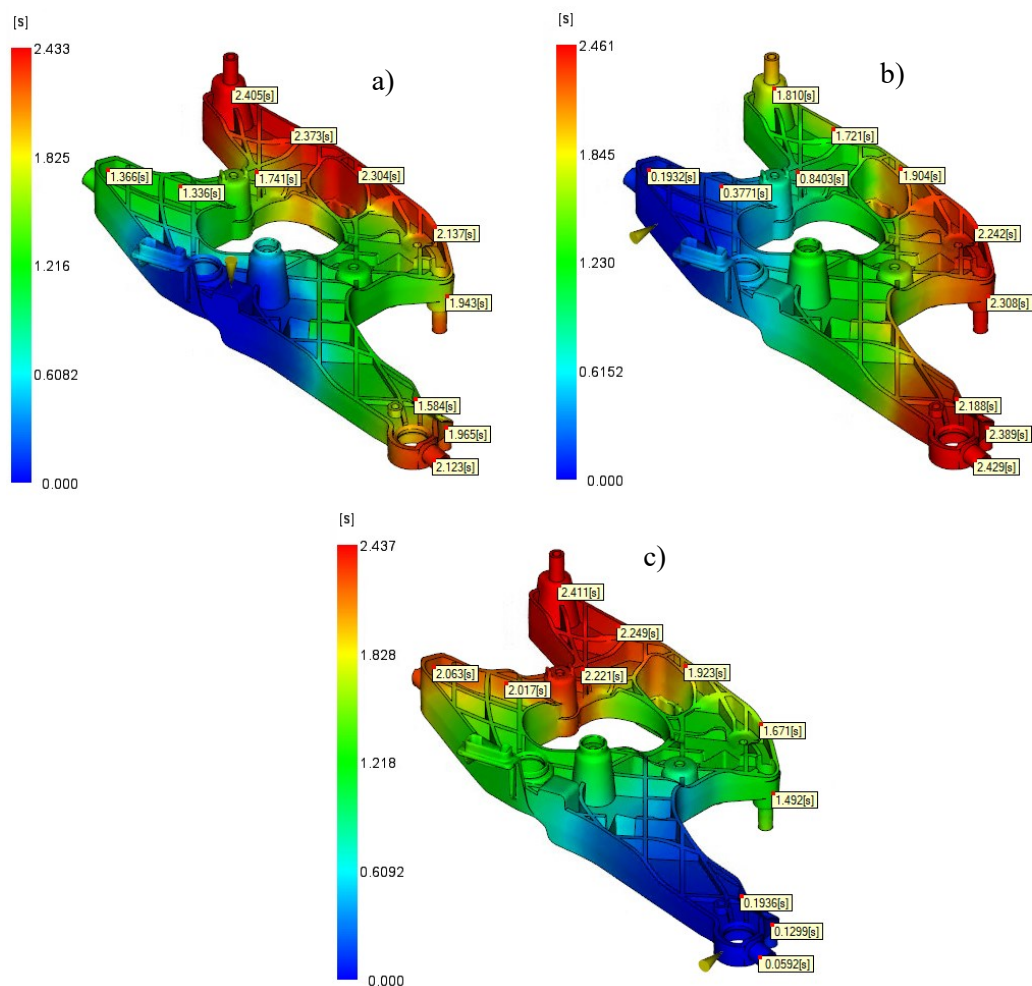
*Obr. 28 Vtokový systém varianta c) umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku*

### 7.1.1 Vstřikovací čas u tří variant vtokového ústí

U varianty a) nedochází k úplnému rovnoměrnému zaplnění formy. Převážně se jedná o levou horní část výrobku, zde je doba zaplnění téměř poloviční oproti pravé horní části, u níž je čas nejvyšší, a to 2.43 s. Délka plnění u levé dolní části je také nižší než u pravé horní části výrobku. Tam kde je čas plnění nižší a tavenina již nemá možnost téct, může vzniknout vysoký tlak a přeplnění části dutiny.

Varianta b) má plnění rovnoměrnější. Pravá a levá spodní část je zaplněna jako poslední a téměř současně. Problém s vyšším tlakem nebo přeplněním by mohl nastat u pravé horní části výrobku.

Varianta c) má plnění nejvíce rovnoměrné, jelikož vtok je umístěn v nejkrajnějším bodě součásti. Tavenina zde musí urazit nejdelší dráhu. Dochází zde k minimálnímu přeplnění materiálem.

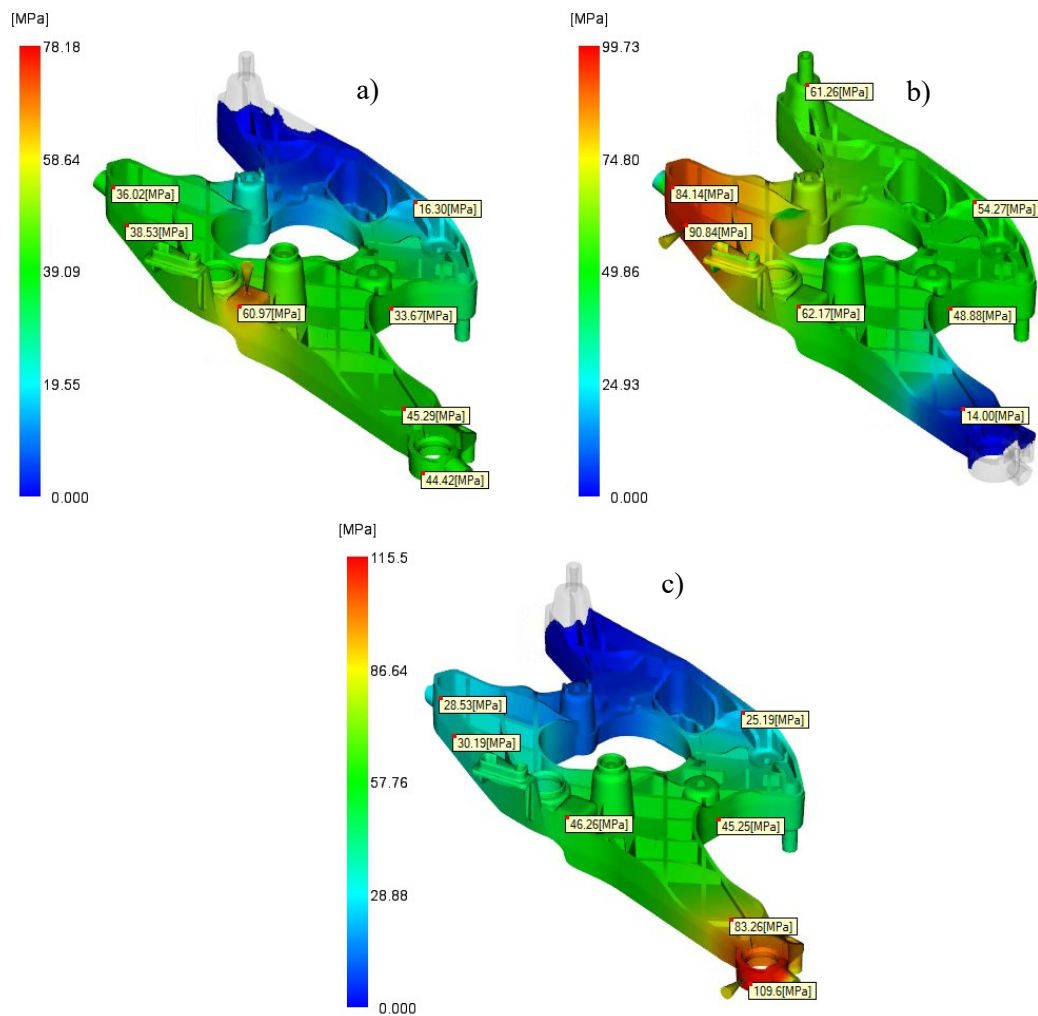


Obr. 29 Čas plnění u tří variant vtokového ústí

a) – umístění horké trysky do dílu, b) – umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku, c) – umístění tokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku

### 7.1.2 Vstřikovací čas u tří variant vtokového ústí

Varianta a) má nejnižší tlak při přepnutí na dotlak. U varianty b) a c) jsou tlaky příliš vysoké na to, že není ještě součástí celý vtokový systém. Varianta b) má tlak vyšší přibližně o 20 MPa a varianta c) o 35 MPa než varianta a). Varianta b) a c) výrazně překračují dovolenou hodnotu, která je dle pouček okolo 80 MPa. [34]

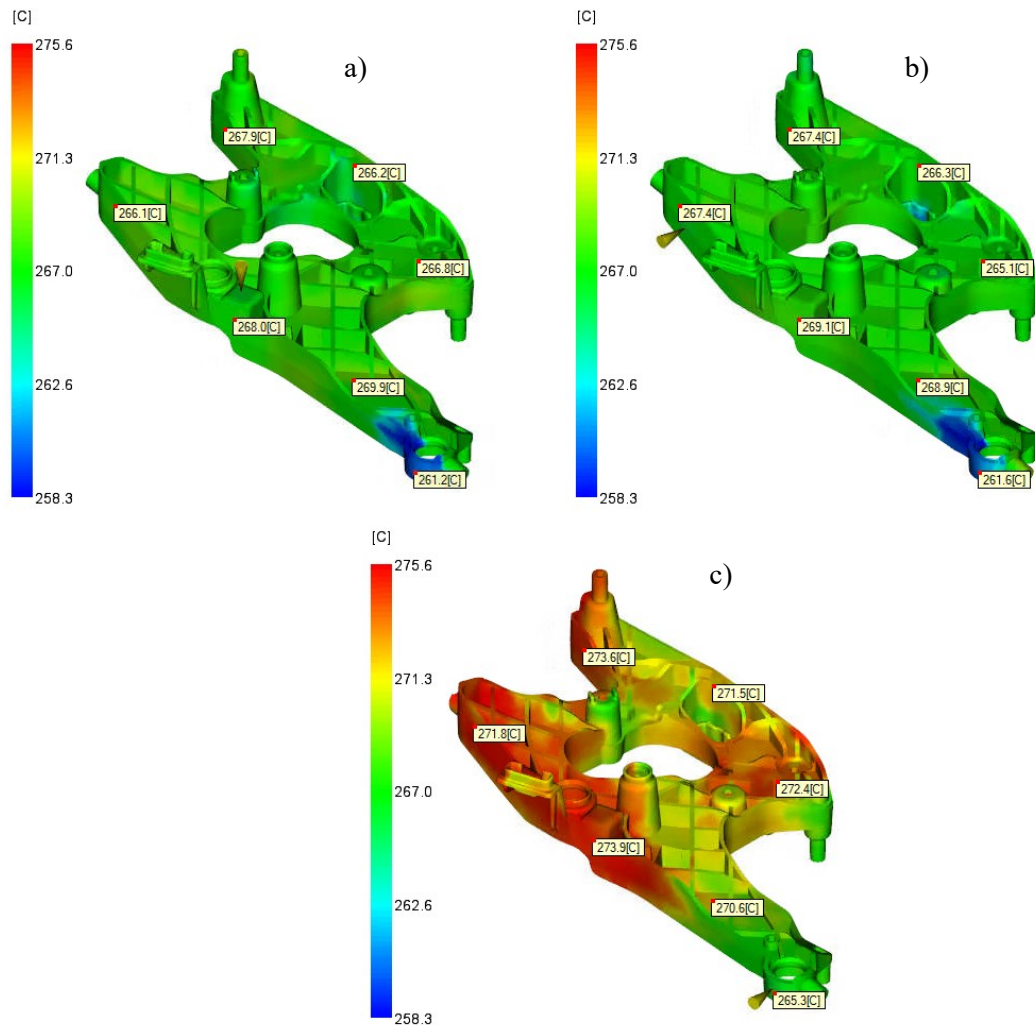


Obr. 30 Tlak při přepnutí na dotlak u tří variant vtokového ústí

a) – umístění horké trysky do dílu, b) – umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku, c) – umístění tokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku

### 7.1.3 Teplota čela taveniny u tří variant vtokového ústí

Teplota čela taveniny je výrazně vyšší v celém objemu u varianty c) než u variant a) a b). Toto je zapříčiněno délkou toku polymerní taveniny. Vyšší teplota čela taveniny může mít pozitivní vliv na studené spoje, kterých je na takto žebrovaném díle četně.



Obr. 31 Teplota čela taveniny u tří variant vtokového ústí

a) – umístění horké trysky do dílu, b) – umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku, c) – umístění tokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku

### 7.1.4 Zvolené vtokové ústí

Ze tří uvedených variant vtoků byla zvolena varianta a). Ta byla zvolena především kvůli nízkému vstřikovacímu tlaku a možnosti použít horkou uzavírací trysku. Tryska bude ústít přímo do dílu, přičemž nevznikne odpad z vtokového systému a nebude se tedy řešit jeho oddělování, ve formě či mimo ni. Dále je také možnost použít větší vtokové ústí díky

uzavírací trysce, což bude mít pozitivní vliv na tok polymerní taveniny i s ohledem na použití skelných vláken.

*Tab. 1 Porovnání hlavních parametrů pro volbu umístění vtokového ústí*

Varianta	Rovnoměrnost plnění	Tlak při přepnutí na dotlak [MPa]	Teplota čela taveniny [°C]	Vtokový systém
<b>a)</b>	<b>mírně horší než varianta b)</b>	<b>78,18</b>	<b>275,5</b>	<b>horký</b>
b)	horší než varianta c)	99,73	275,6	kombinovaný
c)	nejlepší	115,5	275,5	kombinovaný

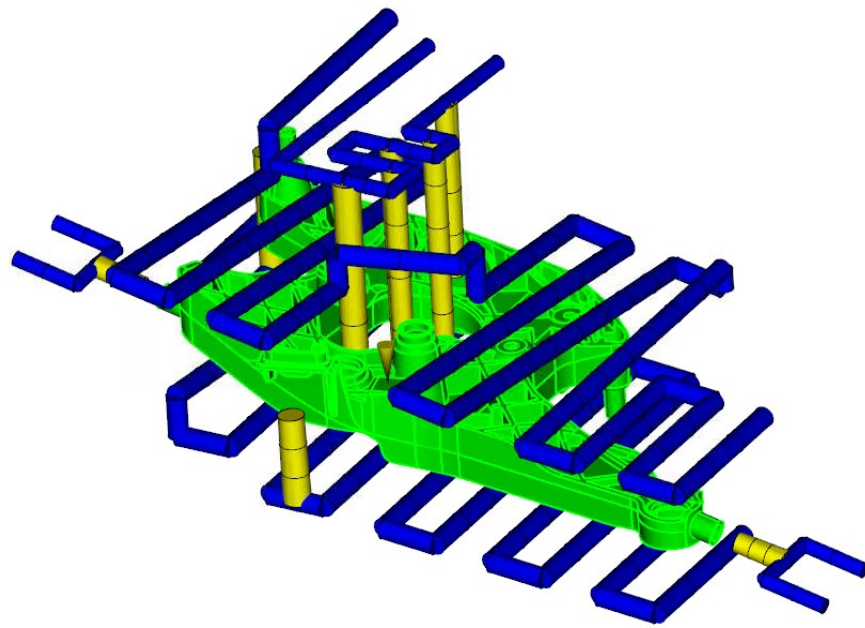
*Zvolená varianta je vyznačená tučně*

*a) – umístění horké trysky do dílu, b) – umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku, c) – umístění tokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku*

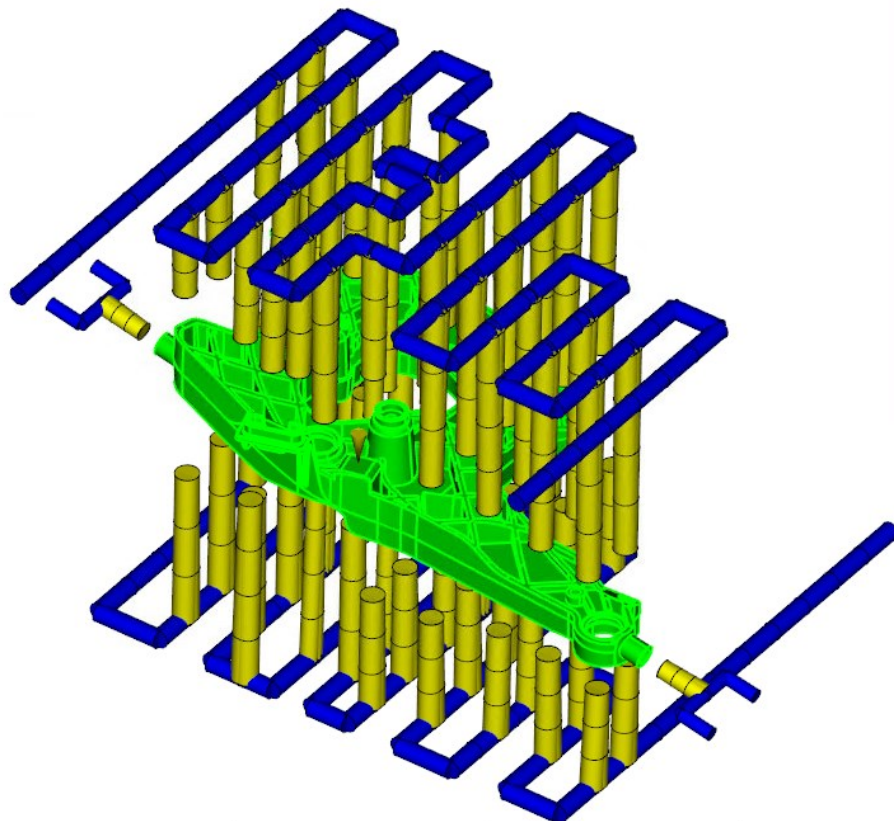
## 7.2 Volba temperačního systému

Pro volbu temperačního systému byly zvoleny dvě varianty. Varianta a) je převážně tvořena kanály kruhového průřezu a obsahuje malý počet přepážek. Temperačních okruhů je zde pět: jeden na temperaci tvárníku, dva na temperaci tvárnice a dva na temperaci bočních odformování. Tento okruh byl navržen tak, aby co nejlépe kopíroval tvar dílu a současně vytvořil co nejrovnoměrnější teplotní pole pro chlazení. Varianta b) je tvořena převážně přepážkami. Oproti variantě a) je jednodušší z hlediska vyrobitelnosti, jelikož se jedná pouze o vrtané kanály, které jsou vždy kolmé. Přepážky byly zvoleny s ohledem na tvar dílu, který lze snadno kopírovat pomocí jejich rozdílných délek. Pro obě varianty byly zvoleny stejné parametry výpočtu simulace a také obdobné vzdálenosti od povrchu výrobku.





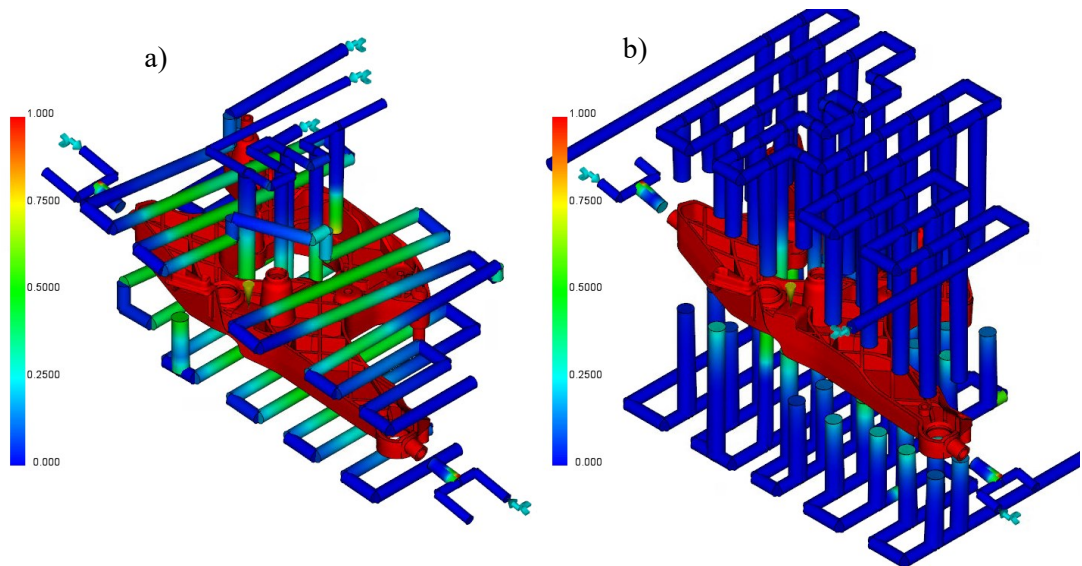
Obr. 32 Temperační systém varianta a), temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek



Obr. 33 Temperační systém varianta b), temperace výrobku převážně pomocí přepážek

### 7.2.1 Efektivita temperace u dvou variant temperací

Efektivita temperace je výrazně vyšší u varianty a), která má efektivitu okolo 50 % na velkých částech temperačních okruhů, na rozdíl od varianty b). Varianta b) má okolo 50 % účinnosti pouze na některých vrcholcích přepážek a nedochází tak k ideálnímu teplotnímu poli, i když jsou vzdálenosti od povrchu dílu přepážek v přibližně stejné vzdálenosti.

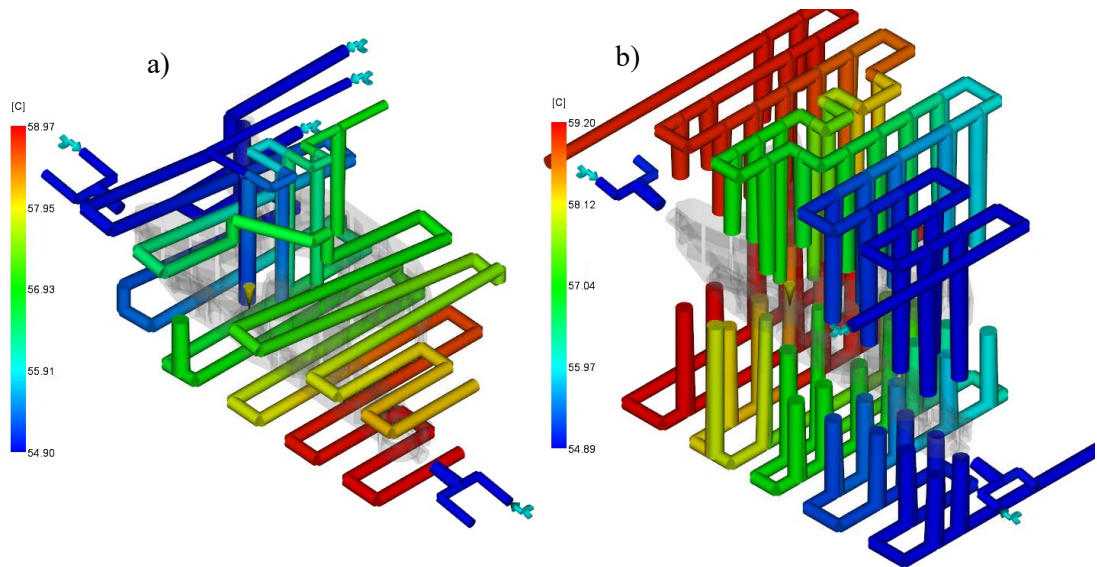


Obr. 34 Efektivita temperace u dvou variant temperací

- a) – temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek,  
b) – temperace výrobku převážně pomocí přepážek

### 7.2.2 Teplota temperace u dvou variant temperací

Teplota temperačního média je u obou variant temperací obdobná, pohybuje se od cca 55 °C, což je zadaná hodnota, až po cca 59 °C. Ačkoli u varianty b) urazí temperační médium větší vzdálenost, nedojde oproti variantě a) k výrazné teplotní změně (rozdíl 0,2 °C).

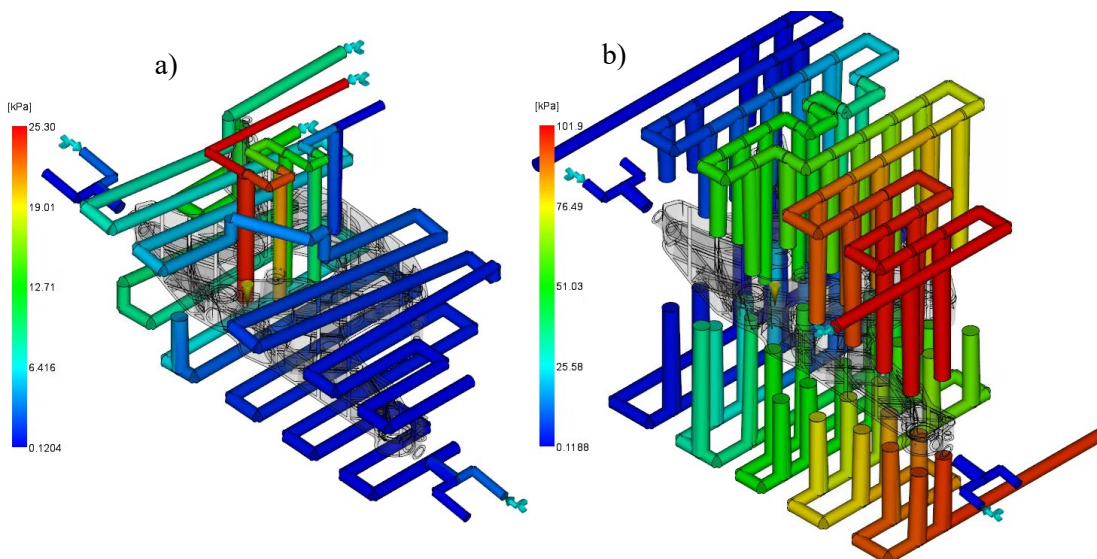


Obr. 35 Teplota temperačního média u dvou variant temperací

- a) – temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek,  
 b) – temperace výrobku převážně pomocí přepážek

### 7.2.3 Tlak temperace u dvou variant temperací

Varianta temperačního okruhu b) má výrazně vyšší tlak (přibližně 4x) než varianta a). Je to způsobeno především dlouhou dráhou toku a také počtem přepážek. Tlak u varianty b) lze snížit rozdělením temperačních okruhů u tvárníku i tvárnice na dva.



Obr. 36 Tlak temperace u dvou variant temperací

- a) – temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek,  
 b) – temperace výrobku převážně pomocí přepážek

### 7.2.4 Zvolený temperační okruh

Ze dvou uvedených okruhů byla zvolena varianta a), především díky viditelně vyšší efektivitě temperace a také výrazně nižšímu tlaku. S tímto temperačním okruhem se bude počítat i v následujících analýzách. Konkrétní provedení temperačních okruhů je uvedeno v odstavci 8.2.2.

Tab. 2 Porovnání hlavních parametrů pro volbu temperačního okruhu

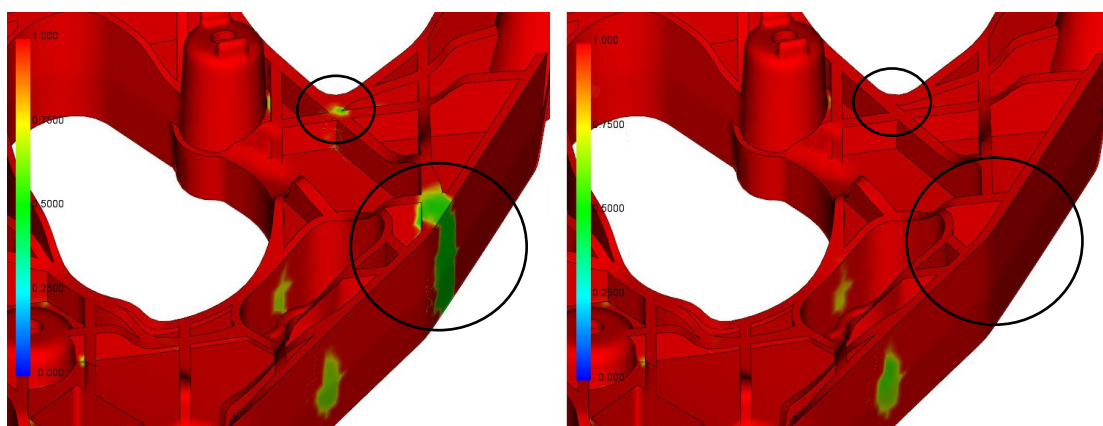
Varianta	Přibližná průměrná efektivita [%]	Maximální teploty na vstupu a výstupu temperačního okruhu [°C]	Tlak v temperačním okruhu [kPa]
<b>a)</b>	<b>30</b>	<b>54,90 - 58,97</b>	<b>25,3</b>
b)	20	54,89 - 59,20	101,3

*Zvolená varianta je vyznačená tučně*

- a) – temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek,  
 b) – temperace výrobku převážně pomocí přepážek

### 7.3 Úprava vyráběného dílu na základě chlazení

Z výsledků chlazení byla zjištěna místa s nejdelším časem tuhnutí, viz. Obr. 37. Ta nejsou v souladu s obecnými poučkami konstrukce plastových dílů a výrazně se liší tloušťkou od okolních částí (žeber) výrobku. Úprava žeber výrazně ovlivní čas chlazení polymeru v daném místě.



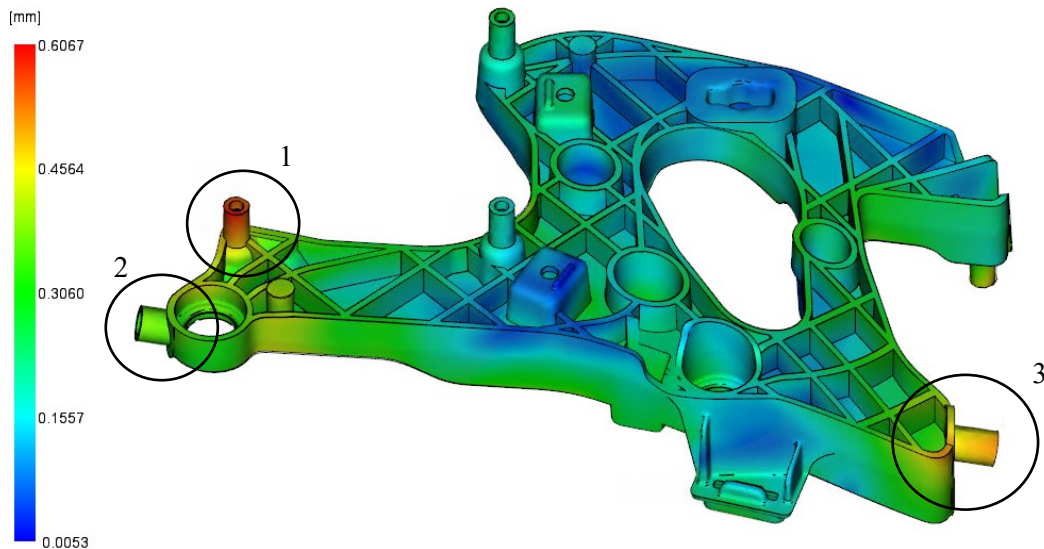
Obr. 37 Tuhnutí polymeru v čase 7,6 s

*V levé části obrázku je výrobek s neupravenými a v pravé části s upravenými žebry*

### 7.4 Volba materiálu částí formy

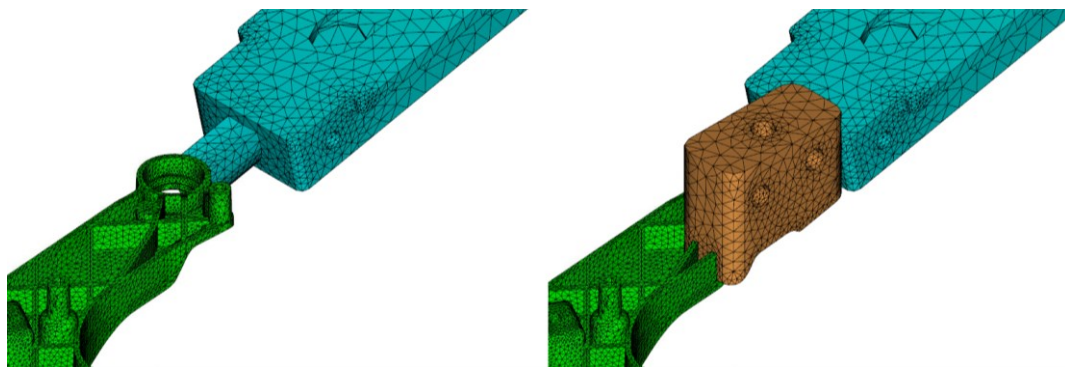
Ze zvolené analýzy temperace byly zjištěny předběžné výsledky deformace dílu. Pro daný materiál je dle tabulkových hodnot kompenzace smrštění materiálu 0,7 %. Tato

hodnota byla použita také při zobrazení výsledku, a díky tomu lze lépe predikovat, které části dílu se budou deformovat. Nejvíce se výrobek deformuje v označené oblasti 1 a dále v místech bočních odformování (oblast 2 a 3), viz. *Obr. 38*.



*Obr. 38 Deformace dílu z analýzy zvolené temperace*

Pro možnost zmírnění vlivu deformace a menší tepelné namáhání byly provedeny dvě simulace. První měla boční odformování i části formy (tvárník a tvárnice) z materiálu s označením Tool steel p-20 (nástrojová ocel, EN 1.2311). Do druhé simulace byla navržena, v místě největší deformace (oblast 1, *Obr. 38*), tvarová vložka z materiálu s označením AMPCOLOY 88. Z tohoto materiálu se zhotovila také obě boční odformování. Zbylé části formy, tvárník a tvárnice, byly zvoleny z materiálu Tool steel p-20. Výsledky simulací se porovnaly a následně byl zvolen materiál, který se použil na jednotlivé části formy. Tvárník a tvárnice byly pro přehlednost výsledků zneviditelněny. Materiál AMPCOLOY 88 má oproti materiálu Tool steel p-20 téměř 7 x lepší tepelnou vodivost. Vlastnosti materiálu AMPCOLOY 88 jsou uvedeny v příloze P II a vlastnosti materiálu Tool steel p-20 v příloze P III.



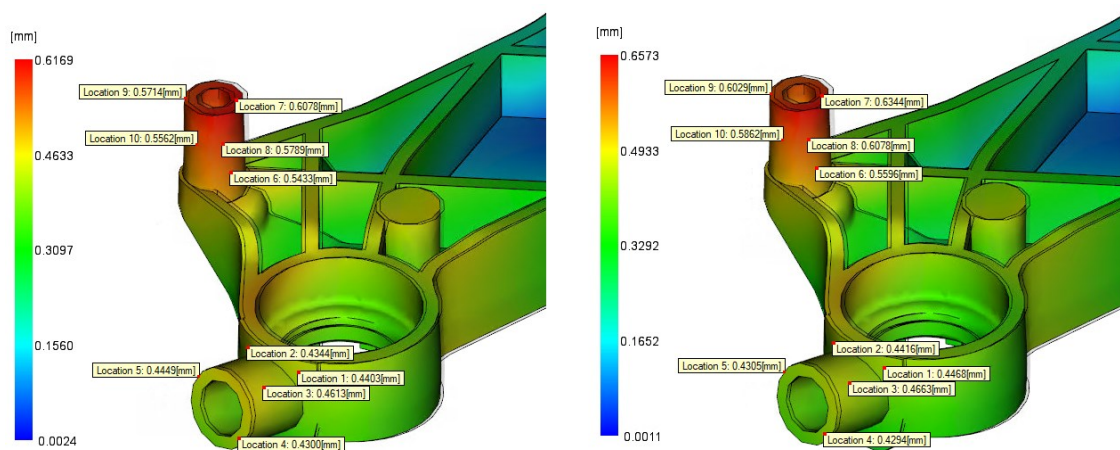
Obr. 39 Umístění tvarové vložky

Na obrázku vlevo je vyobrazená síť výrobku a bočního odformování bez tvarové vložky a napravo je zobrazená síť s tvarovou vložkou

#### 7.4.1 Deformace v oblastech bočního odformování a tvarové vložky

Deformace byly zjišťovány pouze v oblastech bočních odformování a tvarové vložky. Výsledky deformace jsou zobrazeny s kompenzací smrštění 0,7 %. Měřítko deformace je 1:1.

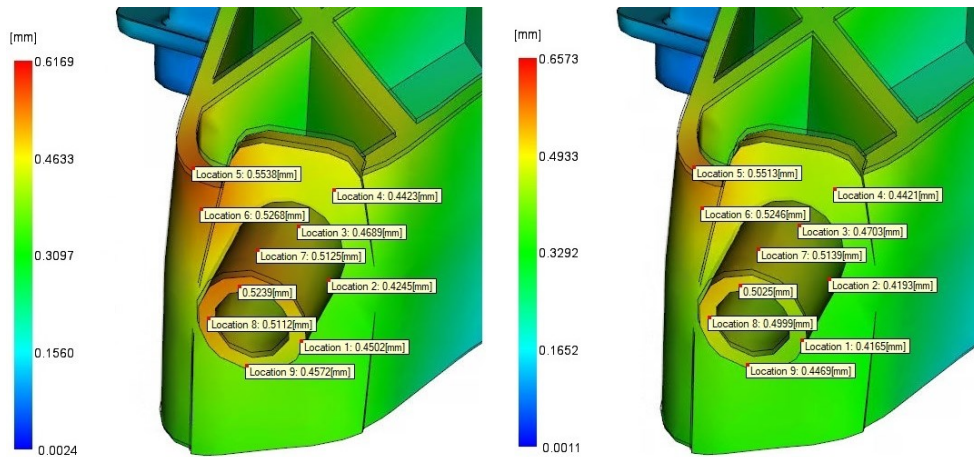
Z výsledků simulace vyplývá, že tvarová vložka má na deformaci spíše negativní vliv. V oblasti její lokalizace je deformace vyšší přibližně o 0,03 mm než v místech simulace bez ní. V oblastech bočního odformování 1 má změna materiálu na deformaci pozitivní vliv, ale pouze v řádech setin až tisíci milimetru.



Obr. 40 Deformace v oblasti bočního odformování 1 a tvarové vložky

Vlevo se nachází výsledek beze změny materiálu a tvarové vložky, vpravo pak výsledek se změnou materiálu a tvarovou vložkou

V oblasti bočního odformování 2 má změna pozitivní vliv, ale pouze v setinách a tisícinách milimetru, stejně jako v oblasti bočního odformování 1. Rozdíly v deformacích z provedených simulací jsou téměř zanedbatelné a nemají vliv na výsledné vlastnosti dílu.



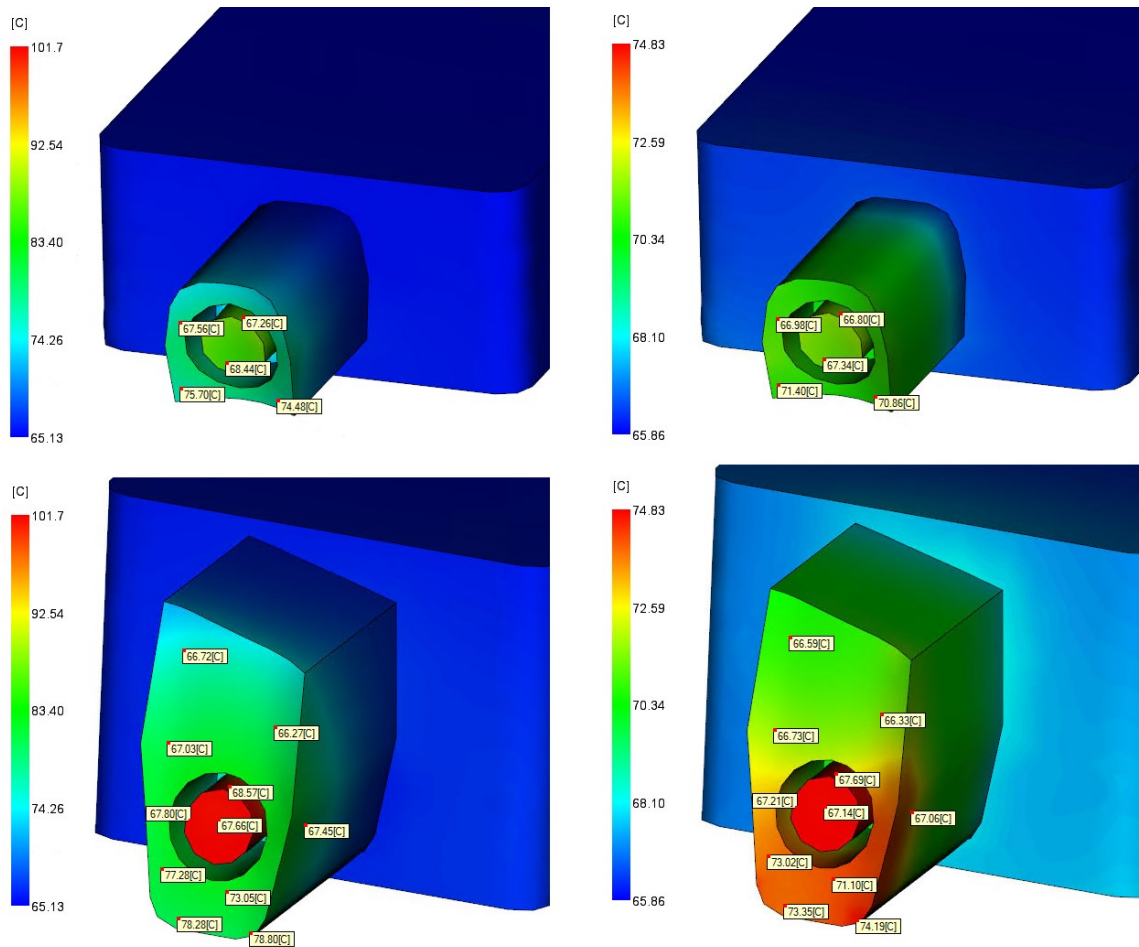
Obr. 41 Deformace v oblasti bočního odformování 2

*Vlevo se nachází výsledek beze změny materiálu a tvarové vložky, vpravo pak výsledek se změnou materiálu a tvarovou vložkou*

#### 7.4.2 Teplota v oblastech bočního odformování a tvarové vložky

Teplota byla zjišťována na částech bočních odformování a tvarové vložky, které jsou v přímém kontaktu s taveninou při vstřikování výrobku. Teplota částí formy by měla být dle materiálového listu do 100 °C.

Z výsledku analýz je patrné, že změna materiálu má na teplotu bočních odformování výrazný vliv. Při použití materiálu Tool steel p-20 pro boční odformování je teplota přibližně o 26 °C vyšší než při použití materiálu AMPCOLOY 88, viz. Obr. 42. Nižší teplota má vliv na menší namáhání bočních odformování. Maximální teplota, při použití materiálu Tool steel p-20, překračuje požadovanou jen o 1 °C, a ta se nachází pouze na nepatrné části bočních odformování. Z toho důvodu lze říct, že i za použití tohoto materiálu teplota vyhovuje požadovaným parametrům.

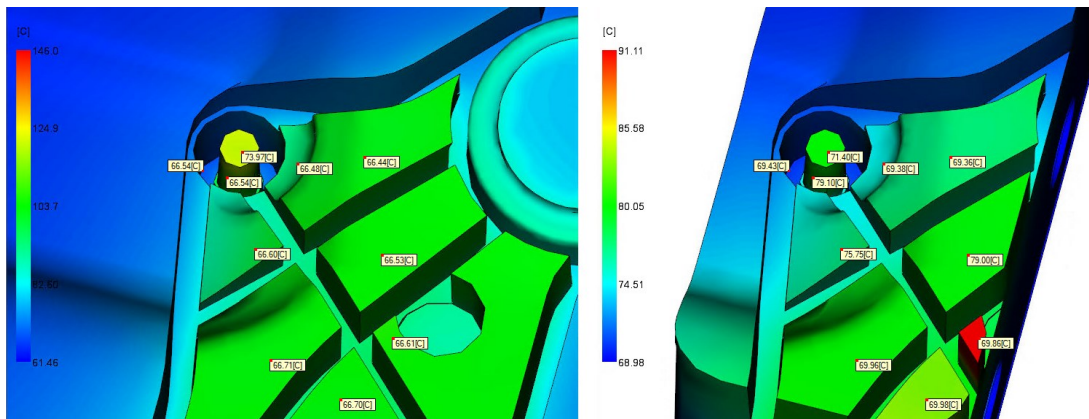


*Obr. 42 Teplota na bočních odformování*

*Vlevo se nachází výsledek beze změny materiálu a tvarové vložky, vpravo pak výsledek se změnou materiálu a tvarovou vložkou*

Na *Obr. 43* vlevo je vyobrazena část tvárníku a vpravo tvarová vložka v daném místě. Teplota tvarové vložky je nižší tam, kde dochází k vyšší deformaci dílu, ale v ostatních částech je teplota spíše vyšší než u tvárníku. Porovnávané teploty z obrázku se liší v jednotkách stupňů, a tudíž lze říct, že tvarová vložka nemá na teplotu příliš významný vliv.





Obr. 43 Teplota tvárníku a tvarové vložky

Na levé straně je zobrazen tvárník a na pravé tvarová vložka, která v dané části zastupuje funkci tvárníku

### 7.4.3 Zvolený materiál

Pro boční odformování, tvárník i tvárnici byl zvolen materiál s označením Tool steel p-20. Pro následnou simulaci a konstrukci formy nebude počítáno s tvarovou vložkou. Materiál s označením AMPCOLOY 88 neměl na boční odformování významný vliv. Deformace s tímto materiálem byly menší, ale pouze v setinách milimetru, což je pro výslednou deformaci zanedbatelné. Dále měl tento materiál pozitivní vliv na teplotu povrchu bočních odformování, kterou snížil přibližně o 26 °C. Při použití materiálu Tool steel p-20 byla teplota vyšší, ale pořád v požadovaném rozmezí. Z těchto důvodů není nutné použít materiál s lepší tepelnou vodivostí (AMPCOLOY 88). Tvarová vložka je pro dané použití spíše nevhodná, jelikož zvyšuje deformaci (pouze v řádech setin milimetru), a také je na částech jejího povrchu vyšší teplota než na povrchu samostatného tvárníku bez tvarové vložky.

Tab. 3 Porovnání hlavních parametrů pro volbu materiálů částí formy

Materiál	Maximální deformace [mm]	Maximální teploty na tvarových částech [°C]
<b>Tool steel p-20</b>	<b>0,6169</b>	<b>101,7</b>
AMPCOLOY 88	0,6573	74,83

Zvolený materiál pro tvárník, tvárnici a obě boční odformování je vyznačen tučně

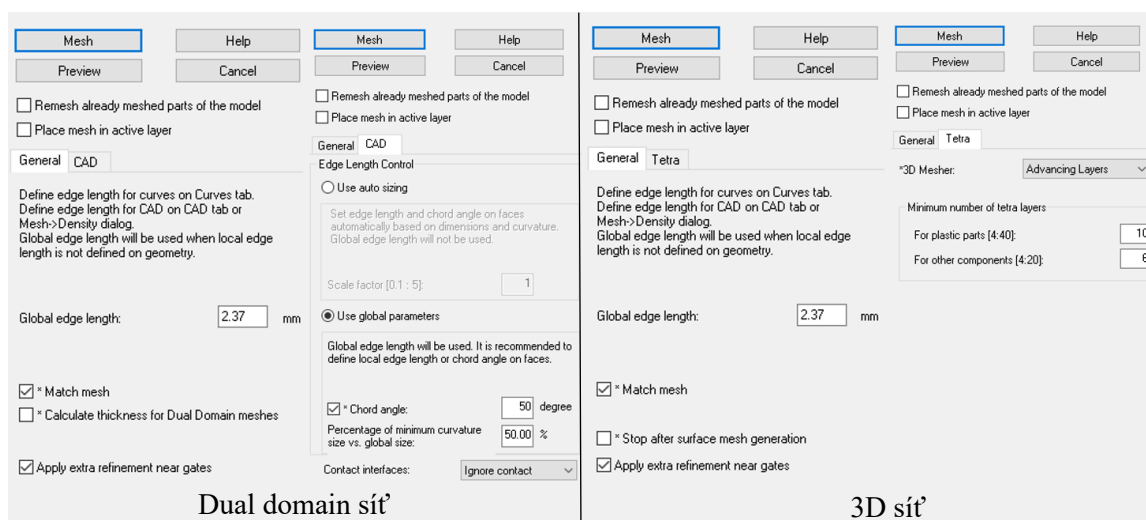
## 8 OPTIMALIZACE PROCESNÍCH PARAMETRŮ SIMULACE

Pro výslednou optimalizaci procesních parametrů bylo zvoleno vtokové ústí a temperace varianta a) a pro boční odformování, tvárník a tvárnici byl vybrán materiál s názvem Tool steel p-20. Pro zpřesnění výsledků se do simulace vložily již zmíněné části formy, jejichž přidáním lze lépe simulovat teplotní procesy při vstřikování.

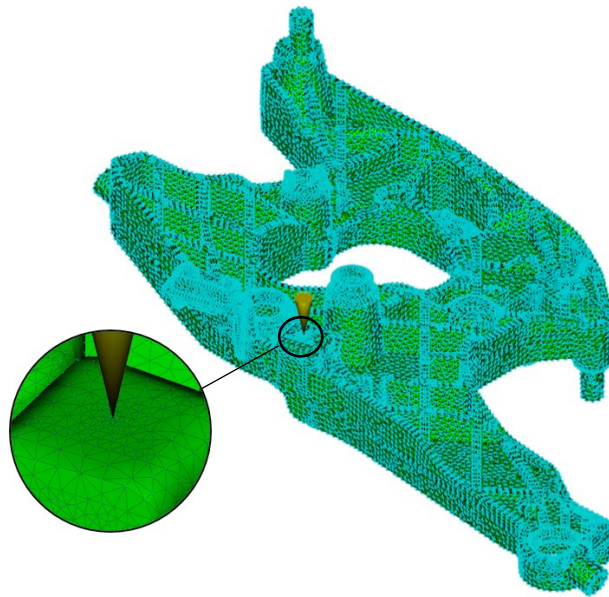
### 8.1 Tvorba sítě

Pro výpočet byla zvolena 3D síť, u které lze dosáhnout lepších výsledků než u sítě dual domain, jelikož počítá s tokem polymeru i po jeho průřezu, nikoliv jen po jeho povrchu. Pro tvorbu sítě výrobku se vybrala velikost elementu 2,37. Pro tvorbu sítě tvárníku, tvárnice a bočních odformování byla zvolena velikost elementu 2,37 pro plochy, které jsou v kontaktu s taveninou a temperačním systémem a 15 pro zbylé plochy.

Na Obr. 44 jsou zobrazeny parametry pro tvorbu sítě. Jako první byla vytvořena síť dual domain o velikosti elementu sítě 2.37. Bylo zatrhnuté políčko Match mesh, které zajistí stejnou orientaci protilehlých elementů na povrchu sítě. Dále byla zjmeněna síť u ústí vtoku (Apply extra refinement near gates), což je vidět v detailu na Obr. 45. Dále se změnil v geometrii sítě úhel, který můžou svírat sousední elementy (Chord angle) na  $50^\circ$ , čím se docílí lepšího vysítování u rádiusů. Ze sítě dual domain se vytvořila 3D síť o stejné velikosti elementu a také s funkcí Match mesh a Apply extra refinement near gates. Počet vrstev tetrahedronů na průřezu byl pro díl zvolen 10.

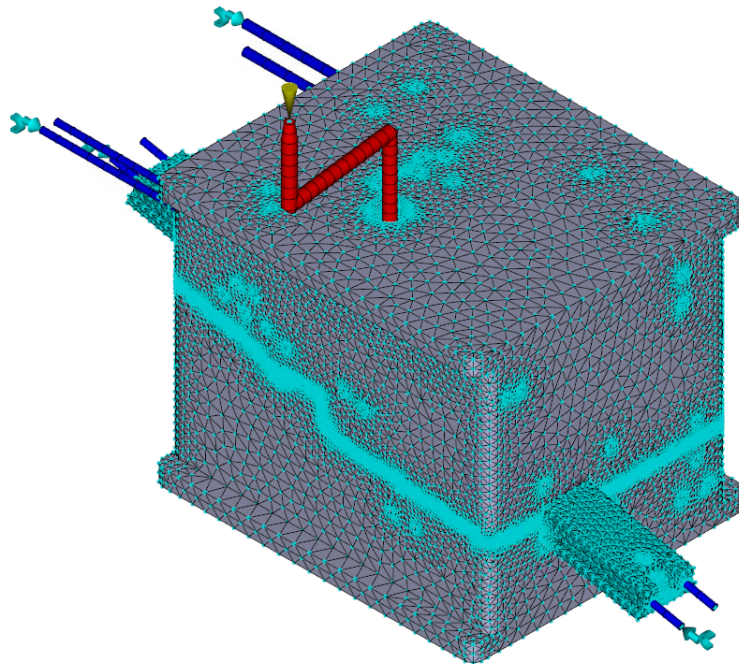


Obr. 44 Nastavené parametry sítě



*Obr. 45 Síť dílu*

Do simulace byli vloženy tvárník, tvárnice a dvě boční odformování pro zpřesnění výsledků. Tvárníku i tvárnici byla dána funkce Mold block, a tudíž simulují funkci formy. Bočnímu odformování se přidělila funkce Mold insert, která simuluje funkci tvarových vložek nebo pohyblivých částí formy.



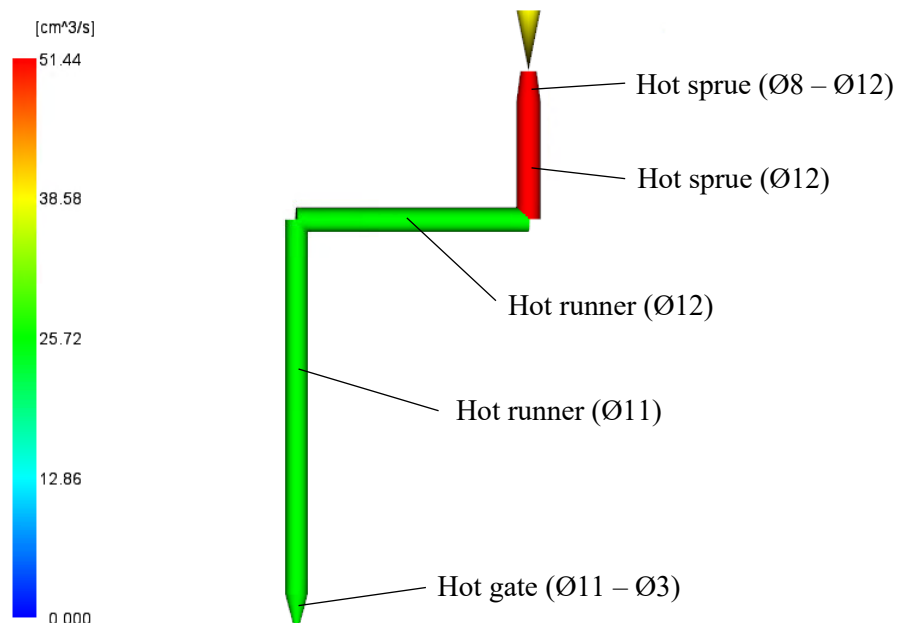
*Obr. 46 Síť částí formy*

## 8.2 Vtokový a temperační systém

Vtokový a temperační systém byl zvolen v předchozích kapitolách. Ve výsledné simulaci se pro dané systémy navrhovaly optimální procesní parametry.

### 8.2.1 Vtokový systém

I když se jedná o dvojnásobnou formu, simulace byla počítána pouze s jednou dutinou. Druhá dutina se nahradila pomocí zdvojení částí vtokového systému. Všechny části vtokového systému, které by zde měly být 2x, dostaly funkci Occurrence number 2. Ta počítá s tím, že jsou zvolené části vtokového ústí obsaženy 2x, a tudíž se vstupní průtok polymerní taveniny rozdělí. Na *Obr. 47* je zobrazený průtok vtokovým systémem v čase 1,49 s a je patrné, že na vstupu je průtok přibližně  $51 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Na části, kde by mělo dojít k rozdělení na dva kanály je průtok poloviční. Dále jsou na *Obr. 47* uvedeny vlastnosti a rozměry vtokového systému.



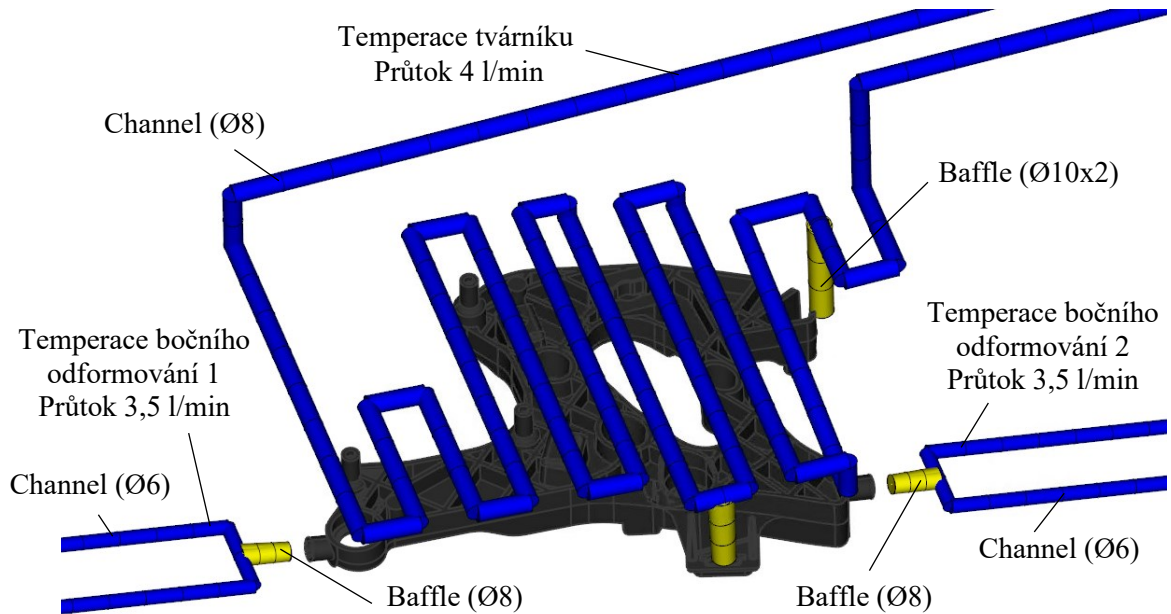
*Obr. 47 Průtok vtokovým systémem a jeho nastavení v Moldflow*

### 8.2.2 Temperační systém

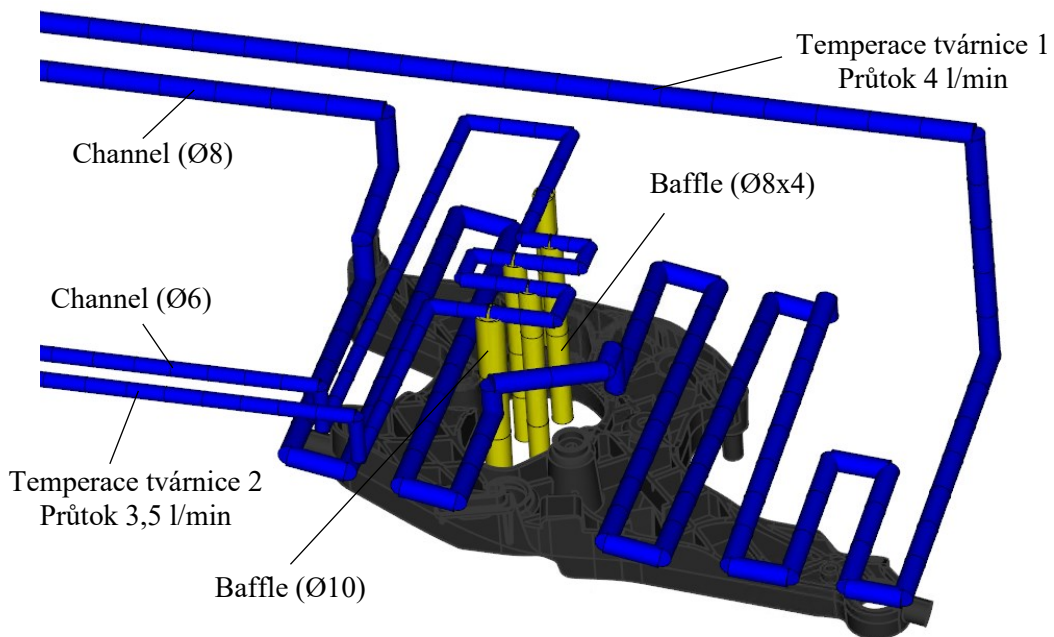
Temperační systém sestává z pěti temperačních okruhů na jednu dutinu (celkem deset). Jeden temperační okruh se nachází v tvárníku, dva v tvárnici a jeden v každém ze dvou bočních odformování. I když je celkový počet okruhů na formu deset, jsou zapotřebí pouze tři temperační jednotky. První bude mít na starost chlazení dvou tvárníků a jednoho okruhu ve dvou tvárnících, další jednotka druhý okruh ve dvou tvárnících a třetí bude

obstarávat čtyři boční odformování. Jednotlivé temperační okruhy, jejich rozměry a průtoky jsou uvedeny na *Obr. 48* a *Obr. 49*. Teploty veškerých temperačních okruhů jsou nastaveny na 66 °C.

Temperační kanály byly zvoleny o průměru 8 a 6 mm. Vzdálenost kanálů od dutiny formy se pohybuje od dvojnásobku po trojnásobek jejich průměru a rozteč kanálů je okolo trojnásobku průměru kanálu. [10]



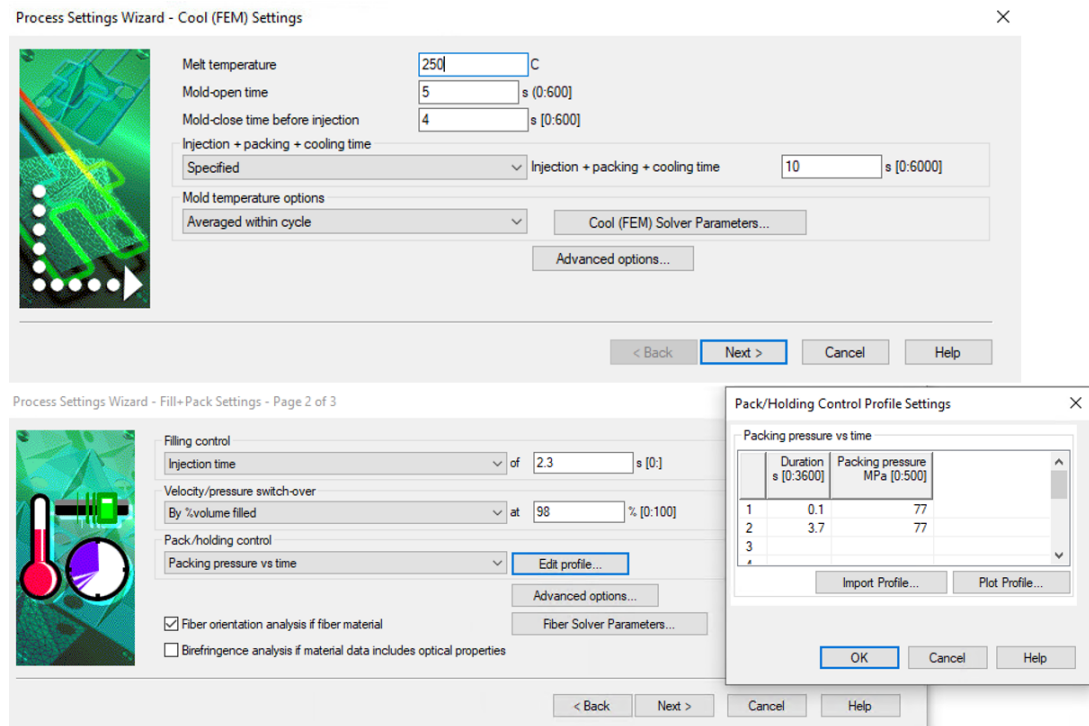
*Obr. 48* Temperace tvárníku a bočních odformování a jejich nastavení v Moldflow



*Obr. 49* Temperace tvárnice a jejich nastavení v Moldflow

### 8.3 Optimalizované procesní parametry

Optimální procesní parametry jsou zobrazeny na *Obr. 50*. Tyto parametry byly zvoleny na základě řady provedených simulací, a dále se zjišťoval především vliv teplot, tlaků a deformací.



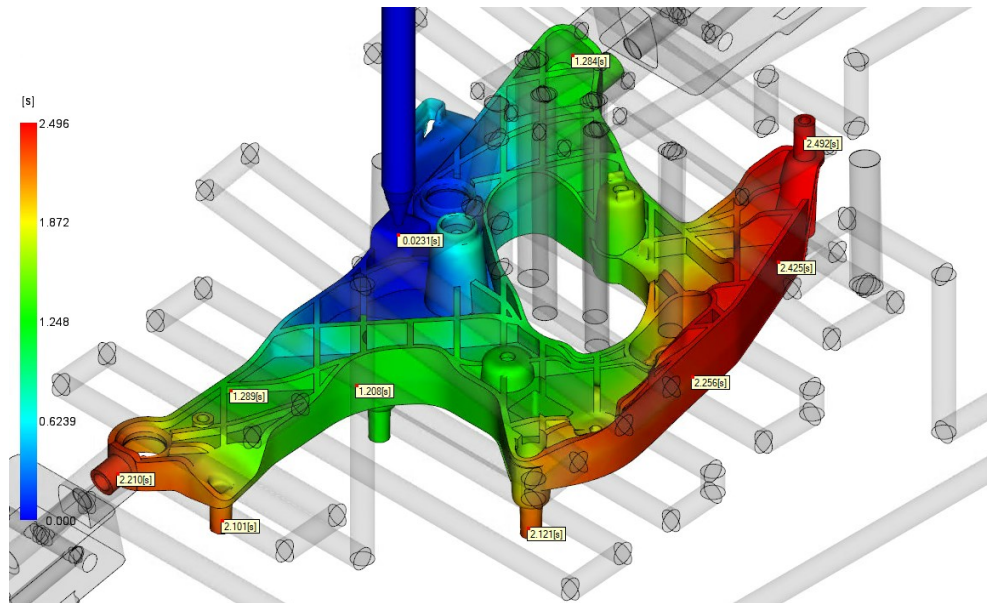
*Obr. 50 Nastavení procesních parametrů*

### 8.4 Výsledky simulace

Výsledná simulace nejlépe odpovídá zadaným parametrům. Simulace poskytuje značné množství různých výsledků. Pro interpretaci byly zvoleny pouze klíčové výsledky, které souvisejí se zadanými parametry, materiálovým listem nebo souvisejí s konstrukcí formy a návrhem vstřikovacího stroje.

#### 8.4.1 Čas plnění

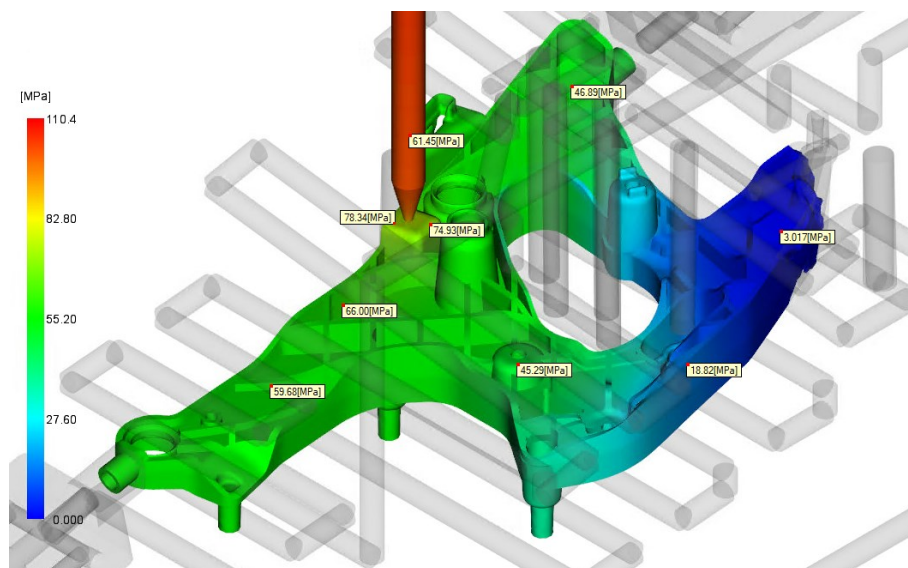
Čas plnění je důležitou veličinou z hlediska délky cyklu a průtoku materiálu. V tomto případě je čas plnění přibližně 2,5 s a zabírá v celkové délce cyklu malou část. Z výsledku na *Obr. 51* je vidět, ve kterých místech je výrobek zaplněn nejpozději (červená oblast), tyto místa mohou být více náchylná na deformace nebo na nedotoky.



Obr. 51 Čas plnění (fill time)

#### 8.4.2 Tlak při přepnutí na dotlak

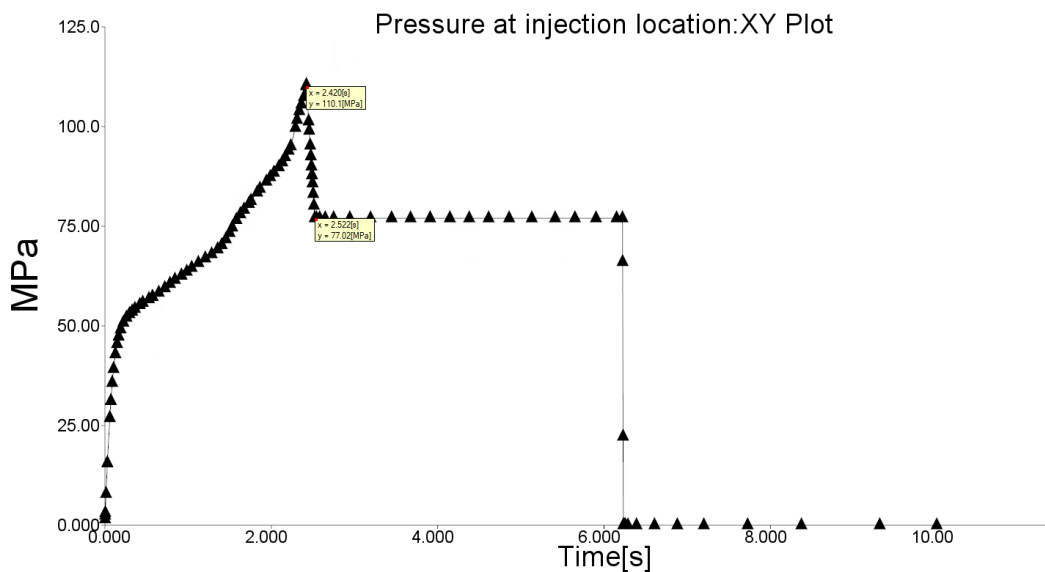
V tomto čase zpravidla nastává největší dosažený tlak při vstřikování. Maximální hodnota tlaku je zde přibližně 110 MPa, a tudíž není překročen požadovaný maximální tlak, který byl určen 130 MPa. Největšího tlaku je zde dosaženo v oblasti vtokového systému a s rostoucí vzdáleností od něj tlak klesá. Z Obr. 52 je vidět, že při přepnutí na dotlak je zaplněno 98 % dutiny formy, dle zadání v procesních parametrech, jelikož v modré oblasti dílu není dutina zcela zaplněna. Tlak v dutině se pohybuje do 80 MPa. Maximální tlak by se dal snížit zvýšením teploty taveniny, ale tím by se teplota dostala na kritickou hranici.



Obr. 52 Tlak při přepnutí na dotlak (pressure at V/P switchover)

### 8.4.3 Průběh tlaku u vtokového ústí

Na Obr. 53 je uveden graf průběhu tlaku v místě ústí vtoku. Z grafu je patrné, že s průběhem plnění dutiny roste tlak v místě vtoku. Maximální hodnoty nabyde v okamžiku přepnutí na dotlak, a to 110 MPa. Dotlak je nastaven na 77 MPa a působí po dobu 3,7 s, což je čas, kdy přestane mít vliv na kompenzaci plnění dutiny formy a dle analýzy již nijak neovlivní hmotnost vyráběného dílu. Po skončení dotlaku je tlak v místě ústí vtoku nulový až do začátku dalšího cyklu.

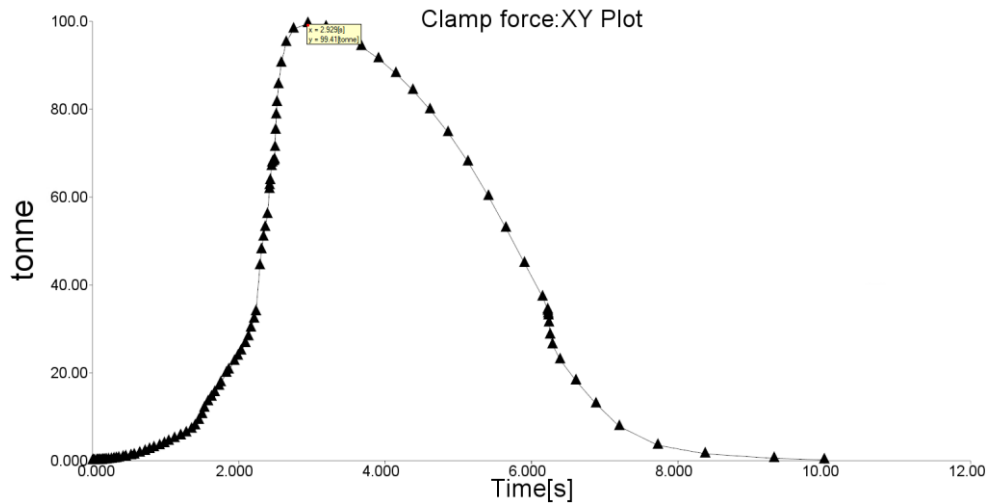


Obr. 53 Průběh tlaku v místě ústí vtoku (pressure at injection location)

### 8.4.4 Průběh uzavírací síly

Průběh uzavírací síly je důležitý z hlediska volby vstřikovacího stroje. Ten by měl mít uzavírací sílu vyšší (minimálně o bezpečnost), než je vypočítána ze simulace, což může být například 30 % z maximální uzavírací síly. Z grafu na Obr. 54 vyplývá, že maximální dosažená uzavírací síla je přibližně 100 tun, což je po zaokrouhlení 980,1 kN. Tato síla souvisí s průběhem tlaku v dutině formy. Z grafu lze vyčíst, že s průběhem plnění roste tlak i uzavírací síla a jejich maxima je dosaženo ve stejný čas.

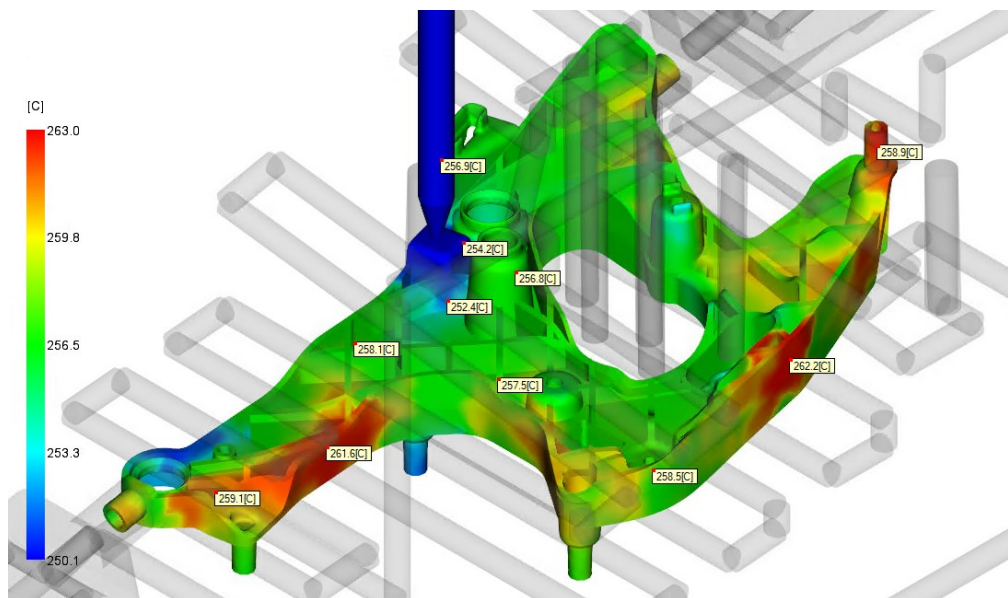




Obr. 54 Průběh uzavírací síly (clamp force)

#### 8.4.5 Teplota na čele taveniny

Tento výsledek udává teplotu na čele taveniny v jednotlivých částech dílu. Díky tomu lze například lépe vyhodnotit studené spoje, jelikož nám tento výsledek ukáže, za jaké teploty došlo ke spojení dvou čel taveniny. Také tento výsledek ukáže rozdíl mezi zadanou teplotou na vstupu (250 °C) a skutečnou teplotou, za jaké bude díl plněn. V tomto případě dosáhne čelo taveniny maximální hodnoty 263 °C.

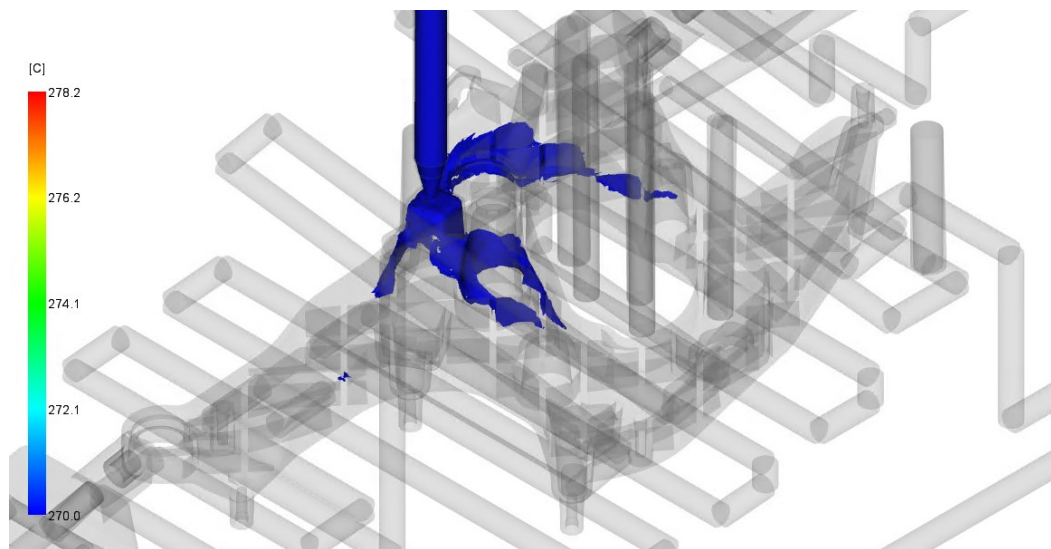


Obr. 55 Teplota čela taveniny (temperature at flow front)

#### 8.4.6 Teplota

Tento výsledek vyobrazuje teplotu polymeru v čase a je zásadní pro zjištění jejího maxima, které polymer nesmí překročit. V tomto případě polymer dosáhne maximální

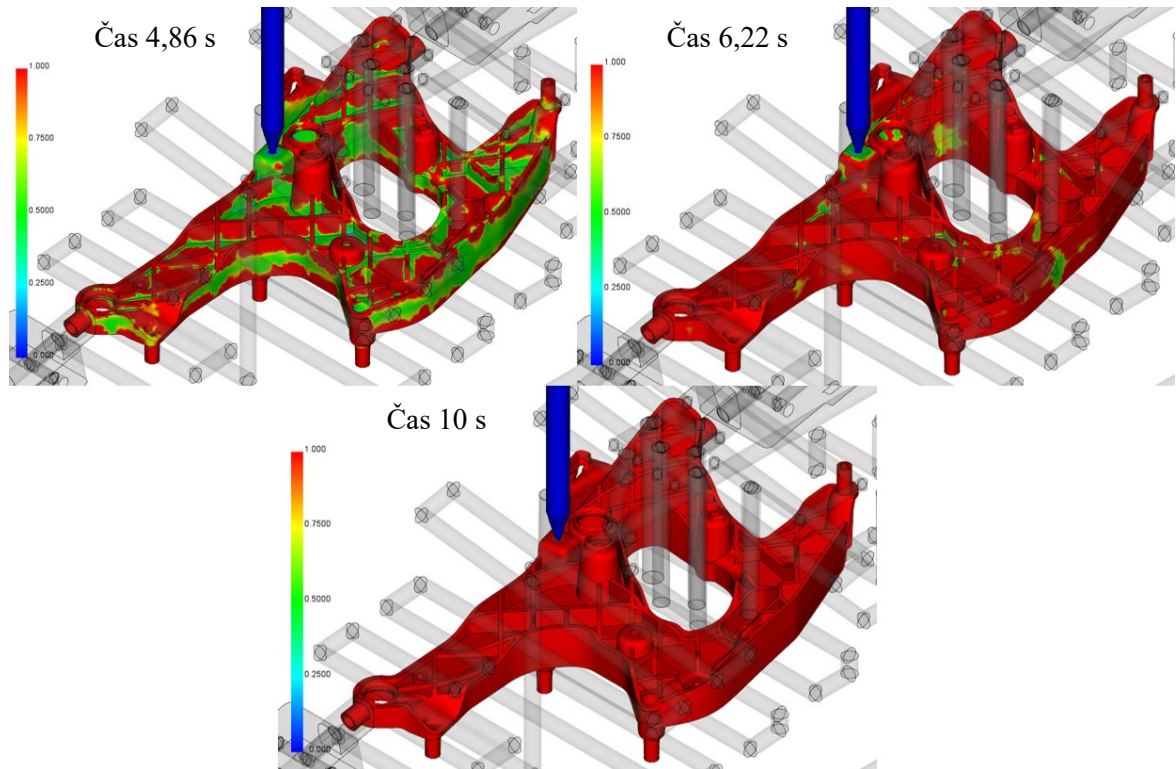
teploty 278,2 °C, viz. *Obr. 56*, což je v požadovaných hodnotách. Absolutní maximální teplota polymeru dle materiálového litu z Moldflow je 280 °C. Výsledek vyobrazený na *Obr. 56* ukazuje pouze teploty v rozmezí od 270 do 278,2 °C. Tyto teploty se nachází převážně v místě vtoku. V dané oblasti je převážně zastoupena teplota od 270 do 273 °C a vyšší teploty se nachází pouze v minimálním množství, a to přímo u ústí vtoku. Pokud by docházelo k problémům z hlediska degradace materiálu při výrobě, bylo by právě ústí vtoku prvním místem, které by bylo modifikováno, a to například čokovitým vyhloubením pod ústím vtoku. Další modifikací by mohlo být snížení teploty, ale jelikož je teplota nastavena na nejnižší doporučenou hranici, mohlo by nastat ovlivnění jiných výsledků v procesu.



*Obr. 56 Teplota (temperature)*

#### 8.4.7 Tuhnutí polymeru

Výsledek tuhnutí polymeru v průběhu času může ukázat, za jak dlouhou dobu lze výrobek vyhodit z dutiny formy. Na *Obr. 57* je díl ve třech časech chladnutí. V čase 4,86 s je velká část dílu stále nezatuhlá, v čase 6,22 s je již větší část zatuhlá a v čase 10 s je zatuhnutý téměř celý výrobek. Délka vstřikování, dotlaku a chlazení je určena na 10 s. Celková doba vstřikovacího cyklu je 19 s, počátek cyklu je brán v okamžiku uzavření formy. Z výsledků tuhnutí polymeru by bylo možné tento čas zkrátit, například o 1 až 2 s, a tím urychlit výrobní cyklus. Vzhledem k velikosti a hmotnosti dílu je nejlepší mít chlazení co nejdelší. Proto byl zvolen kompromis mezi délkou chlazení a délkou vstřikovacího cyklu.

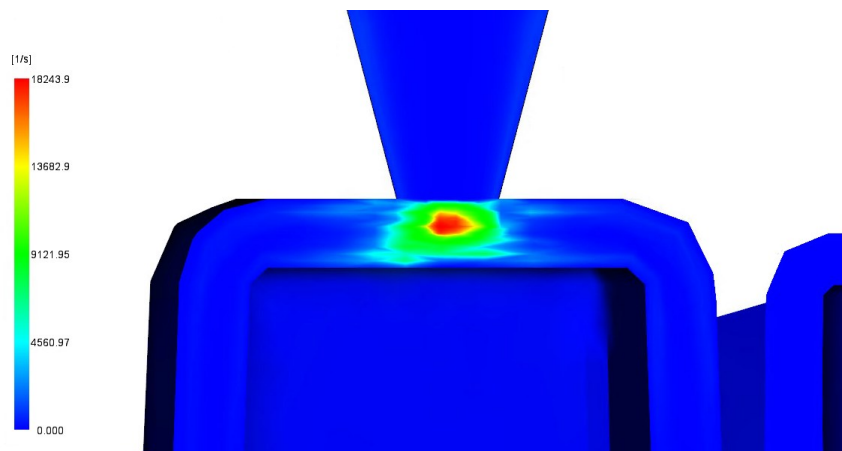


Obr. 57 Tuhnutí polymeru (frozen layer fraction)

Červená oblast vyznačuje 100 % zatuhnutí a modrá 0 % zatuhnutí dílu

#### 8.4.8 Smyková rychlost

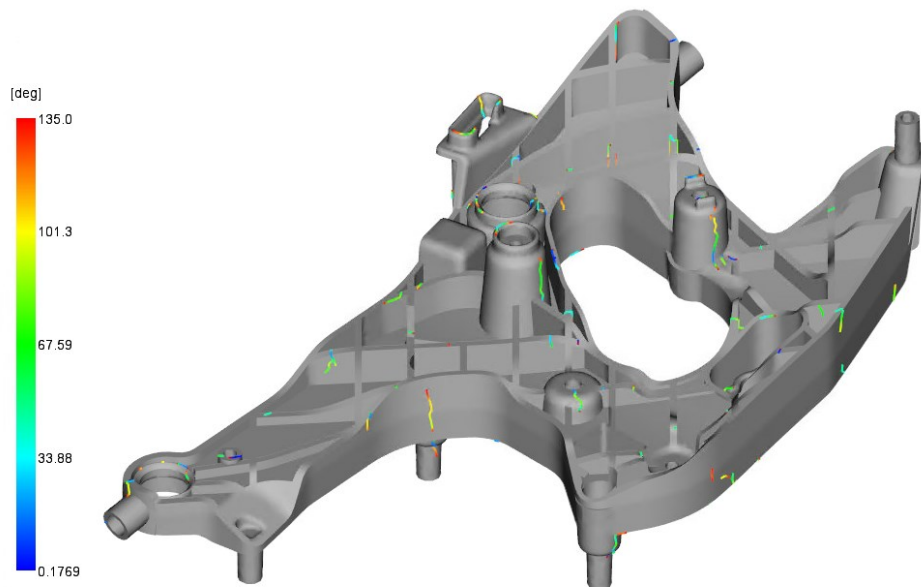
Tento výsledek vyobrazený na Obr. 58 ukazuje maximální dosaženou smykovou rychlost polymeru, která je zde 18 243,9 1/s. Maximální povolená smyková rychlost dle materiálového listu je 50 000 1/s, a tudíž výsledná hodnota ze simulace vyhovuje daným požadavkům.



Obr. 58 Maximální smyková rychlost (shear rate maximum)

#### 8.4.9 Studené spoje

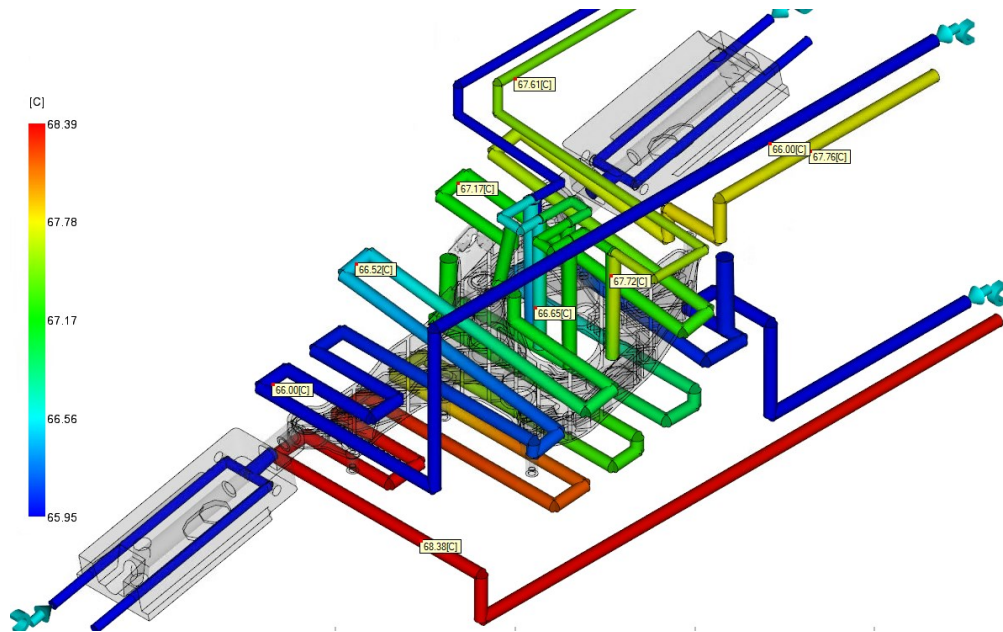
Výsledek na *Obr. 59* ukazuje umístění studených spojů a úhel, pod jakým se čela tavenin v daných místech setkávají. Jelikož má výrobek značný počet žebér, je na dílu i větší výskyt studených spojů. Díl má žebra umístěná z obou stran, a díky tomu má dostatečnou tuhost a studené spoje by neměly ovlivnit jeho celistvost.



*Obr. 59 Studené spoje (weld lines)*

#### 8.4.10 Teplota temperačního média

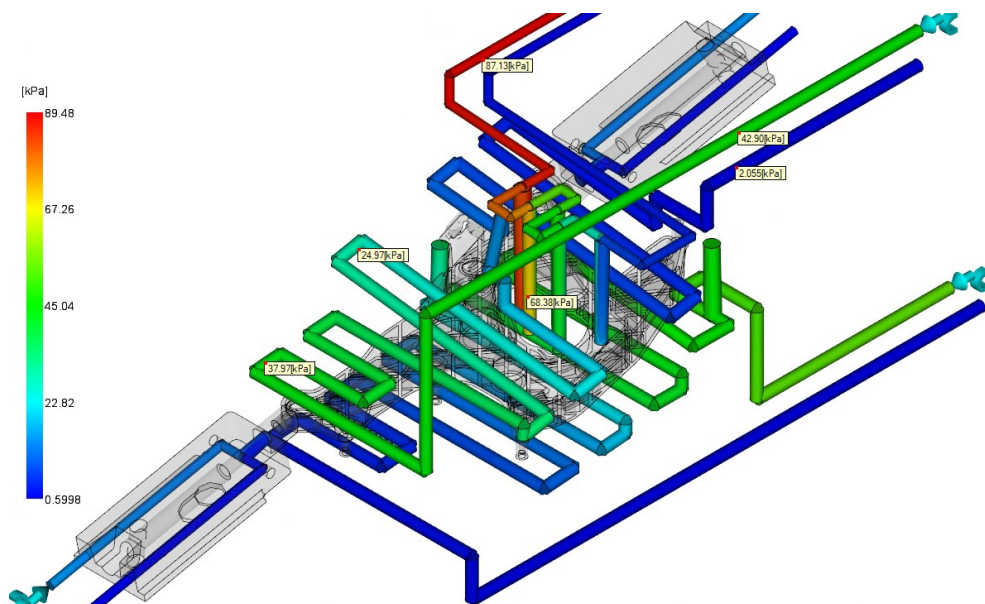
Na vstupu temperačního média byla zvolena teplota 66 °C. V průběhu temperace vzroste na maximální hodnotu 68,39 °C. Dle tabulek by teplota neměla překročit rozdíl 3 °C, což tento výsledek splňuje. Při překročení této hodnoty by nemuselo být zaručeno rovnoměrné chlazení po celé dráze temperace. Největší nárůst teploty je v temperačním okruhu pro tvárník. [10]



Obr. 60 Teplota temperačního média (circuit coolant temperature)

#### 8.4.11 Tlak temperačního média

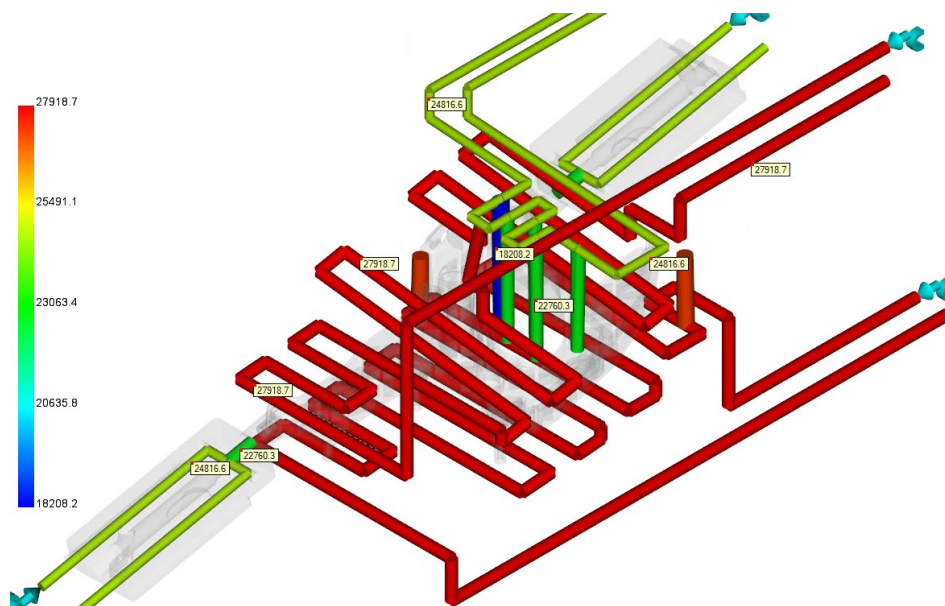
Tak temperačního média se pohybuje do maximální výše 89,48 kPa viz Obr. 61. Tato hodnota může být limitována temperační jednotkou nebo kuličkovými záslepkami použitými k usměrnění toku temperačního média. Temperační jednotky jsou dodávány v širokém rozmezí tlaků a mohou se pohybovat například v rozmezí 2 – 5 bar (200 – 500 kPa). Kuličkové záslepky použité při konstrukci formy byly použity z katalogu Meusburger a mají maximální dovolený tlak 40 bar (4000 kPa), tudíž výsledný tlak ze simulace vyhovuje oběma parametrům. [38]



Obr. 61 Tlak temperačního média (circuit pressure)

### 8.4.12 Reynoldsovo číslo

Velikost Reynoldsova čísla udává rozdíl mezi laminárním a turbulentním prouděním. Turbulentní proudění má větší efektivitu při chlazení, viz odstavec 4.3.4, a nastává při hodnotě  $Re = 6\ 000$ , pro praxi se uvádí hodnota  $Re = 10\ 000$ . V tomto případě bylo v prvotním výpočtu zjištěno, jaká hodnota průtoku je potřebná k dosažení  $Re = 10\ 000$ . Průtok se dále řídil teplotou temperace na vstupu a výstupu. Pro dosažení optimálního rozdílu teplot musel být průtok zvětšen. Výsledný průtok je 4 l/min a 3,5 l/min, viz. odstavec 8.2.2. Z těchto průtoků vyšly hodnoty Reynoldsova čísla, které se pohybují přibližně od 18 000 do 28 000, jak je uvedeno na *Obr. 62*.



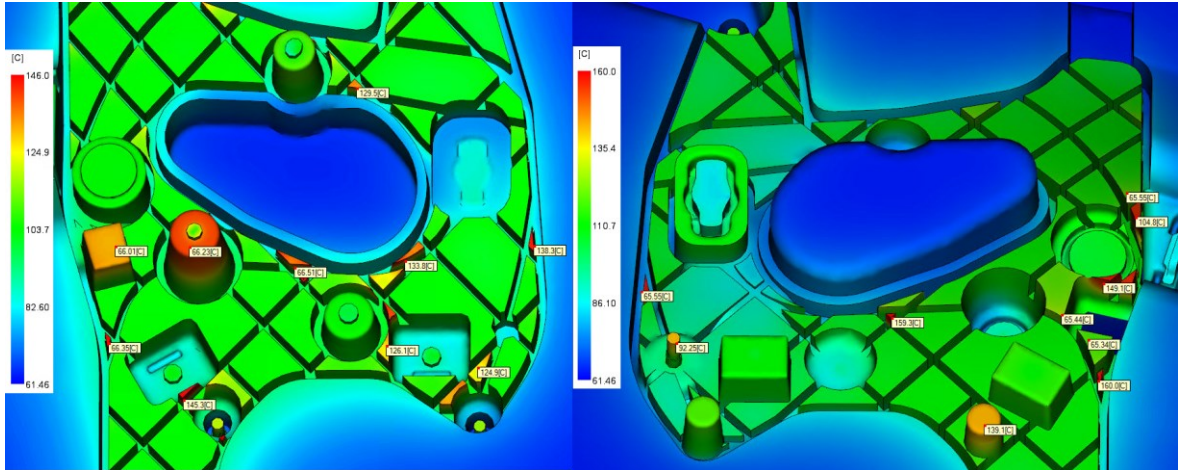
*Obr. 62 Reynoldsovo číslo (circuit Reynolds number)*

### 8.4.13 Teploty na částech formy

Teploty na částech formy (tvárník, tvárnice a boční odformování) by se měly podle materiálového listu pohybovat do 100 °C.

- Tvárník a tvárnice

Teplota na tvárníku a tvárnici překračuje požadovanou hodnotu teploty, viz. *Obr. 63*. Teploty, které jsou nad dovolenou hodnotou se vyskytují na malých částech formy v oblastech žeber. Tyto části jsou příliš malé na to, aby je šlo ovlivnit teplotou a příliš velké, aby bylo možné je z geometrie dílu odstranit. Jelikož se jedná v celém objemu tvárníku a tvárnice o velice malou část a vyšší teploty se nachází pouze na vrcholcích těchto částí, není možné tuto teplotu snížit. S ohledem na použitý materiál a jeho tepelné zpracování by takto malá část neměla ovlivnit výrobní cyklus ani životnost tvárníku a tvárnice.

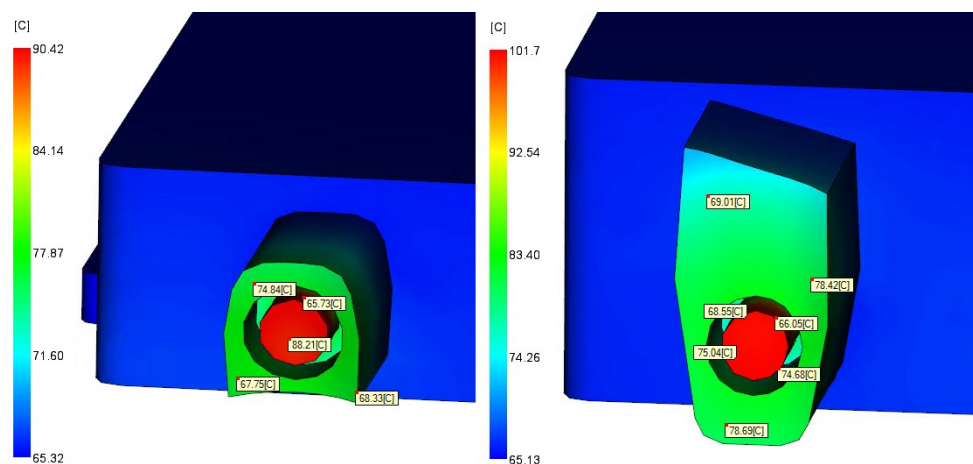


*Obr. 63 Teploty tvárníku a tvárnice (temperature, mold)*

*Na levé části obrázku se nachází tvárník a na pravé tvárnice*

- Boční odformování

Teplota bočního odformování 1 a 2 přesahuje povolenou teplotu o necelé 2 °C, ale pouze na nepatrných částech, které jsou vzhledem k jejich velikosti zanedbatelné. Z toho důvodu lze říct, že teploty se pohybují v požadovaném rozmezí.



*Obr. 64 Teploty bočních odformování (temperature, insert)*

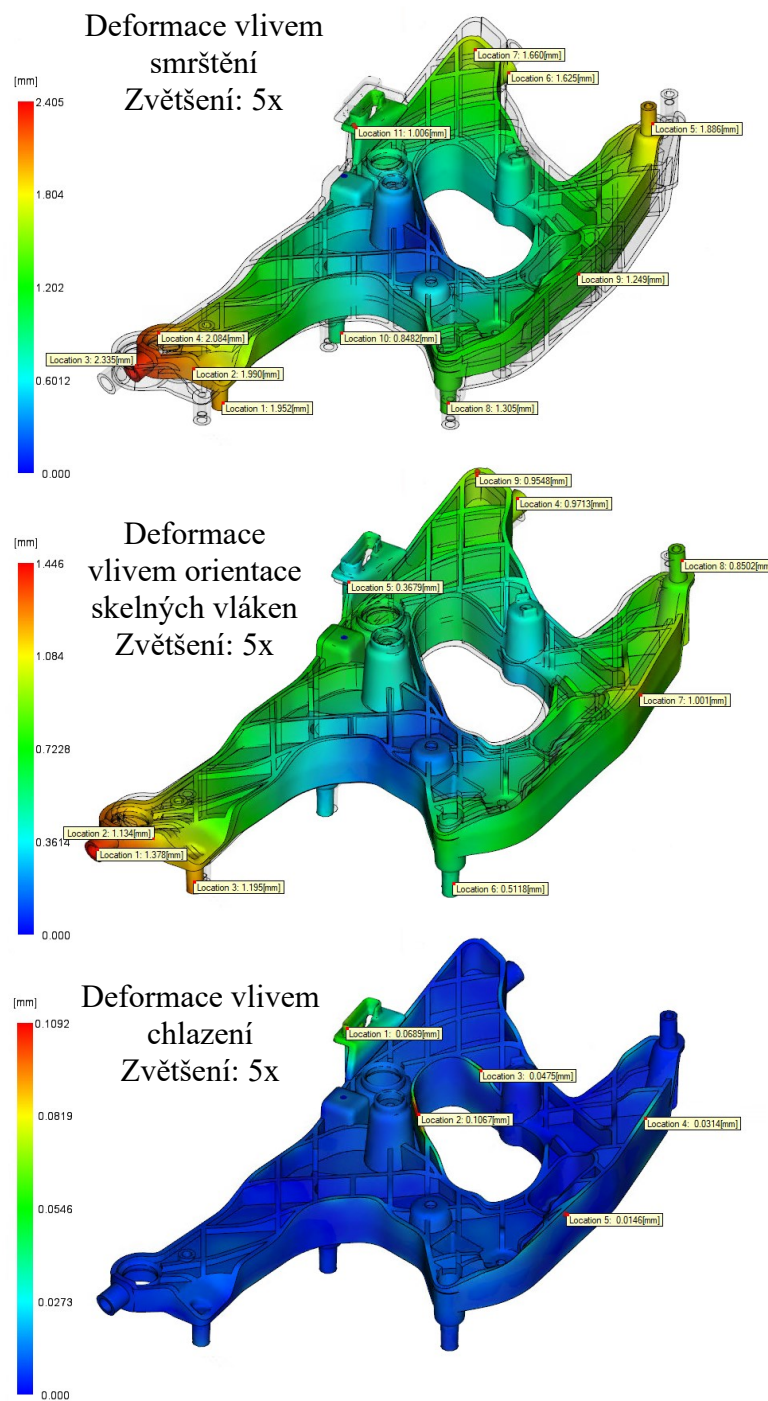
*Na levé části obrázku se nachází boční odformování 1 a na pravé boční odformován 2*

#### 8.4.14 Deformace dílu

Celková deformace dílu se dá rozdělit, kromě os x, y, a z, na deformaci vlivem smrštění, orientace skelných vláken a chlazení. Tyto deformace dohromady poté dají výslednou deformaci. Na *Obr. 65* jsou jednotlivé deformace uvedeny a jde vidět, jak každá z nich vyráběný díl ovlivňuje. Největší vliv má smrštění materiálu. Dle výsledků ovlivní geometrii díl až o 2,4 mm. Smrštění na výrobku způsobí zmenšení jeho objemu a výsledné

rozměry jsou tak menší než požadované. Deformace vlivem orientace skelných vláken ovlivní geometrii dílu protažením v určitých směrech, v tomto případě o maximální hodnotu 1,44 mm. Tato deformace jde v některých místech proti smrštění a tím dochází k menší výsledné deformaci. Deformace vlivem chlazení má nejmenší vliv na výslednou geometrii a její maximální hodnota se pohybuje okolo 0,1 mm.



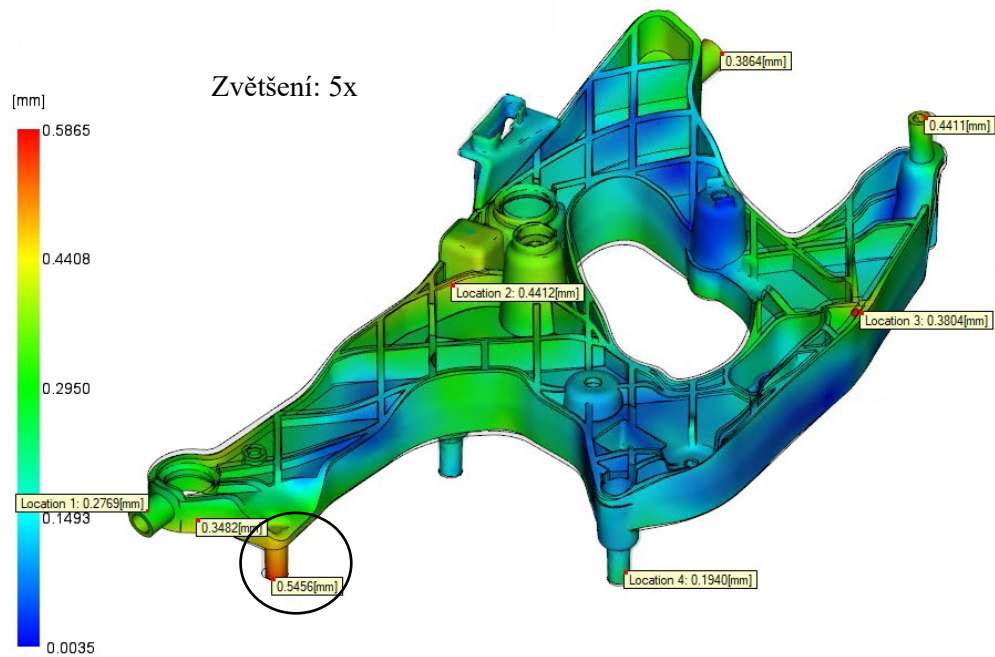


Obr. 65 Deformace ve všech směrech vlivem smrštění, orientace skelných vláken a chlazení (deflection – differential shrinkage, deflection – orientation effects a deflection – differential cooling)

- Celková deformace

Do celkové deformace již byla zahrnuta hodnota kompenzace smrštění, která je 0,7 % ve všech směrech. O tuto hodnotu musí být zvětšena dutina vstřikovací formy. Výsledná maximální hodnota deformace nepřekročí 0,6 mm, což vyhovuje zadanému

parametru 0,65 mm. Největší deformace nad 0,5 mm se nacházejí pouze na vyznačené části na Obr. 66, průměrná deformace je okolo 0,3 mm.

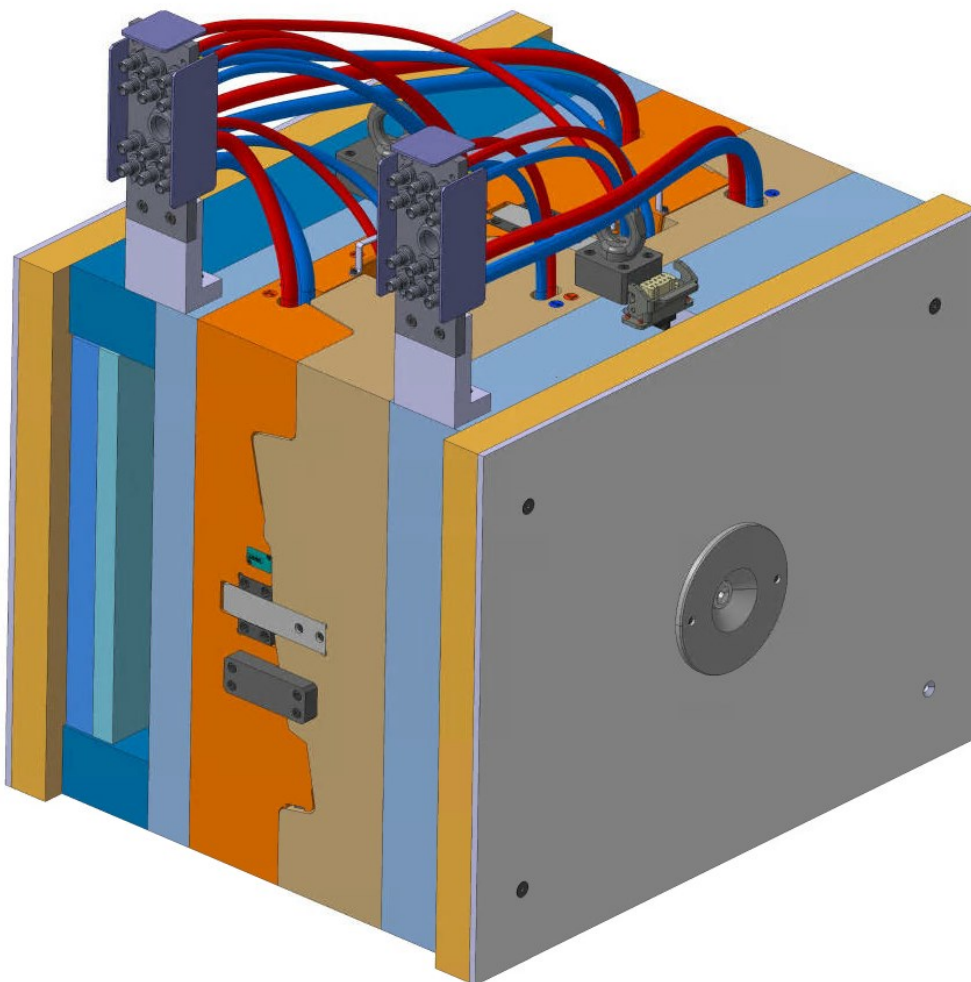


Obr. 66 Celková deformace (deflection – all effects)

## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZADANÝ DÍL

Konstrukce vstřikovací formy byla provedena v programu CATIA V5-6R2020. Jedná se o 3D konstrukční program od společnosti Dassault Systemes. Program CATIA je určený převážně k modelování ve 3D, ale používá se také pro tvorbu výkresové dokumentace nebo simulace reálných namáhání navržených dílů. [39]

Pro kompletaci formy byly použity komponenty z databáze Meusburger, která poskytuje 3D modely téměř veškerého příslušenství pro vstřikovací formy. Vybrané komponenty byly převedeny do souboru stp a následně byly vloženy do programu CATIA.



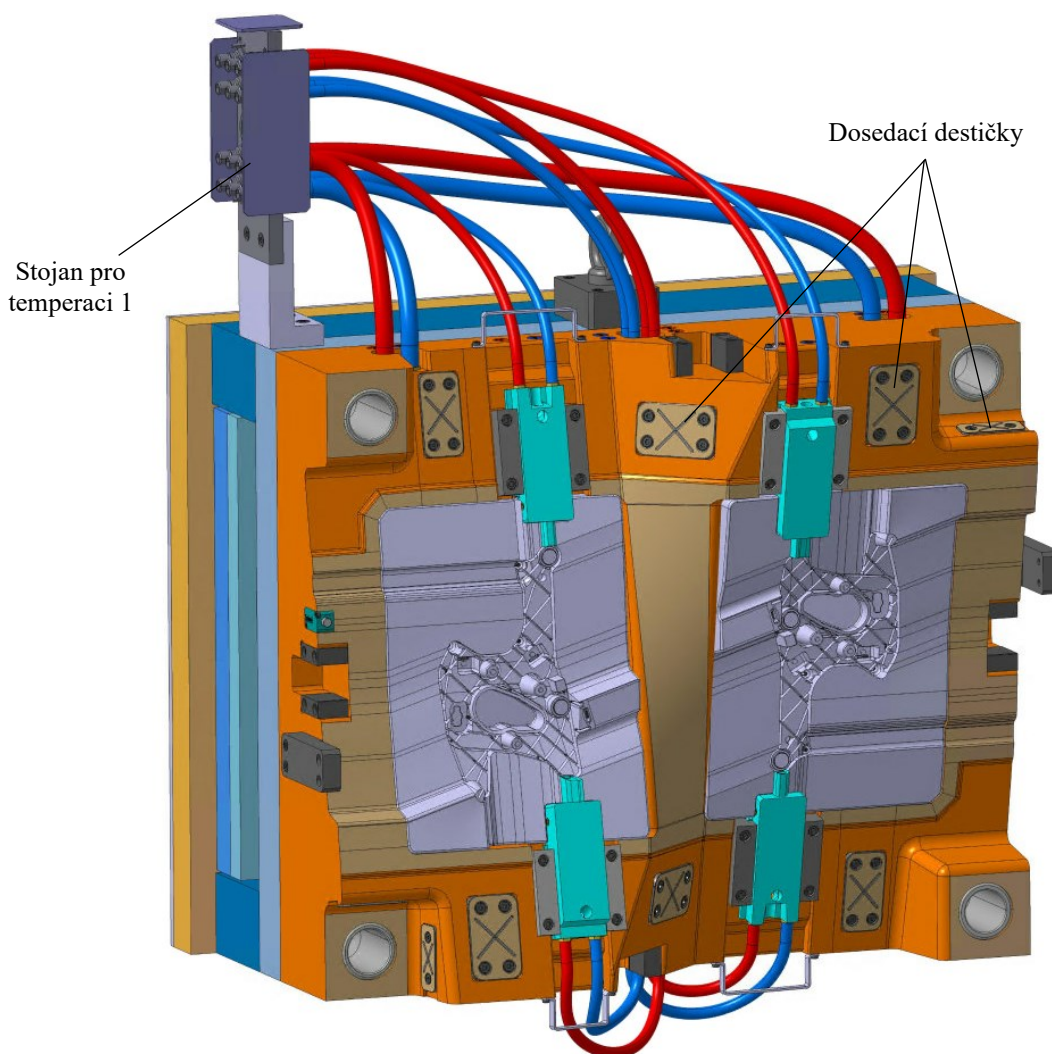
*Obr. 67 Vstřikovací forma*

Základní parametry pro konstrukci formy:

- Násobnost formy – dvojnásobná forma.
- Vtokový systém – horký vtokový systém.

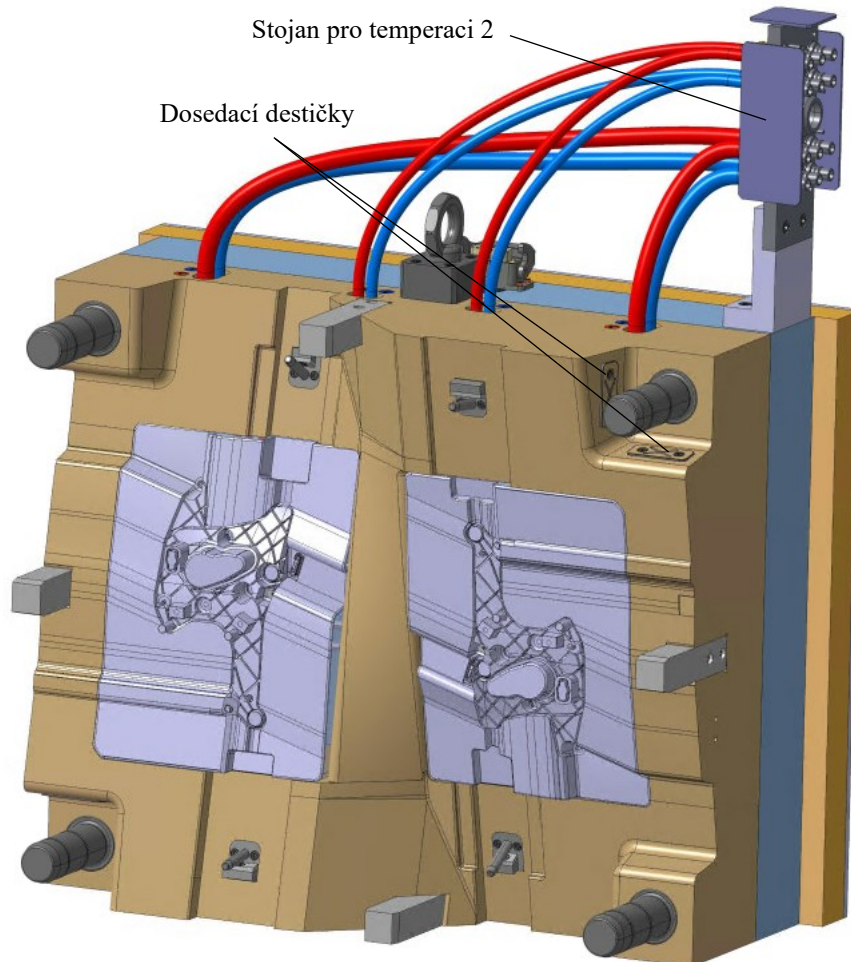
Tyto parametry výrazně ovlivnily velikost formy a použitý počet desek. Dále konstrukci formy ovlivnila tvarová složitost a dělicí roviny vyráběného dílu. Forma byla konstruována tak, aby došlo k co nejlepšímu využití prostoru a aby byly použity co nejefektivnější díly z hlediska funkčnosti procesu vstřikování. Forma má největší rozměry 746 x 596 x 636 mm (včetně upínací desky).

Zaformování dílu je pomocí tvárníku, tvárnice a dvou bočních odformování. Vtokový systém je řešen uzavíratelnými horkými tryskami, které ústí přímo do výrobku. Temperace se navrhly dle simulací tak, aby byly co nejefektivnější. Celkem se jedná o pět okruhů pro jeden vyráběný díl. Jeden temperační okruh se nachází v tvárníku, dva v tvárnici a jeden v každém bočním odformování. Temperace je pro snadné připojení na temperační jednotky vyvedena do stojanů pro temperaci. Vyhození výrobku z dutiny formy zajišťuje dvacet devět válcových a čtyři trubkové tvarově zakončené vyhazovací kolíky.



Obr. 68 Levá část formy

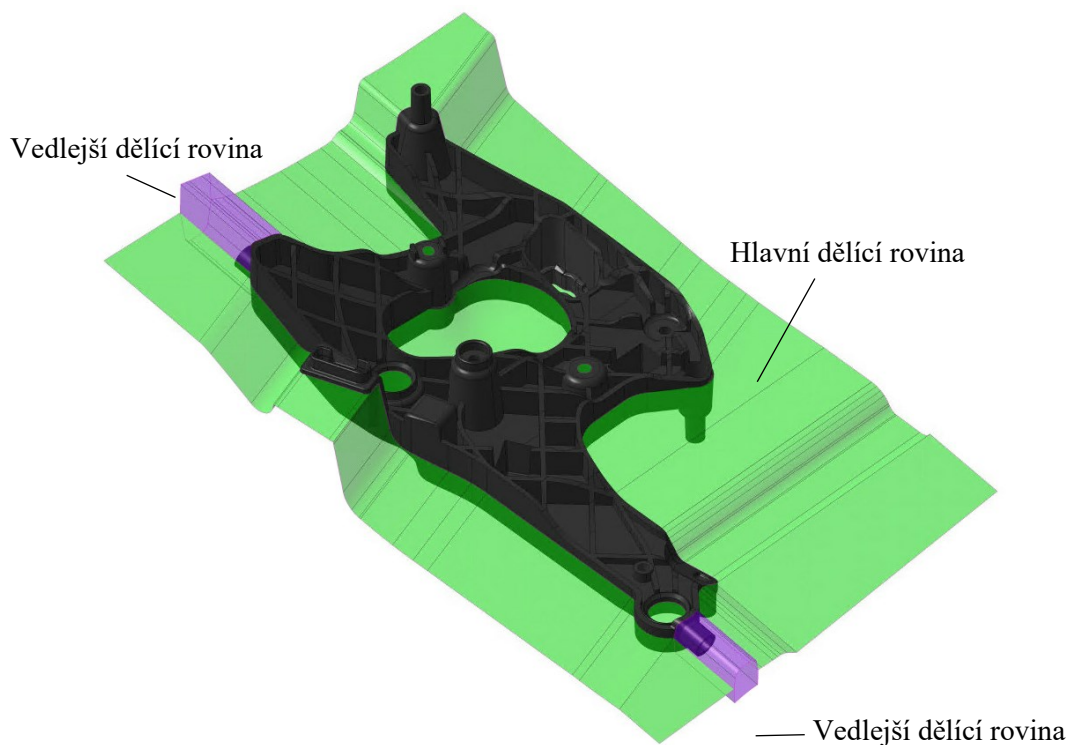
Levá pohyblivá část je při uzavření v kontaktu s pravou pevnou částí formy v místě tvárníku a tvárnice, hnědě vyznačenými plochami na opěrné desce tvárníku (oranžová deska) a dosedacími destičkami. Dosedací destičky jsou umístěny v horní a dolní části opěrné desky pro tvárník, a také v opěrné desce pro tvárnici (hnědá deska).



Obr. 69 Pravá část formy

## 9.1 Dělicí rovina

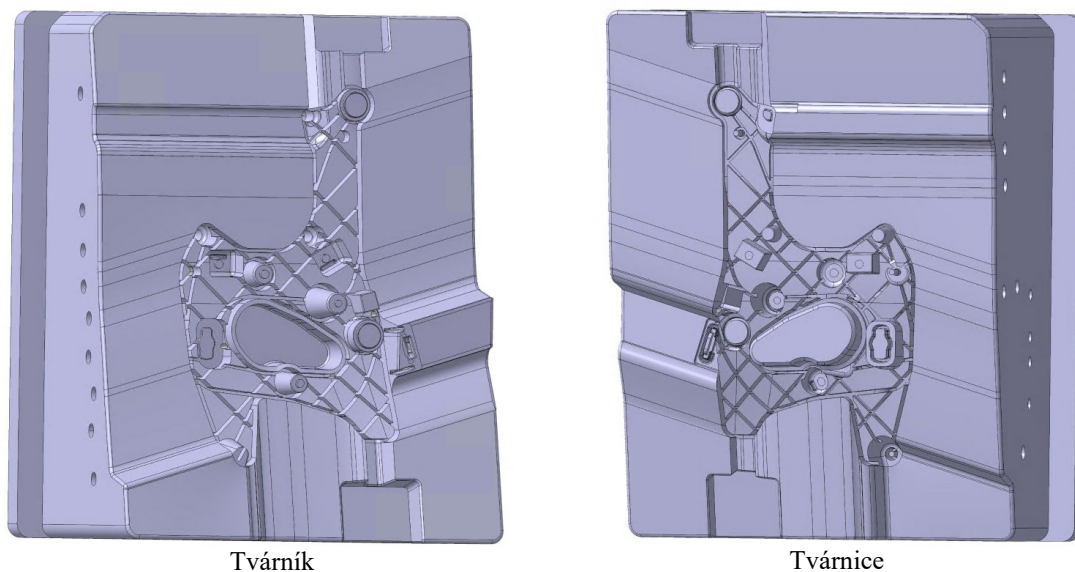
Hlavní dělicí rovina je umístěna převážně ve středu vyráběného dílu a kopíruje tak jeho prostorový tvar. Vedlejší dělicí roviny jsou zde vytvořeny pro válcové otvory, které jsou u dílu jednou z jejich nejdůležitějších částí pro připojení k dalším komponentům. Spolu s hlavní dělicí rovinou jsou částečně vytvářeny opěrné desky tvárníku a tvárnice, díky tomu dochází ke snadnému dosedání pravé a levé části formy na sebe.



Obr. 70 Dělicí rovin

## 9.2 Tvárník a tvárnice

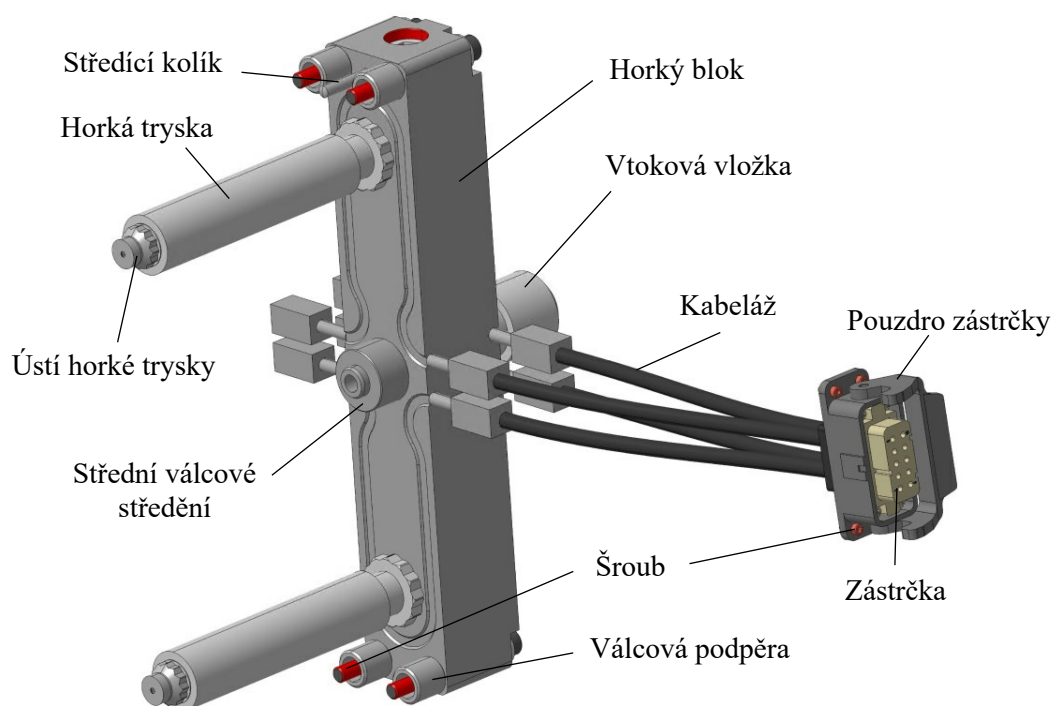
Tvárník a tvárnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli (EN 1.2311), jsou kaleny na tvrdost HRC 55 a popouštěny. Tato tepelná úprava pomáhá odolávat tlakovým a tepelným účinkům při procesu vstřikování. Tvárník a tvárnice mají dohromady tloušťku 260 mm, výšku 315 mm a šířku 240 mm. Spodní části tvárníku a tvárnice jsou osazené pro snadné upevnění do podpěrných desek pro tvárník a tvárnici.



Obr. 71 Tvárník a tvárnice

### 9.3 Vtokový systém

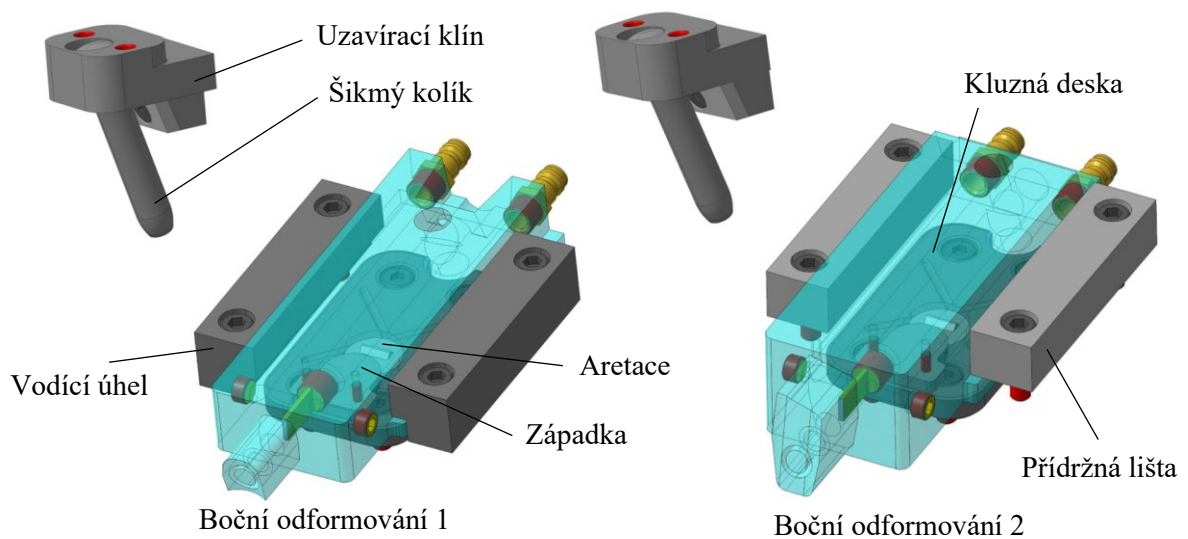
V tomto případě se jedná o horký vtokový systém se dvěma tryskami, které vedou přímo do dílů. Polymerní tavenina putuje přes vtokovou vložku, horký blok, horkou trysku a ústí horké trysky. Horký blok je umístěn ve vtokové desce a je v ní vystředěn pomocí kolíku a středního válcového středění. Připevněn je šrouby a válcovými podpěrami. Horký blok je napájen pomocí kabeláže, která vede do zástrčky umístěné v pouzdře. Pouzdro zástrčky je taktéž umístěno na vtokové desce a připevněno pomocí šroubů. Horký vtokový systém byl převzat z databáze meusbarger.



Obr. 72 Horký vtokový systém

### 9.4 Boční odformování

Ve formě jsou umístěna dvě boční odformování na jednu dutinu, tudíž celkově 4. Obě boční odformování jsou temperována. Boční odformování 1 se pohybuje po kluzné desce a je přidržováno pomocí vodících lišt. Boční odformování 2 se taktéž pohybuje po kluzné desce a přidržné liště. Při otevření formy jsou boční odformování držena v krajní poloze pomocí aretací umístěných v podpěrné desce tvárníku a západek umístěných v bočním odformování. Samotný posuv bočních odformování zajišťuje šikmý kolík umístěný v uzavíracím klínu připevněným na podpěrnou desku tvárnice. Veškeré komponenty na Obr. 73 kromě bočního odformování 1 a 2, byly převzaty z databáze meusbarger.



*Obr. 73 Boční odformování*

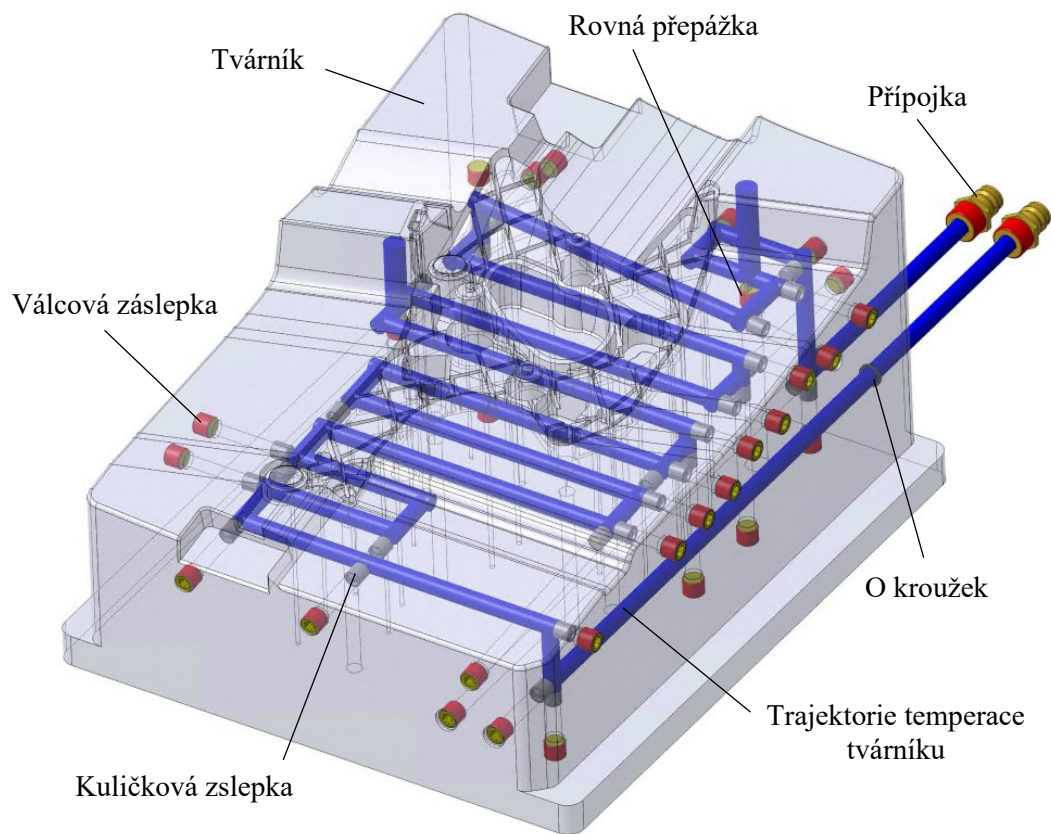
## 9.5 Temperace

Temperace byla vytvořena dle trajektorie použité v analýze. Veškeré kanály pro temperaci jsou vrtané a utěsněné jak vnitřními, tak vnějšími zásepkami, které určují směr proudění.

### 9.5.1 Temperace tvárníku

Trajektorie temperace tvárníku je vyobrazena na *Obr. 74*. Pro určení dráhy temperace bylo použito 29 kuličkových zásepek (vnitřní zásevky) a 28 válcových zásepek (vnější zásevky) pro jednu dutinu. V tomto temperačním okruhu byly také použity dvě rovné přepážky pro zlepšení chlazení daných částí dílu. Aby nedocházelo k úniku temperačního média mezi tvárníkem a přídržovací deskou pro tvárník, byly použity O kroužky.

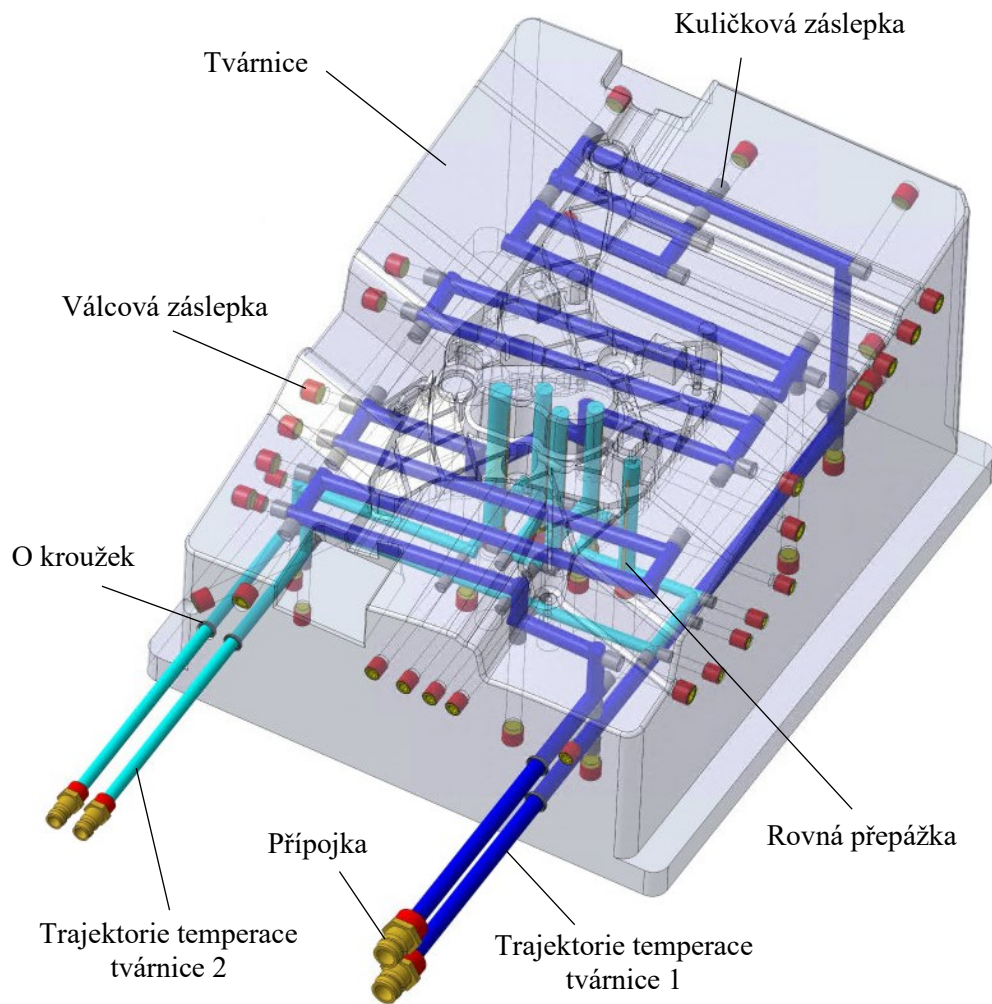




*Obr. 74 Teprace tvárníku*

### 9.5.2 Teprace tvárnice

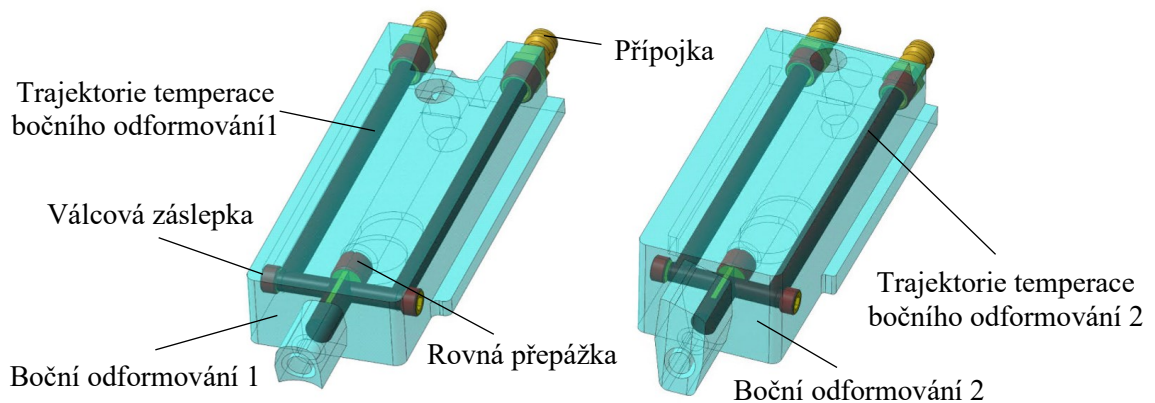
Trajektorie dvou tepračních okruhů pro tvárnici jsou zobrazené na *Obr. 75*. Pro určení drah tepraací bylo použito 60 kuličkových záslepek (vnitřní záslepky) a 41 válcových záslepek (vnější záslepky) pro jednu dutinu. První teprační okruh je tvořen pouze vrtanými kanály a druhý používá pro chlazení převážně 5 rovných přepážek, které jsou umístěny ve střední průchozí části dílu. Stejně jako u tvárníku byly použity O kroužky, které utěšňují prostor mezi tvárnici a podpěrnou deskou tvárnice.



Obr. 75 Temperace tvárnice

### 9.5.3 Temperace bočních odformování

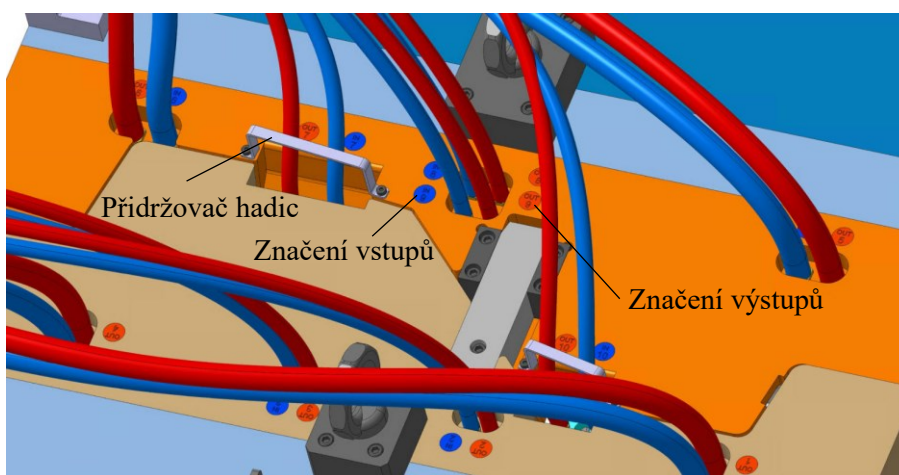
Temperace bočních odformování je řešena pomocí vrtaných kanálů a v každém z okruhů se nachází jedna rovná přepážka. Jsou použity pouze dvě válcové záslepky na jeden okruh. Trajektorie teplotací je uvedena na Obr. 76.



Obr. 76 Temperace bočních odformování

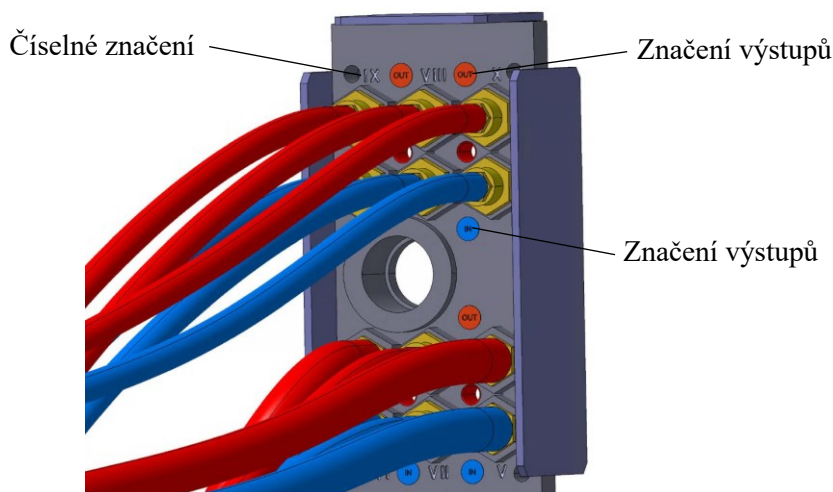
### 9.5.4 Značení temperačních okruhů

Ke každému kanálu bylo přidáno číselné označení pro vstup i výstup. Modře je označený vstup a červeně výstup. Toto značení napomůže k rozpoznání jednotlivých temperačních okruhů a k rychlejšímu připojení hadic do správné polohy. Značení bylo použito z katalogu Meusburger. Dále se použily přídržovače hadic viz. *Obr. 77*, které mají napomoci k bezpečnosti chodu formy. Zajišťují, aby nemohlo dojít k přivření hadic použitých u bočních odformování do dělicí roviny.



*Obr. 77 Značení vstupů a výstupů temperací*

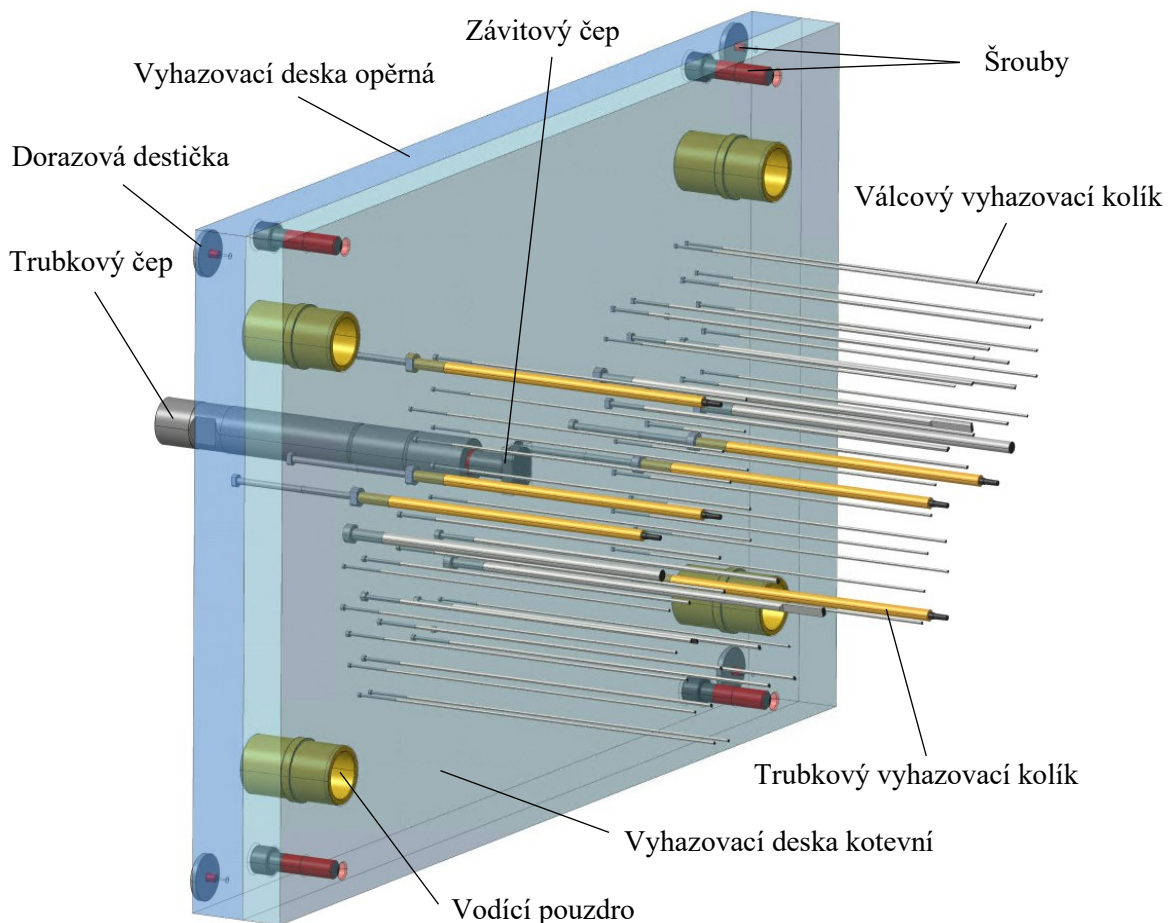
Pro snadnější zapojení chladicích okruhů do temperačních jednotek jsou použity dva stojany pro temperaci. Veškeré temperační okruhy jsou zde svedeny do jednoho místa. Pro přehlednější zapojení je i zde číselné označení, které navazuje na značení z *Obr. 77*. Taktéž jsou zde označeny vstupy a výstupy, které jsou rozloženy vždy ve vodorovném směru.



*Obr. 78 Stojan pro temperaci*

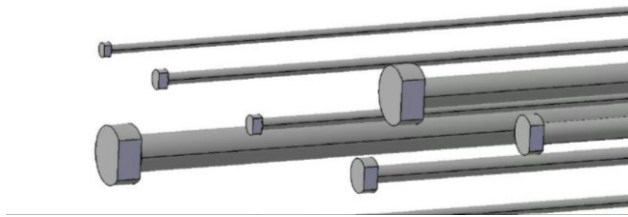
## 9.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém zajišťuje bezpečné vyjmutí výrobku z dutiny formy. Základními částmi jsou vyhazovací deska kotevní a opěrná, které jsou spojeny pomocí šroubů. Dále je vyhazovací systém navržen z 29 válcových vyhazovacích kolíků s tvarovým zakončením o průměru od 1,8 mm do 7,5 mm a 4 trubkových o délce 250 mm pro každou dutinu. Trubkové vyhazovače jsou na *Obr. 79* vyobrazeny žlutě. Celý systém se pohybuje díky vodícímu čepu, který je v něm upevněn závitovým čepem. Vyhazovací systém dosedá na levou část formy, konkrétně kotevní desku, pomocí dorazové destičky. Ty jsou upevněny na nahazovací desce opěrné pomocí šroubů. Vedení vyhazovacího systému zajišťují vodící pouzdra, ve kterých se pohybují vodící čepy, umístěné v levé kotevní desce. Veškeré komponenty byly převzaty z katalog Meusburger.



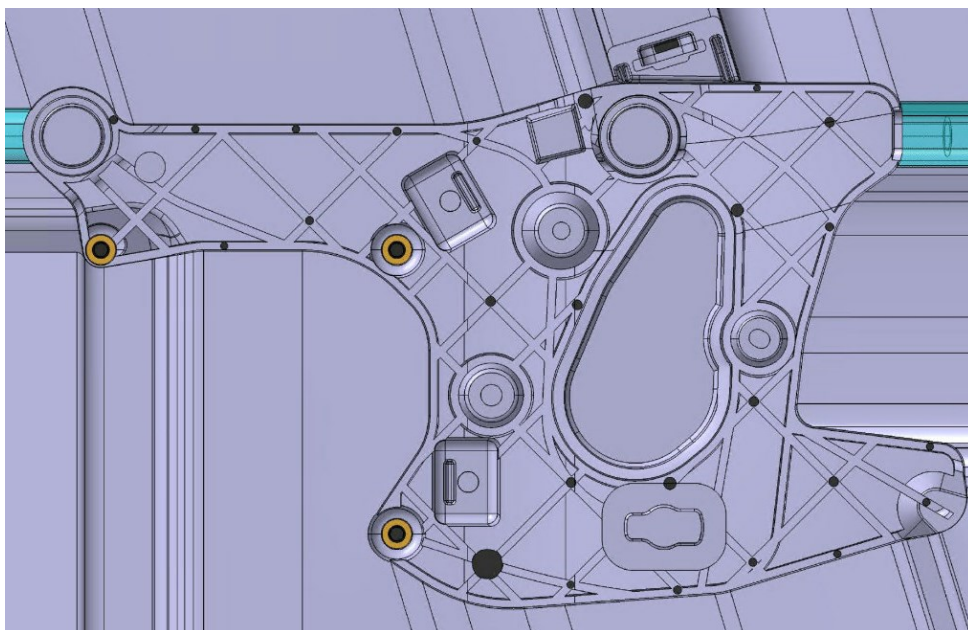
*Obr. 79 Vyhazovací systém*

Veškeré vyhazovací kolíky jsou zajištěné proti pootočení, jelikož mají tvarové zakončení, které kopíruje tvar dílu. Proti aretaci byly zajištěny díky zkosení hran hlav vyhazovacích kolíků, jak je vidět na *Obr. 80*.



Obr. 80 Vyhazovací kolíky a jejich zajištění proti pootočení

Na Obr. 81 jsou vyobrazeny místa, kde se nacházejí vyhazovací kolíky. Černá místa jsou válcové kolíky a žlutá trubkové. Bylo zacíleno na to, aby jejich umístění bylo co nejrovnoměrnější. Rozmístění vyhazovacích kolíků výrazně ovlivnil temperační systém.

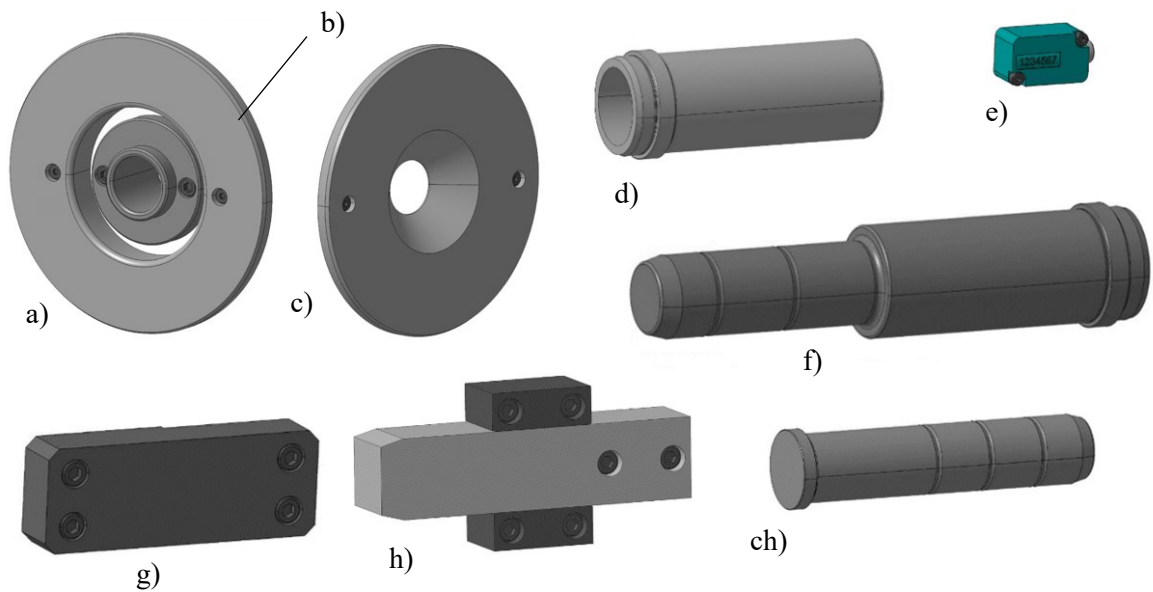


Obr. 81 Umístění vyhazovačů

## 9.7 Konstrukční prvky

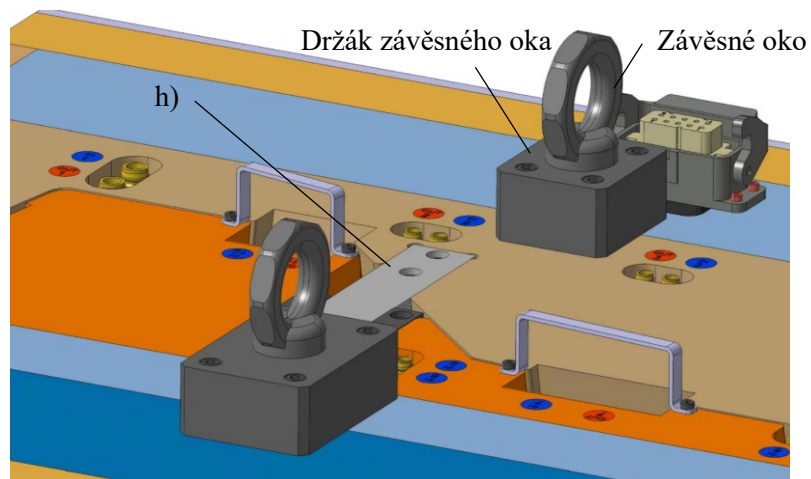
Při návrhu formy byla použita řada konstrukčních prvků, které jsou potřebné k jejímu správnému provozu, ale také k manipulaci. Pro umístění formy do požadované polohy na stroj, se používají středící kroužky, jak na pravé, tak na levé části formy. V levém středícím kroužku se také nachází vodící pouzdro pro trubkový čep vyhazovacího systému. Ke správné funkci formy rovněž přispívají vodící pouzdra a sloupky, nebo také středění. Tyto prvky zajišťují, že se forma při otevírání a zavírání vždy vrátí do požadované polohy. Pro manipulaci s formou, slouží závěsná oka, která jsou zde dvě ke snadnějšímu vložení formy do stroje. Pod závěsnými oky se nachází držáky závěsných ok. Aby bylo zabráněno otevření formy při manipulaci, jsou ze dvou stran umístěny zámky. Ty jsou připevněny pomocí šroubů a při provozu musí být odstraněny buď šrouby z pravé část formy anebo celý zámek.

Pro sledování výroby je na kotevní desce tvárníku umístěn počítač cyklů. Uvedené komponenty byly převzaty z databáze Meusburger a jsou uvedeny na *Obr. 82* a *Obr. 83*.



*Obr. 82 Použité konstrukční prvky*

*a) středící kroužek levý, b) vodící pouzdro pro trubkový čep vyhadzovacího systému, c) středící kroužek pravý, d) vodící pouzdro, e) počítač cyklů, f) vodící sloupek, g) zámek, h) Ploché vedení s koncovým středěním, ch) vodící čep*



*Obr. 83 Umístění závěsných ok*

## 10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě výsledků simulace a rozměrech navržené formy byl zvolen vhodný vstříkovací stroj. Převážně se řídilo těmito hlavními parametry: maximální rozměr formy včetně upínacích desek, velikost uzavírací síly (včetně bezpečné rezervy) a objem vstříkované dávky. Těmto požadavkům nejlépe vyhovoval stroj s označením ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60). Veškeré parametry stroje jsou uvedeny v příloze P IV.



Obr. 84 ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60)

Tab. 4 Požadované parametry a parametry zvoleného stroje

Parametr	Jednotka	Požadovaná hodnota	Hodnota stroje
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	mm	746 x 596	820 x 820
Maximální objem vstříkované dávky	cm <sup>3</sup>	352	729
Velikost uzavírací síly	kN	980,1	4000
Zdvih vyhazovacího systému	mm	35	100
Průměr středícího kroužku	mm	160	160
Délka šneku	L/D	-	23
Průměr šneku	mm	-	60

## 11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Praktická část se zabývá optimálním navržením procesu vstřikování pro zvolený výrobek, návrhem a kompletací vstřikovací formy. Praktickou část lze rozdělit do tří základních částí: volba jednotlivých systémů a materiálů pro správnou funkčnost formy, optimalizace procesních parametrů pro vstřikování a konstrukci formy s návrhem vstřikovacího stroje.

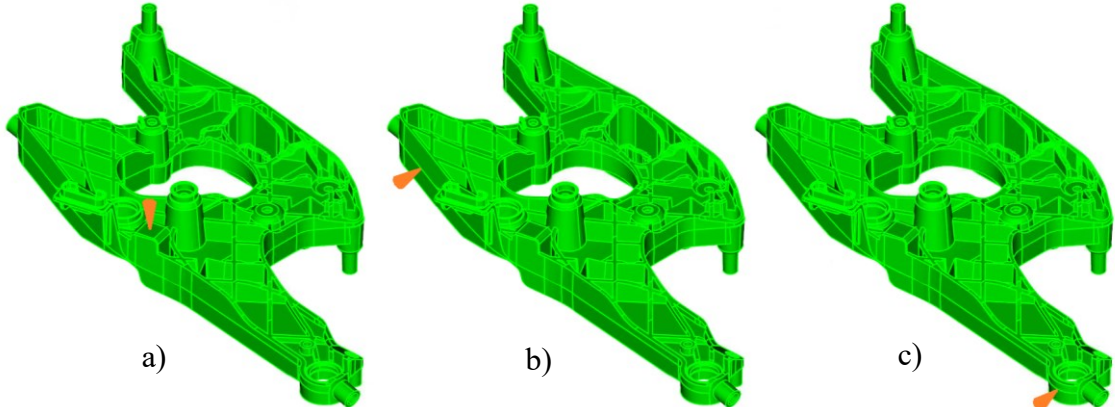
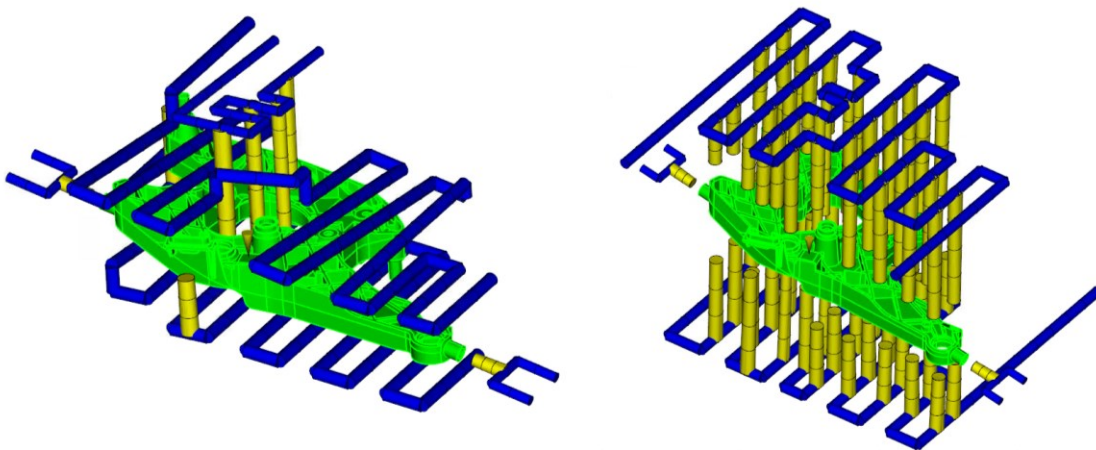
### 11.1 Volba jednotlivých systémů a materiálů pro správnou funkčnost formy

V této části se porovnávaly varianty umístění vtokového ústí, trajektorie toku temperačního systému a materiál jednotlivých částí formy. Pro ústí vtoku byly navrženy tři varianty. Porovnávaly se podle rychlosti plnění, tlaku a teploty dosažených při vstřikování. Byla vybrána varianta s možností umístit ústí horké trysky přímo do dílu, a tudíž není zapotřebí použití žádného studeného vtokového systému, který by byl použit u zbylých variant. Pro trajektorie temperací se porovnávaly dva okruhy. První okruh obsahoval převážně vrtané kanály s menším množstvím přepážek a druhý byl tvořen převážně přepážkami pro snadné kopírování tvaru povrchu dílu. U těchto dvou variant okruhů byla porovnáována efektivita, vstupní i výstupní teplota a tlak. Pro temperaci byla zvolena varianta s převážně vrtanými kanály, především kvůli vyšší efektivitě a nižšímu tlaku. Jako poslední byl volen materiál pro jednotlivé části formy, konkrétně tvárník, tvárnici a dvě boční odformování. Změna materiálu byla navržena převážně pro zmírnění deformací, zjištěných z předchozí simulace pro temperaci a snížení teploty částí formy. Pro porovnání byly použity dva materiály, Tool steel p-20 a AMPCOLOY 88, který má přibližně 7x vyšší tepelnou vodivost. Do místa s největší deformací byla také zvolena tvarová vložka. Z výsledků deformace a teplot bylo zjištěno, že změna materiálu, i když má výrazně vyšší tepelnou vodivost, nemá na tyto parametry významný vliv. Tvarová vložka v daném místě deformaci spíše zvyšuje. Z těchto důvodů nebyla tvarová vložka použita a pro tvárník, tvárnici i obě boční odformování byl použit materiál s názvem Tool steel p-20.

V *Tab. 5* jsou uvedeny jednotlivé varianty pro vtokové ústí, temperace a volený materiál a jsou u nich vypsány parametry, podle kterých byly mezi sebou porovnávány.



Tab. 5 Volba jednotlivých systémů a materiálu pro správnou funkčnost formy

Porovnání hlavních parametrů pro volbu umístění vtokového ústí				
				
Varianta	Rovnoměrnost plnění	Tlak při přepnutí na dotlak [MPa]	Teplota čela taveniny [°C]	Vtokový systém
a)	<b>mírně horší než varianta b)</b>	<b>78,18</b>	<b>275,5</b>	<b>horký</b>
b)	horší než varianta c)	99,73	275,6	kombinovaný
c)	nejlepší	115,5	275,5	kombinovaný
Porovnání hlavních parametrů pro volbu temperačního systému				
				
Varianta	Přibližná průměrná efektivita [%]	Maximální teploty na vstupech a výstupech temperačních okruzích [°C]	Tlak v temperačních okruzích [kPa]	
a)	<b>30</b>	<b>54,90 - 58,97</b>	<b>25,3</b>	
b)	20	54,89 - 59,20	101,3	
Porovnání hlavních parametrů pro volbu materiálů částí formy				
Materiál	Maximální deformace [mm]	Maximální teploty na tvarových částech [°C]		
Tool steel p-20	<b>0,6169</b>	<b>101,7</b>		
AMPCOLOY 88	0,6573	74,83		

*Zvolené varianty jsou v Tab. 5 vyznačeny tučně*

*Volba umístění vtokového ústí: a) – umístění horké trysky do dílu, b) – umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku, c) – umístění tokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku*

*Volba temperačního systému: a) – temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek, b) – temperace výrobku převážně pomocí přepážek*

## 11.2 Optimalizace procesních parametrů

Po zvolení vtokového systému, temperačního systému a materiálu pro jednotlivé části formy byla provedena optimalizaci procesních parametrů. Procesní parametry byly optimalizovány tak, aby vyhovovaly zadaným parametrům pro deformace, délky cyklu a materiálového listu. Materiál výrobku byl zadán PBT plněný 30 % skelných vláken. Pro zpřesnění simulace byl výpočet uskutečněn s tvárníkem, tvárnici i bočními odformováními. Primární výsledky pro simulaci byly: čas plnění, tlak ve výrobku i vtokovém systému, maximální dosažená teplota, uzavírací síla, tuhnutí materiálu, smyková deformace, teplota a tlak dosažený v temperačních okruzích, teploty na jednotlivých částech formy a deformace dílu. Jednotlivé výsledky jsou uvedeny v Tab. 6.

*Tab. 6 Základní výsledky po optimalizaci parametrů*

Parametr	Hodnota ze simulace	Požadovaná hodnota
Čas plnění [s]	2,496	-
Maximální tlak při přepnutí na dotlak [MPa]	110,4	130
Maximální uzavírací síla [kN]	980,1	4000
Maximální teplota [°C]	278,2	280
Vyhazovací čas [s]	10	15
Maximální smyková rychlost [1/s]	18 243,90	50 000
Rozdíl teplot na vstupu a výstupu temperačního média [°C]	2,44	3
Maximální tlak v temperačních okruzích [kPa]	89,48	200
Maximální deformace [mm]	0,5865	0,65
Délka vstřikovacího cyklu [s]	19	20

## 11.3 Konstrukce formy a volba vstřikovacího stroje

Třetí část obsahuje konstrukci vstřikovací formy podle parametrů zvolených v předchozích analýzách a volbu vhodného vstřikovacího stroje. Konstrukce formy se odvíjela od použití horkých trysek a výroby dvou dílů současně (dvojnásobná forma). Dělicí roviny převážně určily tvar tvárníku, tvárnice a podpěrných desek pro tvárník a tvárnici.

Jednotlivé prvky byly navrženy tak, aby zajistily bezpečný a snadný provoz procesu vstřikování. Pro temperace bylo navrženo číselné značení vstupů a výstupů, a také stojany pro snadné a přehledné zapojení. Vyhazovací systém byl navržen tak, aby docházelo k rovnoměrnému tlaku po celé ploše výrobku při vyhazování. Vyhazovací kolíky musely být konstruovány především s ohledem na trajektorii temperačního systému. Z navržené vstřikovací formy byla vytvořena výkresová dokumentace sestavy, obsahující popis veškerých použitých komponentů. Většina konstrukčních prvků byla použita z 3D databáze společnost Meusburger. Z požadovaných parametrů zjištěných ze simulací a z rozměrů vstřikovací formy byl zvolen stroj, který nejlépe splňoval tyto parametry. Vstřikovací stroj byl zvolen s označením ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60).

## ZÁVĚR

Diplomová práce byla rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá procesem vstřikování a konstrukcí vstřikovacích forem. Dále je zaměřena na chování polymerních tavenin při procesu vstřikování z hlediska fáze plnění, viskoelastického chování polymerů a deformace a tlaku při toku. Teoretická část se také zabývá vadami výrobků při vstřikování, jak z hlediska konstrukce dílu, tak z procesů chládnutí polymeru v dutině formy, nebo například vadami vlivem uzavření vzduchu ve formě nebo orientace plniv. Jako poslední se teoretická část zabývá simulačními programy pro vstřikování plastů, převážně Moldflow analýzami a optimálnímu navrzení sítě dílu, plnění, chlazení, dotlaku, nebo také vyhodnocení výsledků.

V praktické části byly navrženy varianty vtokových ústí, temperačních okruhů a materiálů pro jednotlivé části formy a vybraly se ty, které nejlépe vyhovovaly pro dané použití a zajišťovaly optimální podmínky pro výrobní cyklus. Po zvolení jednotlivých systémů a materiálů byla provedena optimalizace procesních parametrů dle zadaných hodnot a materiálového listu. Dále byla provedena konstrukce vstřikovací formy tak, aby byl zajištěn její bezpečný a plynulý chod a aby byly použity co nejefektivnější díly z hlediska funkčnosti, přesnosti a přehlednosti pro obsluhu. Pro zkonstruovanou formu byl následně zvolen vstřikovací stroj, který nejlépe vyhovoval především jejím rozměrům, vstřikované dávce a uzavírací síle.

Veškeré analýzy byly provedeny v programu Moldflow 2021.2. a 3D konstrukce, stejně tak tvorba výkresové dokumentace, byla provedena v programu CATIA V5-6R2020.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KAMER, David O. Injection Mold Design Engineering. Cincinnati. Munich: Hanser Gardner Publications, 2007.
- [2] Technologie II: Vstřikování plastů. Ksp.tul [online]. Technická univerzita Liberec - fakulta strojní [cit. 2023-01-22]. 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)
- [3] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999, 133 s.
- [4] LENDFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
- [5] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. II. díl, Vstřikování termoplastů. Brno: Uniplast Brno, 1999, 214 s.
- [6] BIRON, Michel. Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007, xliii, 874 s. ISBN 9781856174787.
- [7] SHOEMAKER, Jay, ed. Moldflow design guide: a resource for plastic engineers. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2006, xx, 326 s. ISBN 1569904030.
- [8] CAMPO, E. Alfredo. The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics. Munich: Hanser Publishers, 2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCPDHFIM1/complete-part-design>
- [9] NAJARO, Alberto, Maria NORIEGA, Juan SIERRA a Juan SAZ. Injection Molding Processing Data. Hanser Publications, Cincinnati. Hanser Publications, Munich, 2019.
- [10] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, xviii, 513 s. ISBN 9781569906194.
- [11] PRE-PRODUCTION. TULGA [online]. 2016 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <http://www.tulga.com.tr/en/our-services/pre-production/>

- [12] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. Průmyslové spektrum [online]. 30.03.2010 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>
- [13] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady [online]. 2010, 30. 03. 2010 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>
- [14] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 3. díl: Vady vzhledové. Průmyslové spektrum [online]. 26.04.2010 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>
- [15] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů 2. Praha: Grada Publishing, 2021, 447 s. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [16] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.
- [17] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [18] NEUHÄUSL, Emil. Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování. Průmyslové spektrum [online]. 15.02.2012 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>
- [19] HALAŠKA, Petr. Predikce mechanického chování plastových dílů. Plastic Portal [online]. 12.02.2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/predikce-mechanickeho-chovani-plastovych-dilu/c/6354/>
- [20] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. Průmyslové spektrum [online]. 03.03.2010 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
- [21] ŠUBA, Oldřich. Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 112 s. ISBN 9788073189488.
- [22] 3D Learning Hub: Top of the best mechanical engineering design software in 2022. Sculpteo [online]. 2022 [cit. 2023-01-22].

- [23] Autodesk Moldflow – prodej a podpora SW: Představení sw Autodesk Moldflow. Smart plast [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.smartplast.cz/sluzby/autodesk-moldflow-prodej-podpora-sw/>
- [24] Finite Element Mesh Refinement. COMSOL [online]. 21.02.2017 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement>
- [25] Support and learning: Mesh types. AUTODESK [online]. 06.12.2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight-Modelprep/files/GUID-4B1EA908-C18E-44E3-9BD9-14FE7F160291-htm.html>
- [26] Support and learning: Material databases. AUTODESK [online]. 28.03.2017 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-9C852155-1ECC-4A68-A45D-F3FC5E79E057-htm.html>
- [27] Support and learning: Results Summary. AUTODESK [online]. 06.12.20178 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight-Results/files/GUID-CA5FBC62-C3A0-48DB-8E15-EDE1717EF44C-htm.html>
- [28] ZHOU, Huamin. COMPUTER MODELING FOR INJECTION MOLDING: Simulation, Optimization, and Control. Huazhong University of Science and Technology. Wuhan, Hubei, China: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2013.
- [29] Jaký je rozdíl mezi přenosem tepla vedením, prouděním a sáláním? E-konstruktor [online]. 06.12.2015 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-prenosem-tepla-vedenim-proudenim-a-salanim>
- [30] BĚHÁLEK, Luboš. Podpora přírodovědného a technického vzdělávání v Pardubickém kraji [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-01-30]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [31] Support and learning: Fill or Flow results. AUTODESK [online]. 24.06.2022 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/MoldflowInsight-CLC-Results/files/GUID-3D06ED04-FC59-4B68-A103-AAA5EB073EB8-html.html>

- [32] Support and learning: Fill time result is longer than set injection time in Moldflow analysis. AUTODESK [online]. 10.05.2021 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: [https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Fill-time-result-is-longer-than-set-injection-time-in-Moldflow-analysis.html?us\\_oa=akn-us&us\\_si=445cb5e6-4a51-4c8c-9c06-2cb4497f26f4&us\\_st=injection%20time](https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Fill-time-result-is-longer-than-set-injection-time-in-Moldflow-analysis.html?us_oa=akn-us&us_si=445cb5e6-4a51-4c8c-9c06-2cb4497f26f4&us_st=injection%20time)
- [33] Support and learning: Temperature result (3D). AUTODESK [online]. 24.06.2022 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/MoldflowInsight-CLC-Results/files/Fill-or-flow-results/MoldflowInsight-CLC-Results-Fill-or-flow-results-Temperature-result-3D.html-html.html>
- [34] Support and learning: Pressure result. AUTODESK [online]. 24.06.2022 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/MoldflowInsight-CLC-Results/files/Fill-or-flow-results/MoldflowInsight-CLC-Results-Fill-or-flow-results-Pressure-result-html.html.html>
- [35] Support and learning: Weld lines result. AUTODESK [online]. 24.06.2022 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/MoldflowInsight-CLC-Results/files/Fill-or-flow-results/GUID-BEEA8CE2-D25E-4A87-851E-E2068AB9D94B.html.html>
- [36] Support and learning: How to interpret deflection results in a Moldflow warp analysis. AUTODESK [online]. 30.07.2020 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: [https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Do-the-deflection-prediction-results-represent-normal-part-shrinkage-in-Moldflow.html?us\\_oa=akn-us&us\\_si=ac2a271d-6359-48d8-9621-98ecb0de5e72&us\\_st=deflection](https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Do-the-deflection-prediction-results-represent-normal-part-shrinkage-in-Moldflow.html?us_oa=akn-us&us_si=ac2a271d-6359-48d8-9621-98ecb0de5e72&us_st=deflection)
- [37] PBT – Polybutylene terephthalate. Ensinger [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/engineering-plastics/pbt-material>
- [38] Tlakové vodní temperační přístroje. Am plastic [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.amcz.cz/tlakove-vodni-temperacni-pristroje/>
- [39] DISCOVER CATIA. Dassault system [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PP – polypropylen

PE – polyethylen

PA – polyamid

POM – polyoxymetylén

PBT – polybutylentereftalát

PET – polyethylentereftalát

PS – polystyren

ABS – akrylonitrilbutadienstyren

PVC – polyvinylchlorid

PMMA – polymethylmethakrylát

PC – polykarbonát

SAN – styrén akrylonitril

Pa – Pascal

s – sekunda

°C – stupně Celsia

mm – milimetr

μm – mikrometr

Re – Reynoldsovo číslo

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Proces vstřikování [1]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Graf vstřikovacího cyklu</i> .....	14
<i>Obr. 3 Vstřikovací forma v otevřeném stavu při vyhazování výrobku [1]</i> .....	16
<i>Obr. 4 Amorfní a semikrystalické termoplasty [30]</i> .....	18
<i>Obr. 5 Fontánový tok taveniny</i> .....	19
<i>Obr. 6 Vliv teploty a tlaku na viskozitu [7]</i> .....	20
<i>Obr. 7 (a) Rychlostní profil, (b) Profil rychlosti smykové deformace [7]</i> .....	21
<i>Obr. 8 Deformace materiálu během toku [7]</i> .....	22
<i>Obr. 9 Procesní okno [11]</i> .....	23
<i>Obr. 10 Správná a špatná konstrukce výrobku s ohledem na tloušťku stěn [4]</i> .....	27
<i>Obr. 11 Žebrování s ohledem na propadliny [4]</i> .....	28
<i>Obr. 12 Příklad žebrování (zvolený díl pro diplomovou práci)</i> .....	29
<i>Obr. 13 Studené spoje</i> .....	32
<i>Obr. 14 Studený spoj u polymerů plněných skelnými vlákny</i> .....	33
<i>Obr. 15 Uzavřený vzduch v nejbližším rohu od vtoku [17]</i> .....	34
<i>Obr. 16 Orientace skelných vláken [17]</i> .....	35
<i>Obr. 17 Typy sítí [26]</i> .....	38
<i>Obr. 18 Druhy vtokových ústí [7]</i> .....	39
<i>Obr. 19 Příklad správné a) a špatné temperace b) [7]</i> .....	41
<i>Obr. 20 Laminární a turbulentní proudění [7]</i> .....	42
<i>Obr. 21 Způsoby temperace [7]</i> .....	43
<i>Obr. 22 Výsledek studených spojů proložený časem plnění</i> .....	45
<i>Obr. 23 Deformace – a) deformace vlivem smrštění, b) deformace vlivem orientace skelných vláken (materiál je plněný 30 % skelných vláken)</i> .....	45
<i>Obr. 24 Vyráběný díl – pohled shora</i> .....	49
<i>Obr. 25 Vyráběný díl – pohled zespoda</i> .....	49
<i>Obr. 26 Vtokový systém varianta a), umístění horké trysky do dílu</i> .....	51
<i>Obr. 27 Vtokový systém varianta b) umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé horní části výrobku</i> .....	52
<i>Obr. 28 Vtokový systém varianta c) umístění vtokového ústí do dělicí roviny v levé dolní části výrobku</i> .....	52
<i>Obr. 29 Čas plnění u tří variant vtokového ústí</i> .....	53
<i>Obr. 30 Tlak při přepnutí na dotlak u tří variant vtokového ústí</i> .....	54
<i>Obr. 31 Teplota čela taveniny u tří variant vtokového ústí</i> .....	55

<i>Obr. 32</i> <i>Temperační systém varianta a), temperace výrobku převážně pomocí vrtaných kanálů a několika málo přepážek.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 33</i> <i>Temperační systém varianta b), temperace výrobku převážně pomocí přepážek ..</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34</i> <i>Efektivita temperace u dvou variant temperací.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 35</i> <i>Teplota temperačního média u dvou variant temperací.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 36</i> <i>Tlak temperace u dvou variant temperací.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 37</i> <i>Tuhnutí polymeru v čase 7,6 s .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 38</i> <i>Deformace dílu z analýzy zvolené temperace.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 39</i> <i>Umístění tvarové vložky.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 40</i> <i>Deformace v oblasti bočního odformování 1 a tvarové vložky .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 41</i> <i>Deformace v oblasti bočního odformování 2 .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 42</i> <i>Teplota na bočních odformování.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 43</i> <i>Teplota tvárníku a tvarové vložky .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 44</i> <i>Nastavené parametry sítě .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 45</i> <i>Síť dílu .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 46</i> <i>Síť částí formy.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 47</i> <i>Průtok vtokovým systémem a jeho nastavení v Moldflow .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 48</i> <i>Temperace tvárníku a bočních odformování a jejich nastavení v Moldflow .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 49</i> <i>Temperace tvárnice a jejich nastavení v Moldflow.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 50</i> <i>Nastavení procesních parametrů.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 51</i> <i>Čas plnění (fill time).....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 52</i> <i>Tlak při přepnutí na dotlak (pressure at V/P switchover).....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 53</i> <i>Průběh tlaku v místě ústí vtoku (pressure at injection location).....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 54</i> <i>Průběh uzavírací síly (clamp force) .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 55</i> <i>Teplota čela taveniny (temperature at flow front).....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 56</i> <i>Teplota (temperature).....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 57</i> <i>Tuhnutí polymeru (frozen layer fraction) .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 58</i> <i>Maximální smyková rychlost (shear rate maximum) .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 59</i> <i>Studené spoje (weld lines) .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 60</i> <i>Teplota temperačního média (circuit coolant temperature) .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 61</i> <i>Tlak temperačního média (circuit pressure) .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 62</i> <i>Reynoldsovo číslo (circuit Reynolds number) .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 63</i> <i>Teploty tvárníku a tvárnice (temperature, mold) .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 64</i> <i>Teploty bočních odformování (temperature, insert).....</i>	<i>79</i>

<i>Obr. 65 Deformace ve všech směrech vlivem smrštění, orientace skelných vláken a chlazení (deflection – differential shrinkage, deflection – orientation effects a deflection – differential cooling) .....</i>	81
<i>Obr. 66 Celková deformace (deflection – all effects) .....</i>	82
<i>Obr. 67 Vstřikovací forma .....</i>	83
<i>Obr. 68 Levá část formy .....</i>	84
<i>Obr. 69 Pravá část formy .....</i>	85
<i>Obr. 70 Dělicí rovin .....</i>	86
<i>Obr. 71 Tvárník a tvárnice .....</i>	86
<i>Obr. 72 Horký vtokový systém .....</i>	87
<i>Obr. 73 Boční odformování .....</i>	88
<i>Obr. 74 Temperace tvárníku .....</i>	89
<i>Obr. 75 Temperace tvárnice .....</i>	90
<i>Obr. 76 Temperace bočních odformování .....</i>	90
<i>Obr. 77 Značení vstupů a výstupů temperací .....</i>	91
<i>Obr. 78 Stojan pro temperaci .....</i>	91
<i>Obr. 79 Vyhazovací systém .....</i>	92
<i>Obr. 80 Vyhazovací kolíky a jejich zajištění proti pootočení .....</i>	93
<i>Obr. 81 Umístění vyhazovačů .....</i>	93
<i>Obr. 82 Použité konstrukční prvky .....</i>	94
<i>Obr. 83 Umístění závěsných ok .....</i>	94
<i>Obr. 84 ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60) .....</i>	95

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Porovnání hlavních parametrů pro volbu umístění vtokového ústí.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 2 Porovnání hlavních parametrů pro volbu temperačního okruhu .....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 3 Porovnání hlavních parametrů pro volbu materiálů částí formy.....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 4 Požadované parametry a parametry zvoleného stroje .....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 5 Volba jednotlivých systémů a materiálu pro správnou funkčnost formy.....</i>	<i>97</i>
<i>Tab. 6 Základní výsledky po optimalizaci parametrů.....</i>	<i>98</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Ultradur B 4406 G6

Příloha P II: AMPCOLOY 88

Příloha P III: Tool steel p-20

Příloha P IV: ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60)

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ULTRADUR B 4406 G6



**Ultradur® B 4406 G6**

PBT-GF30

BASF

Injection molding grade with 30 % glass fibers for parts requiring enhanced fire resistance (eg potentiometer parts, plug-and-socket connectors, switches).

Abbreviated designation according to ISO 1043-1: PBT FR(17)

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Melt volume-flow rate, MVR	8	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Temperature	275	°C	-
Load	2.16	kg	-
Molding shrinkage, parallel	0.3	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.1	%	ISO 294-4, 2577

Mechanical Properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Tensile Modulus	11300	MPa	ISO 527
Stress at Break	145	MPa	ISO 527
Strain at Break	2.3	%	ISO 527
Tensile Creep Modulus, 1000h	7500	MPa	ISO 899-1
Impact Strength (Charpy), +23°C	60	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Impact Strength (Charpy), -30°C	55	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Notched Impact Strength (Charpy), +23°C	10	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA

Thermal Properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Melting Temperature (10°C/min)	223	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	205	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	220	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	223	°C	ISO 306
Coeff. of Linear Therm. Expansion, parallel	23	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of Linear Therm. Expansion, normal	97	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm Nom. Thickn.	V-0	class	UL 94
Thickness tested	1.6	mm	-
UL recognition	yes	-	-
Burning Behav. at thickness h	V-0	class	UL 94
Thickness tested	0.4	mm	-
UL recognition	yes	-	-
Burning Behav. 5V at Thickness h	5VA	class	IEC 60695-11-20
Thickness tested	1.5	mm	-
UL recognition	yes	-	-
Oxygen index	32	%	ISO 4589-1/-2

Electrical Properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Relative permittivity, 100Hz	3.9	-	IEC 62631-2-1
Relative permittivity, 1MHz	3.9	-	IEC 62631-2-1
Dissipation Factor, 100Hz	20	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation Factor, 1MHz	150	E-4	IEC 62631-2-1
Volume Resistivity	1E13	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface Resistivity	1E14	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric Strength	40	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	200	-	IEC 60112

Other Properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Water Absorption	0.4	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1650	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

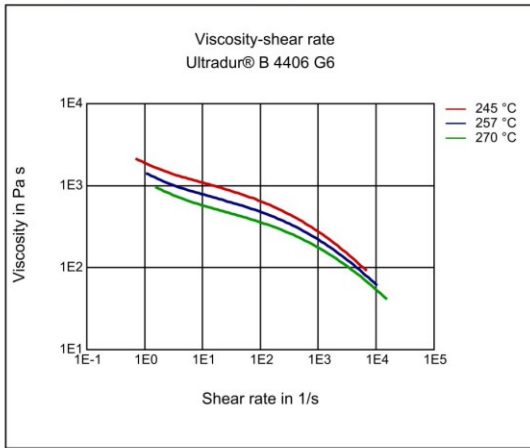
Material Specific Properties	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			

Viscosity number	108	cm <sup>3</sup> /g	ISO 307, 1157, 1628
------------------	-----	--------------------	---------------------

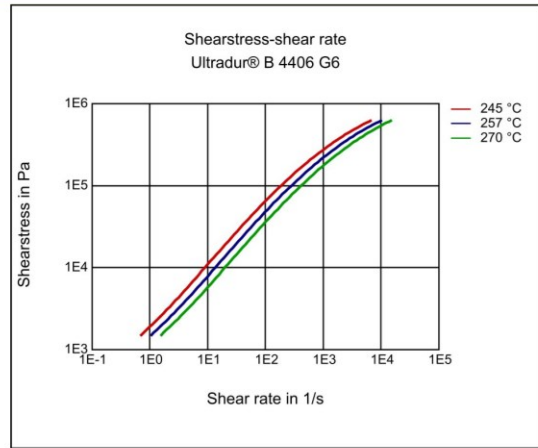
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
<b>ISO Data</b>			
Injection Molding, melt temperature	250	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 294
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

**Diagrams**

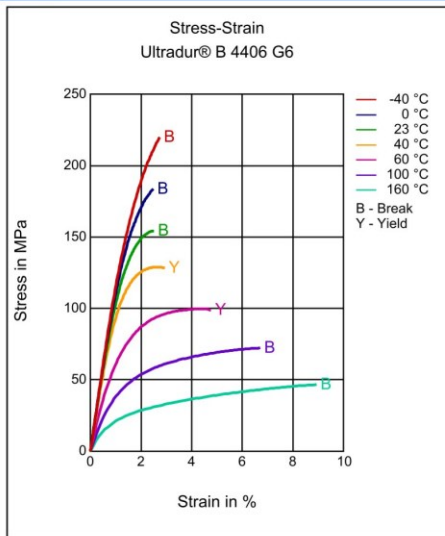
**Viscosity-shear rate**



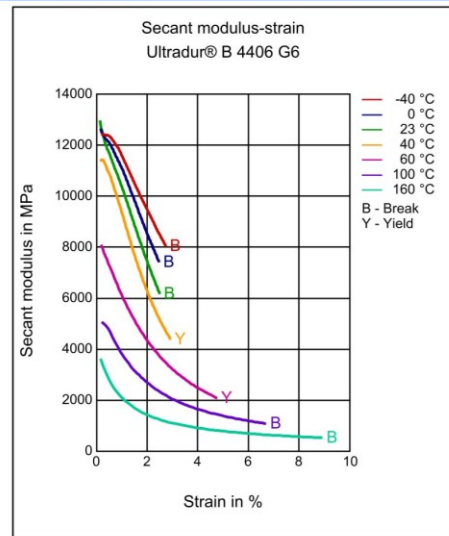
**Shearstress-shear rate**



**Stress-strain**

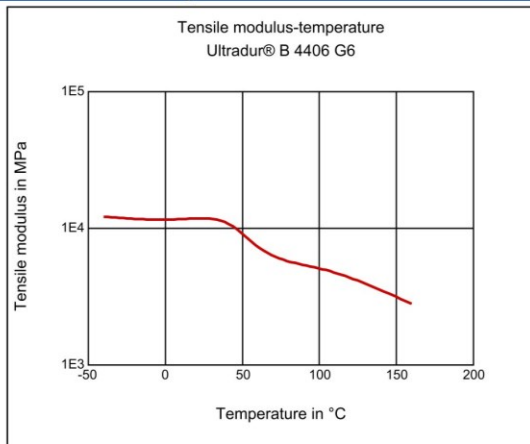


**Secant modulus-strain**

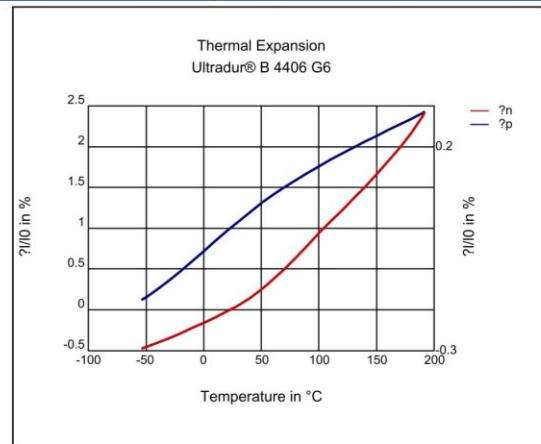




**Tensile Modulus-Temperature**



**Coeff. of linear thermal expansion, normal**



**Characteristics**

**Processing**

Injection Molding

**Additives**

Lubricants

**Delivery form**

Pellets

**Special Characteristics**

Flame retardant, Light stabilized or stable to light, UV stabilized, Heat aging stabilized

**Injection Molding**

**PREPROCESSING**

Pre/Post-processing, max. allowed water content: .04 %  
Pre/Post-processing, Pre-drying, Temperature: 80 - 120 °C  
Pre/Post-processing, Pre-drying, Time: 4 h

**PROCESSING**

injection molding, Melt temperature, range: 250 - 275 °C  
injection molding, Melt temperature, recommended: 260 °C  
injection molding, Mold temperature, range: 60 - 100 °C  
injection molding, Mold temperature, recommended: 80 °C  
injection molding, Dwell time, thermoplastics: 10 min

**Chemical Media Resistance**

**Acids**

- ✓ Acetic Acid (5% by mass) (23 °C)
- ✓ Citric Acid solution (10% by mass) (23 °C)
- ✓ Lactic Acid (10% by mass) (23 °C)

**Bases**

- ✗ Sodium Hydroxide solution (35% by mass) (23 °C)
- ✓ Ammonium Hydroxide solution (10% by mass) (23 °C)

**Alcohols**

- ✓ Isopropyl alcohol (23 °C)
- ✓ Methanol (23 °C)
- ✓ Ethanol (23 °C)

#### Hydrocarbons

- ✓ n-Hexane (23°C)
- ✓ Toluene (23°C)
- ✓ iso-Octane (23°C)

#### Ketones

- ✗ Acetone (23°C)

#### Ethers

- ✓ Diethyl ether (23°C)

#### Mineral oils

- ✓ SAE 10W40 multigrade motor oil (23°C)
- ✓ SAE 10W40 multigrade motor oil (130°C)

#### Standard Fuels

- ✓ Diesel fuel (pref. ISO 1817 Liquid F) (23°C)

#### Salt solutions

- ✓ Sodium Carbonate solution (2% by mass) (23°C)

#### Other

- ✗ Ethyl Acetate (23°C)
- ✓ Water (23°C)

#### Disclaimer

##### Liability Exclusion

These guide values are measured and provided by the product manufacturer and have been determined on standardised test specimens and can be affected by pigmentation, mould design and processing conditions. M-Base has taken the guide values from the producer's original Technical Data Sheet. **ALBIS AND M-BASE ARE THEREFORE NOT RESPONSIBLE FOR THE ACCURACY OF THE GUIDE VALUES AND CANNOT GIVE ANY WARRANTY WITH REGARD TO THEIR CORRECTNESS.**

Any information given on the chemical and physical characteristics of our products, including, without limitation, technical advice on applications, whether verbally, in writing or by testing the product, is given to the best of our knowledge and in good faith and does not exempt the buyer from carrying out their own investigations and tests in order to ascertain the product's specific suitability for the purpose intended.

The buyer is solely responsible for confirming the suitability of the product for a particular application, its utilization and processing and must observe any applicable laws and government regulations. **NO EXPRESS OR IMPLIED RECOMMENDATION OR WARRANTY IS GIVEN WITH REGARD TO THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR A PARTICULAR APPLICATION, SUCH AS, BUT NOT LIMITED TO, SAFETY-CRITICAL COMPONENTS OR SYSTEMS.**

**Healthcare uses:** the supply of any product by ALBIS for any medical, pharmaceutical or diagnostic application is conditional to an assessment by ALBIS in terms of compliance with ALBIS' internal risk management policy – even for products which are in general designated for use in Healthcare applications.

**Important:** irrespective of product type or designation, ALBIS does not recommend or support the use of any products it supplies which fall into the following medical, pharmaceutical or diagnostic application categories:

- risk class III applications according to EU directive 93/42/EEC
- any bodily implant application for greater than 30 days
- any critical component in any medical device that supports or sustains human life.

At all times, our standard terms and conditions of sale apply.

# PŘÍLOHA P II: AMPCOLOY 88



**AMPCO METAL**  
Excellence in engineered alloys

## Technical Data Sheet **AMPCOLOY<sup>®</sup> 88** Extrusions

### Nominal composition:

Cobalt + Nickel	(Co + Ni)	2.5%
Beryllium	(Be)	0.5%
Others		max. 0.5%
Copper	(Cu)	balance

### Specifications:

<b>ISO</b>	<b>NFA 82100</b>	
<b>EN</b>	<b>CW 104C</b>	<b>A3/1</b>
<b>D</b>	<b>DIN 17666</b>	<b>W. Nr. 2.1285</b>
<b>F</b>	<b>AFNOR</b>	<b>UK2Be</b>
<b>GB</b>	<b>BS</b>	
<b>USA</b>	<b>CDA</b> <b>RWMA</b>	<b>C17500</b> <b>Class 3</b>

<b>Mechanical and physical properties</b>	<b>Units</b>	<b>Nominal Values</b>
Tensile strength Rm	MPa	890
Yield strength Rp 0.5	MPa	680
Elongation A5	%	14
Brinell hardness	HBW 10/3000	270
Rockwell hardness	HRC	28
Modulus of elasticity E	GPa	130
Density $\rho$	g / cm <sup>3</sup>	8.75
Coefficient of expansion $\alpha$	10 <sup>-6</sup> / K	17
Thermal conductivity $\lambda$	W / m · K	230
Electrical conductivity $\gamma$	m / $\Omega$ · mm <sup>2</sup>	28
Electrical conductivity	% I.A.C.S.	48
Specific heat Cp	J / g · K	0.42

Assurances given with respect to properties or uses are subject to written approval from AMPCO METAL.

### APPLICATIONS:

The applications are generally the same as AMPCOLOY<sup>®</sup> 95. Although both alloys are identically classified, AMPCOLOY<sup>®</sup> 88 finds its own applications due to its slightly higher mechanical properties. AMPCOLOY<sup>®</sup> 88 is principally used for flash welding dies, welding wheels, electrodes for mesh welding, damper ring segments and damper rings for generators and parts for injection molding of plastic.

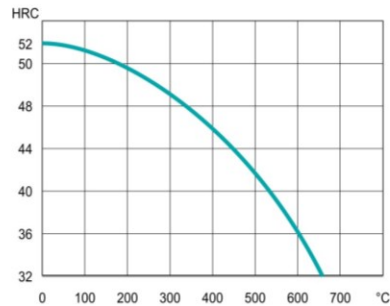
### WARNING

Since the alloy contains 0.5 % Beryllium, it is recommended that during any operation which is liable to create dust or fumes (for example dry grinding, polishing or welding) precautions should be taken to ensure there is no inhalation or exposure to eyes or skin. Conventional machining (for example milling and turning) is not generally considered hazardous.

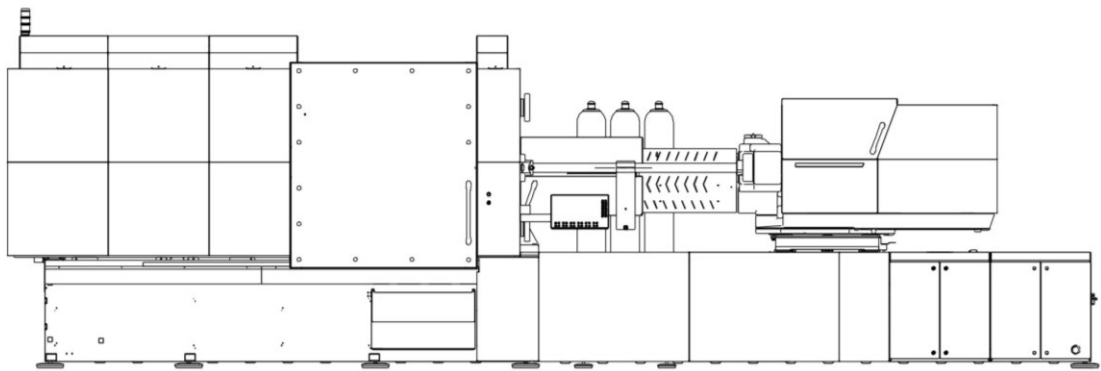
# PŘÍLOHA P III: TOOL STEEL P-20



<b>MATERIAL NO.:</b>		<b>1.2311</b>						
<b>DESIGNATION:</b>	<b>DIN:</b> 40 CrMnMo 7 <b>AFNOR:</b> 40 CMD 8 <b>UNI:</b> 35 CrMo 8 KU <b>AISI:</b> P20	<b>TECHNICAL TIP:</b> » The core strength decreases with increasing plate thickness: for thickness >300 we recommend 1.2738.						
<b>INDICATORY ANALYSIS:</b>	C 0.40 Si 0.40 Mn 1.50 Cr 1.90 Mo 0.20							
<b>STRENGTH:</b>	280 - 325 HB (≈ 950 - 1100 N/mm <sup>2</sup> )							
<b>THERMAL CONDUCTIVITY AT 100°C:</b>	35 $\frac{W}{m K}$							
<b>COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION [10<sup>-6</sup>/K]</b>		100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
		12.0	12.8	13.3	13.5			
<b>CHARACTER:</b>	» Alloyed and pre-toughened <b>tool steel</b> , especially suitable for polishing; high dimensional stability							
<b>APPLICATION:</b>	» Cavity plates, inserts and high-tensile machine parts							
<b>TREATMENT BY:</b>	» Polishing: good suitability for polishing; for higher surface requirements we recommend steel for through hardening » Etching, EDM: possible » Nitriding: increases the steel's wear resistance » Hard chrome plating: particularly increases the steel's wear resistance and corrosion resistance							
<b>HEAT TREATMENT:</b>	Already pre-toughened; usually no heat treatment required  » Soft annealing: 720 to 740°C for about 2 to 4 hours slow controlled cooling inside the furnace » Nitriding: before nitriding, stress-relieving heat treatment at 580°C (Meusburger standard) is recommended. » Hardening: 840 to 860°C quenching in oil/hot bath (180 to 220°C) obtainable hardness: <b>52 HRC</b> » Tempering: slow heating to tempering temperature immediately after hardening; minimum time in furnace: 1 hour per 25 mm part thickness							
<b>TEMPERING CHART:</b>								



## PŘÍLOHA P IV: ARBURG ALLROUNDER 820 S – 4000 – 2100 (60)



### **ALLROUNDER 820 S**

#### **Clamp-Design**

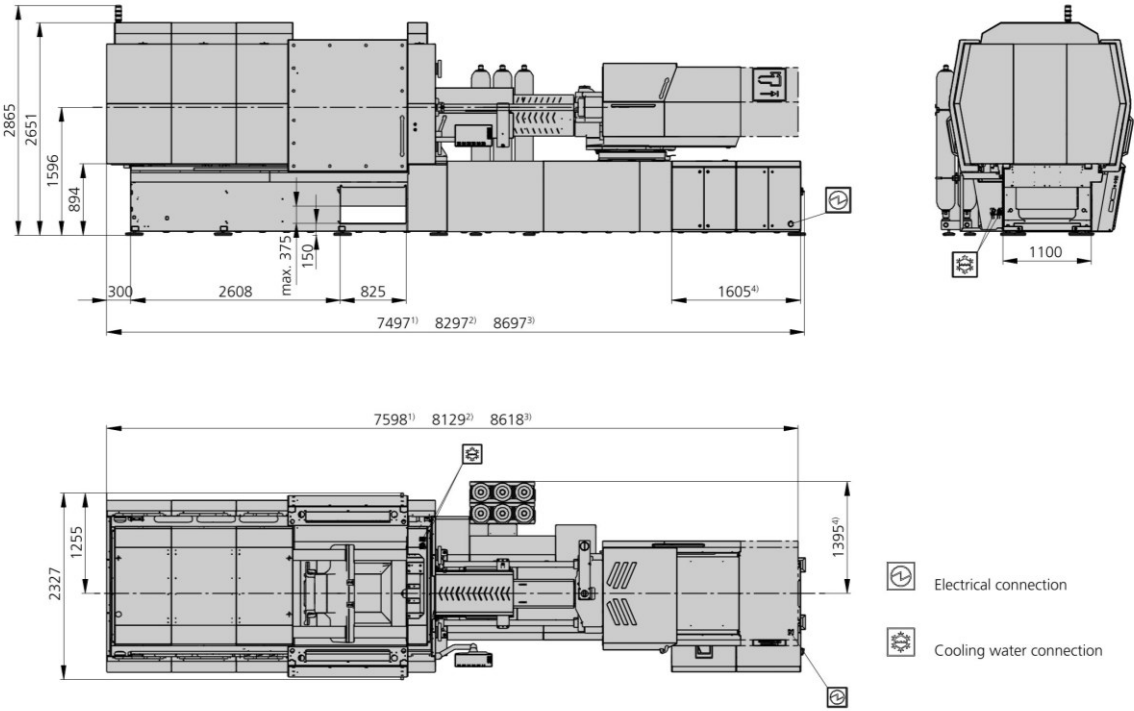
Distance between tie bars: 820 x 820 mm

Clamping force: 4000 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 2100, 3200, 4600

**ARBURG**

# MACHINE DIMENSIONS | 820 S



1) Injection unit 2100  
 2) Injection unit 3200  
 3) Injection unit 4600  
 4) Subject to performance variant and injection unit size  
 5) Hydraulic accumulator

## TECHNICAL DATA | 820 S

Clamping unit		820 S	
with clamping force	max. kN	4000	
Opening force   stroke	max. kN   mm	800   700	
Mould height, fixed   variable	min. mm	850   [350-850]	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	1550   [1050-1550]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	820 x 820	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1171 x 1171	
Weight of movable mould half	max. kg	5000	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	100   250	
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	1 pump	min. s - mm	5,0 - 574
	2 pumps	min. s - mm	3,7 - 574
	Accum.	min. s - mm	2,3 - 574

Injection unit		2100			3200			4600			
with screw diameter	mm	60	70	80	70	80	90	80	90	100	
Effective screw length	L/D	23	20	17,5	23	20	18	22,5	20	18	
Screw stroke	max. mm	280			320			360			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	792	1078	1407	1232	1608	2036	1810	2290	2827	
Shot weight	max. g PS	723	984	1286	1125	1469	1860	1653	2092	2583	
Material throughput	max. kg/h PS	125	145	175	185	215	250	255	295	330	
	max. kg/h PA6.6	62	74	88	93	110	125	120	150	170	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2500	2000	1620	
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2500	2000	1620	
Injection flow <sup>2</sup>	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	290	394	514	290	380	482	---		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	290	394	514	290	380	482	310	392	484
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	1132	1540	2012	1188	1552	1964	1264	1600	1976
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	1 pump	max. m/min	56	65	75	47	54	61	---		
	2 pumps	max. m/min	56	65	75	47	54	61	38	43	48
	Accum.	max. m/min	21	25	28	23	26	29	40	46	51
Screw torque	max. Nm	2140	2500	2550	3140	3510	3510	4400	4950	5000	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	110   600			110   600			110   600			
Heating capacity   zones	kW	31,4   8			38,4   8			50,9   9			

Drive and connection		1 pump (servo)		2 pumps			Accum.			
with injection unit		2100	3200	2100	3200	4600	2100	3200	4600	
Net weight of machine	kg	21000	22500	21000	22500	24600	---			
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	< 65		69   3			< 70			
Oil filling	l	410	530	410	530	570	460	610	670	
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	55	55	55	55	75	37	37	45	
Electrical connection <sup>3</sup>	kW	89	96	89	96	129	71	78	99	
	Total	A	---		---			---		
	Machine	A	125	125	125	125	160	100	100	125
Cooling water connection	max. °C	30		30			30			
	min. Δp bar	1,5   DN 25		1,5   DN 25			1,5   DN 32			

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>		
820 S 4000-2100		1   2   -
820 S 4000-3200		1   2   -
820 S 4000-4600		-   2   Accum.

### Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

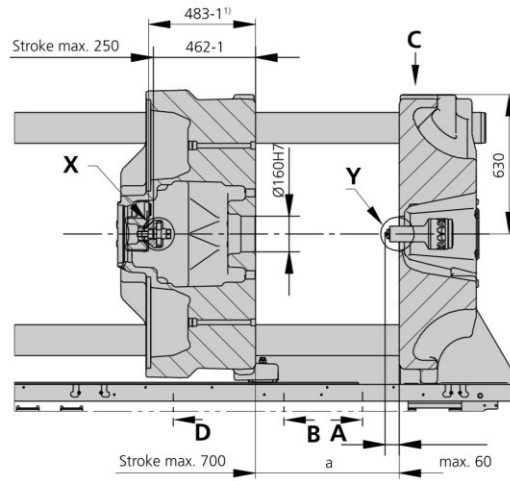
2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[ ] Specifications apply to alternative equipment.

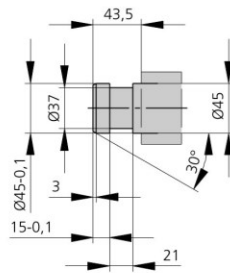
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 820 S



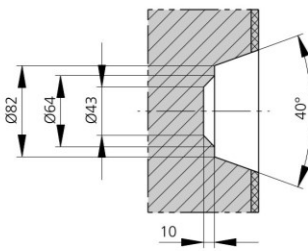
Mould installation height	a min.	a max.
Fixed	850	1550
variable, manually	[550, 650, 750]	[1250, 1350, 1450]
variable, automatically	350-850	1050-1550

[ ] Value in brackets: option

## Ejector bolt | X

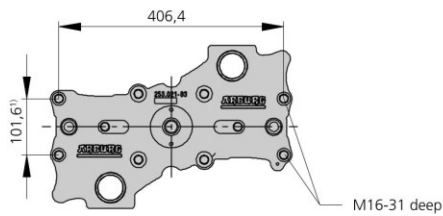


## Bore in mould (if required) | Y

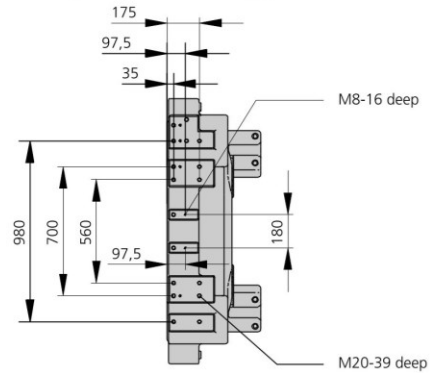


thermoset version available upon request

## Ejector plate | D



## Robotic system mounting | C

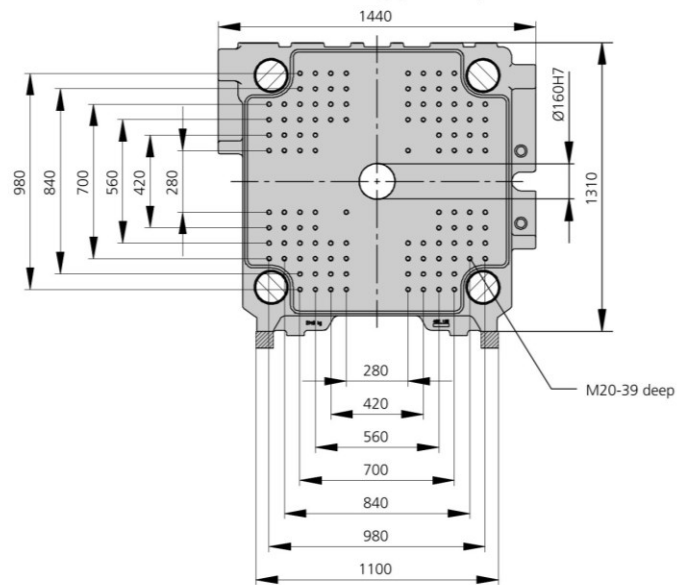


1) Positions of ejector plate

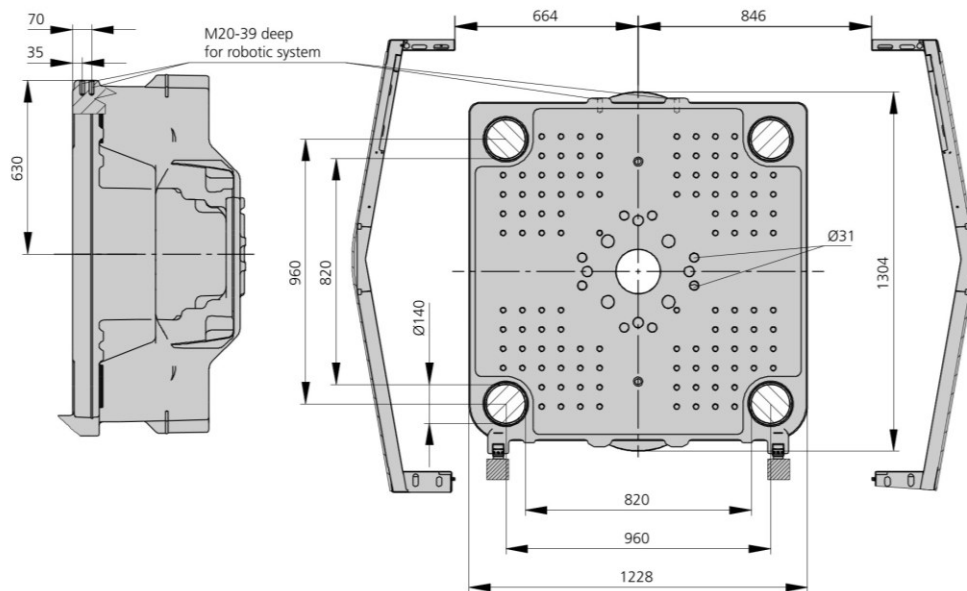


## MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 820 S

### Fixed mould mounting platen | A



### Moving mould mounting platen | B



## SHOT WEIGHTS | 820 S

### Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		2100			3200			4600		
Screw diameter	mm	60	70	80	70	80	90	80	90	100
Polystyrene	max. g PS	723	984	1286	1125	1469	1860	1653	2092	2583
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	707	962	1256	1099	1436	1817	1615	2044	2523
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	693	943	1231	1077	1407	1781	1583	2003	2473
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	814	1108	1447	1266	1654	2093	1860	2354	2907
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	757	1030	1346	1177	1538	1946	1730	2189	2703
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	747	1017	1329	1163	1518	1922	1708	2162	2669
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polycarbonate	max. g PC	760	1034	1351	1182	1544	1954	1737	2199	2714
Polysulphone	max. g PSU	785	1069	1396	1222	1596	2019	1795	2272	2805
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	719	978	1278	1118	1461	1848	1643	2080	2568
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	893	1215	1588	1389	1814	2296	2041	2583	3189
Polyethylene terephthalate	max. g PET	861	1172	1531	1340	1750	2215	1969	2492	3076
Polyethylene	max. g PE-LD	546	744	971	850	1110	1405	1249	1580	1951
	max. g PE-HD	564	768	1003	877	1146	1450	1289	1632	2015
Polypropylene	max. g PP	576	784	1025	897	1171	1482	1317	1667	2058
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	1157	1575	2058	1800	2352	2976	2646	3348	4134
	max. g ETFE	1015	1382	1805	1579	2063	2611	2321	2937	3626
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	874	1190	1554	1360	1776	2247	1998	2528	3121
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	808	1099	1436	1256	1641	2076	1846	2336	2884

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**  
 Arthur-Hehl-Strasse  
 72290 Lossburg  
 Tel.: +49 7446 33-0  
 www.arburg.com  
 contact@arburg.com

525003\_EN\_GB\_032023 - Subject to alterations