

# Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového automobilového dílu

Bc. Tomáš Adamík

---

Diplomová práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Adamík
Osobní číslo:	T22372
Studijní program:	N0788A270008 Konstrukce nástrojů
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového automobilového dílu

## Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte konstrukci zadaného plastového dílu.
- Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
- Návrh ověřte pomocí analýz.

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*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2019, xx, 450 s. ISBN 978-1-56990-590-6

KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227

STAUBER, R. a L. VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 27. února 2024

## **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, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na 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**

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh vstříkovací formy pro součást automobilového interiéru. Vzhledem k charakteru zadaného výrobku, vyžaduje výroba pečlivou pozornost vzhledem k funkčním a estetickým aspektům. Teoretická část této práce se zabývá technologií vstříkování polymerních materiálů. Dále popisuje principy konstrukce vstříkovací formy, vstříkovacího stroje, polymerní materiály včetně jejich modifikace a možnosti vhodného návrhu součásti z polymerního materiálu. V závěru této části je věnována pozornost analýze vstříkovacího procesu.

V praktické části diplomové práce je na úvod detailní popis zadaného plastového dílu. Následně je zvolen materiál pro jeho výrobu. Poté je proveden podrobný popis postupu konstrukčního návrhu 3D modelu vstříkovací formy, která je vytvořena pomocí programu CATIA. Podle výsledných parametrů formy je zvolen vstříkovací stroj. Funkčnost navržené vstříkovací formy je ověřena pomocí analýzy provedené pomocí programu Autodesk Moldflow. Z výsledků analýz a ekonomických propočtů je zvolen nejvhodnější typ vtokového systému.

V přílohách je doplněn kompletní výkres sestavy formy včetně kusovníku.

Klíčová slova: technologie vstříkování, vstříkovací forma, vstříkovací stroj, polymery, CATIA, Autodesk Moldflow

## **ABSTRACT**

The main aim of this thesis is to design an injection mold for an automotive interior component. Due to the nature of the commissioned product, the production requires careful attention due to functional and aesthetic aspects. The theoretical part of this thesis deals with the injection molding technology of polymeric materials. It also describes the principles of injection mold design, injection molding machine, polymer materials including their modification and the possibilities of appropriate design of a component made of polymer

material. At the end of this section, attention is paid to the analysis of the injection molding process.

The practical part of the thesis starts with a detailed description of the specified plastic part. Subsequently, the material for its production is selected. After that, a detailed description of the design procedure of the 3D model of the injection mold, which is created using CATIA software, is made. According to the resulting mold parameters, an injection molding machine is selected. The functionality of the designed injection mold is verified by an analysis performed using Autodesk Moldflow. From the results of the analysis and economic calculations, the most suitable type of runner system is selected.

A complete drawing of the mold assembly including the bill of materials is attached in the appendices.

Keywords: injection molding technology, injection mold, injection molding machine, polymers, CATIA, Autodesk Moldflow

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za jeho rady, ochotu, čas a trpělivost, které mi obětoval při vypracování této práce. Poděkování náleží i mé rodině a přítelkyni za jejich podporu po celou dobu studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....	13
1.1.1 Vstřikovací cyklus (p–v–T diagram) .....	14
<b>2 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>17</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	18
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	18
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>19</b>
3.1 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	21
3.1.1 Studený vtokový systém .....	23
3.1.2 Vyhřívaný vtokový systém .....	24
3.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	27
3.3 ODFORMOVÁNÍ VÝROBKŮ .....	29
3.3.1 Systém bočních posuvných čelistí .....	29
3.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	30
3.4.1 Vyhazovací kolíky a vložky.....	31
<b>4 POLYMERY</b> .....	<b>34</b>
4.1 ZÁKLADNÍ POJMY PRO POPIS CHARAKTERISTIKY POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	35
4.1.1 Distribuce molekulové hmotnosti .....	35
4.1.2 Tvar makromolekul .....	35
4.1.3 Mezimolekulární síly .....	36
4.1.4 Uspořádání makromolekul .....	36
4.2 CHOVÁNÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU .....	37
4.2.1 Tok polymerního materiálu.....	38
4.3 PŘÍSADE DO POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	39
4.4 SMRŠTĚNÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU .....	40
<b>5 NEGATIVNÍ JEVI PŘI VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>42</b>
5.1 NEDOSTŘÍKNUTÝ VÝROBEK .....	42
5.2 DEGRADACE.....	42
5.3 STUDENÉ SPOJE .....	42
5.4 PROPADLINY .....	43
5.5 VOLNÝ TOK TAVENINY .....	44
5.6 PŘETOKY A OTŘEPY.....	44



5.7	VZDUCHOVÉ KAPSY .....	45
5.8	SPÁLENÁ MÍSTA NA VÝROBKU.....	46
5.9	ZNÁMKY PO TOKU MATERIÁLU.....	46
5.10	DELAMINACE VRSTEV .....	46
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ .....</b>	<b>47</b>
6.1	DĚLÍCÍ ROVINY .....	48
6.2	TLOUŠŤKA STĚN .....	48
6.3	SKLON STĚN .....	50
6.4	HRANY A ZKOSENÍ.....	50
6.5	ŽEBRA .....	51
<b>7</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU (AUTODESK MOLDFLOW).....</b>	<b>52</b>
7.1	KONEČNĚ PRVKOVÁ SÍŤ.....	53
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>ZADANÝ AUTOMOBILOVÝ DÍL.....</b>	<b>57</b>
9.1	MATERIÁL ZADANÉHO DÍLU .....	58
<b>10</b>	<b>NÁVRH 3D SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>59</b>
10.1	UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	61
10.2	TVAROVÉ PRVKY .....	63
10.3	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	65
10.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	66
10.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	67
10.6	STŘEDÍCÍ, IZOLAČNÍ, TRANSPORTNÍ A OCHRANNÉ PRVKY .....	69
10.7	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	70
<b>11</b>	<b>OVĚŘENÍ NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ ANALÝZ .....</b>	<b>71</b>
11.1	VYTVOŘENÍ SÍŤE PRO ANALÝZY A JEJICH OVĚŘENÍ.....	71
11.2	NASTAVENÍ ANALÝZY .....	74
11.3	VÝSLEDKY ANALÝZ .....	75
11.3.1	Doba plnění (Fill time).....	75
11.3.2	Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front).....	76
11.3.3	Uzavírací síla (Clamp force) .....	78
11.3.4	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	78
11.3.5	Studené spoje (Weld lines).....	79
11.3.6	Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature) .....	81
11.3.7	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature) .....	82
11.3.8	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	83

11.3.9 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number).....	84
11.3.10 Celková deformace (Deflection, all effects) .....	86
<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>87</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>90</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>91</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>95</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>100</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>101</b>

## ÚVOD

V oblasti automobilového průmyslu hraje technologie vstřikování polymerních materiálů klíčovou roli, kdy se díky svým vlastnostem tyto materiály staly nedílnou součástí automobilových komponentů. Mezi jejich největší výhody, oproti jiným materiálům, patří lehkost, odolnost vůči korozi a schopnost dosažení složitých tvarových geometrií. Díky těmto vlastnostem, polymerní materiály našly velké uplatnění v automobilovém průmyslu, nejen pro interiéry vozidel, ale i pro jejich karosérie, kdy je usilováno o jejich další inovaci a efektivitu využití.

Mezi jednu z nejpoužívanějších sériových technologií pro zhotovení výrobků z polymerních materiálů patří právě technologie vstřikování. Proces vstřikování spočívá v roztavení materiálu, který je následně pod velkým tlakem vstříknut do formy, kde se nechá zatuhnout, při čemž dostane požadovaný tvar. Následně je z formy vyhozen konečný výrobek, nebo polotovar, který je potřeba přetvořit v hotový výrobek. Pro každý výrobek je potřeba vyrobit novou vstřikovací formu, jejíž výroba je finančně náročná. Aby byla zajištěna její funkčnost v reálném prostředí, je potřeba pro navrženou formu, pomocí analýzy, ověřit její funkčnost a ujistit se, že výsledný výrobek bude bez vizuálních a mechanických vad. Díky těmto analýzám lze zabránit výrobě chybně navržených forem, dále je možné urychlení a zefektivnění výrobního cyklu, což je velmi vyžadováno v sériové výrobě.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

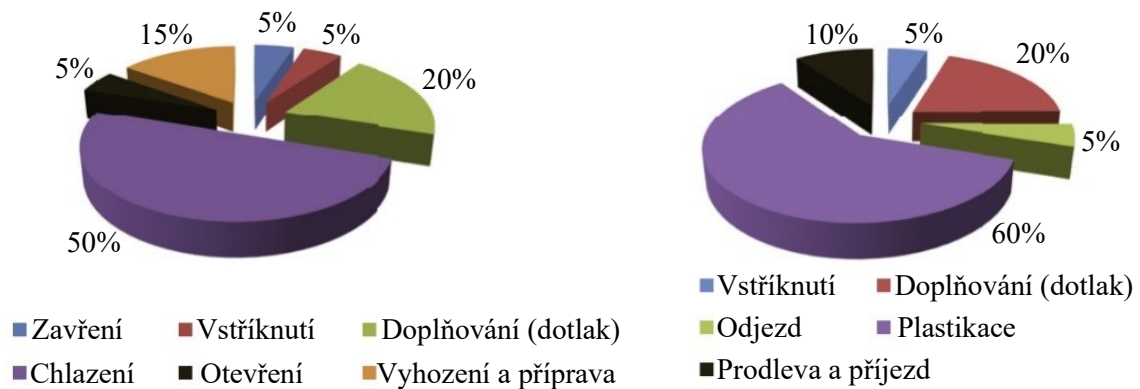
Technologie vstřikování plastů je v průmyslu jednou z nejvyužívanějších metod pro zpracování plastů. Její využití lze najít v automobilovém či leteckém průmyslu, své zastoupení má i při výrobě hraček, lékařského vybavení atd. Vzhledem k nákladnosti výroby vstřikovací formy, se její použití nejčastěji volí v sériových výrobcích. Mezi některé výhody této technologie patří:

- nízké náklady a efektivita,
- snadná automatizace,
- vysoká flexibilita tvaru výrobku,
- možnost produkce dílů s dobrými rozměrovými tolerancemi a kvalitním povrchem,
- výroba dílů s nízkou hmotností, vysokou pevností vzhledem k hmotnosti a odolností proti nárazu,
- výroba konečných výrobků, bez nutnosti následného dokončování. [1] [2] [7]

## 1.1 Průběh vstřikovacího cyklu

Podstata technologie vstřikování je založena na cyklickém opakování jednotlivých částí výrobního cyklu. Na začátku cyklu je potřeba, za působení tepla dodaného topnými tělesy a teplem vzniklým, díky tření mezi materiálem, materiálem a pracovním válcem, docílit vzniku co nejhomogennější taveniny. Nejčastěji tato tavenina vznikne z předem připraveného granulátu. Materiál musí být před zpracováním dostatečně vysušený, aby nedocházelo ke vzniku negativních jevů při jejich zpracování. Následně je vzniklá tavenina za vysokého tlaku, vyvozeného pohybem dopředným šneku, vstříknuta do tvarové dutiny vstřikovací formy, která je negativem výsledného tvaru výrobku, zvětšena o hodnotu smrštění daného materiálu. Vstříknutí musí probíhat rychle a při správné teplotě, aby byla zajištěna požadovaná kvalita výrobku. Jakmile je vstřikovací forma zcela zaplněna, nechá se tavenina zchladit na vyhazovací teplotu daného materiálu, následně je výrobek z formy, pomocí vyhazovacího systému, vyhozen a tento cyklus se opakuje. Děj chlazení výrobku bývá z pravidla z celého cyklu vstřikování nejdelším dějem (50 až 80 % času celého cyklu), za účelem úspory financí se tato část procesu pokouší co nejvíce urychlit. V průběhu vstřikovacího děje (nejčastěji při konci tohoto děje) a při zchlazování dílu (dokud nedojde k zatumnutí vtokového systému) se často do vstřikovacího cyklu zařazuje dotlak, který

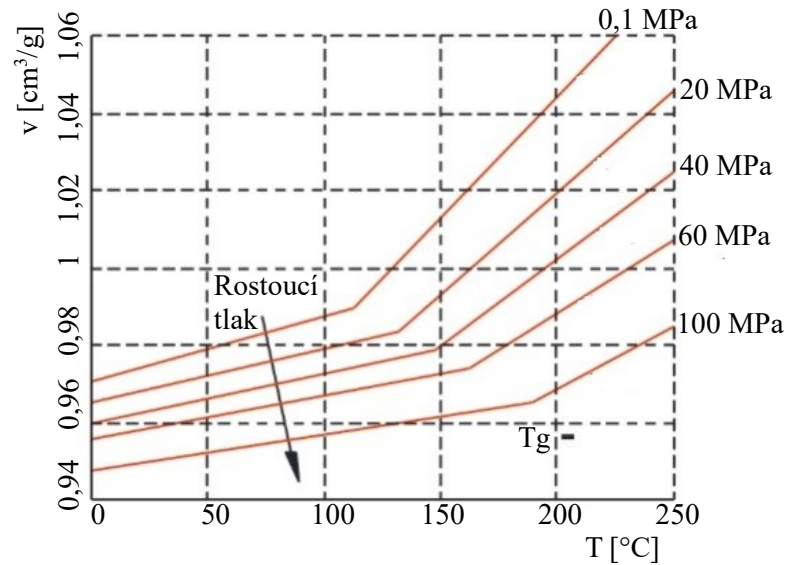
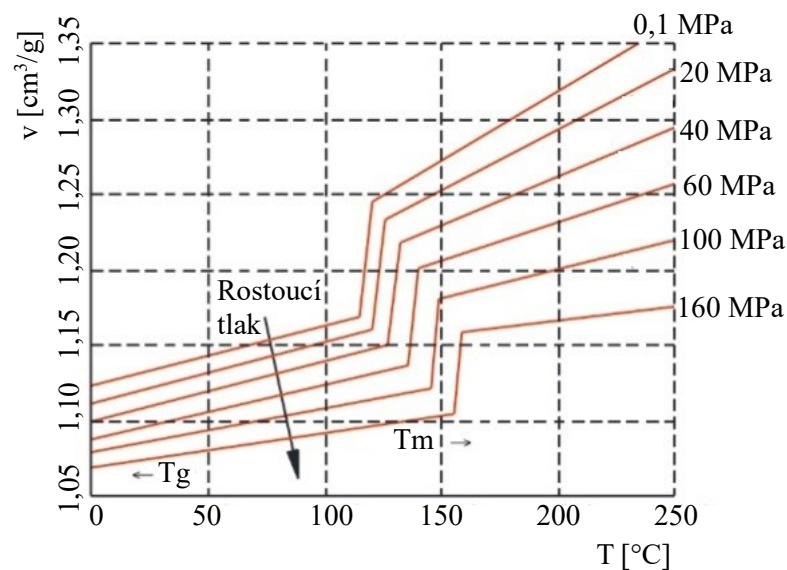
eliminuje tepelnou objemovou kontrakci, aby měl výsledný výrobek, po zchlazení a vyhození z formy, předepsané rozměry a požadovanou jakost povrchu. [1] [3] [5] [8]



Obrázek 1 - Graf potřebné doby (dle aplikace) pro jednotlivé části vstřikovacího cyklu pro vstřikovací formu (vlevo) a plastikační jednotku (vpravo) [2]

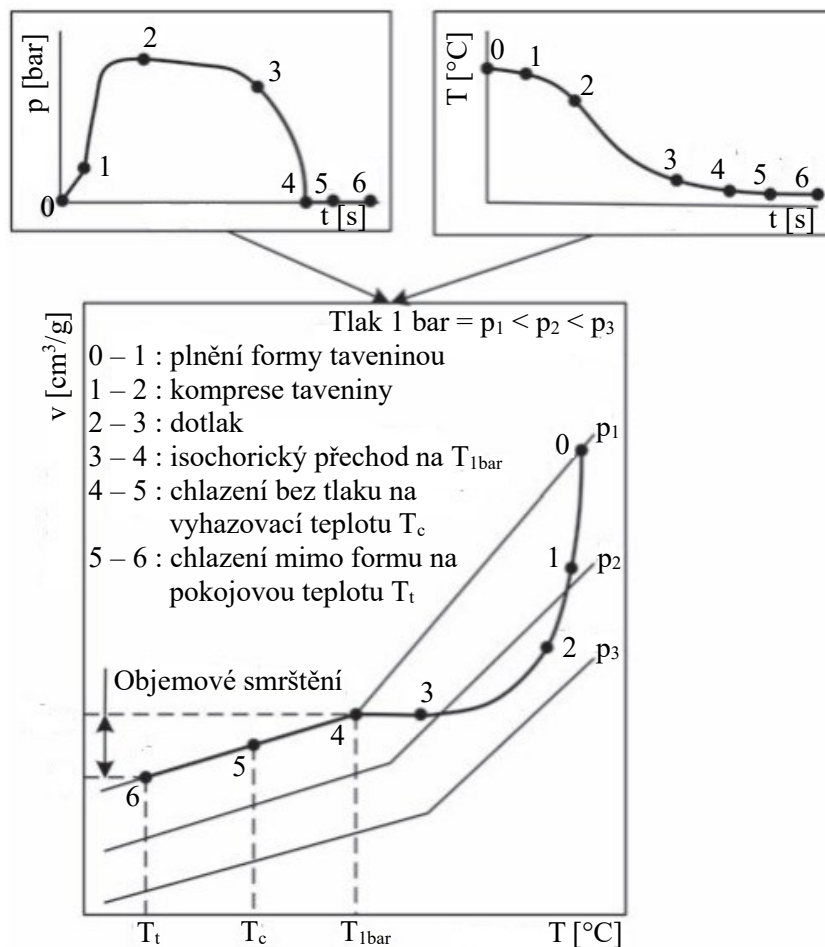
### 1.1.1 Vstřikovací cyklus (p–v–T diagram)

Vlastnosti polymerů jsou důležité jak pro inženýrství, tak pro fyziku polymerů. Obrázky 2 a 3 popisují typické diagramy p-v-T amorfního a semikrystalického polymeru. Diagram p-v-T popisuje specifický objem ( $v$  [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ]) jako funkci tlaku ( $p$  [MPa, bar]) a teploty ( $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]). Specifický objem roste s rostoucí teplotou. V polymeru dochází k tepelnému přechodu. Primární amorfní přechod každého polymeru je znám jako jeho teplota skelného přechodu ( $T_g$ ). Zatímco  $T_g$  nevykazuje ostrý přechod, data z oblasti pod a nad  $T_g$  ukážou průsečík, který je obecně akceptován jako  $T_g$ . Jak je znázorněno na následujících obrázcích, semikrystalický polymer projevuje odlišnou teplotní odezvu než amorfní polymer. U amorfního polymeru je  $T_g$  jasně viditelný jako teplota, kde polymer přechází z pevného stavu do taveniny. Rychlost expanze na teplotní jednotku je ve stavu pevném mnohem menší než ve stavu taveniny. Naopak semikrystalický polymer obsahuje dostatečnou krystalinitu k udržení strukturální kontinuity nad  $T_g$ . Zatímco amorfní obsah tohoto polymeru projevuje  $T_g$ , krystalová struktura umožňuje charakterizaci téměř až do teploty, kde krystaly tají. [6] [18]

Obrázek 2 - Diagram  $p$ - $v$ - $T$  pro amorfni termoplast [34]Obrázek 3 – Diagram  $p$ - $v$ - $T$  pro semikrystalický termoplast [34]

Při procesu vstřikování mohou některé defekty, jako je smrštění, deformace a propadliny, způsobit tepelně indukované napětí a ovlivnit jak přesnost rozměrů, tak dlouhodobou rozměrovou stabilitu. Programy, provádějící analýzy vstřikovacího procesu (Autodesk Moldflow), se pokoušejí snížit riziko výroby dílů s vadami tím, že poskytují kvantitativní předpovědi na základě spolehlivých dat. Při numerické simulaci procesu vstřikování je jedním z důležitých vstupních dat právě  $p$ - $v$ - $T$  diagram. Proto je nutné získat co nejpřesnější  $p$ - $v$ - $T$  data pro přesnější předpovědi, hodnocení, optimalizaci a výpočty. Z dat  $p$ - $v$ - $T$  diagramů lze u materiálů předpovědět tyto parametry:

- promísení dvou polymerů,
- výkon a životnost polymerních materiálů a součástí na základě koncepcí volného objemu,
- korelace redukčních parametrů stavových rovnic s molekulární strukturou,
- hodnocení začátku a průběhu chemických reakcí v taveninách polymerů,
- materiálové vlastnosti systémů v kontaktu s rozpouštědly nebo plyny,
- průzkum povahy fázových přechodů,
- optimalizace zpracovatelských parametrů,
- výpočet povrchového napětí taveniny polymeru. [6] [18]



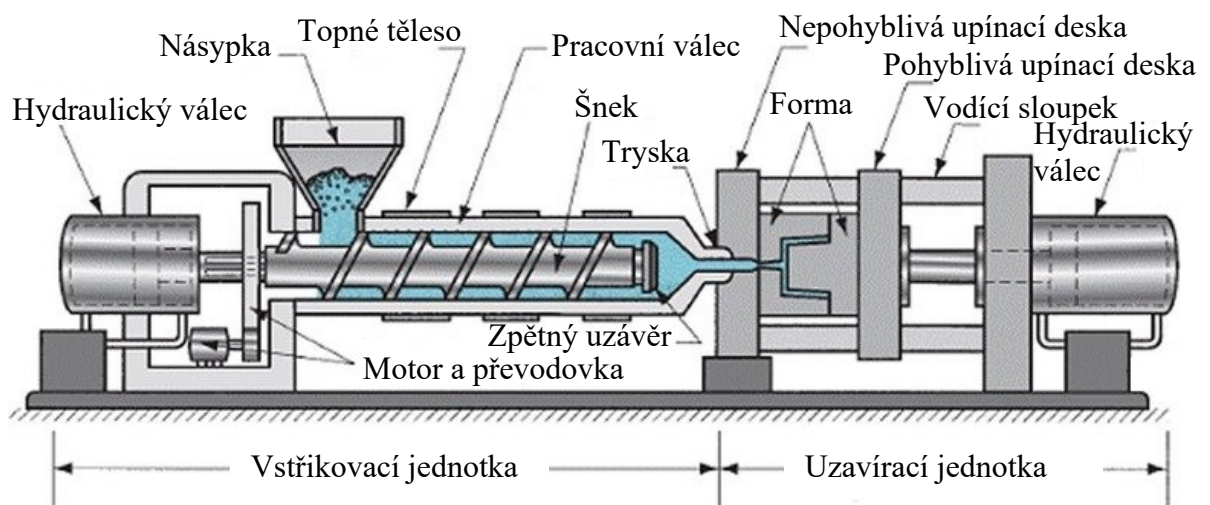
Obrázek 4 – Průběh tlaku ve vstřikovací formě (nahore vlevo) s průběhem teploty polymeru (nahore vpravo), diagram  $p$ - $v$ - $T$  pro amorfni polymer s vyznačeným průběhem vstřikovacího cyklu [11]



## 2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Přesnost a kvalita vstříkovaného výrobku velmi závisí na volbě a kvalitě vstříkovacího stroje. Mezi důležité parametry stroje, pro výrobu kvalitních výrobků patří jeho mechanická tuhost, přesnost vyrovnaní jednotlivých částí stroje, rovnoběžnost upínacích desek, kvalita ovládání a stav jeho údržby. Rám stroje musí splňovat podmínky pevnosti a tuhosti. Stroj, který nevyhovuje těmto parametrům, může zapříčinit snížení živostnosti vstříkovací formy v něm používané. [2] [7]

Vstříkovací stroj musí vyhovět požadavkům použité vstříkovací formy. Stroje bývají charakterizovány kapacitou jedné vstříkovací dávky, kterou jsou schopny vstříknout do formy za určitého tlaku. Obvykle tato hodnota činí 30 až 70 % skutečného objemu materiálu v plastikační jednotce. Tento rozdíl slouží jako bezpečnostní faktor pro různé podmínky při zpracování daného materiálu. Vstříkovací tlak bývá obvykle v rozmezí 14 až 250 MPa, který je volen dle charakteristiky zpracovávaného materiálu a geometrie, kterou materiál prochází při vstříkování. Stroj musí disponovat dostatečnou vzdáleností mezi sloupky stroje a velikostí upínacích desek vzhledem k velikosti použité vstříkovací formy. Dále je důležitou hodnotou jeho maximální otevření a maximální zavření uzavírací jednotky. Volbu stroje ovlivňuje i velikost uzavírací síly, kterou je schopen vyvodit. Velikost této síly opět závisí na vstříkovaném materiálu, a také na ploše průřezu taveniny v dělicí rovině formy. Potřebná vypočtená uzavírací síla se zvýší o 10 až 20 %, aby bylo zajištěno, že nedojde k pootevření dělicí roviny a zatečení taveniny do ní. [4] [7]



Obrázek 5 - Vstříkovací stroj s vyznačenými základními částmi [2]

## 2.1 Vstřikovací jednotka

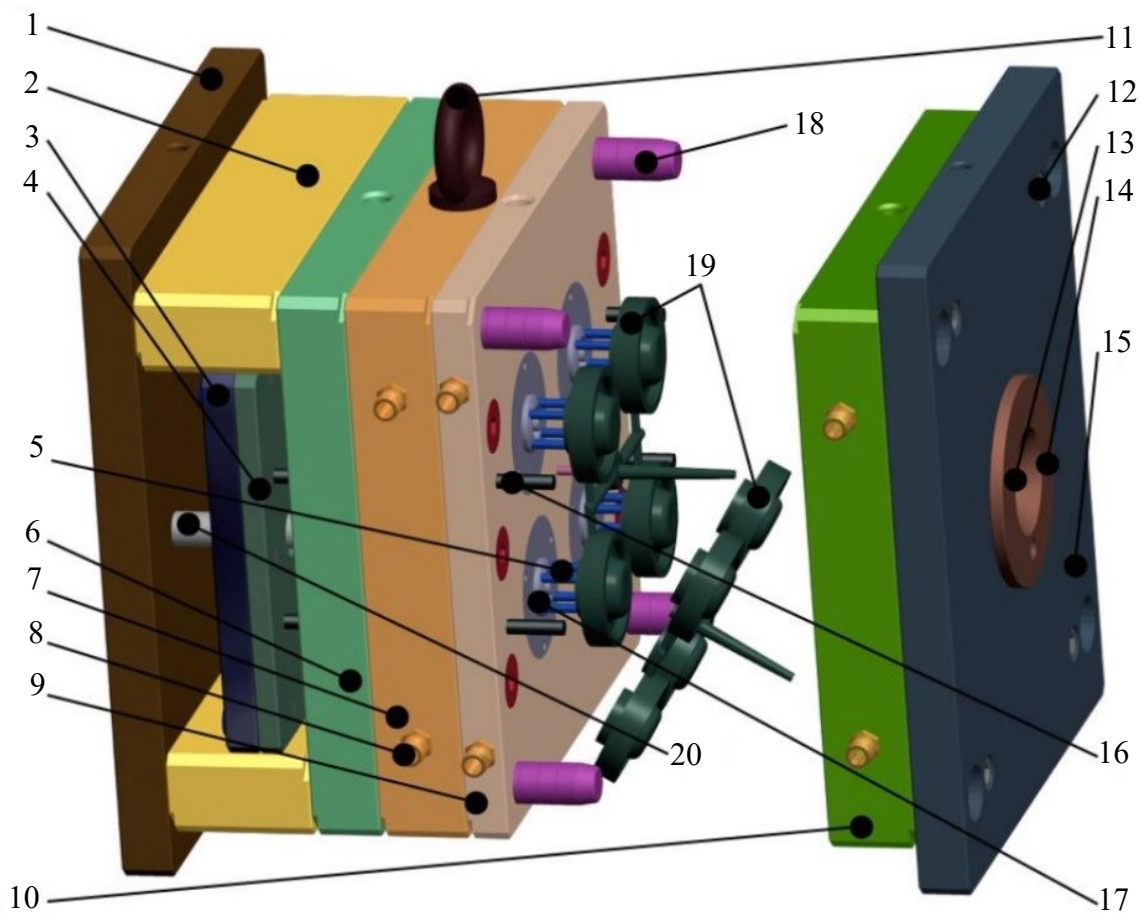
Části vstřikovací jednotky jsou odpovědné za dodávání surového materiálu, jeho ohřev a následné vstříknutí do formy. První částí je násypka, do které se vkládá surový materiál. Přes otevřené dno násypky materiál vstupuje do pracovního válce plastikační jednotky. V pracovním válci se nachází mechanismus (nejčastěji šnek), který zajišťuje posuv, ohřev a vstříknutí materiálu do formy. Šnek posouvá materiál vpřed pomocí otáčení, tak i jeho axiálním posuvem. Bývá poháněn hydraulickým nebo elektrickým motorem. Během posuvu je materiál homogenizován a taven pomocí tepla dodaným od topných těles, vzniklým třením mezi materiálem a třením mezi materiálem a válcem. Jakmile před špičkou šneku vznikne požadované množství materiálu, je tento materiál, dopředným pohybem šneku, vstříknut do formy. Pohybem šneku dojde ke vzrůstu tlaku, čímž je zajištěno zhutnění materiálu a jeho přidržení ve formě. Jakmile materiál ve formě zatuhne, dochází ke zpětnému odjezdu šneku a další plastikaci materiálu pro další vstřík. [12] [20]

## 2.2 Uzavírací jednotka

Před vstříknutím roztaveného materiálu do formy musí být obě její poloviny pevně uzavřeny pomocí uzavírací jednotky. Když je forma vložena do vstřikovacího stroje, každá její polovina je připevněna ke své upínací desce. Pravá (nepohyblivá) polovina formy je připevněna k nepohyblivé upínací desce stroje a vystředuje se pomocí středícího kroužku. Levá (pohyblivá) polovina formy je připevněna k pohyblivé upínací desce, která se pohybuje po vodících sloupcích. Tento pohyb vyvozuje motor, který navíc vyvíjí dostatečnou sílu pro udržení uzavření obou polovin formy během vstřikování materiálu do formy a následného chlazení s případným dotlakem. Po požadované době chlazení je forma otevřena a vyhazovací systém, umístěný v levé polovině formy, zajistí svým pohybem vyhození výrobků z formy. [12] [20]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástrojem technologie vstřikování, kdy se jedná o komplexní systém, který musí současně splňovat mnoho požadavků kladených vstřikovacím procesem. Hlavní funkcí formy je udržení polymerní taveniny uvnitř tvarové dutiny, při čemž musí být tato dutina plně zaplněna. Druhou primární funkcí formy je účinný odvod tepla z polymerní taveniny za pomoci temperačního systému. Tento děj musí probíhat tak, aby výsledné vytvoření výrobků bylo co nejrovnoměrnější a neekonomičtější. Třetí zásadní funkcí je co nejefektivnější vyhození výrobků z formy. [7] [29] [31]



Obrázek 6 - Schéma otevřené čtyřnásobné vstřikovací formy včetně popisu jednotlivých částí [34]

1 – upínací deska levá, 2 – rozpěrná deska, 3 – opěrná vyhazovací deska, 4 – kotevní vyhazovací deska, 5 – vyhazovací kolík, 6 – opěrná deska, 7 – opěrná deska, 8 – přípojka temperačního média, 9 – kotevní deska levá, 10 – kotevní deska pravá, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pravý, 15 – upínací deska pravá, 16 – vratné kolíky, 17 – tvárnice, 18 – vodící čepy, 19 – vstřikovaný díl, 20 – táhlo vyhazovacího systému

Vstřikovací forma se obvykle skládá ze dvou polovin, kdy jedna polovina obsahuje tvárnici a vytváří vnější tvar dílu. Tato strana bývá zpravidla upnuta na pevné (nepohyblivé) upínací desce vstřikovacího stroje, a proto se někdy tato polovina označuje jakožto pevná (nepohyblivá). Druhá polovina obsahuje tvárník, na kterém obvykle zůstává výrobek po otevření formy. Tato polovina bývá upnuta na pohyblivou upínací desku vstřikovacího stroje, proto se označuje jako pohyblivá polovina. Pohyblivá polovina navíc obsahuje vyhazovací systém, který zajišťuje vyhození výrobků z formy. [23] [32]

Pokud má vstřikovaný výrobek složitý tvar, což vede k vyšší složitosti formy, nebo pokud jde o velkorozměrové díly, obvykle se vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výrobku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí přináší vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin i další faktory chyb, jako je nerovnoměrná teplota formy a plastu během plnění jednotlivých dutin, rozdílné vstřikovací tlaky a různé dráhy vtoků, což může způsobit rozměrové nepřesnosti. Optimální volba násobnosti formy vyžaduje pečlivé zhodnocení jednotlivých faktorů, které na ni působí. Posuzují se podle následujících kritérií:

- charakter a přesnost vstřiku,
- požadované množství výrobků,
- velikost a kapacita vstřikovacího stroje,
- požadovaný termín dodávky,
- ekonomika výroby. [23] [29]

Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu forem jsou oceli (viz. Tabulka 1), které díky své pevnosti a mechanickým vlastnostem těžko nahraditelné. Nicméně je také důležité zdůraznit, že i jiné typy materiálů mají své uplatnění. Některé z jejich fyzikálních a dalších vlastností, jako je tepelná vodivost, izolační schopnosti a další, je předurčují pro speciální použití při výrobě určitých částí forem. [29] [31]

Tabulka 1 – Přehled nejpoužívanějších typů ocelí pro výrobu vstřikovacích forem [31]

WNR	ČSN	Popis
1.0060	11 600	Konstrukční ocel, neušlechtilá s vyšším obsahem uhlíku, pro díly méně mechanicky namáhané (desky formy).
1.2343	19 552	Chrom – molybdenová nástrojová ocel středně legovaná. Vysoká pevnost, prokalitelnost. Nejpoužívanější pro práci za tepla. Vhodná pro tvarové díly formy (tvárník, tvárnice, vtokové vložky).
1.2312	19 520	Zušlechtnutá nástrojová ocel. Dobře obrobitelná, nitridovatelná. Vhodná pro desky formy.
1.2358	19 573	Chrom – molybden – vanadová ocel. Vysoká houževnatost, odolnost proti opotřebení. Dobrá prokalitelnost a rozměrová stálost.
1.7131	14 220	Cementační ocel. Dobrá svařitelnost a obrobitelnost. Vhodná pro namáhané díly forem (vodící čepy, pouzdra).

### 3.1 Vtokový systém

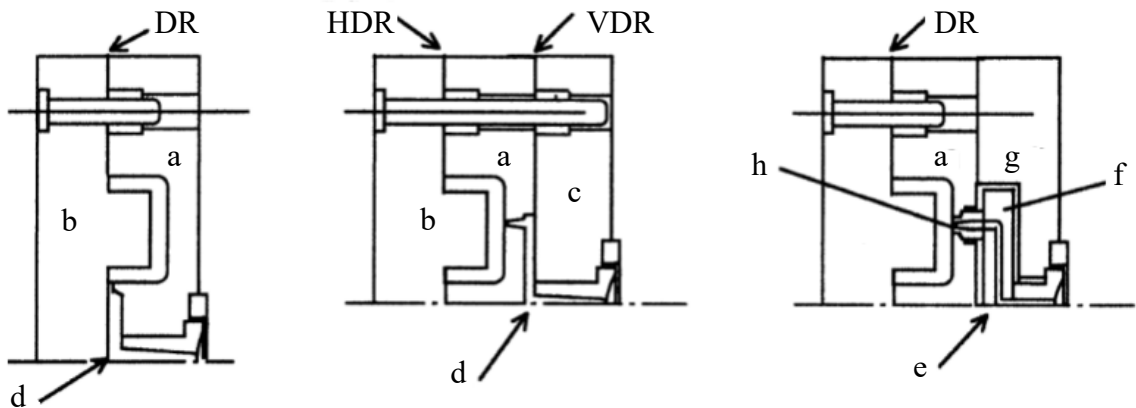
Aby bylo možné naplnit tvarovou dutinu formy taveninou, musí být zajištěna doprava této taveniny do této dutiny. Doprava taveniny musí být provedena s dostatečným tlakem, aby byla tvarová dutina plně zaplněna před tím, než tavenina zatuhne a není již možné její proudění. Části vtokového systému lze rozdělit na:

- vtoková vložka – slouží k přívodu taveniny z trysky plastikační jednotky do rozvodných kanálů,
- rozvodný kanál – slouží k distribuci taveniny k jednotlivým tvarovým dutinám,
- vtokové ústí – jedná se obvykle o malé otvory spojující rozvodný kanál s tvarovou dutinou.

Správně navržený vtokový systém by měl mít, u vícenásobných forem, stejnou tokovou historii taveniny pro každou tvarovou dutinu formy. To znamená stejnou tlakovou ztrátu (vzdálenost a průměr), co nejpodobnější geometrii vtokového systému (zatačky) a stejnou historii smykového napětí taveniny.

Nejjednodušším případem vtokového systému je případ plnění tvarové dutiny pouze přes vtokovou vložku. Tento typ se používá u jednonásobných forem, zejména pro velké výrobky. Výhodou je nízká cena systému, ale je nutné následné odstranění vtoku a

opracování vtokového ústí. Na následujícím obrázku jsou uvedeny další tři typy nejzákladnějších vtokových systémů, jenž jsou popsány v následujících kapitolách. [2]



Obrázek 7 - Schéma studeného vtokového systému dvoudeskové (vlevo), třídeskové (uprostřed) formy a formy s vyhříváním vtokovým systémem (vpravo) [2]

a – kotvní deska pravá, b – kotvní deska levá, c – třetí deska, d – studený vtokový systém, e – vyhřívání vtokový systém, f – rozvodný kanál vyhřívání vtokového systému, g – opěrná deska vyhřívání vtokového systému, h – tryska, DR – dělící rovina, HDR – hlavní dělící rovina, VDR – vedlejší dělící rovina

Tabulka 2 – Porovnání vlastností studeného a vyhřívání vtokového systému [2]

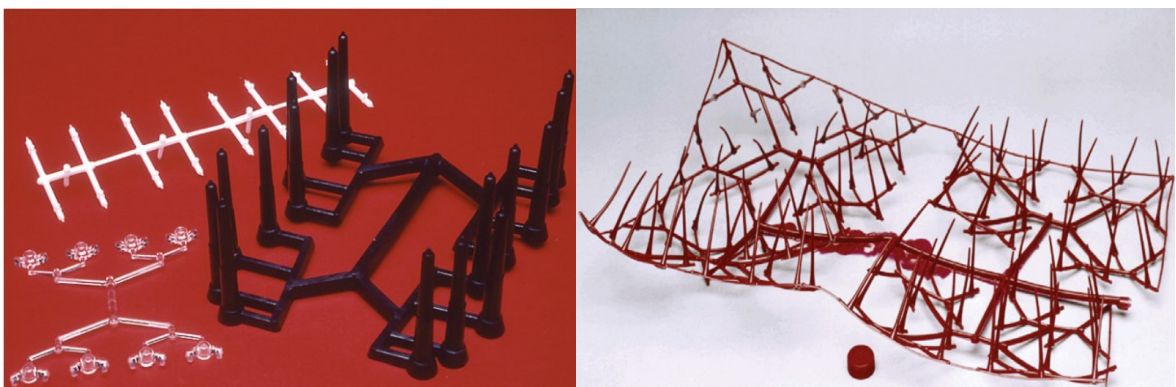
Vlastnost	Studený vtokový systém	Vyhřívání vtokový systém
Doba vstřikovacího cyklu	delší	kratší
Vzhled stopy po vtokovém ústí	horší	lepší
Umístění vtokového ústí	méně možností	více možností
Množství vzniklého odpadu	vyšší	nižší
Náklady	nižší	vyšší
Změna barvy materiálu	rychlejší	pomalejší
Spotřeba energie	nižší	vyšší
Potřebná uzavírací síla stroje	vyšší	nižší
Potřebné množství materiálu	vyšší	nižší

Lze využít kombinace vyhřívání vtokového a studeného vtokového systému za účelem zabránění degradace materiálu, nebo za účelem eliminace tlakových ztrát taveniny. [2]

### 3.1.1 Studený vtokový systém

Vstříkací forma s dvoudeskovým studeným vtokovým systémem (SVS) má pouze jednu dělicí rovinu (DR). Výrobky a vtokový systém zůstávají jako jeden kus po vyhození z formy, a je nutné je následně oddělit. Výhody tohoto systému je jeho jednoduchost, nízká cena, jednoduchá změna barvy a malá citlivost na nečistoty v materiálu. Nevýhodou tohoto systému je dlouhá doba cyklu kvůli času potřebnému pro ochlazení vtokového systému. Nevýhodou je i materiál spotřebovaný vtokovým systémem, včetně energie na jeho ohřev a ochlazení. I když obvykle lze tento zbylý materiál opakovaně zpracovat, opět přibývají náklady na jeho úpravu pro nové zpracování. Při použití tohoto systému se vyžaduje vyšší uzavírací síla stroje. [2] [19]

Třideskový SVS se vyznačuje tím, že má hlavní dělicí rovinu (HDR) a vedlejší dělicí rovinu (VDR). Tento systém je schopen oddělit vtokový systém od výrobků při otevření formy. Při otvírání formy se pravá kotevní deska začne pohybovat s levou (pohyblivou) polovinou formy, jakmile dosáhne vymezené vzdálenosti, zastaví se. Pohyblivá polovina formy, včetně výrobků nesmrštěných na tvárnících, se stále pohybuje, čímž dojde k oddělení vtokového systému od výrobků. Jakmile jsou obě DR dostatečně otevřeny, dojde k vyhození výrobků a vtokového systému. Výhodou tohoto systému je, že lze navrhnout vtokové ústí ve středu, nebo kdekoliv na horní ploše výrobků. Díky absenci vtokového systému v HDR mohou být dutiny umístěny blíže k sobě (více výrobků ve stejně velké formě). Po vtokovém ústí zůstávají na výrobku nepatrné stopy. Formy s třideskovým systémem jsou složitější a dražší, přičemž je velmi obtížné zaručit dokonalé oddělení výrobků od vtokového systému a jejich vyhození. I při použití tohoto systému vzniká poměrně velký odpad. [2] [19] [35]



Obrázek 8 - Příklad studeného dvoudeskového (vlevo) a třideskového (vpravo) vtokového systému včetně výrobků [2]

Umístění vtokového ústí by mělo být ideálně zvoleno kolmo na stěnu tvarové dutiny, aby se předešlo vadám toku materiálu (volný tok taveniny). Dopadem proudu taveniny na stěnu se zajistí rovnoměrnější proudění taveniny, než kdyby její vstup byl do volného prostoru tvarové dutiny. Velikost vtokového ústí se navrhuje co nejmenší, aby byl zajištěn co nejlepší vzhled výrobků. Omezením minimální velikosti vtokového ústí je možnost zpomalení plnění tvarové dutiny nebo dokonce znemožnění jejího plnění. Obecně platí, že pro malé výrobky (do 5 g) se volí průměr vtokového ústí 0,5 mm, pro větší výrobky se toto ústí postupně zvětšuje, dle potřebného množství materiálu v gramech pro výrobek. Kdy pro největší výrobky (nad 200 g) má toto ústí průměr 2 mm. Délka vtokového ústí má taktéž, při plnění tvarové dutiny formy významnou roli, kdy pro zajištění co nejmenších tlakových ztrát se volí opět co nejkratší. Existují však limity v důsledku pevnosti dutiny. [2] [35]

### 3.1.2 Vyhříváný vtokový systém

Použití vyhříváného vtokového systému (VVS) se většinou volí ve výrobách pro větší série výrobků. Tento systém lze zakoupit jakožto již složenou polovinu formy, nebo jako komponentu (v podobě bloku), pro kterou si zákazník připraví vlastní desky vstřikovací formy. Oba tyto způsoby ukazuje následující obrázek. [2] [22]



*Obrázek 9 - Složená polovina formy s vyhříváným vtokovým systémem (vlevo) a tři různé modifikace vyhříváných bloků (vpravo) [13]*

Mezi výhody použití VVS patří:

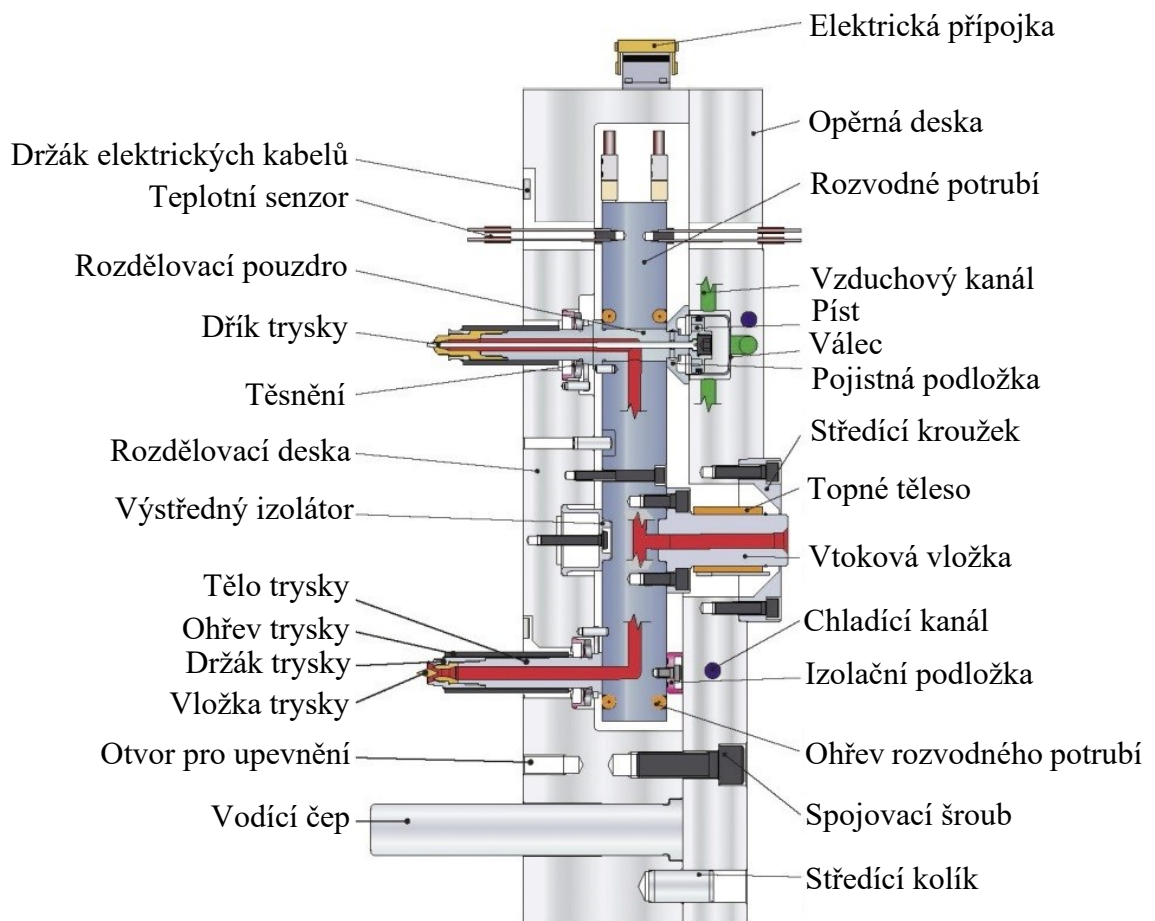
- snížení času vstřikovacího cyklu, jelikož nedochází k tuhnutí vtokového systému,
- více možností umístění vtokového ústí na výrobku,
- téměř žádné viditelné stopy po vtokovém ústí na výrobku,
- tvarové dutiny, u více násobné formy, mohou být blíže u sebe (finanční úspora v podobě použití menší formy nebo vytvoření více tvarových dutin),
- nevzniká odpad v podobě vtokového systému,



- použití menšího stroje, jelikož není potřeba tolik materiálu při vstřiku, jako u SVS,
- menší potřebná uzavírací síla stroje.

Navzdory všem výhodám, vznikají použitím VVS nevýhody, jako jsou:

- vyšší náklady na vstřikovací formu,
- delší změna barvy materiálu než u SVS,
- velká citlivost na nečistoty v materiálu (požadovaná vyšší kvalita materiálu, čímž se opět zvyšuje cena použití),
- při vstřikování malých výrobků dochází k dlouhým zdržným dobám v systému, což může vést k degradaci materiálu,
- výška formy bývá zpravidla o něco vyšší než pro SVS. [2] [19]



Obrázek 10 - Jednotlivé části VVS [2]

Aby byla zajištěna správná funkce tohoto systému, musí splňovat tyto parametry:

- tlaková ztráta v systému nesmí být větší než 25 % vstřikovacího tlaku stroje,
- objem materiálu v systému by neměl být větší než 2 až 3 násobek objemu materiálu vystříknutého za jeden cyklus,
- změna teploty materiálu, při průchodu systémem, by neměla být větší než 5 %,
- systém by měl být dobře odizolován od okolních desek formy, aby nedocházelo k odvodu tepla,
- oblast tvarových dutin okolo míst v kontaktu s tryskou vyhřívaného vtokového systému musí být dobře chlazena, jelikož by docházelo k velkému ohřevu dutiny,
- musí být zajištěno rovnoměrné proudění taveniny tímto systémem. [2] [31]

S ohledem na použití VVS se využívá různých druhů trysek:

- otevřené trysky – jsou vhodné pro vstřikování do SVS (kombinovaný vtokový systém), případně pro vstřikování přímo do dílu s následnou úpravou stopy po vtoku,
- trysky s hrotem – konstrukce těchto trysek předurčuje jejich použití pro vstřikování plastů přímo do dutiny formy, kde je stopa po vstřiku minimální,
- dvouzónové trysky – základním rysem dvouzónové trysky je kompaktní tělo, tepelně izolované od svého okolí a řízené dvěma nezávislými topnými zónami. První zóna reguluje teplotu v místě dosedu trysky plastikační jednotky a druhá řídí teplotu taveniny na ústí vstřiku. Izolace těla trysky je řešena uložením ve speciálních kroužcích s minimální tepelnou vodivostí. Konstrukce dvouzónové trysky zajišťuje rovnoměrnou teplotu v celé délce toku bez nutnosti překračování doporučené teploty pro vstřikování daného materiálu,
- vícehroté trysky – vstřikování plastů do těch nejmenších dutin použitím jedné vícehroté trysky nebo více tryskami umístěnými pod rozvaděčem. Konstrukce trysky umožňuje 2 až 6 násobné vstřikování. Vyšší násobnost není vhodná z důvodu zachování maximálních doporučených roztečí mezi jednotlivými tryskami. [13]



Obrázek 11 - Příklady různých druhů trysek pro VVS [13]

### 3.2 Temperační systém

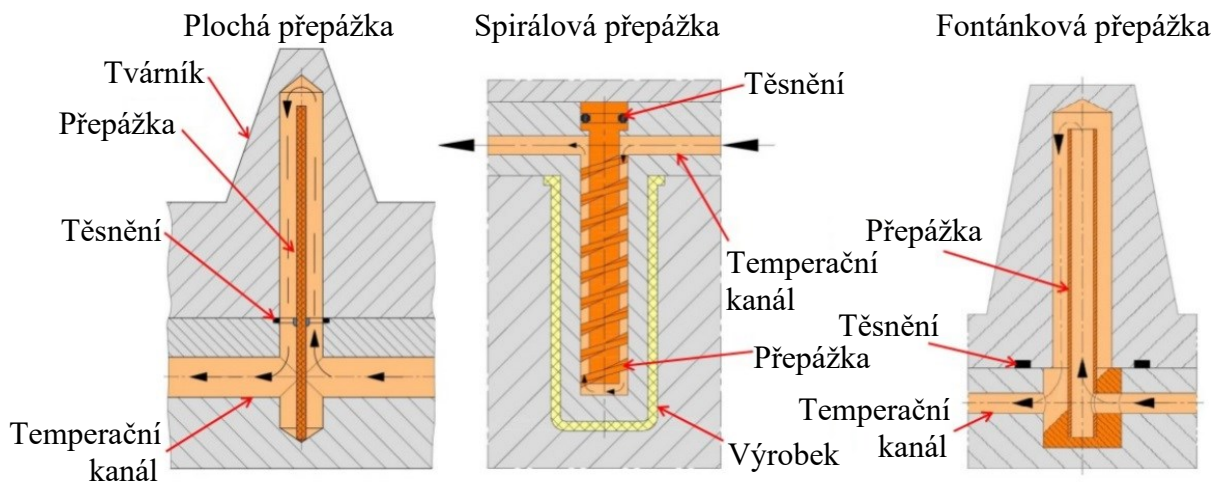
Materiál je při zpracování ohříván na jeho zpracovatelskou teplotu (obvykle na 150 až 300 °C), a proto je nutné jej po vstříknutí ochladit (obvykle na 5 až 140 °C), aby se opět stal dostatečně tuhým pro vyhození z formy. Ochlazovací část cyklu může zaujmout až 80 % z celého vstříkovacího cyklu, a proto je mu věnována velká pozornost. Ochlazování může probíhat pomalu, kdy se nechá teplo přenést do formy a z ní do prostoru okolo. U sériových výrob se využívá temperačního systému, kdy se tento systém nejčastěji skládá z jednotky pro řízení teploty, čerpadla, přívodní a odvodní potrubí, chladících kanálů ve formě a hadic. Touto soustavou protéká temperační médium, kdy se nejčastěji jedná o vodu, ale lze se setkat i s glykolem nebo olejem. Toto médium by mělo být upraveno tak, aby se minimalizovalo znečištění temperačního systému usazeninami nebo případnou korozí, čímž by došlo ke snížení odvodu tepla z formy. [2] [11]

Děj chlazení vstříkovaných výrobků složitý, využívá se počítačových simulačních programů, které pomáhají stanovit vhodné prostředky chlazení pro konkrétní vstříkovací formu. Pro správný návrh temperačního systému je zde několik základních podmínek:

- ve všech temperačních kanálech musí být zajištěno proudění média,
- rozložení chladících kanálů by mělo být co nejrovnoměrnější okolo tvarové dutiny, aby bylo zajištěno co nejrovnoměrnější teplotní pole v dutině formy,
- proudění média by mělo mít v celé geometrii co nejstejnější průtok a rozdíl teploty na vstupu a výstupu z formy by se neměl lišit o více jak 3 °C,
- čím vyšší je průtok temperačního média, tím je vyšší efektivita odvodu tepla z formy,

- temperační médium by mělo proudit turbulentně (Reynoldsovo číslo ( $Re$ ) je bezrozměrné číslo používané k charakterizaci toku kapaliny definováním poměru mezi setrvačností a viskózními silami. Proudění kapaliny je turbulentní, pokud jeho hodnota leží na hodnotě 4000 a více, nejlépe 10 000 a více), čímž je zajištěno víření média, díky čemuž se ke stěně chladícího kanálu dostává chladnější médium,
- pokud je temperační kanál rozdělen do více větví, musí být jeho průřez stejný nebo větší jak součet průřezů větví, do kterých se dělí,
- tlustší stěny výrobků by měly být intenzivněji chlazeny. [2] [22]

Polymerní materiál se při ochlazování začíná smršťovat, kdy toto smrštění probíhá směrem od tvárnice na tvárník. Při tomto smrštění vznikne mezi tvárnicí a vstříkovaným materiálem prostor, který obsahuje vakuum nebo vzduch (pokud není zajištěno správné odvzdušnění). Jak vzduch, tak vakuum jsou dobrými teplotními izolanty, a tak dojde ke snížení odvodu tepla přes temperační systém tvárnice. Výsledné ochlazování výrobku pak vychází ze 70 % od temperačního systému tvárníku a pouze z 30 % od tvárnice. Pro chladicí kanály v tvárnících nebývá tolik prostoru jako u tvárnic, proto se využívá přepážkových systémů, které zvyšují účinnost odvodu tepla. Podle typu přepážky lze dosáhnout různých efektů temperování, kdy existují tři základní konstrukce. Systém ploché přepážky využívá vedlejší temperační kanál orientovaný kolmo k hlavnímu temperačnímu kanálu, ve kterém je umístěna přepážka. Tato přepážka rozděluje kanál na dva menší, a médium tak proudí kolem přepážky. Jedná se o jednoduchý způsob přepážkového systému. Nevýhodou je potřeba přesného umístění přepážky do středu kanálu. Systém spirálové přepážky pracuje na stejném principu, s rozdílným tvarem přepážky. Oproti plochým přepážkám umožňuje dosáhnout rovnoměrnějšího teplotního pole. Posledním typem přepážkového systému je systém fontánky. Přepážka má tvar malé trubičky, skrz kterou teče temperační médium od hlavního kanálu ke dnu vedlejšího kanálu, a po stěnách vedlejšího kanálu se vrací zpět do hlavního kanálu. [2] [14]



Obrázek 12 - Tři základní konstrukce temperačních přepážkových systémů [15]

### 3.3 Odformování výrobků

Aby bylo možné výrobek vyjmout z formy musí tato forma obsahovat dělicí rovinu (rozdělení tvárníku a tvárnice). U složitějších výrobků (s vedlejšími dělicími rovinami), která mají po stranách různé výklenky, otvory apod., které nelze jednoduše vyjmout z formy, musí být použity složitější metody pro jejich odformování. Dle potřeb se využívá mnoha mechanismů, jako jsou například pružné kolíky, tažná nebo rozpínací jádra, vytáčeční trny, boční posuvné čelisti atd. Tím roste i počet rozměrů nevázaných formou. Tuto skutečnost je třeba brát v úvahu při tolerování výstřiků i při výrobě formy. Složitost i náklady tím značně narůstají. [2]

#### 3.3.1 Systém bočních posuvných čelistí

Jádra, výstupky a různá zhloubení výstřiku, která leží kolmo nebo pod různými úhly k ose formy, lze vytvořit pomocí posuvných bočních čelistí. Mohou být součástí vnitřních nebo vnějších částí funkčního tvaru forem. K ovládání čelistí se používá mechanických, pneumatických i hydraulických prvků.

Mechanicky vyvozený pohyb posuvných čelistí zajišťují především šikmé válcové kolíky. Jsou ukotveny tak, aby mezi nimi a čelistmi mohlo dojít k vzájemnému pohybu. Pohyb částí formy pak vyvolá i pohyb čelistí, které se začnou otevírat jen s nepatrným zpožděním. To je způsobeno vůlí v otvoru čelisti pro šikmý kolík. Nejprve následuje mrtvý chod a pohyb začíná až po dosednutí kolíku na stěnu otvoru čelisti. Vůle mívá velikost od 0,2 do 3 mm, podle požadovaného zpoždění.



- speciální mechanismy,
- kombinace výše uvedených.

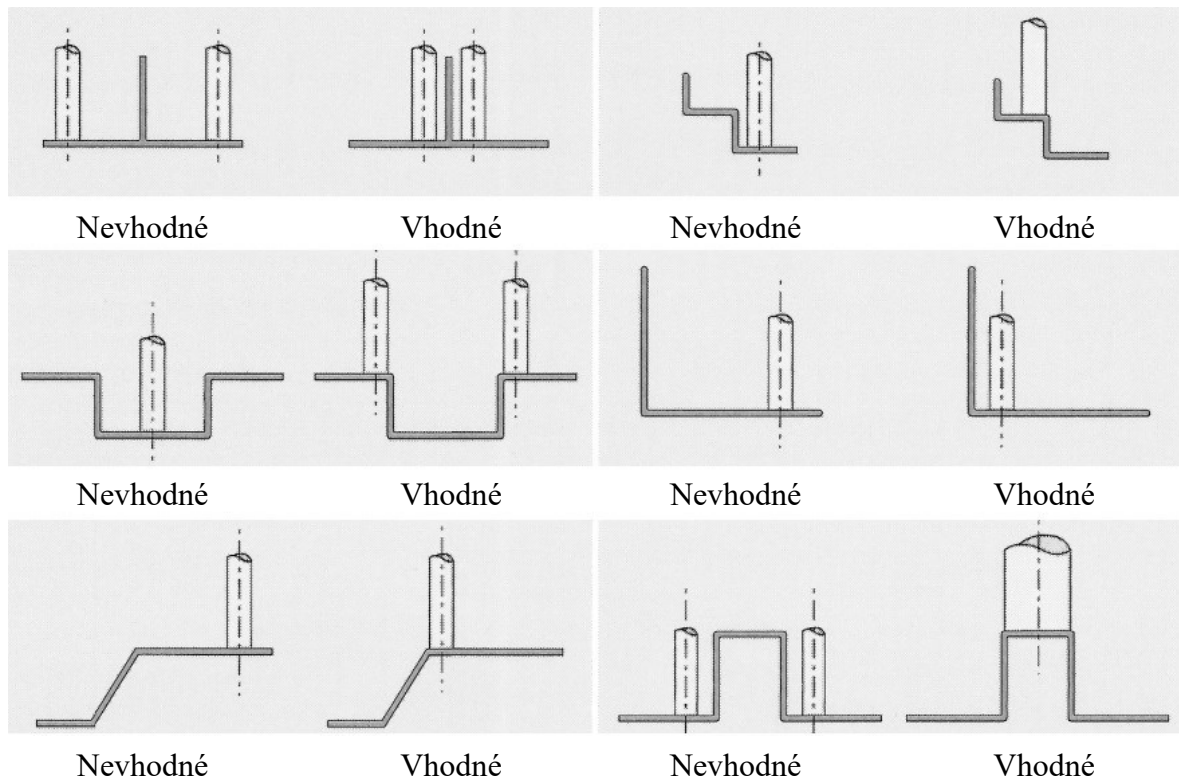
Pokud je to možné, je snaha využívat jednodušších metod (vyhazovací kolíky, vložky, vzduch, stírací deska nebo kroužek). V některých případech, kdy tyto metody nejsou vhodné nebo spolehlivé, mohou být zapotřebí speciální metody vyhazování. [2] [22]

### 3.4.1 Vyhazovací kolíky a vložky

Vyhazovací kolíky a vložky lze použít k vyhození výrobků libovolného tvaru. Výhodou jejich použití je poměrně nízká pořizovací cena, kdy jsou k zakoupení od dodavatelů standardních dílů. Jejich další výhodou je schopnost odvodu přebytečného vzduchu z tvarové dutiny skrze mezeru mezi nimi a tvárníkem. Při jejich použití musí být výrobek dostatečně ochlazen, jelikož kolíky nebo vložky působí na poměrně malou plochu a mohlo by dojít k deformaci nebo propíchnutí výrobku při vyhazování. Další nevýhodou je, že jejich použitím může dojít ke snížení tuhosti tvárníku, a že zabírají prostor pro temperační kanály tvárníku.

Existují určitá doporučení, do kterých míst výrobků by měly být kolíky nebo vložky umístěny:

- do míst, kde stopa po jejich použití nijak esteticky neovlivňuje vzhled výrobků,
- místa, kde je nutný odvod vzduchu z tvarové dutiny a není zajištěn odvodem přes dělicí roviny,
- na nejnižších bodech výrobků, jako jsou okraje, hluboká žebra nebo vystouplé části,
- blízko rohů výrobků nebo přímo na ně,
- symetricky a rovnoměrně kolem výrobku, pokud je to možné,
- na průsečících žebra a žebra, nebo stěny a žebra,
- tam, kde jejich orientace není důležitá (rovinné plochy), pokud je jejich orientace důležitá, je nutné upravit jejich hlavu, aby byla zajištěna jejich pozice. [22]



Obrázek 14 - Příklady umístění vyhazovacích kolíků na výrobcích [2]

Při návrhu vyhazovacího systému je vhodné volit standardní velikosti součástí. Obecně platí, že vyhazovací kolíky by měly mít co největší možný průměr. Průměrům kolíků, menších jak 3 mm, je snaha se vyhnout, zejména pokud je jejich délka větší než 50krát jejich průměr. Jsou-li použity kolíky průměru menšího jak 3 mm, jejich koncová část je zmenšena na požadovanou hodnotu, z kolíku o průměru 3 mm, 75 mm od čela, aby se snížilo riziko jeho ohnutí. Takto navržené kolíky jsou náchylnější na opotřebení. Za účelem odvodu přebytečného vzduchu z tvarové dutiny a snížení opotřebení kolíků se volí mezera mezi kolíkem a tvárníkem. Mezera nesmí být ale příliš velká, aby nedošlo k zatečení taveniny do ní. Mezera je, pro kolíky do průměru 6 mm, v tvárníku do hloubky 2krát průměr kolíku od tvarové dutiny. Pro větší průměry kolíků je hodnota hloubky mezery od tvarové dutiny 1,5krát průměr. Následně je mezera zvětšena, aby nedocházelo k opotřebení kolíků. Při vyhození by měl být kolík minimálně vzdálen o 0,13 mm od stěny tvarové dutiny, aby nedošlo k jejímu poškrábání.

Do míst, jako jsou úzká žebra apod. je vhodnější použít plochý kolík. Díky čemuž je zajištěna větší styčná plocha, a tím i lepší vyhození (menší šance deformace nebo proniknutí do výrobku). Použitím plochých kolíků lze urychlit celý cyklus. Navíc má čep vyšší tuhost a



delší životnost. Otvory pro tento typ kolíků se do tvárníků vyrábí pomocí elektroerozivní metody obrábění. [22]



*Obrázek 15 - Typy vyhazovacích kolíků a vložek [2]*

## 4 POLYMERY

Polymery jsou makromolekulární látky, které mají strukturu tvořenou velkým počtem jedním nebo více druhy atomů či jejich skupinami. Nejběžnější způsob dělení polymerů je do tří skupin (termoplasty, elastomery a reaktoplasty). Termoplasty lze pak dále rozdělit na semikrystalické a amorfní. Tento způsob dělení je nejvhodnější, jelikož je založen především na základní molekulární struktuře polymerů.

Termoplasty jsou lineární nebo větvené polymery, které se stávají kapalnými při jejich ohřevu. Mohou být opakovaně formovány do téměř libovolného tvaru pomocí zpracovatelských technik, kdy v nynější době tvoří největší část polymerů zastoupených v komerční výrobě. Termoplasty obecně, při jejich ochlazování do pevného stavu, nekystalizují snadno, protože tento děj vyžaduje značné uspořádání silně zvlňených a provázaných makromolekul přítomných ve stavu kapalném. Ty, které kystalizují, však většinou nevytvářejí dokonale krystalické materiály, ale jsou spíše semikrystalické s krystalickými a amorfními oblastmi. Krystalické fáze takových polymerů jsou charakterizovány teplotou tání ( $T_m$ ), nad níž lze tyto polymery zpracovávat běžnými polymerizačními technikami. Mnoho termoplastů je však zcela amorfních a neschopných kystalizace. Amorfní polymery, včetně amorfní fáze semikrystalických polymerů, jsou charakterizovány teplotou skelného přechodu  $T_g$ , teplotou, při níž se náhle transformují ze skelného stavu (tvrdého) do gumového stavu (měkkého). Tato změna odpovídá počátku pohybu řetězců, kdy jsou pod  $T_g$  polymerní řetězce neschopné pohybu a jsou "zamrzlé" na svém místě. Jak  $T_g$ , tak  $T_m$  rostou s narůstající tuhostí řetězců a silou mezimolekulární přitažlivosti.

Elastomery jsou síťované polymery, které lze snadno prodlužovat (i více jak 3krát až 10krát jejich původní délky), a které rychle obnovují své původní rozměry po namáhání. Tato extrémně důležitá a užitečná vlastnost je odrazem jejich molekulární struktury, ve které je síť s nízkou hustotou vazeb. Jejich polymerní řetězce se při deformaci prodlouží, ale jsou přiřazeny křížovými vazbami a poháněny entropií, se po odstranění napětí vracejí na svá původní místa.

Reaktoplasty jsou obvykle tuhé materiály, které patří mezi síťové polymery, ve kterých je pohyb řetězců silně omezen vysokým stupněm síťování. Stejně jako u elastomerů jsou po vytvoření neústupné a místo toho se rozkládají, než aby se staly tekutými při aplikaci tepla.

Proto se jejich zpracování často provádí pomocí procesů, jako je lisování, které vyžadují minimální tok. [16] [19] [24] [33]

Polymerní materiály kombinují vlastnosti ideální viskózní kapaliny (čistá smyková deformace) s vlastnostmi ideální elastické pevné látky (čistá elastická deformace). Jejich chování se pak popisuje jako viskoelastické. Polymery patří mezi neneutonské kapaliny, což znamená, že jejich rychlost smykové deformace není lineárně závislá na smykovém napětí. [4] [19] [28]

## **4.1 Základní pojmy pro popis charakteristiky polymerních materiálů**

Vlastnosti neplněných polymerů jsou ovlivněny jejich chemickou strukturou, molekulovou strukturou (tvarem a délkou makromolekul a velikostí sil mezi nimi působícími) a jejich uspořádáním. [2]

### **4.1.1 Distribuce molekulové hmotnosti**

Všechny molekuly nejsou stejné velikosti, tato nestejnorodost se nazývá polydisperzita. Materiály s úzkou distribucí molekulové hmotnosti mají molekuly podobné velikosti. Jejich zpracování je lépe kontrolovatelné, ale při zpracování se musí dosahovat vyšší rychlosti smykové deformace, jelikož molekuly podobné velikosti snadněji vytváří zapleteniny mezi sebou, čímž zabraňují snížení jejich smykové viskozity. Naopak materiály se širokou distribucí molekulových hmotností mají molekulové řetězce výrazně rozdílných velikostí, kvůli čemu je kontrola jejich zpracování obtížnější, ale při jejich zpracování se nemusí dosahovat tak vysokých rychlostí smykových deformací. [2] [16]

### **4.1.2 Tvar makromolekul**

Makromolekuly mohou mít lineární, rozvětvenou, nebo síťovanou strukturu. Lineární makromolekuly se vyznačují tvorbou monomerních jednotek mezi dvěma funkčními skupinami. Rozvětvené makromolekuly mají základní řetězec, na který jsou vázány krátké boční substituenty, která zhoršují jejich pohyblivost. Tyto substituenty jsou příčinou oddálení makromolekul, což má za následek zhoršení jejich mechanických vlastností, tvrdosti, modulu pružnosti a dalších užitečných vlastností. Sesíťované struktury vznikají chemickou reakcí, kdy dojde ke spojení lineárních makromolekul na různých místech, čímž dojde k omezení pohyblivosti makromolekul jakožto celku. Tyto polymery tak ztrácí svou rozpustnost, tavitelnost a houževnatost. Naopak dojde ke zvýšení jejich tvrdosti, modulu pružnosti a teplotní odolnosti. [16] [19]

### 4.1.3 Mezimolekulární síly

Velikost mezimolekulárních sil značně ovlivňuje vlastnosti polymerů. O velikosti sil mezi makromolekulami rozhoduje jejich chemické složení. Vzniklé síly pak mohou být:

- dipólové – jedná se o velmi přitažlivé síly, které působí mezi makromolekulami s trvalým elektrickým dipólem. Lze je označit jakožto polární,
- indukované – jejich přitažlivá síla je znatelně menší než u dipólových sil. Tyto síly vznikají mezi makromolekulami s trvalým a bez trvalého dipólu,
- disperzní – přitažlivá síla je opět daleko menší než u dipólových sil. Ke vzniku těchto sil dochází mezi makromolekulami bez dipólu. [16] [24]

### 4.1.4 Uspořádání makromolekul

Vlastnosti polymerů jsou taktéž ovlivněny uspořádáním makromolekul (viz. Tabulka 3).

V pevném stavu se u polymerů rozlišují dva případy uspořádání:

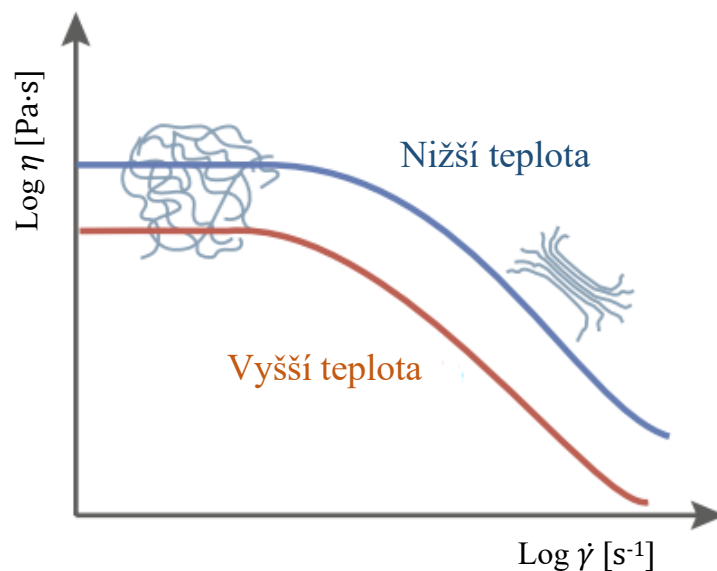
- amorfní – makromolekuly jsou náhodně uspořádané a jsou náhodně propleteny,
- semikrystalické – obsahují část uspořádaných makromolekul společně s neuspořádanou amorfni částí. Vzniku uspořádané části se říká krystalizace, ke které dochází při ochlazování taveniny. Aby k tomuto ději došlo, musí polymer vykazovat strukturní a chemickou pravidelnost makromolekuly. [2] [16] [24]

Tabulka 3 – Vlastnosti polymerů dle uspořádání makromolekul [2]

Vlastnost	Semikrystalické uspořádání	Amorfni uspořádání
Průhlednost	ne	ano
Odolnost proti chemikáliím	vynikající	slabá
Praskání vlivem napětí	ne	ano
Smrštění	vyšší	nižší
Pevnost	vyšší	nižší
Viskozita	nižší	vyšší
Teplota tání	přesně definovaná	rozsah
Změna objemu	vyšší	nižší

## 4.2 Chování polymerního materiálu

Jelikož polymerní tavenina spadá mezi neneutonské kapaliny, při rostoucí teplotě a rychlosti smykové deformace ( $\dot{\gamma}$ ) u ní dochází k nelineárnímu snížení smykové viskozity ( $\eta$ ). Toto chování lze popsat jakožto pseudoplastické. Průběh závislosti smykové viskozity na rychlosti smykové deformace popisuje toková křivka na následujícím obrázku, kde lze vidět oblast, kdy nedochází ke změně viskozity při zvyšující se rychlosti smykové deformace. Tato oblast se nazývá „první Newtonské plató“, při nižších rychlostech smykové deformace se rychlost rozpadu zapletenin mezi molekulami rovná rychlosti jejich obnovování. Oblast, kdy dochází k poklesu smykové viskozity se zvyšující se rychlostí smykové deformace, se nazývá „zpracovatelská oblast“. Zde dochází k rychlejšímu rozpadu zapletenin mezi molekulami než k jejich obnovování. Dle zpracovatelské oblasti lze určit, při jakých rychlostech smykové deformace a teplotě se bude daný materiál zpracovávat. Materiály, citlivé na smykové namáhání, začínají téct snadněji už při relativně nízké rychlosti smykové deformace. Čehož lze využít při vstřikování, jelikož materiály citlivé na smykové namáhání mají nižší smykovou viskozitu a jejich zpracování je snadnější. [10] [21] [33] [36]



Obrázek 16 - Porovnání rozdílných teplot v závislosti smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [2]

Viskozita polymerních tavenin je citlivá nejen na rychlost smykové deformace, ale také se mění s teplotou. Tento jev změny viskozity s teplotou je pozorován i u běžných newtonovských kapalin. Jak je znázorněno na předchozím obrázku, křivka viskozity se posouvá směrem dolů s rostoucí teplotou. Při vyšších teplotách mají polymerní řetězce větší

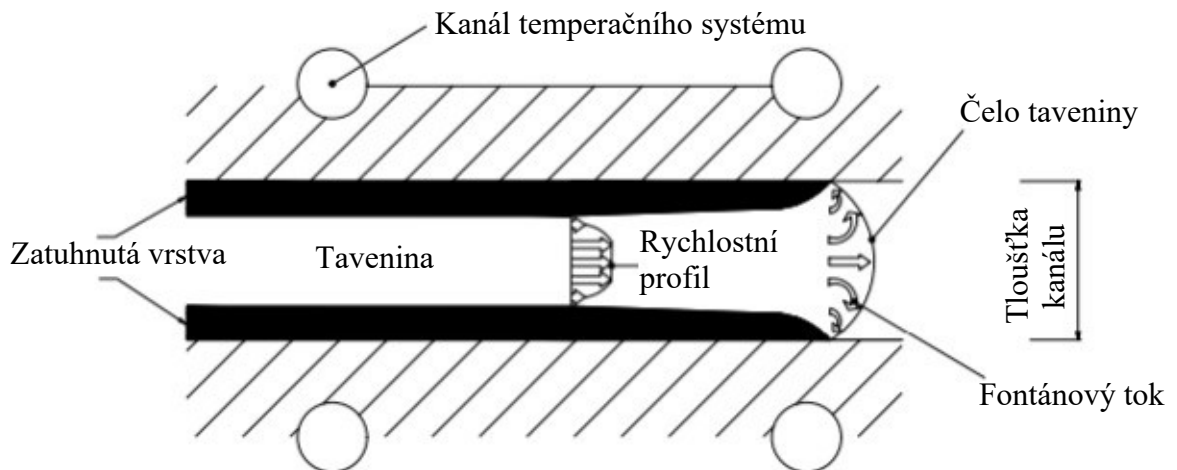
volný objem a pohyblivost, a tak je pro ně snazší překonat interakční energii molekul. Zvyšování zpracovatelské teploty se proto běžně používá k zvýšení tekutosti tavenin polymerů.

I když může tlak ovlivňovat viskozitu polymerních tavenin, v běžném procesu plnění vstřikování plastu může mít tento efekt nižší význam. Nicméně v případě vysokorychlostního vstřikování tenkostěnných dílů při tlacích vyšších než 100 MPa začíná zvyšování viskozity související s nárůstem tlaku hrát významnější roli. [25]

Index toku taveniny (MFI, z anglického Mass Flow Index) je standardizovaná zkušební metoda, která udává, jaké množství taveniny v gramech nebo v  $\text{cm}^3$  proteče tryskou výtlačného reometru za 10 minut při definovaných hodnotách teploty a zatížení. Tato technologická zkouška se používá při kontrole kvality k posuzování shody MFI s hodnotami inspekčního certifikátu daného polymeru deklarovaného výrobcem pro výrobu konečných výrobků. Je však důležité poznamenat, že smykové rychlosti jsou při této zkoušce mnohem nižší než v běžných výrobních podmínkách a jedná se pouze o jeden bod na tokové křivce. Pro sledování chování těchto materiálů během jejich skutečného používání (např. technologie vstřikování, vytlačování plastů a kaučuků) se využívají kapilární reometry. [2] [21]

#### 4.2.1 Tok polymerního materiálu

Vzhledem k výše uvedenému chování toku polymerní taveniny, proudí tavenina charakteristickým způsobem nazývaným fontánový tok. Fontánový typ toku se vyznačuje tím, že materiál uprostřed taveniny má vyšší rychlost než materiál blíže u stěny. Fontánový typ proudění se musí vzít v potaz při návrhu dílu a vstřikovací formy, jelikož u stěny má materiál vyšší rychlost smykové deformace, a tím pádem i vyšší smykové napětí (změna viskozity materiálu). Navíc je materiál blíže u stěny intenzivněji chlazen vlivem chladicího systému vstřikovací formy. Fontánový tok je schematicky popsán na následujícím obrázku. [2] [10] [21]



Obrázek 17 - Schéma fontánového toku [2]

Fontánový typ toku může mít negativní vliv na proudění materiálu v rozvodných kanálech a tvarových dutinách vstřikovací formy, konkrétně při změnách tloušťky stěny a rozvětvení rozvodných kanálů, kdy materiál bude volit cestu nejmenšího odporu. Což může mít vliv na nestejnou plnění tvarové dutiny, a tím i jiné vlastnosti v různých částech výrobku (v případě vícenásobné formy i jiné vlastnosti dílu). [2] [21]

### 4.3 Přísady do polymerních materiálů

Přísady přidané k polymerům, mohou mít významné účinky na výsledné chování materiálu. Z tohoto důvodu je důležité přesně vědět, jaké přísady mají jaký vliv na vstřikovanou součást. Níže jsou uvedeny některé přísady, které jsou běžně přidávány do polymerů za účelem změny některých jejich vlastností:

- změkčovadla – monomerní kapaliny nebo pevné látky s nízkou teplotou tání a těkavostí, která se přidávají k polymerům za účelem zlepšení toku taveniny. Dále způsobují, že je výsledný polymer pružnější a snižují jeho teplotu skelného přechodu,
- plniva – použitím dojde ke změně fyzikálních a mechanických vlastností výsledného polymeru. Plniva mohou být ve formě prášku, nebo vláken. Vlákenná plniva především vyztužují hmotu a zvětšují její pevnost. Prášková plniva naopak při vyšší koncentraci snižují tyto vlastnosti,
- maziva – používají k usnadnění vyjmutí dílu z formy a zvýšení hladkosti a lesku vstřikovaného dílu,

- antistatické látky – zařazují se, jelikož polymery jsou dobrými elektrickými izolanty a na jejich povrchu vzniká statický náboj. Tyto látky mají za účel snížit tento statický náboj a zabránit tak přitahování prachových částic na povrchu výrobku,
- barviva – slouží ke změně barvy vstříkovaného dílu. Ke změně barvy vstříkovaných dílů se nejčastěji používají pigmenty, jelikož nosičem pigmentu jsou obvykle látky s nízkou viskozitou, které se snadno taví, a tím je umožněno lepší rozptýlení barviva,
- tepelné stabilizátory – používají se k odolání tavení polymeru. Polymerní materiály měknou a taví se při relativně nízké teplotě, proto nemohou být obvykle používány v prostředí s vysokou teplotou po delší dobu,
- UV stabilizátory – brání rozkladu polymeru při vystavení slunečnímu světlu. Když materiál absorbuje dostatek energie potřebného k rozpadu chemických vazeb, může dojít k jeho degradaci. [2] [19]

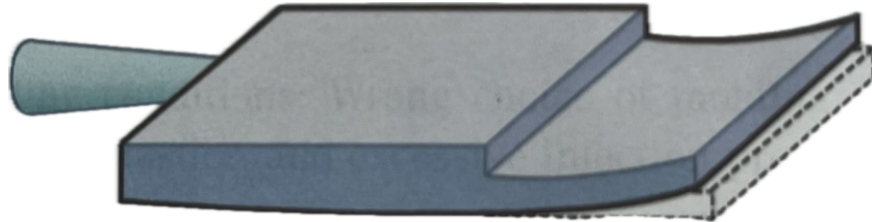
#### 4.4 Smrštění polymerního materiálu

Důležitou oblastí, při návrhu vstříkovacích forem, je smrštění materiálu. Každý materiál s rostoucí teplotou zvětšuje svůj objem a vrací se do své původní objemové velikosti, pokud se ochladí na svou původní teplotu. Při vstříkování navíc na polymer působí tlak, který naopak způsobuje zmenšení objemu materiálu (až 2 % původního objemu). Tudíž na polymerní materiál působí dvě podmínky (tepelná roztažnost a stlačení vlivem vstříkovacího tlaku a dotlaku), které působí proti sobě. Tyto podmínky ztěžují získání skutečného faktoru smrštění.

Semikrystalické polymery vlivem krystalizace vykazují větší smrštění než polymery amorfni. Dalším faktorem ovlivňujícím smrštění materiálu jsou plniva, která mají nižší smrštění než materiál, do kterého jsou přidána, a tak snižují výsledné smrštění. Tvar výrobku také ovlivňuje smrštění. Například pokud jsou velké rozdíly v tloušťce stěn nebo je tvar výrobku nesymetrický, bude docházet k rozdílným rychlostem ochlazování v různých částech výrobku. Což může vést jednak k nerovnoměrnému smrštění, ale i ke vzniku deformací a propadlin. Smrštění je také větší ve směru toku taveniny než napříč ní. Rozdílné teplotní pole, zapříčiněné nerovnoměrným rozložením chladících kanálků, okolo tvarových dutin formy, také vede k nerovnoměrnému smrštění výrobků. V důsledku těchto faktorů je velmi obtížné přesně předpovědět smrštění vstříkovaných dílů. Proto se při návrhu



vstřikovací formy provádí analýzy, které ověřují její funkčnost, včetně určení smrštění výrobku. [2] [11] [20]



*Obrázek 18 - Deformace výrobku vlivem rozdílné tloušťky stěn [25]*

## 5 NEGATIVNÍ JEVY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Při vstřikovacím ději může dojít ke vzniku negativních jevů na výrobcích, využívá se při návrhu vstřikovací formy analýz, které ověřují její funkčnost, včetně odhalení míst, kde by mohlo docházet ke vzniku negativních jevů. [31]

### 5.1 Nedostříknutý výrobek

Při tomto jevu dochází ke vzniku vadného vzhledu finálního výrobku, který vzniká nedostatečným naplněním tvarové dutiny formy. Bývá nejvíce patrný v tenkých částech nebo na nejvzdálenějších místech tvarové dutiny od vtokového ústí a je hlavně způsoben nedostatečným dodáváním materiálu nebo jeho vysokou viskozitou, což způsobuje předčasné zastavení tekutého stavu během procesu plnění. Proto jakýkoli faktor ovlivňující hladký tok roztaveného plastu může způsobit tuto vadu, jako je nedostatečné množství vstřikovaného materiálu, příliš vysoký odpor toku nebo vysoká viskozita. [25] [31]

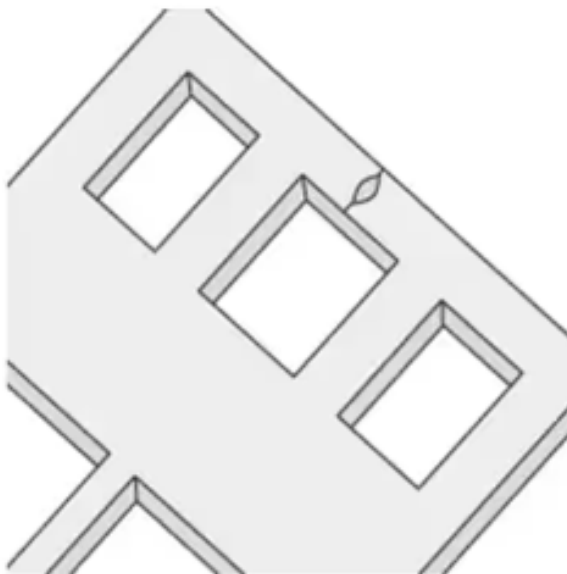
### 5.2 Degradace

Degradaci lze definovat, jakožto jakýkoliv proces, který snižuje fyzikální, chemické, případně tepelné vlastnosti materiálu. K degradaci při vstřikování obvykle dochází důsledkem vlhkosti, tepla, smykového napětí nebo času. Kdy je teplo nejvýraznějším aspektem pro vznik degradace.

Pokud je většina polymerních materiálů po delší dobu vystavena teplotám vyšším, než je jejich bod tání, dochází k jejich degradaci. Kdy dochází k rozložení nebo rozpadu na uhlíkový základ materiálu. Některé materiály se rozkládají rychleji než jiné, je nutné, aby byly ve stavu taveniny po co nejkratší možnou dobu. [2] [9] [19]

### 5.3 Studené spoje

Ke vzniku studených spojů dochází, když se ve tvarové dutině formy střetnou dva polo-roztavené proudy taveniny. Tyto proudy mohou vzniknout použitím více vtokových ústí na jednom výrobku, nebo při obtékání tvarových jader nebo jiných překážek v tvarové dutině formy. Na povrchu výrobku se pak projeví jako více či méně výrazné linky, což může být u některých výrobků z estetického hlediska nepřijatelné. Navíc tyto spoje, z mechanického hlediska, oslabují výrobek, jelikož při spojení dvou proudů taveniny nemusí dojít k dostatečnému propojení materiálu.

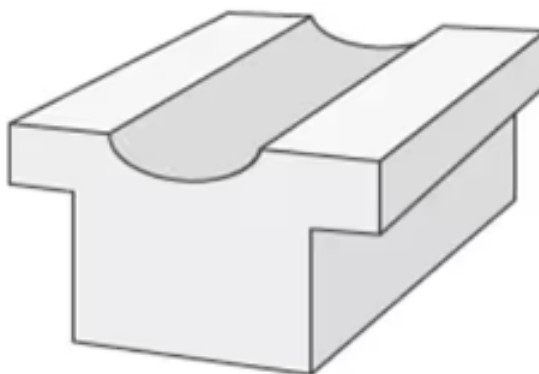


*Obrázek 19 - Studený spoj na výrobku [41]*

K omezení vzniku nebo eliminaci studených spojů může pomoci zvýšení teploty formy a taveniny, aby tyto proudy měly vyšší teplotu, při jejich setkání, a tak došlo k lepšímu promísení materiálu. Touto úpravou dojde k prodloužení vstřikovacího cyklu (nižší produktivita). Vzniku studených spojů lze taktéž předejít změnou umístění vtokového nebo vtokových ústí, čímž lze eliminovat jejich vznik nebo změnit polohu jejich vzniku, kde tento výskyt není tak problematický (nepohledová, nebo málo mechanicky namáhána část výrobku). [2] [25] [31]

#### **5.4 Propadliny**

Propadliny jsou povrchové vady výrobků, které jsou způsobeny neúplným zaplněním tvarové dutiny formy, nadměrným lokálním smrštěním, nebo kombinací obou faktorů. Během vstřikování tavenina proudí dutinovým prostorem v kontaktu s ochlazenými stěnami formy. To způsobuje, že vrstva materiálu blízko stěn tuhne, čímž dojde ke zmenšení průchodu pro proudění. Následně je potřeba více úsilí (vyšší tlak, vyšší teplota taveniny nebo vyšší teplota formy), aby byl následně kompletně naplněn zbytek tvarové dutiny formy. Vzniku propadlin lze taktéž zamezit zařazením dotlakové fáze do vstřikovacího cyklu, aby bylo zajištěno doplnění objemu materiálu, který, vlivem jeho smrštění, ubyl.

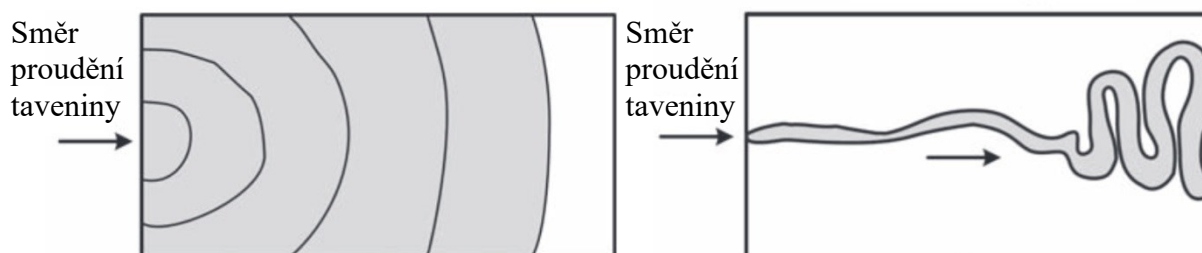


Obrázek 20 - Propadlina na výrobku [41]

Povrch výrobku může vykazovat nevzhledné stopy proudu od vtokového ústí. Tento negativní jev vzniká při plnění do otevřeného prostoru výrobku. Nejjednodušším řešením, jak jevu zabránit, je umístění vtokového ústí tak, aby tavenina při vstupu do tvarové dutiny formy narazila na některou z dalších tvarových částí formy. [2] [27] [31]

## 5.5 Volný tok taveniny

K volnému toku taveniny, taktéž nazývanému „jetting“, dochází při rychlém plnění volného prostoru tvarové dutiny formy taveninou přes vtokové ústí nebo trysku VVS. Volným tokem taveniny může dojít ke vzniku nepěkného vzhledu výrobku, a navíc může zhoršit jeho mechanické vlastnosti. Zhoršení vlastností je zapříčiněno jednotlivým vrstvením proudu, čímž může dojít ke vzniku malých studených spojů. Volnému paprsku taveniny lze zamezit tím, že se umístění vtokového ústí nebo trysky VVS zvolí proti stěně tvarové dutiny a tavenina se tak rozptýluje v dutině rovnoměrněji. [11] [31]

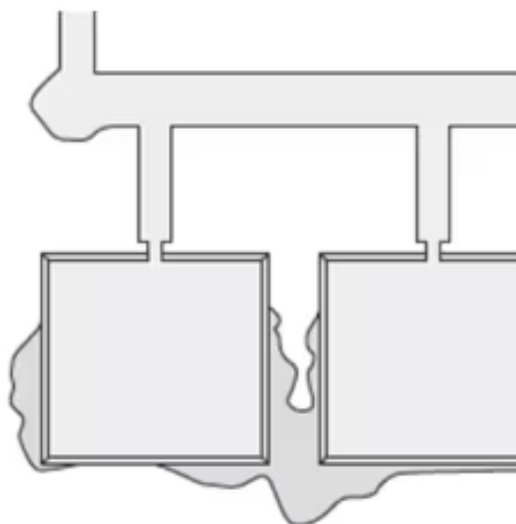


Obrázek 21 - Porovnání správného (vlevo) plnění tvarové dutiny s volným tokem taveniny (vpravo) [11]

## 5.6 Přetoky a otřepy

Ke vzniku přetoků dochází vlivem mezery v dělicí rovině, skrze kterou tavenina uniká mimo tvarovou dutinu formy. Hlavní příčiny vzniku přetoků jsou:

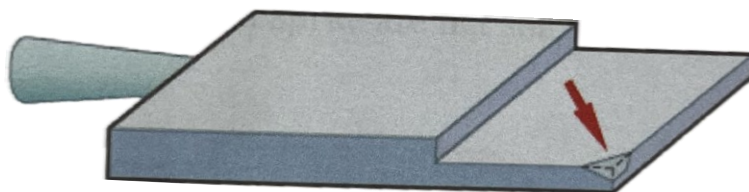
- malá uzavírací síla stroje,
- špatný návrh nebo zhotovení dělicí roviny,
- nečistoty v dělicí rovině,
- vysoká teplota materiálu,
- vysoký vstřikovací tlak,
- špatný odvod přebytečného vzduchu z tvarové dutiny. [27] [31]



Obrázek 22 - Přetoky na výrobku [41]

### 5.7 Vzduchové kapsy

Vzduchové kapsy vznikají zadržením vzduchu v tvarové dutině formy. Tento vzduch nemůže uniknout přes odvzdušňovací kanály, dělicí roviny nebo mezery vzniklé vyhazovacím systémem. Ke vzniku těchto kapes nejčastěji dochází v místech tvarové dutiny, které jsou zaplněny taveninou jako poslední a není v nich zajištěn odvod přebytečného vzduchu. To má za následek vznik uzavřených kapes vzduchu ve výrobku, nedotečení nebo povrchové vady výrobku. [27] [31]



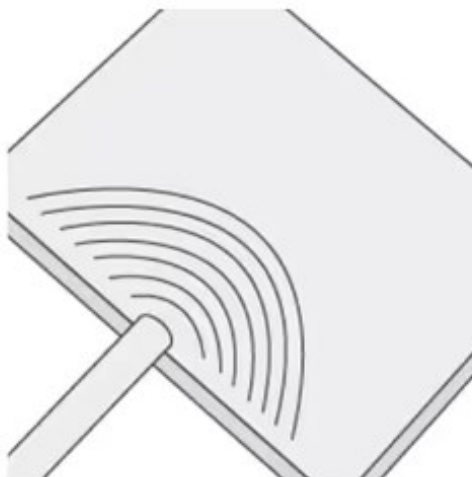
Obrázek 23 - Vzduchová kapsa na výrobku [25]

## 5.8 Spálená místa na výrobku

Ke vzniku spálených míst na výrobcích dochází v důsledku vzniku vzduchových kapes. Vzduch uzavřený v tvarové dutině je rychle stlačen, což vede k jeho ohřátí. Zvýšení teploty taveniny, která je v kontaktu s ohřátým vzduchem, může vést k její degradaci. Degradovaný materiál se pak na výrobku jeví jakožto opálené místo. [25] [31]

## 5.9 Znamky po toku materiálu

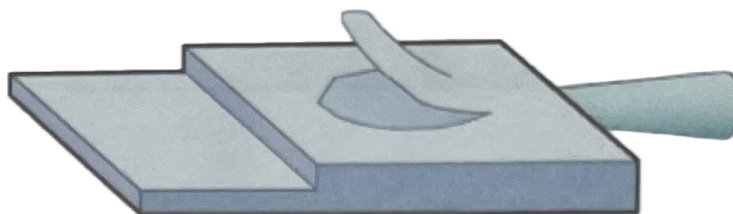
Ke vzniku viditelných tokových známek na výrobku dochází vlivem nerovnoměrného rozložení teploty taveniny nebo pokud je viskozita taveniny příliš velká. Příliš nízká teplota způsobuje tření a tlačení mezi materiálem a dutinou formy, což má za následek příliš rychlé ztuhnutí taveniny a vytvoření tokové známky. [25] [31]



Obrázek 24 - Viditelný tok materiálu [41]

## 5.10 Delaminace vrstev

Hlavní příčinou delaminace (oddělení vrstev) je smíchání dvou nekompatibilních materiálů nebo typů materiálů použitých ve vstřikovacím procesu, které jsou příliš odlišné. Kromě toho může delaminace také nastat, pokud je teplota taveniny plastu příliš nízká, vlhkost materiálu je příliš vysoká nebo pokud rozvodný kanál a vtokové ústí nejsou hladké. [25]

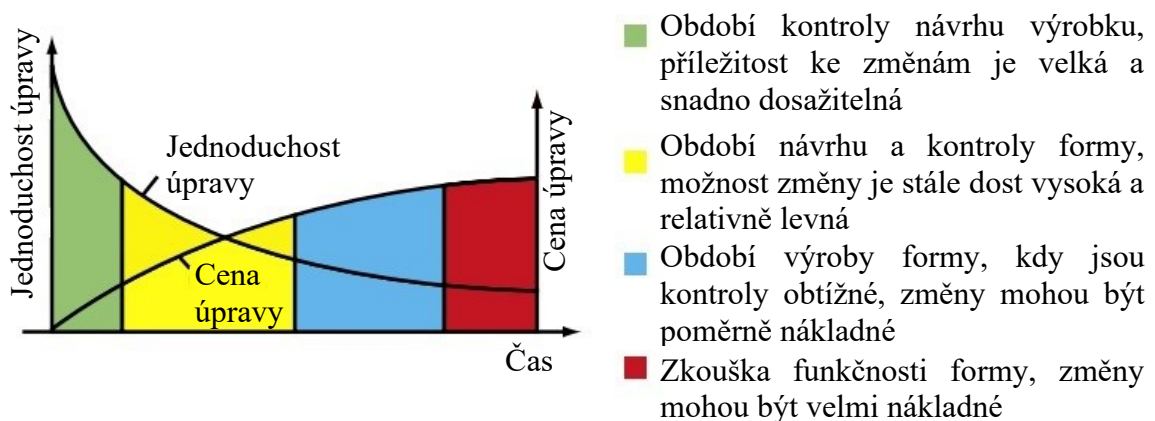


Obrázek 25 - Delaminace vrstev výrobku [25]

## 6 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Vstřikovaný výrobek musí být navržen tak, aby splňoval určité funkční, konstrukční, estetické, ekonomické a výrobní požadavky. Při návrhu výrobku je proto nutné zohlednit faktory, jako jsou vlastnosti použitého materiálu na jeho výrobu, výsledné mechanické vlastnosti, oblast použití, možnosti způsobu výroby a následného odformování. Pro ověření výsledných mechanických vlastností lze opět použít program na mechanickou analýzu pomocí metody konečných prvků. [11] [31]

Design vstřikovací formy odvíjí od výrobku v ní vyráběném a její výroba je velice nákladná, je důležité mít správně navržený výrobek. Jak popisuje následující obrázek, náklady na úpravu vstřikovací formy, v průběhu její výroby, jsou čím dál vyšší. [2]



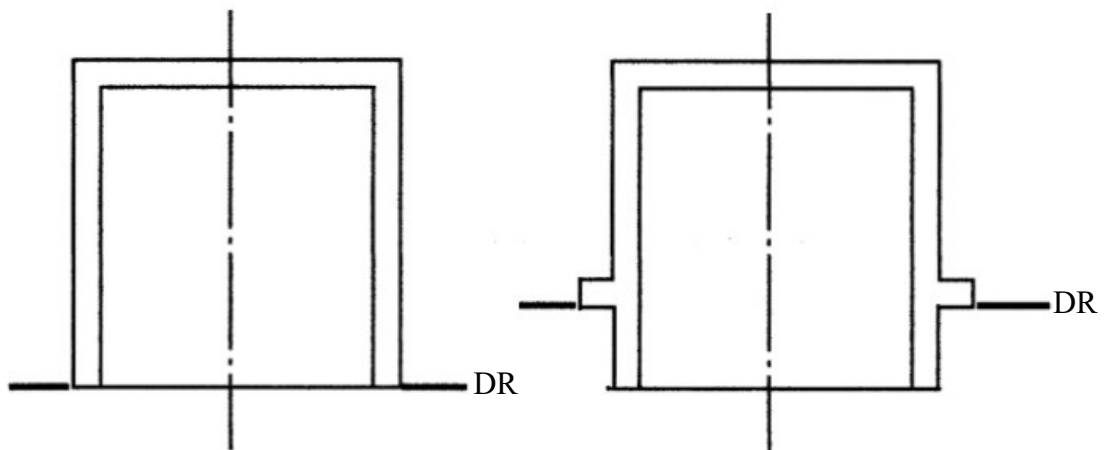
Obrázek 26 - Graf závislosti jednoduchosti a ceně úpravy vstřikovací formy na čase [2]

Při návrhu vstřikovaného dílu se musí tedy dodržet mnoho zásad, aby byla zajištěna správná funkčnost tohoto dílu. Nejčastější chyby při návrhu výrobku jsou:

- přechody mezi tlustými a tenkými stěnami, kde může vznikat napětí,
- příliš tlusté a tenké stěny,
- příliš dlouhý vtokový systém se složitou geometrií,
- orientace toku taveniny (smrštění),
- viditelná vtoková ústí na výrobku,
- vznik napětí při spojení dílů sestavy,
- křehkost a únavové poruchy při dlouhodobém namáhání. [11]

## 6.1 Dělicí roviny

Aby bylo možné vyjmout vstřikované díly z formy, musí se forma skládat z nejméně dvou oddělených částí (tvárník, tvárnice, případně tvarová jádra). Oddělení mezi těmito částmi se nazývá dělicí rovina. DR se hlavně řeší při konstrukci vstřikovací formy, ale musí se s jejím umístěním počítat již při návrhu vstřikovaného dílu. Hlavní dělicí rovina (HDR) se vždy umísťuje do místa nejširšího obvodu výrobku, aby jej bylo možné vyjmout z formy. Ideální DR by měla být tvořena jednou „plochou“, aby byly minimalizovány náklady na výrobu formy a zajištěno optimální utěsnění při vstřikování (odvod přebytečného vzduchu). Ideální DR u složitějších výrobků nelze dosáhnout. Při použití studeného vtokového systému (třideskového) nebo tvarových jader, pro tvorbu bočních otvorů či výstupků, dochází ke vzniku vedlejších dělicích rovin (VDR). [11] [31]



Obrázek 27 - Možnosti umístění dělicí roviny na výrobcích [2]

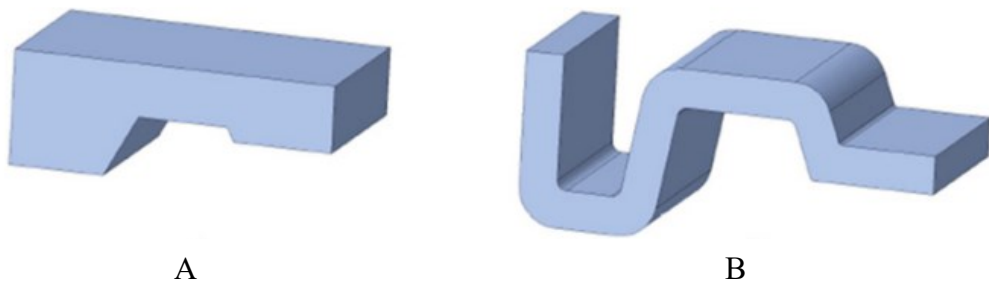
Dělicí roviny nezajišťují jen možnost odformování výrobku, ale zajišťují i odvod přebytečného vzduchu z tvarové dutiny formy skrze mezeru (obvykle 0,02 až 0,03 mm) mezi jednotlivými tvarovými částmi formy. Jakmile tavenina vstoupí do tvarové dutiny, vzduch z ní musí uniknout, aby nedošlo ke vzniku negativních jevů na výrobku (nedotečení a degradace). Maximální velikost této mezery se volí dle použitého materiálu, aby nedošlo k jeho zatečení do DR. [2] [11]

## 6.2 Tloušťka stěn

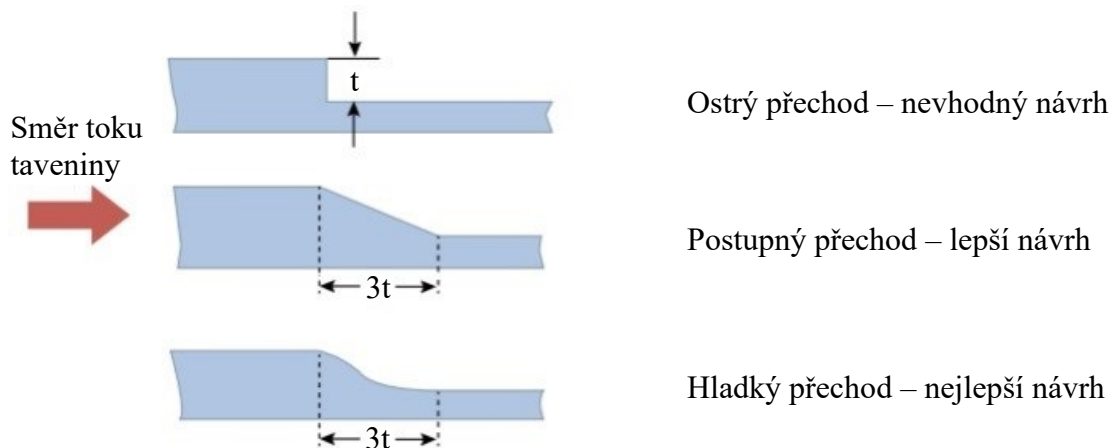
Při návrhu vstřikované dílu se doporučuje volit jednotnou tloušťku stěn. Rozdílné tloušťky stěn se budou ochlazovat v rozdílných časových intervalech, což může vést, v přechodových oblastech, ke vzniku propadlin, deformací, reziduálních napětí a změně barvy či průhlednosti výrobku. Pokud se těmito přechodům nelze vyhnout, měly by být co nejpostupnější bez



náhlých přechodů a tloušťka stěn by se neměla lišit více než tři ku jedné v poměru tlouštěk. Obecně platí, že by měl být díl ve formě orientován tak, že materiál vstupuje do části s největší tloušťkou stěn a k zaplnění nejtenčích částí výrobku dojde až ke konci vstřikovacího děje. [2] [11] [30]



Obrázek 28 - Možnost úpravy tloušťky stěny výrobku: A – nevhodný návrh, B – lepší návrh [2]



Obrázek 29 - Možnosti přechodu mezi různými tloušťkami stěn [2]

Tloušťku stěny lze odvodit z mechanické analýzy, vycházející z následného použití výrobku. Další faktory ovlivňující tloušťku stěny jsou teplota prostředí, kde bude výrobek používán, elektrické a izolační požadavky. Odolnost vůči nárazu obvykle s tloušťkou stěny roste, ale pokud je pouze jedna část výrobku příliš tuhá, může být rozložení nárazové energie neefektivní. Obvykle bývá tloušťka stěn vstřikovaných výrobků, v závislosti na materiálu, v rozmezí od 0,8 do 4,8 mm, při čemž rozměrnější výrobky mívají větší tloušťku stěn. [11] [30]

### 6.3 Sklon stěn

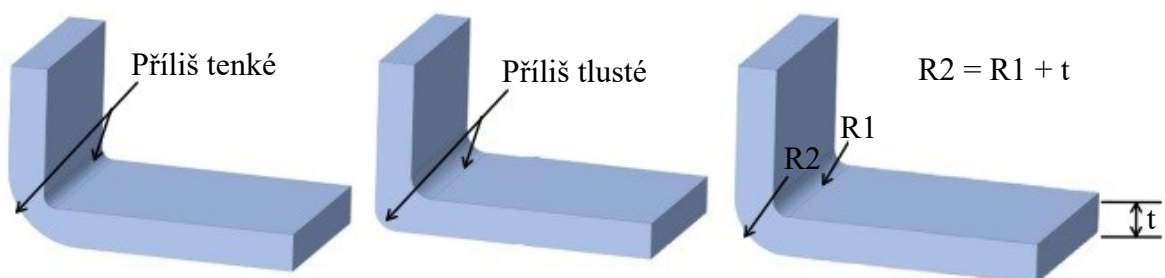
Vstříkované díly mají tendenci smršťovat se na jádrech a tvárnících vstříkovací formy, jsou téměř vždy opatřeny malým sklonem stěn ve směru pohybu formy, díky čemuž je k jejich vyhození z formy potřeba daleko menší úsilí, než kdyby byly tyto díly bez sklonu stěn. Aby byla zajištěna jednotná tloušťka stěn výrobků, bývá tvárnice taktéž opatřena stejným úhlem sklonu, jako ostatní části tvarové dutiny formy. Minimální doporučený úhel sklonu stěn, pro výrobky z termoplastů, je  $0,5^\circ$  (pro žebra  $0,5^\circ$  na každou stranu). [2] [11]

V případě, že nelze sklon z technického hlediska použít, musí se použít složitější prostředky pro odformování, jako jsou dělené tvarové prvky. Jejich použití značně zvyšuje výsledné náklady na výrobu formy, a proto je snaha se jejím použitím vyhnout. [2] [30]

### 6.4 Hrany a zkosení

Při návrhu vstříkovaných dílů by se mělo vyhýbat ostrým rohům nebo zkosením. Ostré rohy a zkosení mohou způsobit vznik napětí v dílu, které mohou vést k jeho porušení. Další jejich nevýhodou je jejich obtížné plnění, zvýšení tlaku potřebného pro jejich zaplnění a zvýšení náročnosti výroby formy. Obecně platí, že se zvětšujícím se poloměrem zaoblení, koncentrace vzniku napětí rapidně klesá. CAE analýzy mohou pomoci předpovědět vznik těchto napětí, a tím zajistit jejich odstranění před výrobou vstříkovací formy.

Poloměry rohů by měly být navzájem kompatibilní, aby výsledná tloušťka stěny v tomto zaoblení byla shodná. Pokud je vnější poloměr příliš velký, může dojít ke špatnému vyplnění a oslabení dílu. Pokud je vnější poloměr příliš malý, pak se díl stává v této oblasti příliš tlustým, což vede ke špatnému toku taveniny při vyplňování dílu a plýtvání materiálem. Obecně platí, že vnější roh by měl mít minimální rádius o velikosti 1,5krát tloušťka stěny. Pro vnitřní roh pak minimálně 0,5krát tloušťka stěny. [2] [30]

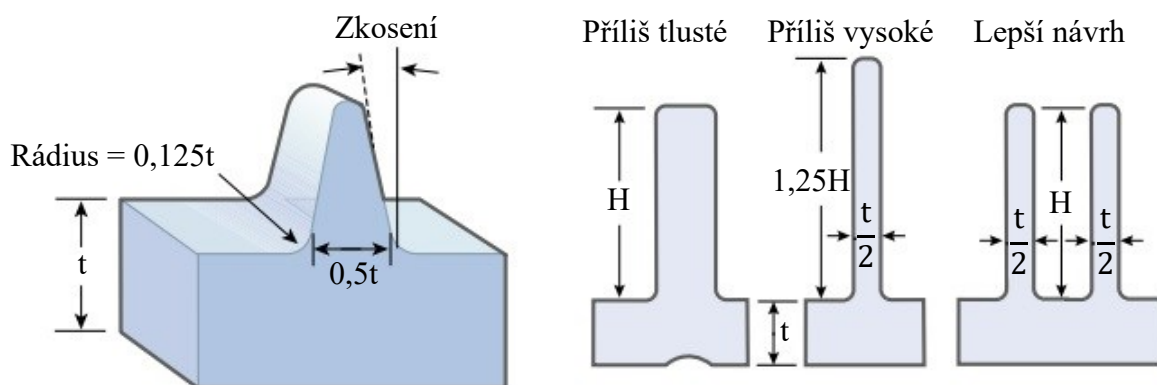


Obrázek 30 - Návrh rohu vstříkovaného dílu [2]

## 6.5 Žebra

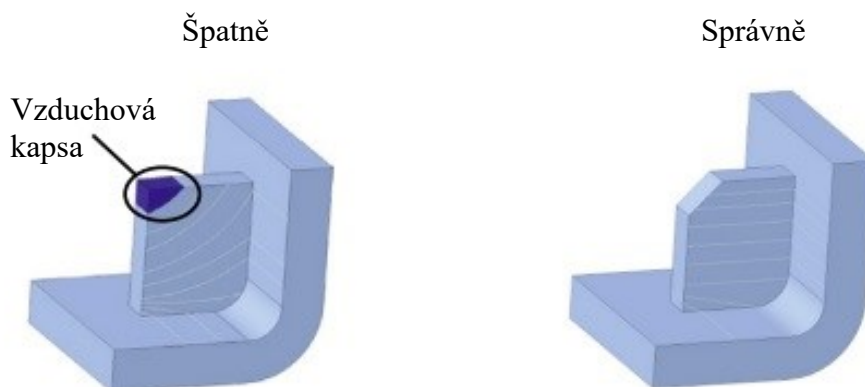
Žebra zastávají u vstřikovaných dílů funkci zlepšení toku taveniny do určitých částí dílu, zvýšení tuhosti výrobku a mohou taktéž sloužit jako pomocné prvky pro montáž dílu. Při špatném návrhu žebra může při vstřikování docházet ke vzniku negativních jevů, jako je vznik propadlin a nedotečených míst. Aby se zabránilo vzniku těchto vad, doporučuje se dodržovat tyto zásady:

- výška žebra by měla být menší než 3krát tloušťka stěny dílu u žebra,
- sklon na všech žebrech a výstupech by měl být minimálně  $0,5^\circ$  na každé straně,
- rozpětí mezi dvěma žebry by mělo být více jak 2krát tloušťka stěny dílu u žebra. [2] [11] [30]



Obrázek 31 - Návrh žebra vstřikovaného dílu [2]

Pokud žebro neslouží jako konstrukční prvek a jeho tvar není důležitý pro další části sestavy, tak se jeho tvar volí bez ostrého rohu, kdy se zaoblí nebo zkosí. Tato úprava zajistí snadnější plnění a sníží se riziko nedotečení taveniny do tohoto místa. [2]



Obrázek 32 - Úprava tvaru žebra [2]

## 7 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU (AUTODESK MOLDFLOW)

Jedním z nejužitečnějších nástrojů pro konstruktéra vstřikovacích forem jsou simulační programy pro vstřikovací proces s počítačovou kontrolou (CAE, z anglického Computer Aided Engineering). Cena těchto programů je dosti vysoká, ale vzhledem k negativním jevům, které mohou nastat při vstřikování, dokážou ušetřit spoustu financí při úpravách již zhotovené vstřikovací formy. Výsledné simulace z těchto programů umožní konstruktérovi vyhodnotit výsledný návrh vstřikovací formy, která bude schopna v reálném prostředí produkovat funkční díly. [2] [17]

Autodesk Moldflow je konečně prvkový program, který umožňuje simulaci těchto fází vstřikovacího procesu:

- fáze plnění,
- fáze komprese (dotlaku),
- fáze chlazení.

Pomocí tohoto programu pak provádět analýzy jako jsou:

- analýza plnění,
- analýza komprese,
- analýza chlazení,
- analýza umístění vtoků,
- analýza vyvážení vtoků,
- analýza napětí,
- analýza smrštění,
- analýza odvzdušnění,
- analýza orientace vláken,
- analýza krystalizace,
- analýza optimalizace procesu atd.

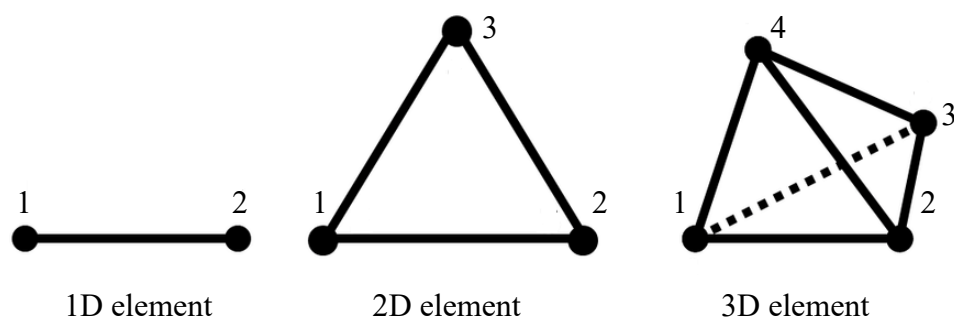
Nejvhodnější využití CAE ve vstřikovacím procesu jsou:

- ve fázi návrhu výrobku a před výrobou formy, kdy lze předpovědět a opravit možné vady v návrhu výrobku a snížení nákladů v podobě zrychlení vstřikovacího cyklu,
- po vyrobení formy (ale před sériovou produkcí), pokud je výrobek vadný, ale příčiny nelze řešit prostřednictvím testů forem na místě, může být provedena analýza ke stanovení příčin generování vad prostřednictvím opětovné tvorby skutečných vad a problémů pomocí simulace,
- po sestavení formy a během sériové výroby, kdy lze zjistit možnost zlepšení výtěžnosti a zkrácení času cyklu pomocí simulace k dalšímu zvýšení produktivity,
- vytvořením interní databáze lze shrnout znalosti o řešení problémů a vytvořit standardní operační postupy pro diagnostiku problémů neustálým akumulováním počtu projektů. [25] [26]

## 7.1 Konečně prvková síť

Pro spuštění analýzy musí mít model dílu vytvořenou vhodnou síť konečných prvků. Prvky rozdělují geometrii dílu nebo jiné části (vtokový, temperační systém atd.) na několik malých oblastí. Tyto malé oblasti nebo prvky jsou definovány uzly (souřadnice ve prostoru) a jsou použity pro výpočty. Existují tři hlavní kategorie prvků:

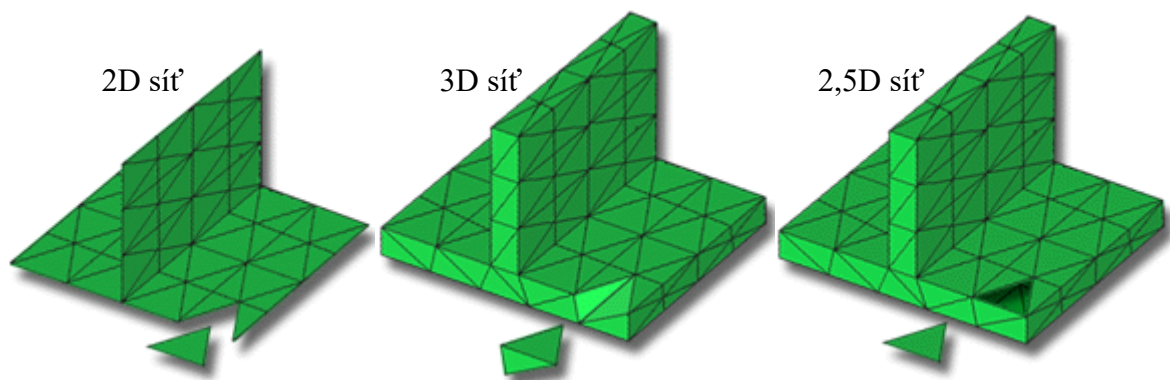
- 1D element (beam element) – dvojuzlový prvek používaný k popisu vtokového systému a temperačních kanálů,
- 2D element (trojúhelník) – tříuzlový prvek používaný k popisu dílu, tvarových prvků,
- 3D element (trojstěn) – čtyřuzlový prvek používaný k popisu dílu, jader, vtokových systémů atd. [25] [38]



Obrázek 33 - Základní prvky pro tvorbu konečně prvkové sítě [37]

Program Autodesk Moldflow využívá tři základní typy sítí, jež jsou:

- 2D síť (Mildplane), která je jednou z nejběžnějších metod sítě. Tento přístup je založen na vytvoření sítě v geometrickém středu dílu nebo formy. Jedná se o dvourozměrnou síť, která simuluje proudění a tepelné vlastnosti materiálu v rovině středu tloušťky. Často se používá pro modelování dílů s relativně jednoduchou geometrií, kde není vyžadována přesná reprezentace všech tří rozměrů,
- 3D síť (3D plane), jež je pokročilejší metodou sítě, která umožňuje modelování dílů a forem s komplexními třírozměrnými geometriemi. Tento typ vytváří síť, která pokrývá celou objemovou geometrii dílu nebo formy. Díky tomu může 3D síť přesněji simulovat proudění a tepelné vlastnosti materiálu v celém objemu. Tento typ sítě je obvykle používán pro složitější modely, které vyžadují detailní analýzu všech tří rozměrů,
- 2,5D síť (Dual – domain), která je hybridní metodou, která kombinuje výhody 2D a 3D sítě. Tento typ využívá povrchovou síť 3D modelu a aplikuje na ni 2,5D řešitel. To umožňuje simulovat proudění a tepelné vlastnosti materiálu na povrchu dílu s vyšší přesností než 2D síť, zatímco zároveň zjednodušuje výpočty tím, že se omezuje na dvourozměrnou síť. 2,5D síť je vhodná pro modely, které vyžadují přesnější simulaci než 2D síť, ale jsou příliš složité pro úplné 3D modelování. [39] [40]



Obrázek 34 - Typy konečně prvkových sítí [39]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- proveďte konstrukci zadaného plastového dílu,
- navrhnete 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu,
- nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů,
- návrh ověřte pomocí analýz.

V literární studii je obecně popsána technologie vstřikování, následuje popis jednotlivých částí vstřikovacího stroje a formy. Kapitola pro vstřikovací formu detailně popisuje vtokové, temperační a vyhazovací systémy včetně možností odformování výrobků. Další kapitolou je popis vlastností a modifikací polymerních materiálů, jež jsou důležité pro správný návrh vstřikovací formy. Jelikož při vstřikování může dojít ke vzniku mnoha negativních jevů na výrobku, je jim v literární studii věnována samostatná kapitola. Závěr této studie je zaměřen na konstrukční zásady vstřikovaných dílů a analýzu vstřikovacího procesu.

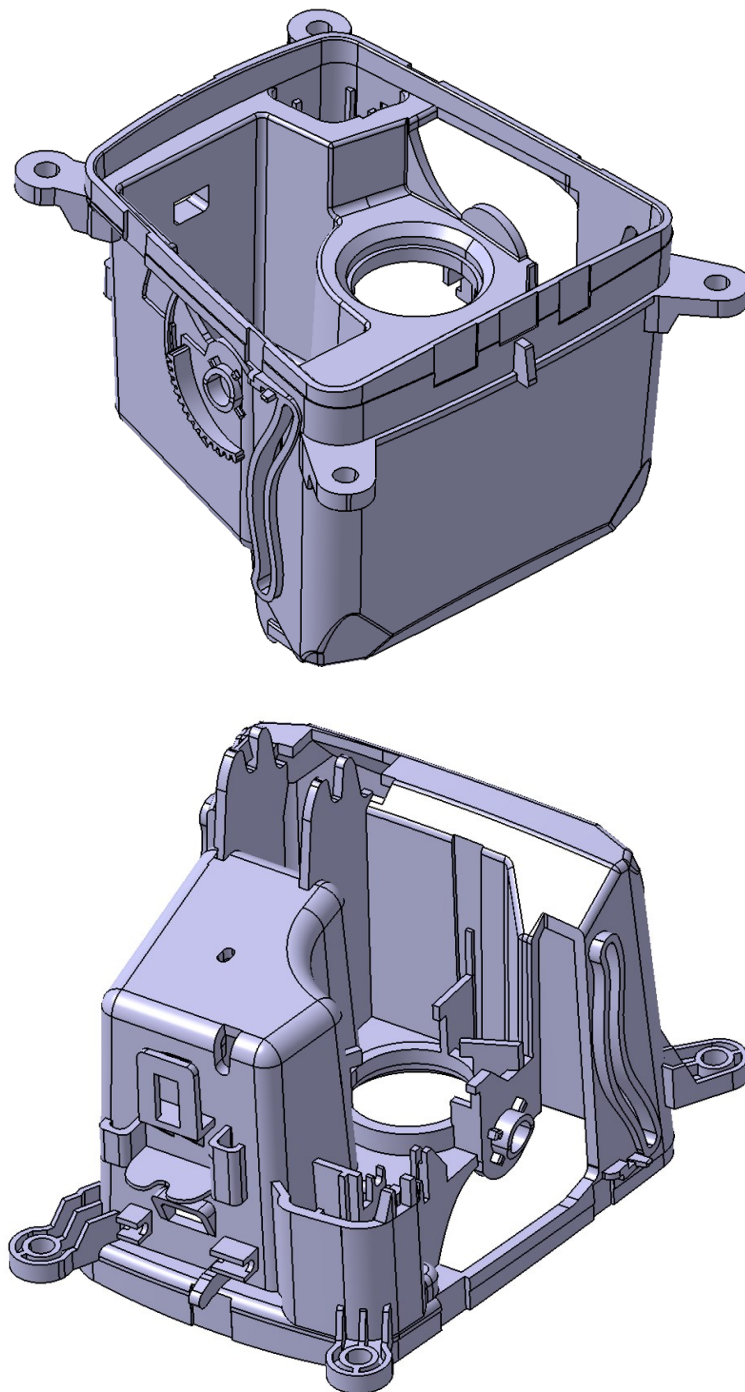
Praktická část práce popisuje zbylé stanové cíle. V této části je popsán zadaný plastový výrobek, včetně odůvodnění volby materiálu, ze kterého je vyroben. Dále je zde důkladně popsána navržená 3D sestava vstřikovací formy. Vzhledem k výsledným parametrům formy je pro její použití zvolen nejvhodnější vstřikovací stroj. Jak výrobek, tak i sestava vstřikovací formy jsou vyhotoveny v programu CATIA V5R20. V tomto programu jsou také vypracovány 2D výkresy navržené formy, jež jsou součástí příloh. Vhodnost návrhu vstřikovací formy je ověřena pomocí analýz, kdy je největší důraz kladen na chování materiálu při vstřikování, jeho následné ochlazování a deformace. Pro zefektivnění její funkce je pro formu, dle výsledků analýz a ekonomických propočtů, zvolen vtokový systém. Analýzy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2023.



## 9 ZADANÝ AUTOMOBILOVÝ DÍL

Automobilový díl pochází z interiéru automobilu značky BMW, kdy se jedná o část středové konzole. Konkrétně jde o držák, který slouží k upevnění zabudovaného zapalovače společně s odkládacím prostorem.

Držák má největší šířku 140 mm, délku 150 mm a výšku 110 mm. Jeho hmotnost je 148 g. Tloušťka stěn se v jeho průřezu příliš nemění, kdy se pohybuje v rozmezí od 2 do 3 mm.



Obrázek 35 - Pohled na 3D model držáku shora (nahore) a zespod (dole)

## 9.1 Materiál zadaného dílu

Pro držák byl, dle účelu jeho použití, zvolen kompozitní materiál tvořen směsí polykarbonátu (PC) a akrylonitril-butadien-styrenu (ABS). Materiál byl použit od výrobce SABIC Innovative Plastics US pod obchodním názvem COCOLOY CX2244ME, jehož materiálový list je součástí příloh. Jedná se o amorfni termoplast, který kombinuje vlastnosti obou složek, což z něj činí častou volbu pro různé aplikace v průmyslu, elektronice a spotřebních výrobcích. V automobilovém průmyslu se s tímto materiálem nejčastěji lze setkat v interiéru, kdy tvoří interiérové panely, obaly elektroniky atd.

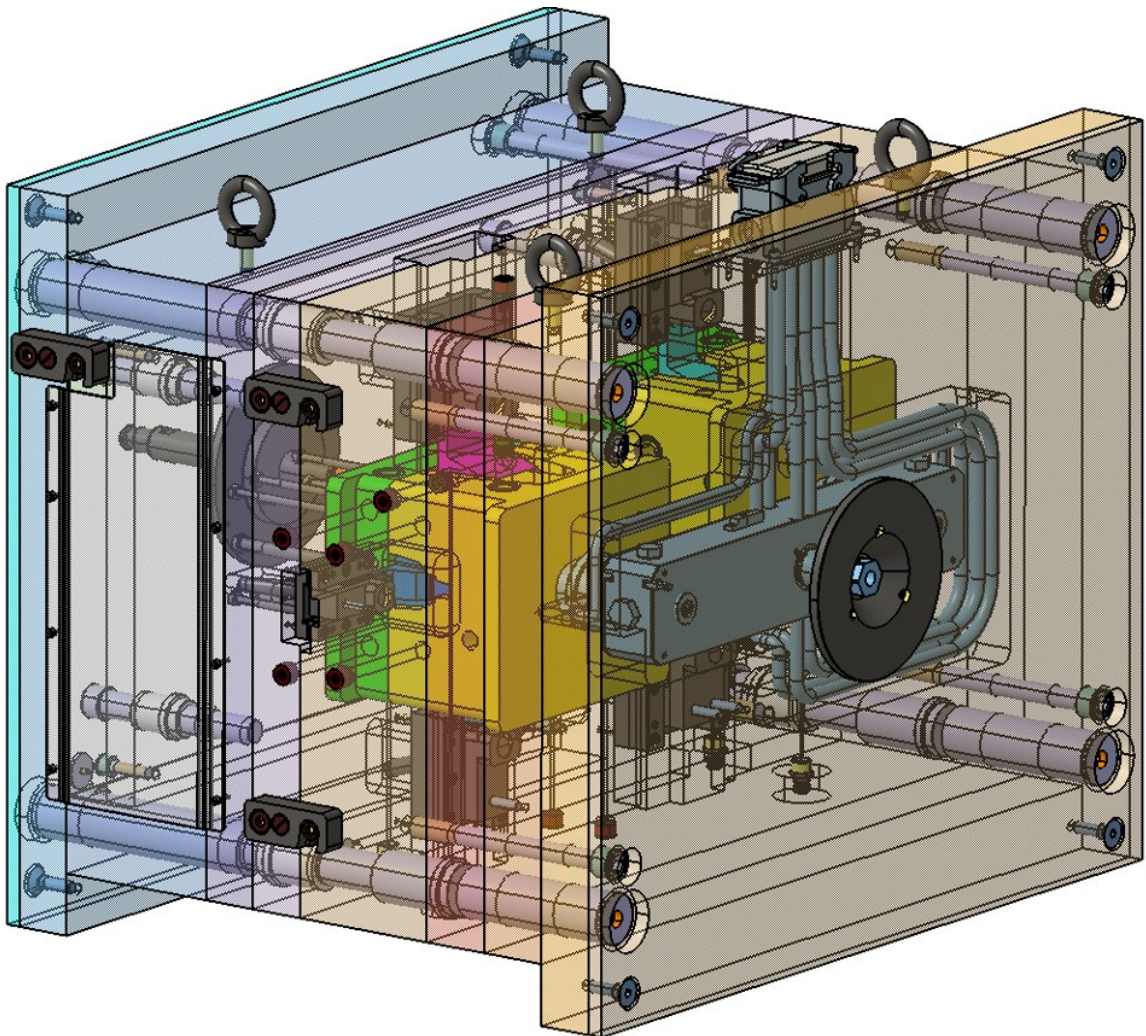
Díky obsahu PC má výsledný materiál vysokou pevnost a odolnost vůči nárazům a ohybu. ABS dodává materiálu lepší chemickou odolnost. Materiál z těchto dvou složek má dobrou teplotní odolnost, což znamená, že si udržuje své mechanické vlastnosti při různých teplotách. Dále má vysokou odolnost vůči UV záření, což z něj činí vhodnou volbu pro venkovní aplikace. V automobilovém průmyslu si tento materiál našel své místo, i díky jeho vysoké pevnosti a odolnosti, při zachování nízké hmotnosti. PC + ABS disponuje dobrou elektrickou izolací a lze jej snadno povrchově upravovat. [42]

Tabulka 4 – Vybrané parametry materiálu COCOLOY CX2244ME [42]

Parametr	Hodnota
Index toku taveniny [g/10 min]	15
Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	1,1974
Hustota taveniny [g/cm <sup>3</sup> ]	1,0577
Rozmezí teploty taveniny [°C]	270 – 300
Rozmezí teploty formy [°C]	60 – 90
Vyhazovací teplota [°C]	94
Průměrné nominální smrštění [%]	0,4847
Maximální smykové napětí [MPa]	0,4
Maximální rychlost smykové deformace [s <sup>-1</sup> ]	40 000

## 10 NÁVRH 3D SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY

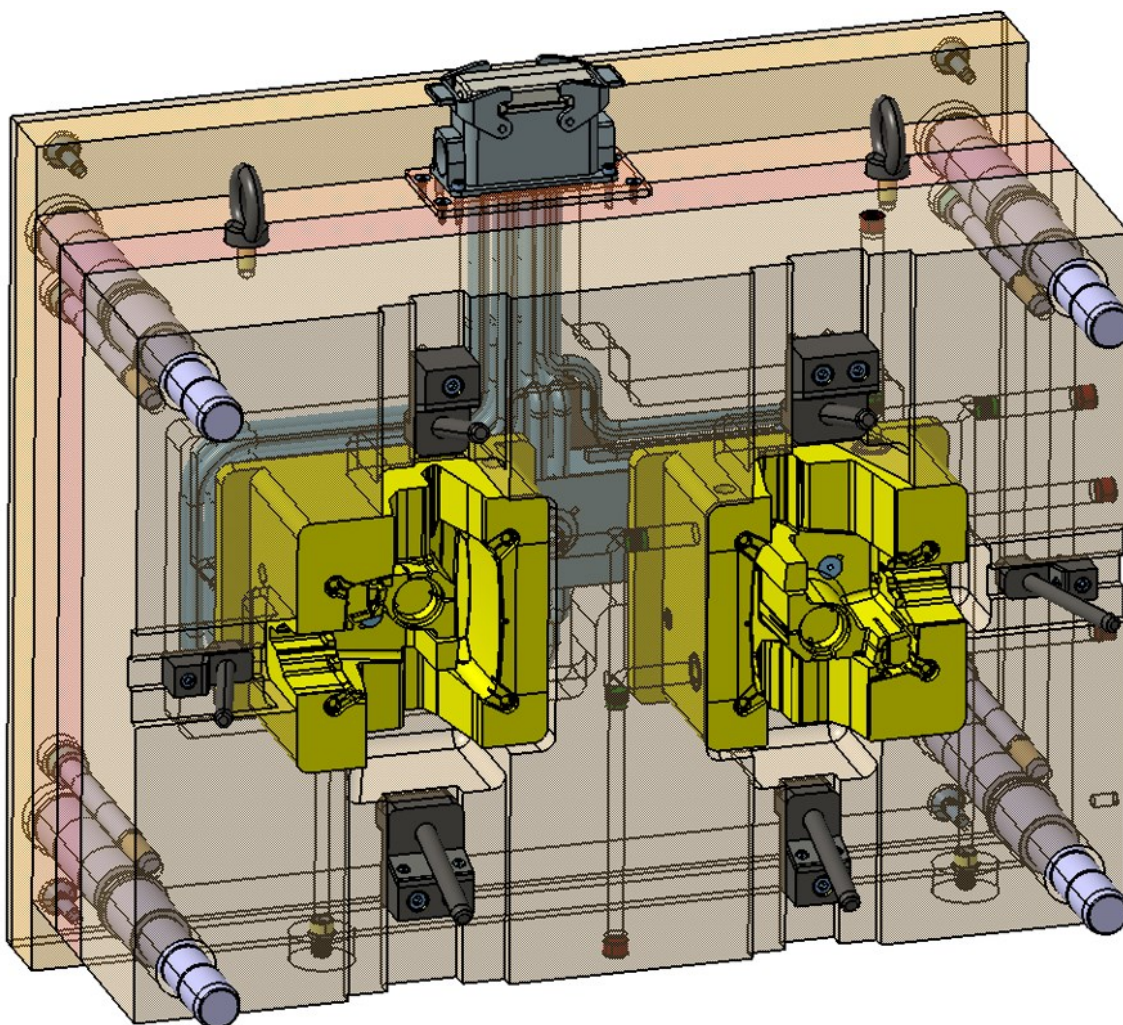
Navržená vstřikovací forma má výšku 580,5 mm, šířku 696 mm, délku 596 mm a její hmotnost je 1543 kg. Rozměry byly voleny s ohledem na co nejnižší pořizovací cenu vstřikovací formy. Za tímto účelem bylo dále využíváno co nejvíce normalizovaných prvků od dodavatele HASCO, kdy některé byly následně upraveny.



*Obrázek 36 - 3D sestava vstřikovací formy*

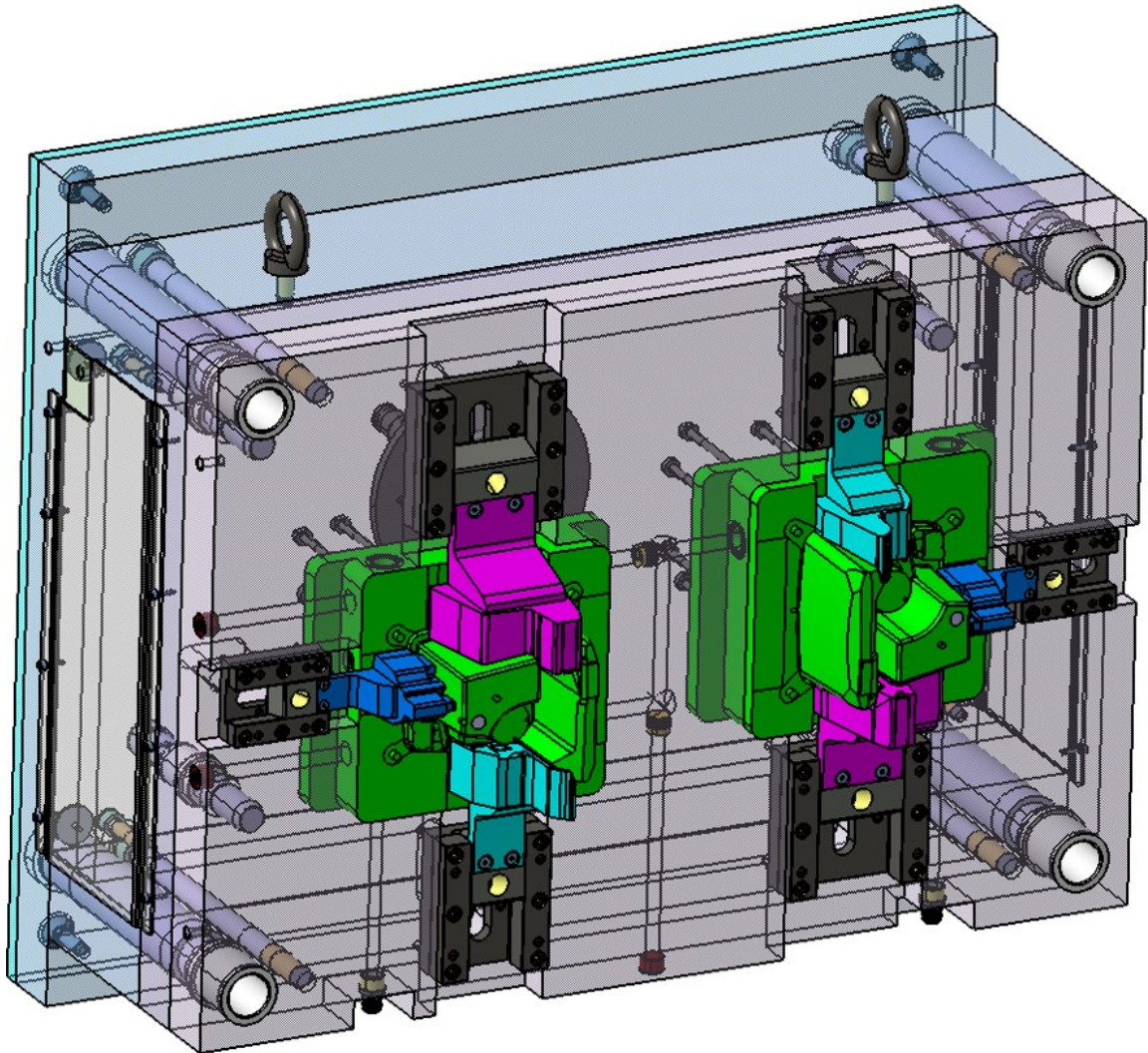
Po převážení charakteru a přesnosti vyráběného dílu, požadovaného množství a ekonomiky výroby, byla forma zadána jakožto dvojnásobná. Což znamená, že při jednom vstřikovacím cyklu forma vyprodukuje dva díly.

Navrženou sestavu formy lze rozdělit na pravou (nepohyblivou) a levou (pohyblivou) část. Pravá část formy je upnuta na nepohyblivé upínací desce vstřikovacího stroje. Její hmotnost je 816 kg. Skládá se z desek (upínací, rozpěrná, opěrná a kotevní), které jsou spojeny pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M16 x 180. Všechny desky vstřikovací formy jsou z konstrukční oceli 1.0060. Dále obsahuje vtokový systém, část mechanického systému odformování a zajišťuje dvě tvárnice v požadované poloze. Všechny její části jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách.



*Obrázek 37 - Pravá (nepohyblivá) část formy*

Levá část formy je upnuta na pohyblivé upínací desce vstřikovacího stroje. Její hmotnost je 727 kg. Skládá se z desek (upínací, dvě rozpěrné, opěrná a kotevní), které u sebe drží čtyři šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M16 x 240. Dále obsahuje dva tvárníky, druhou část mechanického systému odformování, včetně příslušných tvarových jader a vyhazovací systém. Tyto části, včetně dalších prvků, jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

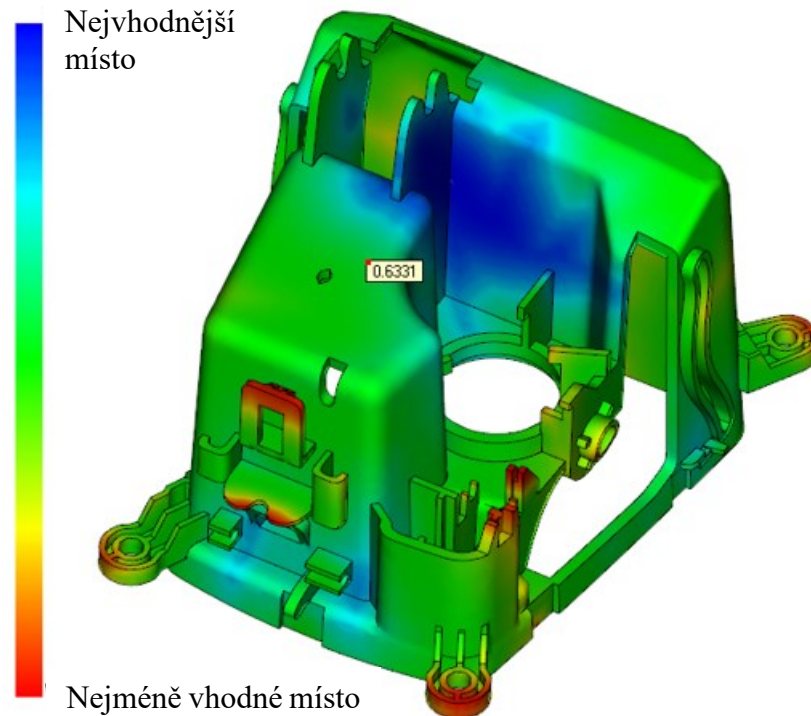


Obrázek 38 - Levá (pohyblivá) část formy

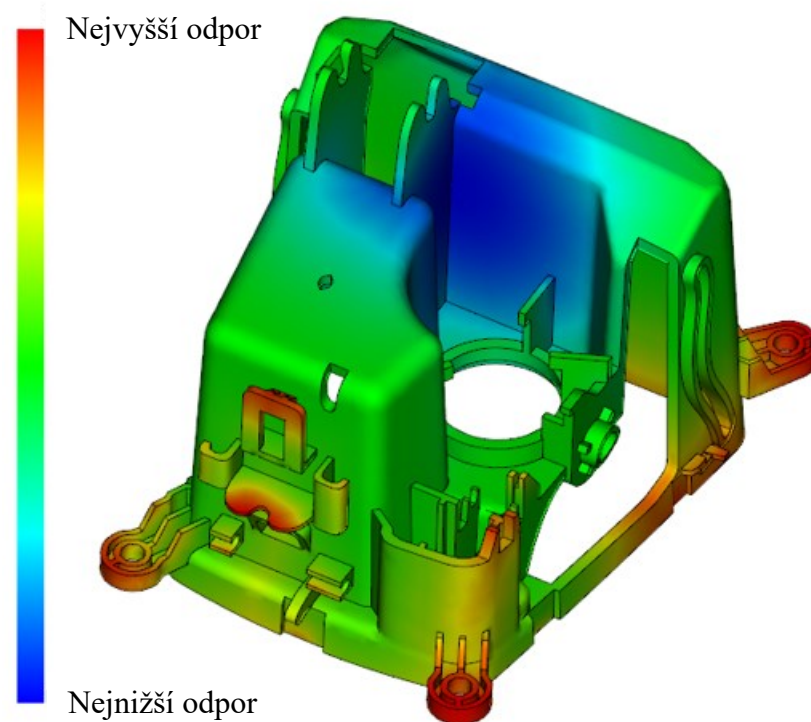
## 10.1 Umístění vtokového ústí

Umístění vtokového ústí bylo voleno dle dvou kritérií, kdy prvním z nich byla zaformovatelnost dílu. Druhým kritériem byl výsledek analýzy pro vhodnost umístění vtokového ústí z pohledu rovnoměrnosti zaplnění dutiny formy. Výpočtem této analýzy dojde k získání dvou výsledků, kdy první z nich ukáže, dle barevné škály, nejvhodnější místo umístění vtokového ústí přímo na výrobku. Modrá barva znázorňuje nejvhodnější místo, zatím co červená nejméně vhodné. Zvolené místo umístění vtokového ústí disponuje hodnotou přibližně 63 % vhodnosti umístění. Druhým výsledkem je velikost odporu toku materiálu v daných místech výrobku. Pro co nejlepší plnění je vhodné volit umístění vtokového ústí do míst s nejvyšším odporem proti toku materiálu. Tento výsledek ukazuje, že zvolené místo pro vtokové ústí disponuje přibližně střední hodnotou barevné škály

velikosti odporu proti toku materiálu. Vhodnost umístění vtokového ústí podporuje i fakt, že je umístěno na nepohledovou stranu dílu.



Obrázek 39 - Výsledek analýzy vhodnosti umístění vtokového ústí s příslušnou hodnotou ve zvoleném místě

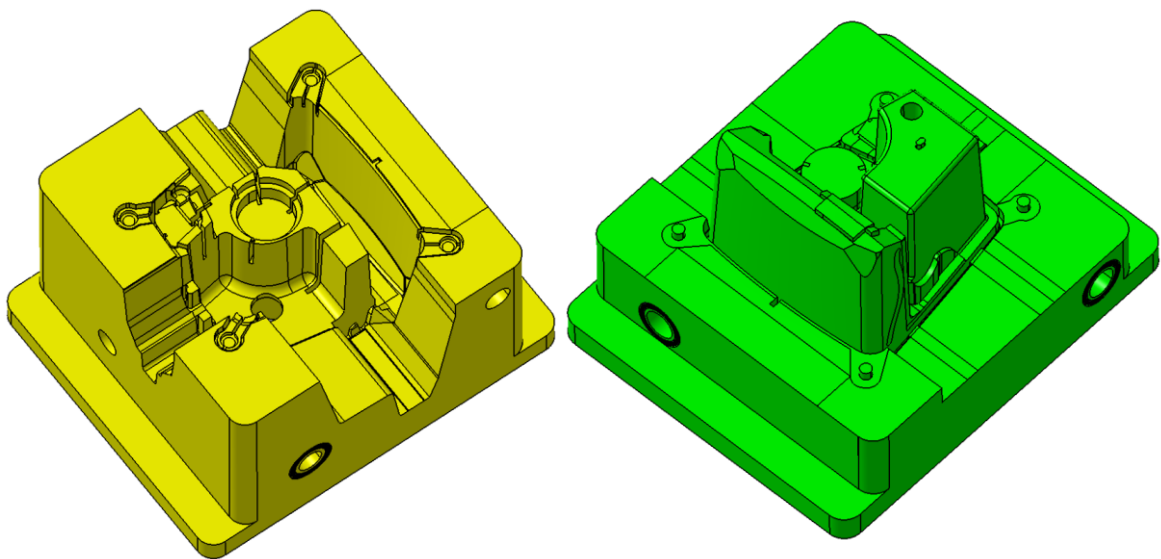


Obrázek 40 - Výsledek analýzy velikosti odporu proti toku materiálu

## 10.2 Tvarové prvky

Tvarové prvky vytvářejí dutinu, která je negativem výrobku. Jelikož přicházejí do kontaktu s taveninou, musí mít požadované mechanické vlastnosti i při zvýšených teplotách. Proto jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343. Z ekonomických důvodů jsou tvarové prvky navrženy jakožto vyměnitelné vložky. Tvárnice s tvárníky jsou osazeny ve vyfrézovaných otvorech v kotevních deskách vstřikovací formy, kdy je na svém místě drží opěrné desky. Mezi nimi dochází ke vzniku hlavní dělicí roviny. Tvarová jádra jsou pomocí zápusťných šroubů s vnitřním šestihranem připevněny k mechanismu bočních posuvných čelistí.

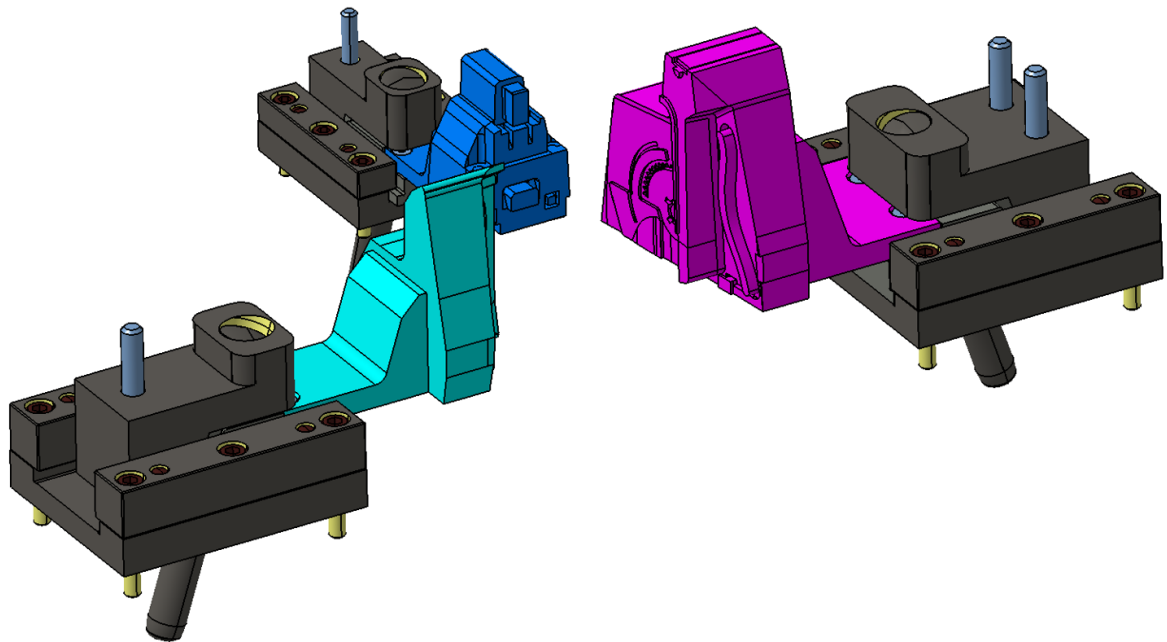
Tvárnice jsou usazeny v pravé části vstřikovací formy. Jejich tvarové dutiny musí být zvětšeny o hodnotu smrštění materiálu, které u COCOLOY CX2244ME činí 0,49 %. Tvárnice navíc obsahují vyfrézované dutiny pro vyhřívání trysky vtokového systému. Tvárníky se nacházejí v levé části formy. Obsahují otvory pro vyhazovací kolíky vyhazovacího systému, kdy se některé pouze vrtají a některé se navíc vytvářejí pomocí elektroerozivního obrábění.



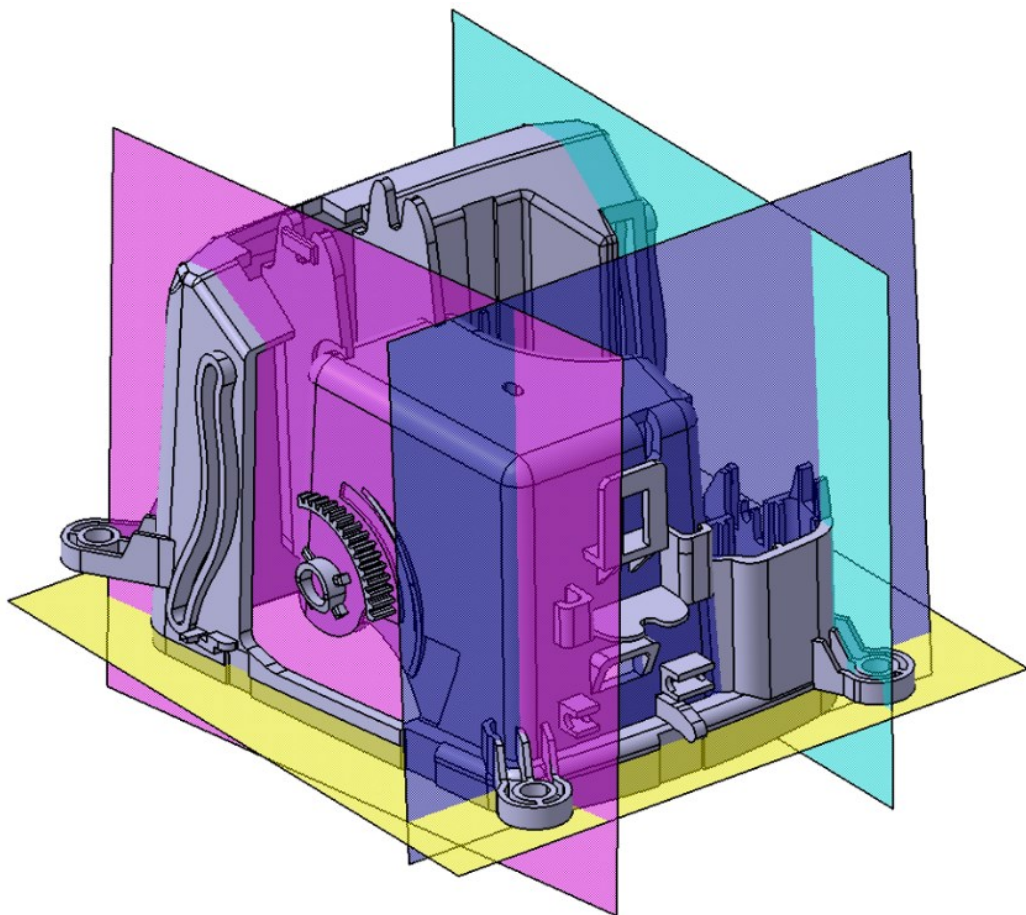
Obrázek 41 - Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo)

Tvarová jádra umožňují vytvoření výstupků nebo otvorů na bocích výrobků, jenž pak lze odformovat. Při jejich použití dochází ke vzniku vedlejších dělicích rovin. Pro každý výrobek jsou navržena tři tvarová jádra, která jsou za pomoci dvou zápusťných šroubů s vnitřním šestihranem připevněna k mechanismu bočních posuvných čelistí, kdy jejich polohu zajišťuje středící kolík. Pro všechny systémy bočních posuvných čelistí byly použity šikmé kolíky o sklonu 18° a délce 120 mm. Jejich použitím dojde, při otevírání formy,

k odjezdu tvarových jader o 37 mm, což je dostatečná vzdálenost pro bezproblémové odformování a vyhození výrobků.



Obrázek 42 - Tvarová jádra společně s příslušnými mechanismy bočních posuvných čelistí

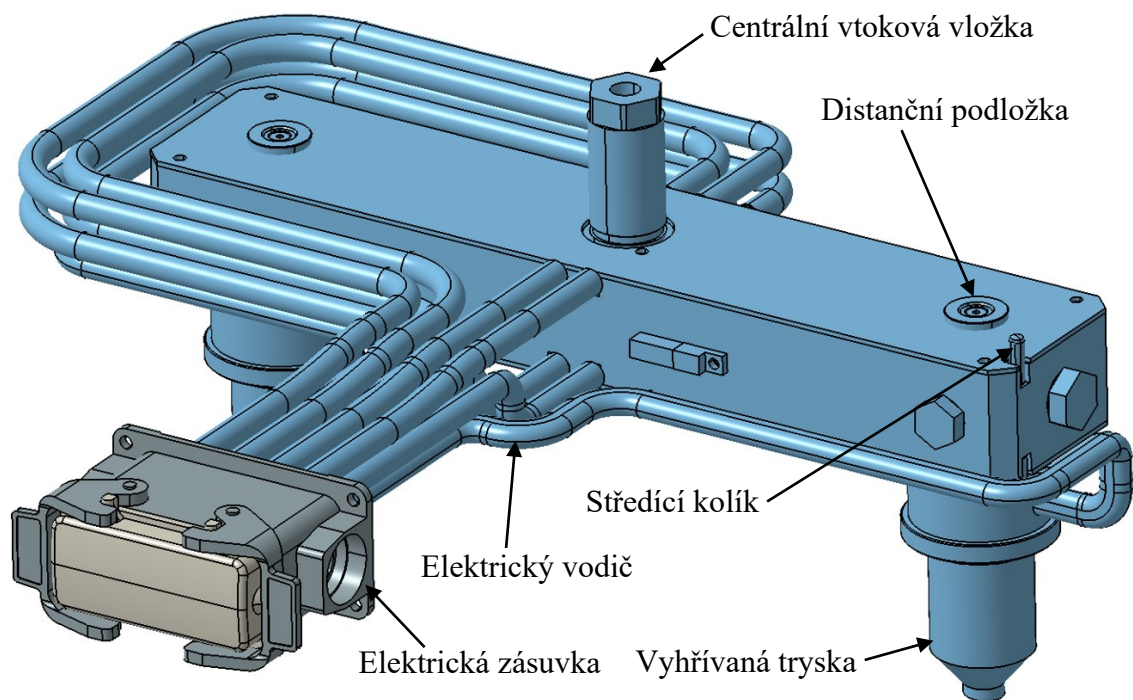


Obrázek 43 - Hlavní dělicí rovina (žlutá) a vedlejší dělicí roviny znázorněny vůči výrobku



### 10.3 Vtokový systém

Dle výsledků analýz a ekonomických propočtů shrnutých v diskusi výsledků bylo zvoleno, že pro navrženou vstříkovací formu bude použit vyhřívaný vtokový systém. Tento systém se nachází v pravé části vstříkovací formy, kdy je jeho podstatná část uložena ve vyfrézovaném otvoru v pravé rozpěrné desce. Jeho přesnou polohu zajišťují tři středící kolíky společně s distančními podložkami. Distanční podložky navíc zastávají izolační funkci, kdy vytvářejí mezi blokem vyhřívaného vtokového systému a deskami formy vzduchovou mezeru, která omezuje tepelný přestup mezi blokem a formou. Centrální vtoková vložka má průměr vnitřního kanálu 12 mm a její konec vyúsťuje z formy skrze pravý středící kroužek, kde dochází k napojení s tryskou vstříkovacího stroje. Vyhřívaný blok obsahuje kanál o průměru 15 mm a topná tělesa, které jsou napájeny elektrickým proudem skrze elektrické vodiče připojené na elektrickou zásuvku. Zásuvka je k pravé rozpěrné desce přišroubována čtyřmi šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M5 x 20. Systém navíc obsahuje dvě otevřené vyhřívané trysky, které mají svá vlastní topná tělesa. Rozteč mezi tryskami je 322 mm. Trysky obsahují kanál o průměru 14 mm, který se následně zužuje na průměr 7 mm. Vtokové ústí trysky má průměr 3,5 mm.

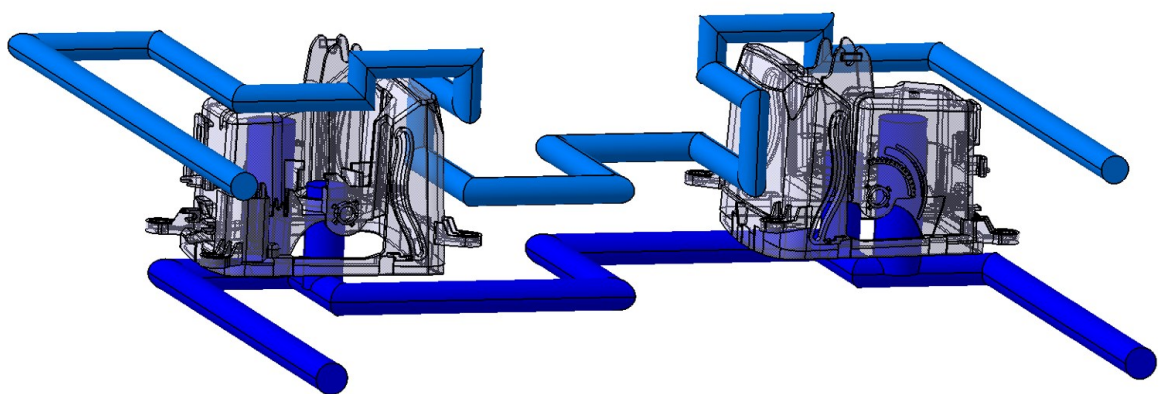


Obrázek 44 - Vyhřívaný vtokový systém

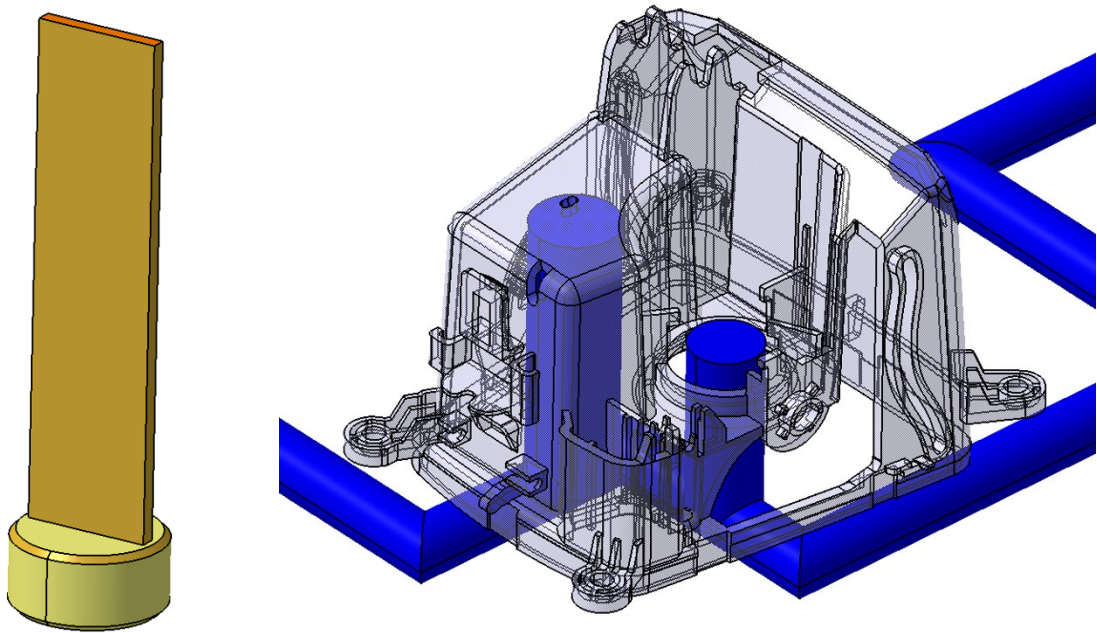
## 10.4 Temperační systém

Vstřikovací forma je vybavena dvěma temperačními okruhy, kdy do každého vstupuje při tlaku 6 bar, temperační médium v podobě čisté vody o teplotě 85 °C. Tuto temperaci zajistí jednotky TT-168 H/A od firmy TOOLTEMP, které zvládnou tlak až 7 bar. Součástí příloh práce je technický list této jednotky. Médium vstupuje do formy a vystupuje z ní přes přípojky a k jeho usměrnění je využito ucpávek. Přípojky jsou zapuštěny do desek formy, aby při manipulaci s formou nedošlo k jejich poškození. Umístění přípojek je za účelem zvýšení bezpečnosti obsluhy zespod formy. K zamezení úniku média, při průchodu mezi tvarovými částmi formy a jednotlivými deskami mimo temperační kanály byly použity těsnící kroužky průměru 20 mm. Tyto kroužky jsou usazeny v tvarových částech formy ve vyfrézovaných drážkách.

Pravý temperační okruh prochází tvárnici a je tvořen vrtanými kanály o průměru 14 mm. Je navržen tak, aby co nejefektivněji ochlazoval jak výrobky, tak okolí vyhřívaných trysek vtokového systému. Levý okruh prochází tvárníkem a tvoří jej jednak vrtané kanály o průměru 16 mm, které procházejí přes čtyři ploché přepážky se závitem. Pro každý výrobek jsou použity dvě přepážky, kdy jedna je průměru 20 mm a druhá 24 mm. Normalizovaná délka těchto přepážek je 150 mm, kdy každou z nich bylo potřeba upravit na požadovanou délku. Účelem přepážek je ochlazování jinak těžko přístupných míst výrobků a docílit tak vyšší efektivity ochlazování.



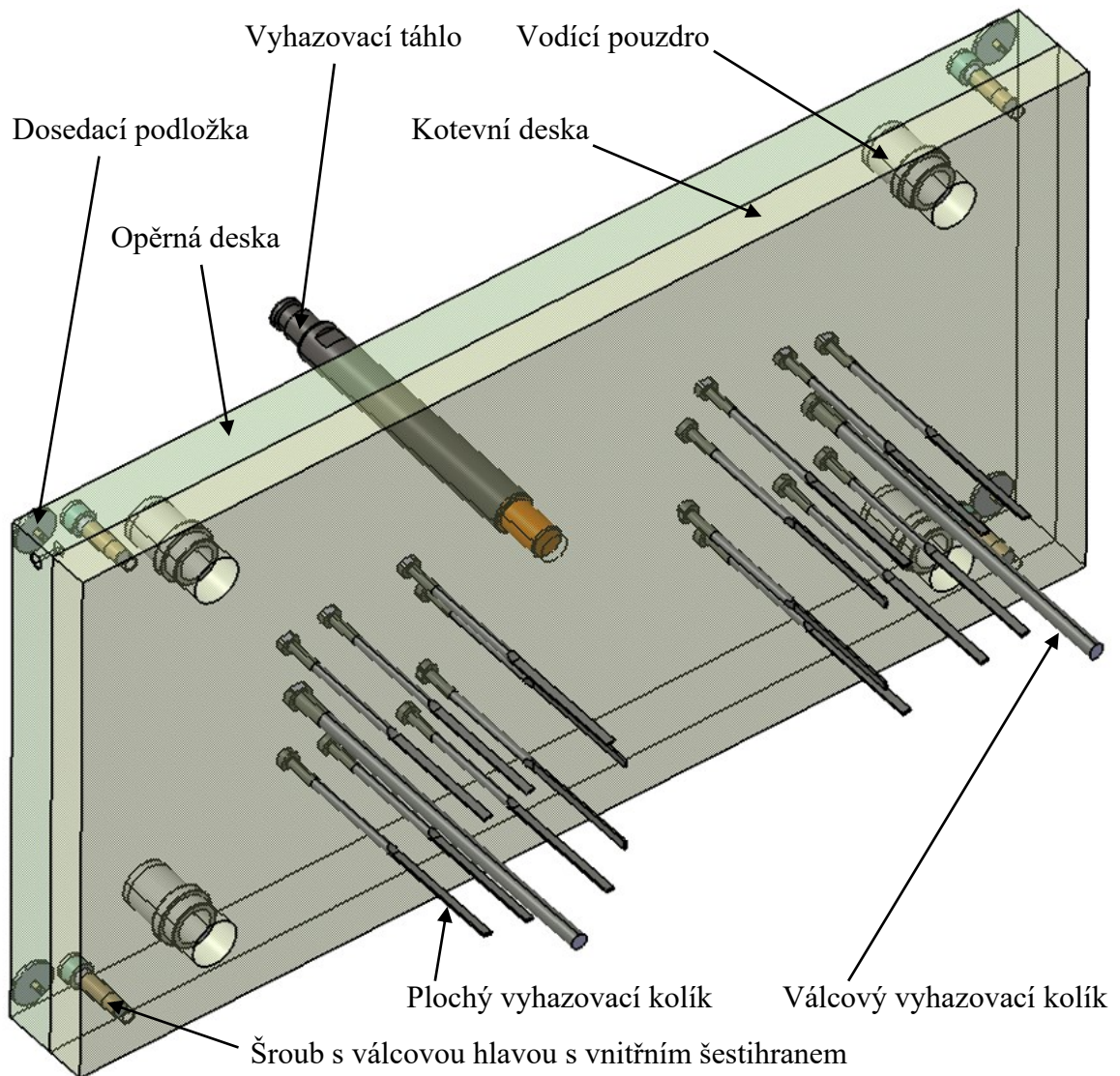
Obrázek 45 - Temperační okruh pravý (světle modrý) a levý (tmavě modrý)



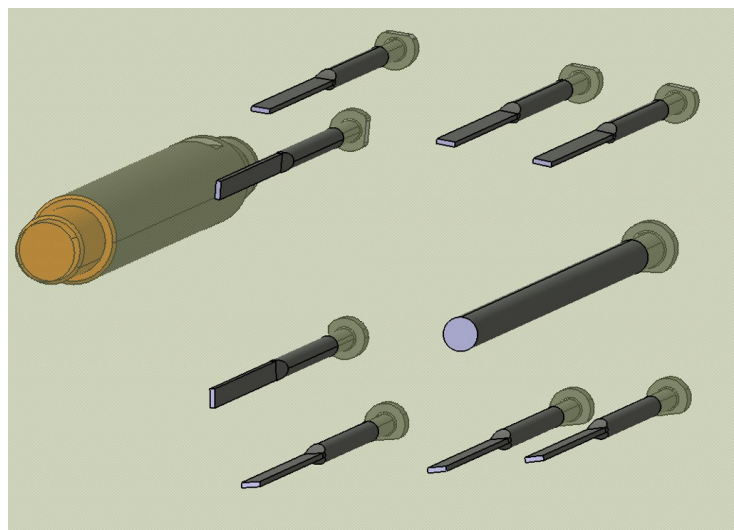
Obrázek 46 - 3D model ploché přepážky se závitem a jejich umístění vůči výrobku

## 10.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém se nachází v levé části vstřikovací formy. Slouží k vyhození výrobků z formy, které po jejím otevření zůstávají nasmrštěné na tvárnících. Systém se skládá z opěrné a kotevní desky, které jsou spojeny čtyřmi šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M10 x 35. V kotevní desce jsou otvory, které zajišťují přesné usazení vyhazovacích kolíků. Pro každý výrobek je použito osm plochých vyhazovacích kolíků, jejichž styčná plocha s výrobkem má obdélníkový průřez o rozměrech 5,5 mm na 1,5 mm. Kolíky jsou co nejrovnoměrněji rozmístěny do spodního obvodu výrobku, aby bylo zajištěno co nejrovnoměrnější vyhození. Osm plochých vyhazovacích kolíků je doplněno o jeden válcový vyhazovací kolík o průměru 10 mm. Zvolené vyhazovací kolíky jsou dodány v normalizovaných délkách, kdy je potřeba je upravit na požadovanou délku. Navíc je jejich válcová část, která slouží pro osazení v kotevní desce, obrobena, tak aby nedošlo k jejich pootočení a byly stále v požadované poloze. Pohyb celého systému zajišťuje vyhazovací táhlo, které je jedním koncem uchyceno ve stroji a druhým, pomocí závitu, k opěrné desce. Pohyb vyhazovacího systému bude 70 mm, což je dostatečná hodnota pro bezproblémové vyhození výrobků z formy. Správné vystředění systému zajišťují čtyři vodící pouzdra o průměru 36 mm, kterými procházejí vodící čepy, které jsou uchyceny k levé straně formy. Správnou výchozí polohu vyhazovacího systému zajišťují čtyři dosedací podložky uchyceny pomocí zápusťných šroubů s vnitřním šestihranem.



Obrázek 47 - Vyhazovací systém



Obrázek 48 - Rozmístění vyhazovacích kolíků pro jeden výrobek

## 10.6 Středící, izolační, transportní a ochranné prvky

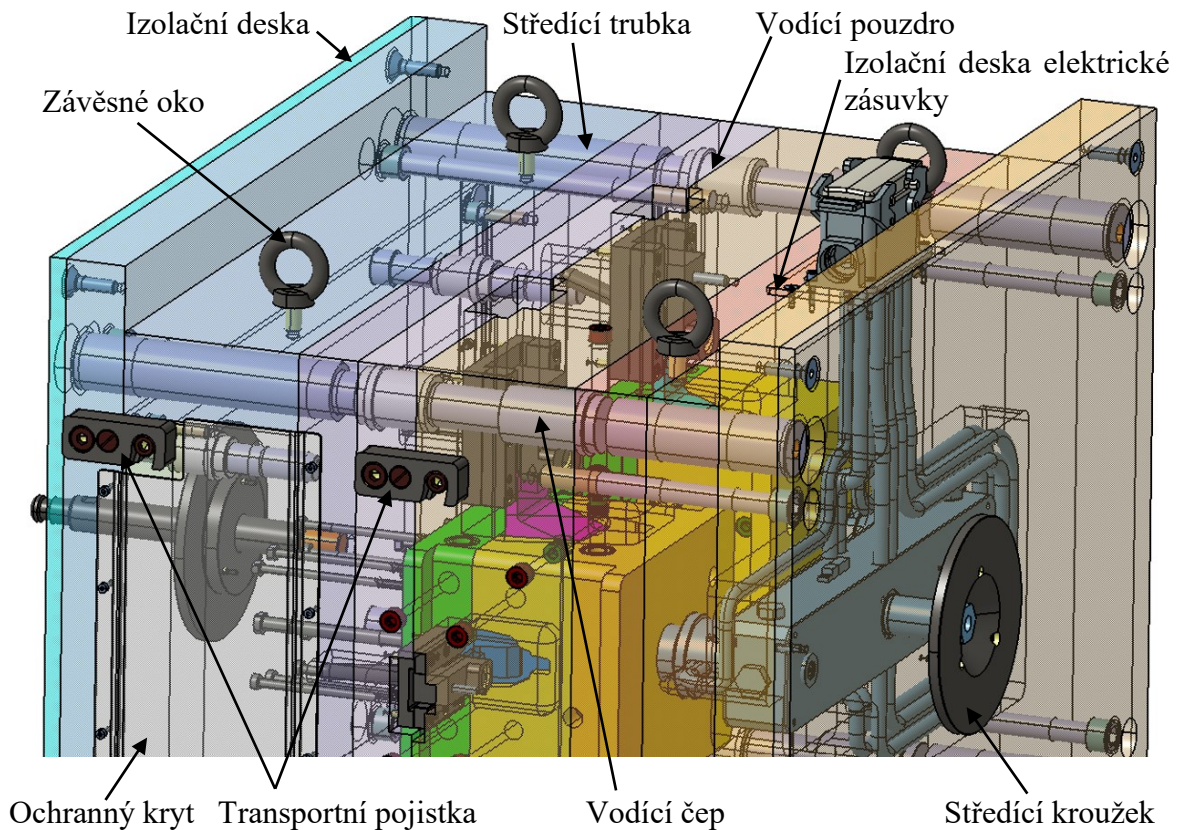
Vstřikovací forma je vybavena dvěma středícími kroužky, které slouží k přesnému usazení formy na upínací desky stroje. Průměr středících kroužků je 160 mm, což odpovídá otvorům na upínacích deskách zvoleného stroje. Pro vystředění kroužků na vstřikovací formě je v upínacích deskách formy zhotoveno 4 mm hluboké vybraní, do kterých se kroužky osadí. Každý kroužek je upevněn pomocí tří šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M5 x 18 do upínacích desek formy. Středící kroužek pravý má oproti levému středícímu kroužku vybrání, které slouží k přesnému navedení trysky vstřikovacího stroje.

Vzájemné vystředění jednotlivých desek pravé a levé strany formy, pak zajišťují čtyři středící trubky pro každou stranu. Středící trubky mají, dle doporučení k velikosti formy, průměr 42 mm. K těmto rozměrům jsou pak dosazeny vodící pouzdra společně s čepy. Ty zajišťují vzájemné vystředění pravé a levé strany formy při vstřikovacím cyklu.

Navržená forma je vybavena dvěma izolačními deskami o tloušťce 8,5 mm. Izolační desky jsou vyrobeny ze syntetické pryskyřice plněné skleněnými vlákny. Jsou použity za účelem snížení přestupu tepla mezi vstřikovací formou a strojem. Pro usnadnění přístupu ke středícím trubkám a šroubům pravé a levé strany formy, jsou tyto desky vybaveny příslušnými otvory. Aby nedocházelo k přehřívání elektrické zásuvky, byla pod ní doplněna také izolační deska o tloušťce 5 mm. Každá z těchto izolačních desek je připevněna čtyřmi zápusťnými šrouby s vnitřním šestihranem.

Pro usnadnění manipulace s formou byla doplněna o čtyři závěsné oka M16, kdy každé unese hmotnost 500 kg, což je dostatečné pro tuto vstřikovací formu. Aby při této manipulaci nedošlo k otevření formy, je forma vybavena dvěma transportními pojistkami na více přístupné straně pro obsluhu. Transportní pojistkou je vybaven i vyhazovací systém, aby nedošlo při manipulaci s formou k jeho posuvu a následnému poškození tohoto systému nebo tvarových dutin formy.

Za účelem zvýšení bezpečnosti a zabránění dostání se cizího tělesa do prostoru vyhazovacího systému je forma vybavena dvěma ochrannými kryty. Tyto kryty jsou zhotoveny z plechu o tloušťce 2 mm, kdy každý z nich drží osm šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M4 x 12.



Obrázek 49 - Středící, izolační, transportní a ochranné prvky

## 10.7 Vstřikovací stroj

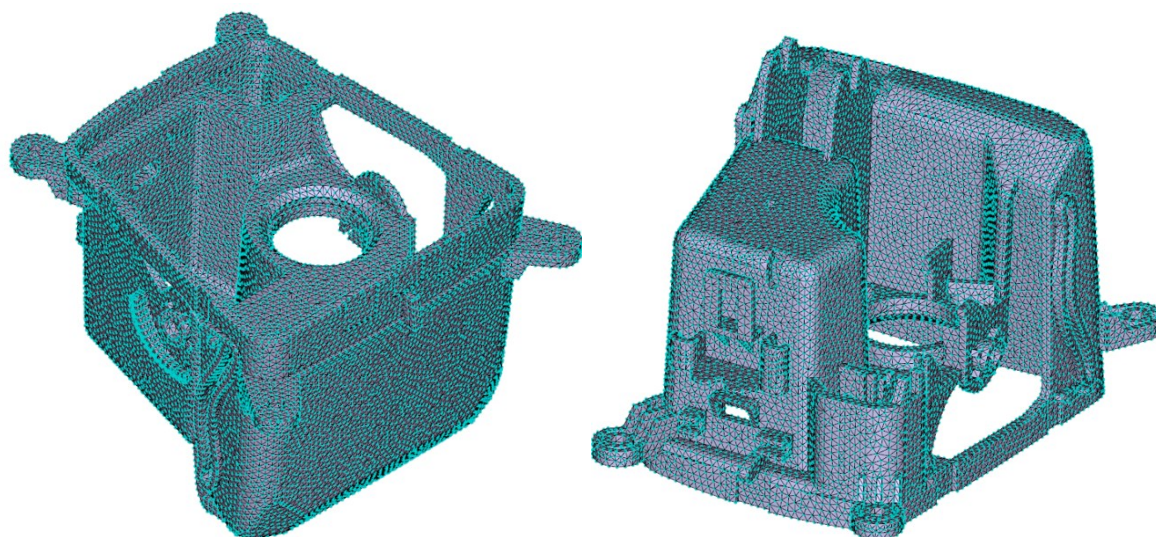
Volba vstřikovacího stroje vychází z parametrů vstřikovací formy v něm používané. Za účelem úspory financí je vhodné volit co nejmenší stroj, který vyhovuje parametrům vstřikovací formy. Pro navrženou vstřikovací formu byl zvolen hydraulický stroj od firmy Arburg, konkrétně typ ALLROUNDER 630 S – 2500 – 800 (50). Tento stroj má vodící sloupky 630 mm od sebe, což znamená, že navržená forma se musí při jejím usazení na upínací desky stroje natočit o 90°, aby mezi nimi prošla a následně vrátit do výchozí polohy. Stroj disponuje uzavírací silou 2500 kN a zvolená vstřikovací jednotka s průměrem šneku 50 mm má dostatečnou kapacitu pro zaplnění tvarových dutin materiálem i s 10 % rezervou objemu materiálu. Pro polykarbonát je uvedena maximální hodnota vstřikované dávky 377 g, pro akrylonitril-butadien-styren je tato hodnota 344 g. Což, při celkové hmotnosti obou výrobků 296 g, je dostatečná hodnota pro bezproblémové zaplnění tvarových dutin formy. Další parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v přílohách v jeho technickém listě. [43]

## 11 OVĚŘENÍ NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ ANALÝZ

Pro ověření navržené vstřikovací formy bylo využito analýz v programu Autodesk Moldflow. Analýzy byly provedeny jednak pro navržený vyhřívaný vtokový systém, ale i pro studený vtokový systém, aby byla ověřena i vhodnost návrhu vtokového systému. K zajištění získání kvalitních výsledků, byly na 3D modelu výrobku odstraněny rádiusy 2 mm a menší.

### 11.1 Vytvoření sítě pro analýzy a jejich ověření

Síť výrobku byla zvolena 2,5D (Dual – domain). Tento typ sítě zajistí kvalitnější výsledky, než u 2D sítě a urychlí výpočet analýzy oproti 3D síti. Vzhledem k velikosti a charakteru výrobku byla délka hran jednotlivých trojúhelníkových elementů sítě nastavena na hodnotu 2 mm.



Obrázek 50 - 2,5D síť výrobku včetně uzlových bodů

Ověření kontroly kvality sítě spočívá v porovnání několika hodnot jednotlivých aspektů. U správně vytvořené sítě by hodnota Maximum aspect ratio (maximální poměr stran) měla být menší než 20. Zatím co hodnota u Match percentage (procento shody) by měla být vyšší než 85 %. Hodnoty u Free edges (volné hrany), Non-manifold edges (nespojené hrany), Elements not oriented (neorientované prvky), Element intersections (průniky prvků) a Fully overlapping elements (plně překrývající se prvky) se musí rovnat 0. Pokud by některé hodnoty neodpovídaly požadavkům, musí se provést oprava sítě. Výsledky vytvořené sítě ukazuje následující obrázek.

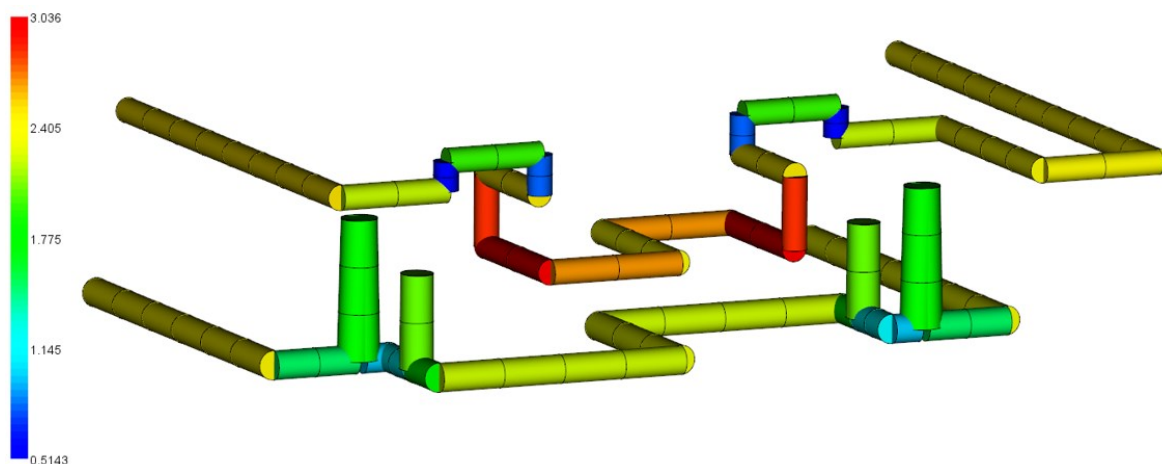
Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
17.64	1.76	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		84594
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		92.4%
Reciprocal percentage		92.1%
Suitable for Dual Domain analysis.		

Obrázek 51 - Výsledky kvality 2,5D sítě výrobku

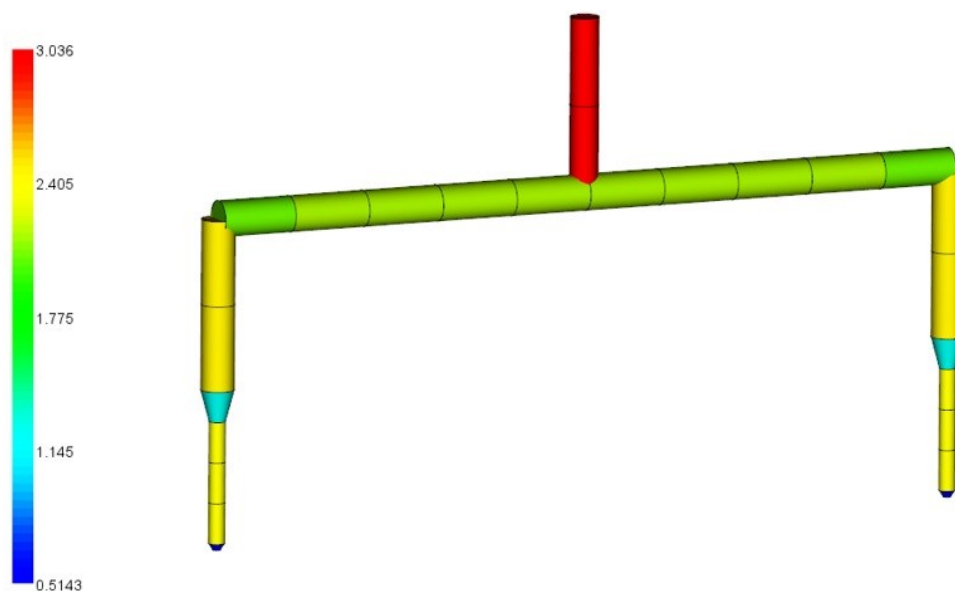
Pro vtokový a temperační systém bylo nutné taktéž vytvořit síť. Síť pro tyto systémy se skládá z 1D elementů (Beam elementů). Kdy geometrii temperačního a vyhřívaného vtokového systému popisují předchozí kapitoly, pro studený vtokový systém se musela geometrie navrhnout. Studený vtokový systém tvoří vtoková vložka, která má délku 105 mm a její průměr přechází postupně z 8 mm na 12 mm. Rozvodný kanál má lichoběžníkový tvar s délkou horní podstavy 8 mm, spodní 12 mm a výškou 8 mm. Rozvodný kanál pak přechází do kruhového průřezu o průměru 7 mm. Vtokové ústí má průměr 3,5 mm. Přidržovač vtokového systému má délku 10 mm a jeho průměr přechází z 9 mm na 10 mm.

Kvalita této sítě se pak ověřuje pomocí poměru L/D beam elementu, kdyby se tento poměr délky elementu vůči jeho průřezu měl pohybovat co nejbližší hodnoty 2,5. Této hodnoty nelze vždy dosáhnout, je zde ale snaha se k ní alespoň co nejvíce přiblížit.

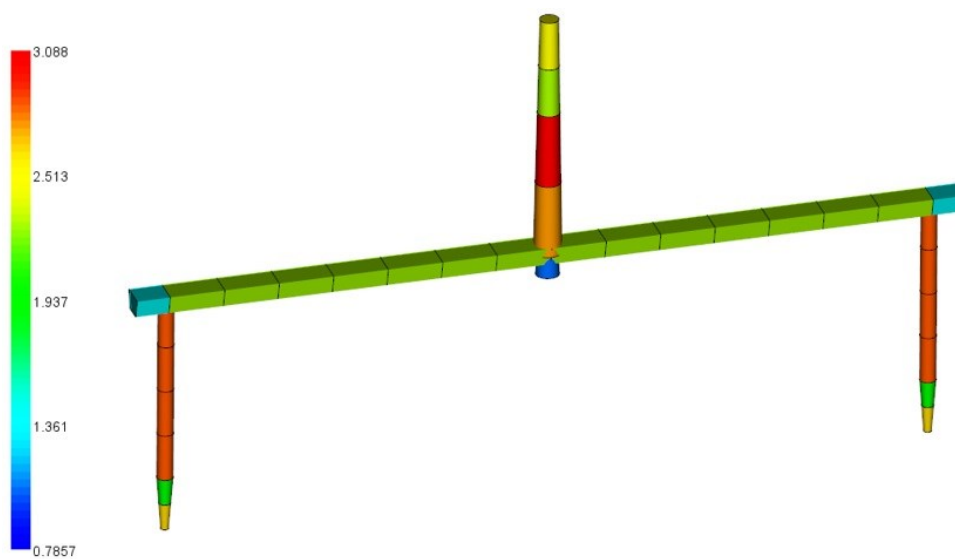




Obrázek 52 - Kvalita sítě temperačního systému



Obrázek 53 - Kvalita sítě vyhříváného vtokového systému



Obrázek 54 - Kvalita sítě studeného vtokového systému

## 11.2 Nastavení analýzy

Pro získání výsledků ověření návrhu vstřikovací formy, byla počítána analýza Cool (chlazení) + Fill (plnění) + Pack (dotlak) + Warp (deformace). Nejprve bylo nutné zvolit vstřikovaný materiál, kdy byl z databáze materiálů vybrán COCOLOY CX2244ME. Následně se určilo místo, kterým materiál vstupuje do formy. Pro oba vtokové systémy se jednalo o místo na začátku vtokové vložky.

Následovalo nastavení temperačních okruhů, kdy se zvolily vstupy a výstupy z jednotlivých okruhů. U jednotlivých vstupů lze nastavit vstupní parametry temperačního média. Pro oba vstupy byla jakožto temperační médium nastavena pouze voda, která vstupuje do okruhů při teplotě 85 °C a tlaku 6 bar.

Aby bylo možné počítat s teplotní roztažností vstřikovací formy, musí být nastaveny celkové rozměry vstřikovací formy a zajištěno její správné umístění, kdy program automaticky vytvoří 3D síť této formy.

Nastavení procesních podmínek lze rozdělit do tří fází. První fází je nastavení fáze chlazení. Zde byla nastavena teplota taveniny na vstupu do formy na hodnotu 295 °C, teplota povrchu formy byla nastavena na 90 °C, vyhazovací teplota 94 °C a minimální procento zatuhnutých vrstev výrobku na vyhazovací teplotu je 90 %. Po dosažení této hodnoty bude možné výrobek vyhodit z formy a nechat jej dochlazit mimo tuto formu. Tyto hodnoty vycházejí z doporučených hodnot z materiálového listu. Doba otevření formy byla nastavena na 5 sekund. Druhou fází je fáze plnění a dotlaku. Kdy kontrola plnění bude závislá na čase pro vstříknutí materiálu, jehož hodnota byla nastavena na 1,5 sekundy. Dotlaková fáze započne při 98 % zaplnění tvarových dutin formy. Bude působit po dobu 8 sekund při hodnotě 90 % maximální velikosti vstřikovacího tlaku. V této fázi byl vybrán i zvolený vstřikovací stroj, jehož parametry lze editovat. Kdy byla u jeho vstřikovací jednotky zvolena kontrola plnění dle zdvihu šneku vůči jeho rychlosti a rychlosti šneku vůči času. Dále byla nastavena kontrola rychlosti šneku, která proběhne v maximálně 20 lineárních krocích. Tlak bude kontrolován v maximálně 20 konstantních krocích. Uzavírací síla vstřikovacího stroje nesmí být překročena. Poslední fází je nastavení fáze deformací. Pro tuto fázi byl nastaven výpočet zahrnující teplotní roztažnost vstřikovací formy a izolace příčin deformace. Výpočtová matice byla zadána jakožto automatická.

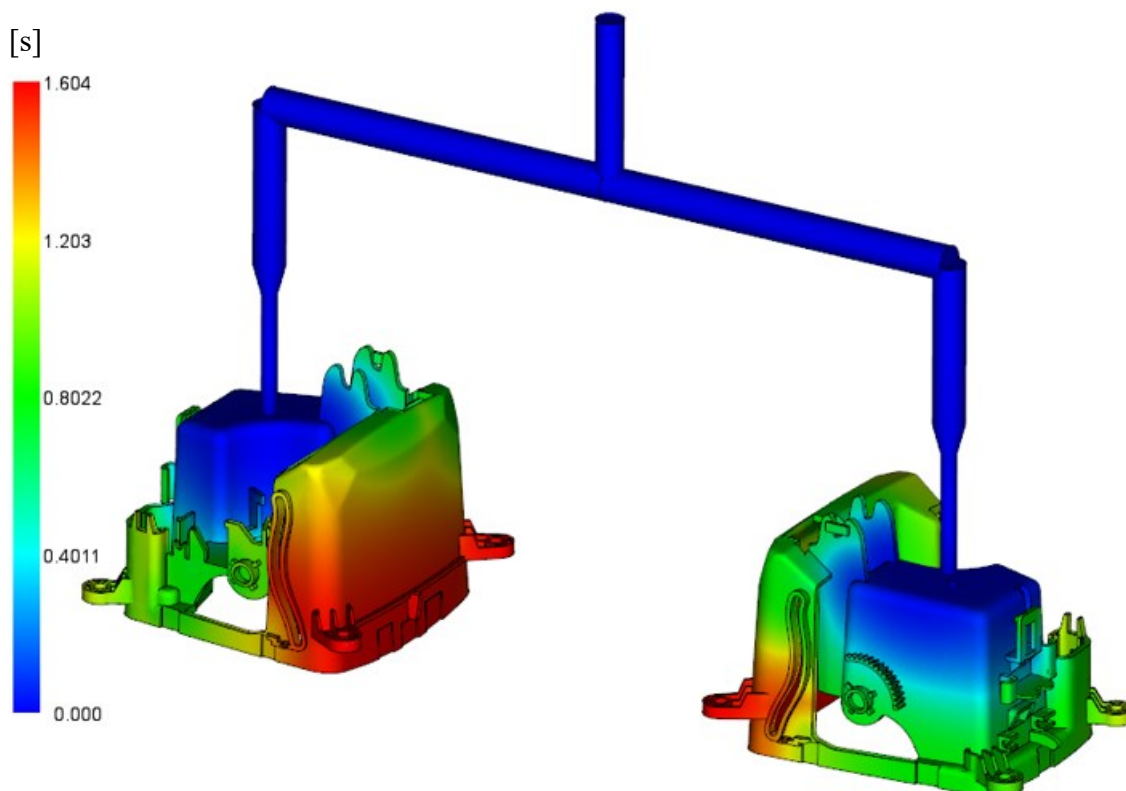
### 11.3 Výsledky analýz

V jednotlivých částech této kapitoly jsou popsány výsledky jak pro vyhřívaný, tak i pro studený vtokový systém. Výsledky jsou zaměřeny zejména na průběh plnění vstřikovací formy, vznik některých negativních jevů při plnění, ověření kvality návrhu temperačního systému a vzniklých deformací výrobků.

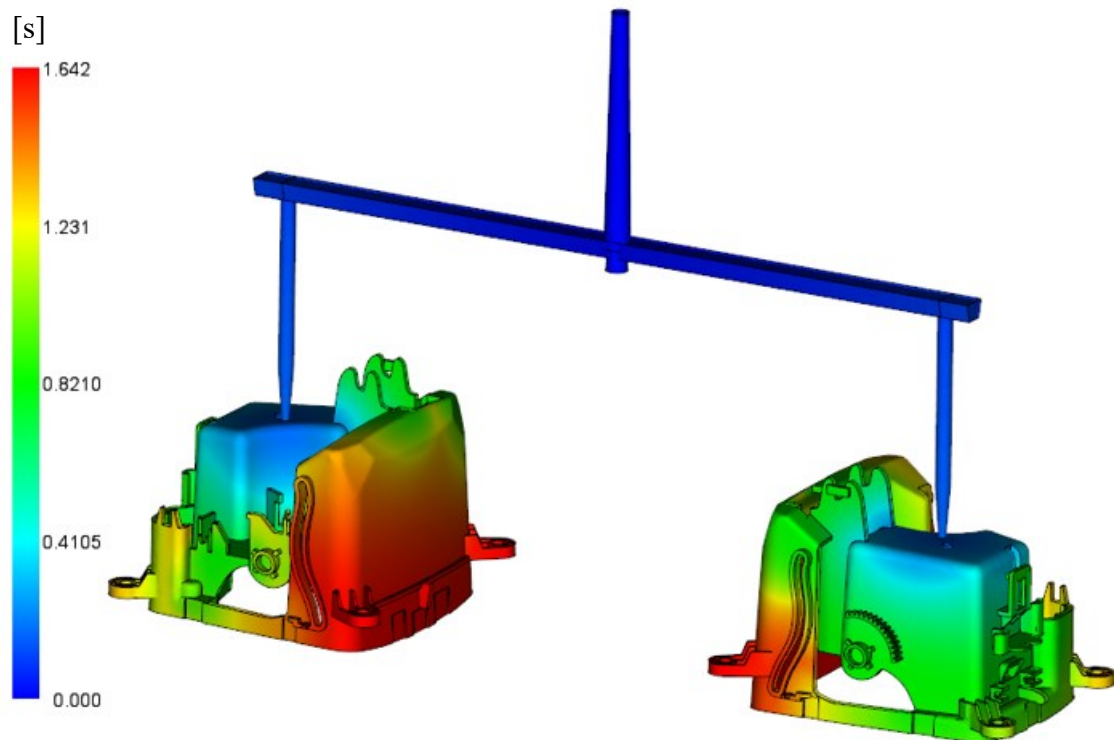
#### 11.3.1 Doba plnění (Fill time)

Výsledek, pomocí barevné škály ukazuje v jakém časovém úseku došlo k naplnění tvarových dutin formy. Pro studený vtokový systém (SVS) značí tato barva i dobu zaplnění tohoto systému. U vyhřívaného vtokového systému (VVS) je čas potřebný pro zaplnění tvarových dutin 1,60 sekundy. Pro SVS je čas o něco delší, konkrétně 1,64 sekundy. Prodloužení je způsobeno tím, že je nejprve potřeba zaplnění SVS, na rozdíl od VVS, který už obsahuje taveninu před vstříknutím. Oba výsledky se pak jen nepatrně liší od nastavených 1,5 sekundy pro dobu plnění, což lze považovat za kvalitní výsledek.

Výsledek této analýzy může dále sloužit jakožto ukazatel míst, která by byla problémová k zaplnění tvarových dutin, nebo nedostatečné kapacitě vstřikovací jednotky stroje. Tato místa by byla označena šedou barvou.



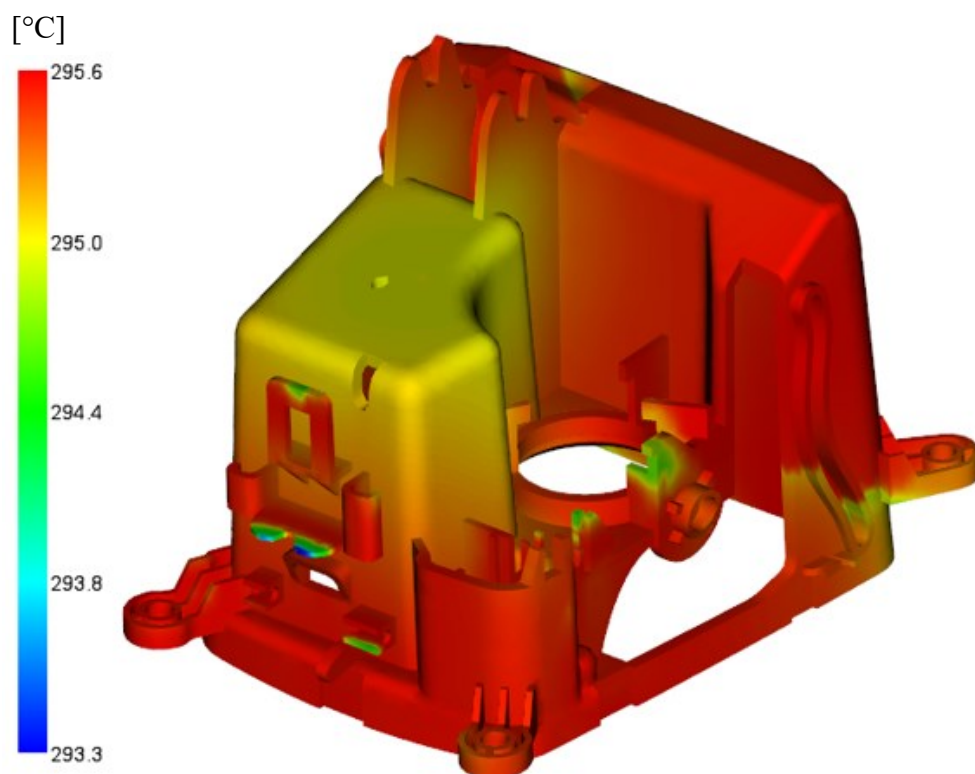
Obrázek 55 - Výsledek analýzy doby plnění při použití VVS



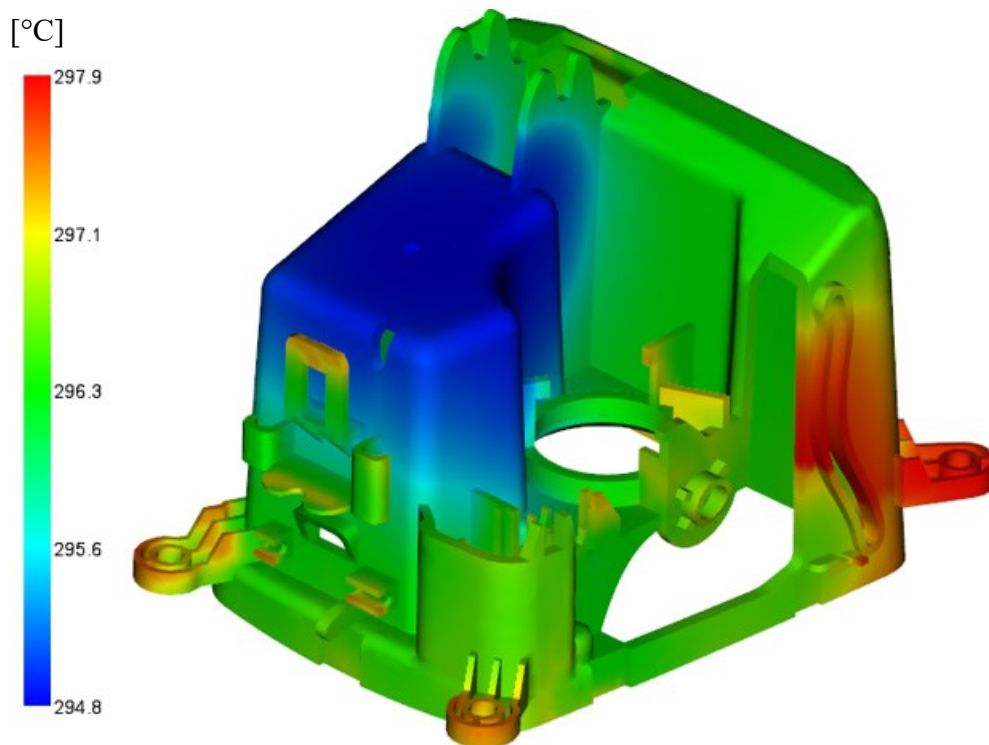
Obrázek 56 - Výsledek analýzy doby plnění při použití SVS

### 11.3.2 Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

Výsledek popisuje, jakou teplotu bude mít na svém čele tavenina v určitých místech tvarové dutiny. Jak je výše uvedeno, teplota taveniny při jejím toku, by se měla pohybovat v rozmezí 270 až 300 °C, což je u obou vtokových systémů splněno. U výsledku pro VVS, lze vidět, že tavenina vstupuje do dutiny při nastavené teplotě 295 °C. Kdy následně dochází, ve větší části tvarové dutiny, k jejímu ohřátí o 0,6 °C. Jen v málo místech dochází k jejímu ochlazení, kdy nejnižší teplota dosahuje hodnoty 293,3 °C. Rozdíl nejvyšší a nejnižší teploty na čele taveniny, u tohoto systému má hodnotu 2,3 °C. Zatímco u SVS vstupuje materiál do tvarové dutiny již mírně ochlazený na teplotu 294,8 °C, dochází při plnění dutiny k jeho ohřátí, a to až na teplotu 297,9 °C. Maximální teplotní rozdíl u tohoto SVS činí 3,1 °C. Pro zajištění co nejlepší kvality výrobků je vhodné, aby se teplota taveniny při zaplňování tvarových dutin lišila co nejméně. Toto kritérium tedy splňuje lépe VVS.



Obrázek 57 – Výsledek analýzy teploty na čele taveniny při použití VVS



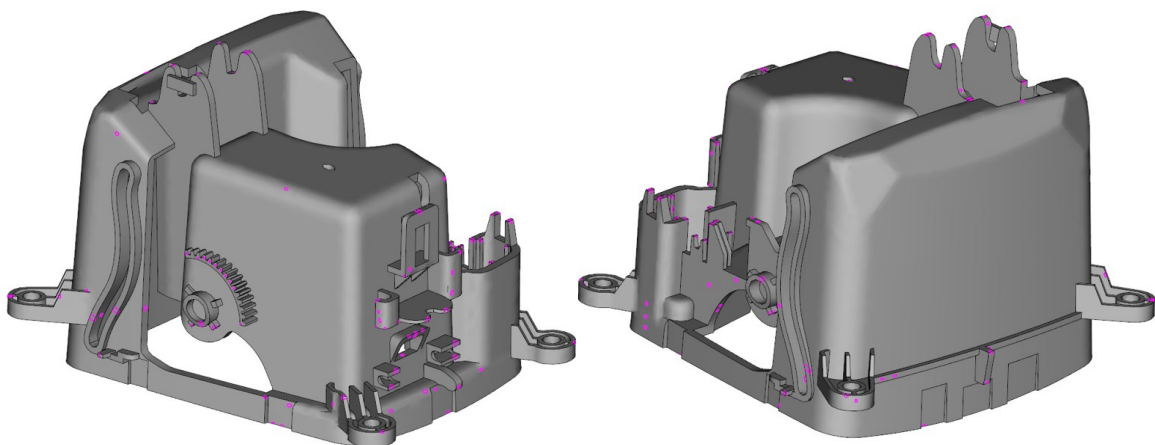
Obrázek 58 – Výsledek analýzy teploty na čele taveniny při použití SVS

### 11.3.3 Uzavírací síla (Clamp force)

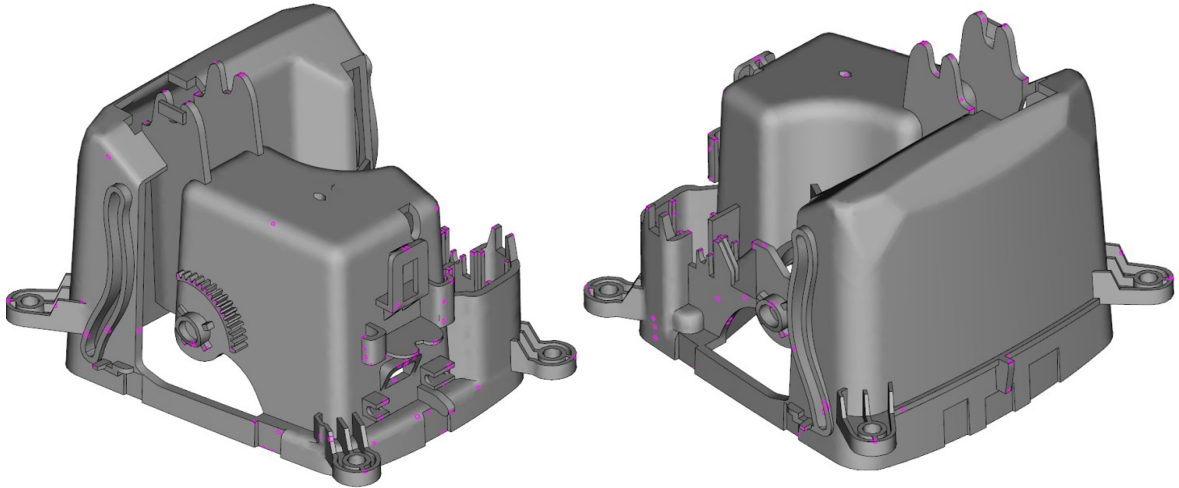
Při použití VVS, bude potřebná uzavírací síla 58 tun (580 kN). Pro SVS bude potřebná uzavírací síla více jak dvakrát větší, přesněji 116,9 tuny (1169 kN). Zvolený vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 630 S – 2500 – 800 disponuje uzavírací silou 250 tun (2500 kN), což je dostatečná hodnota pro udržení uzavřené formy během vstřikování u obou systémů a zabránění úniku taveniny do dělicích rovin. Při použití VVS bude stroj méně namáhán.

### 11.3.4 Vzduchové kapsy (Air traps)

Na základě výsledků této analýzy lze odhalit, v jakých místech na vstřikovaném výrobku může dojít k výskytu vzduchových kapes. V těchto místech by pak docházelo k prudkému stlačování vzduchu a následnému zvýšení teploty, což by mohlo vést k degradaci materiálu. V místech, kde se vyskytují vzduchové kapsy, nastává také riziko vzniku povrchových i skrytých bublin. Na následujících obrázcích jsou tato místa znázorněna fialovými tečkami. Pro oba vtokové systémy se výsledky liší minimálně, kdy je počet těchto míst přibližně stejný. Z výsledků lze dále vyčíst, že tvorba vzduchových kapes bude nejintenzivnější v místech umístění dělicích rovin a otvorů pro vyhazovací kolíky. Proto se předpokládá únik přebytečného vzduchu skrze ně, a proto nebyl pro vstřikovací formu navržen odvzdušňovací systém.



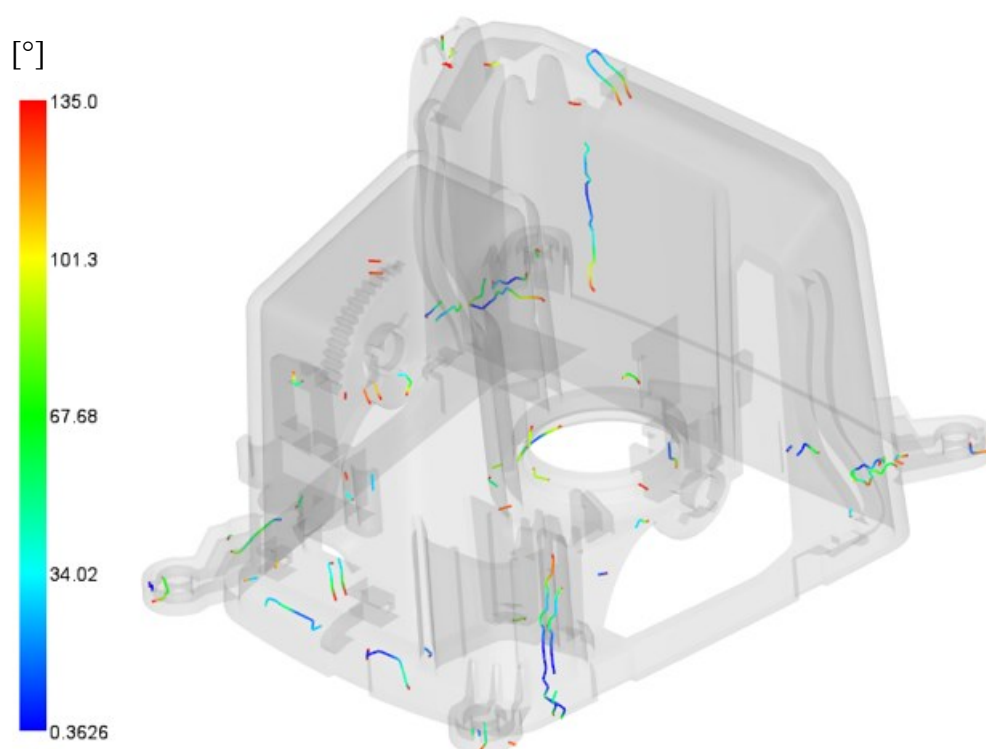
Obrázek 59 – Výsledek analýzy vzniku vzduchových kapes na výrobku při použití VVS



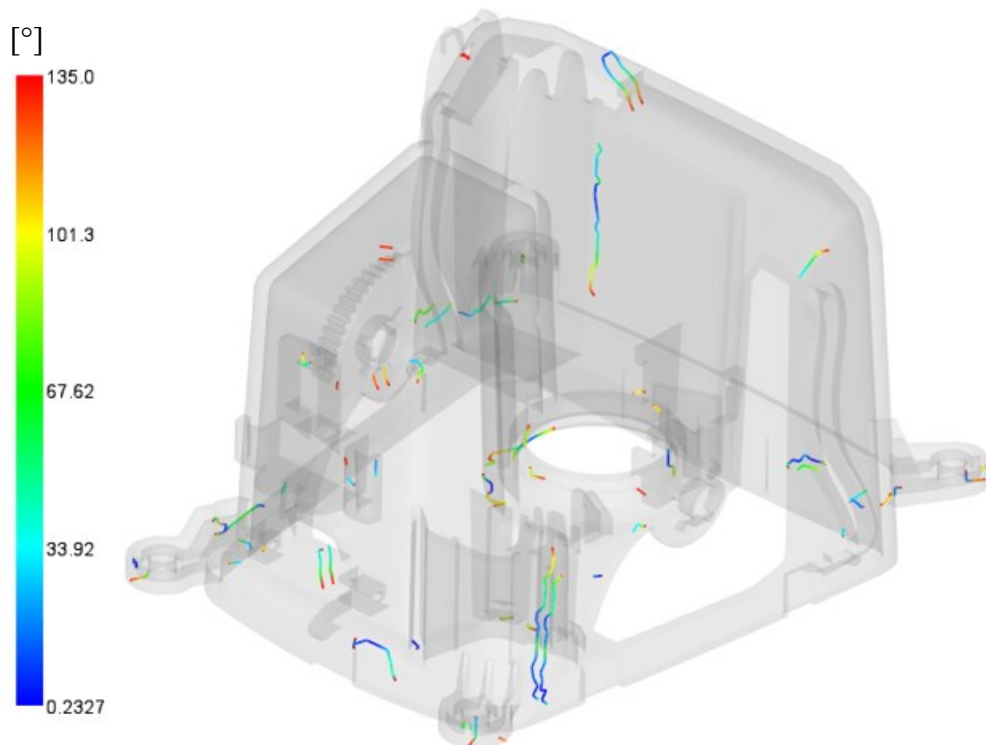
Obrázek 60 – Výsledek analýzy vzniku vzduchových kapes na výrobku při použití SVS

### 11.3.5 Studené spoje (Weld lines)

Díky výsledkům této analýzy lze predikovat místa náchylná na vznik studených spojů. Vlivem stejné geometrie výrobku a stejného umístění vtokového ústí, jsou místa vzniku studených spojů u obou vtokových systémů přibližně stejná. Barevná škála značí úhel, pod kterým se čela taveniny budou setkávat. Za účelem zajištění co nejlepších mechanických vlastností studených spojů, byla teplota taveniny nastavena blíže k její maximální doporučené hodnotě (295 °C). Ale jelikož se jedná o málo mechanicky namáhaný díl, je vznik těchto studených spojů v pořádku a nedojde k jeho porušení při běžném používání. Z estetického hlediska dochází ke vzniku studených spojů na místech, která při běžném používání nejsou vidět.



Obrázek 61 – Výsledek analýzy vzniku studených spojů na výrobku při použití VVS

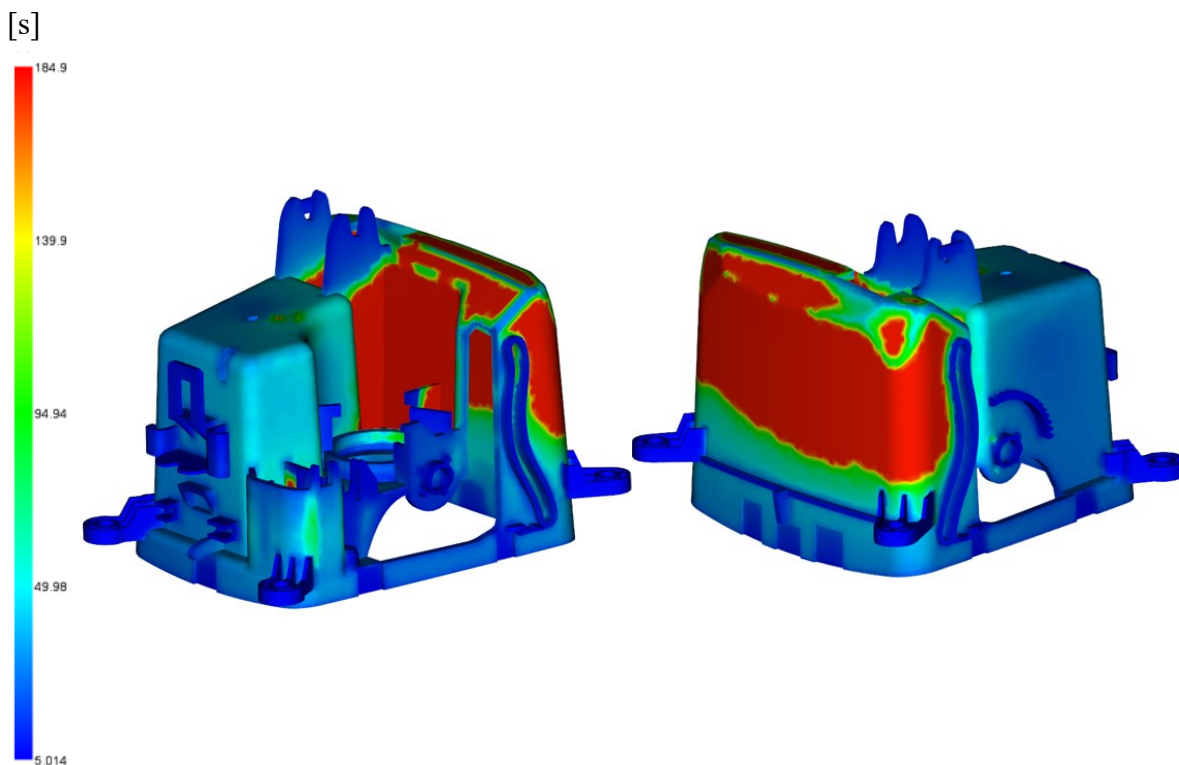


Obrázek 62 – Výsledek analýzy vzniku studených spojů na výrobku při použití SVS

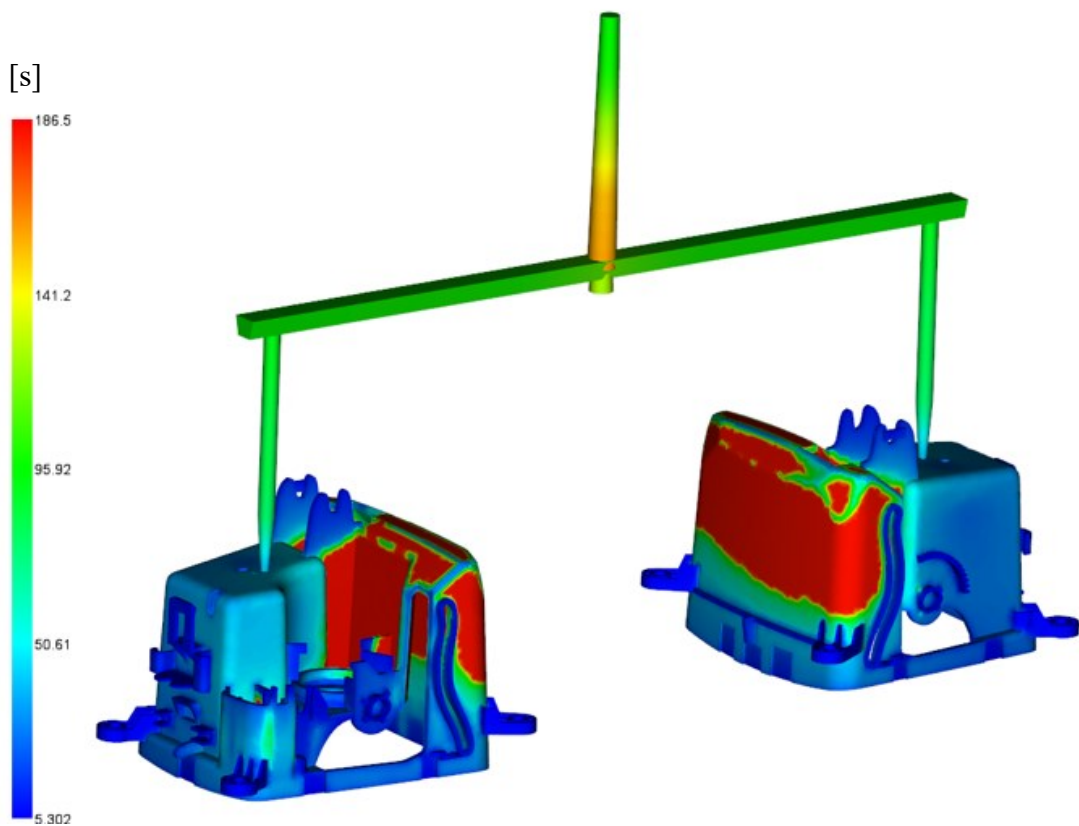


### 11.3.6 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Čas pro dosažení vyhazovací teploty při použití VVS je 184,9 sekund, pro SVS je tento časový úsek ještě o 1,6 sekundy delší. U obou vtokových systémů je oblast, která vyžaduje nejdelší časový úsek pro ochlazení, poměrně rozsáhlá. Možností urychlení procesu je dosažení vyhazovací teploty v místech, kde působí vyhazovací kolíky na výrobek, a jeho následné vyhození z formy, kdyby se následně pozorovalo, jestli nedošlo k deformaci ještě neztuhlé oblasti. Pokud by nedocházelo na výrobku ke vzniku deformací vlivem předčasného vyhození z formy, byl by čas potřebný pro vyhození výrobků z formy při použití VVS přibližně 56,4 sekundy. Při použití SVS musí dojít i k zatuhnutí přidržovače tohoto systému, jenž by tuto část cyklu prodloužil na 103,8 sekundy. V obou případech se dosáhne použitím VVS kratšího časového úseku potřebného pro dosažení vyhazovací teploty výrobků.



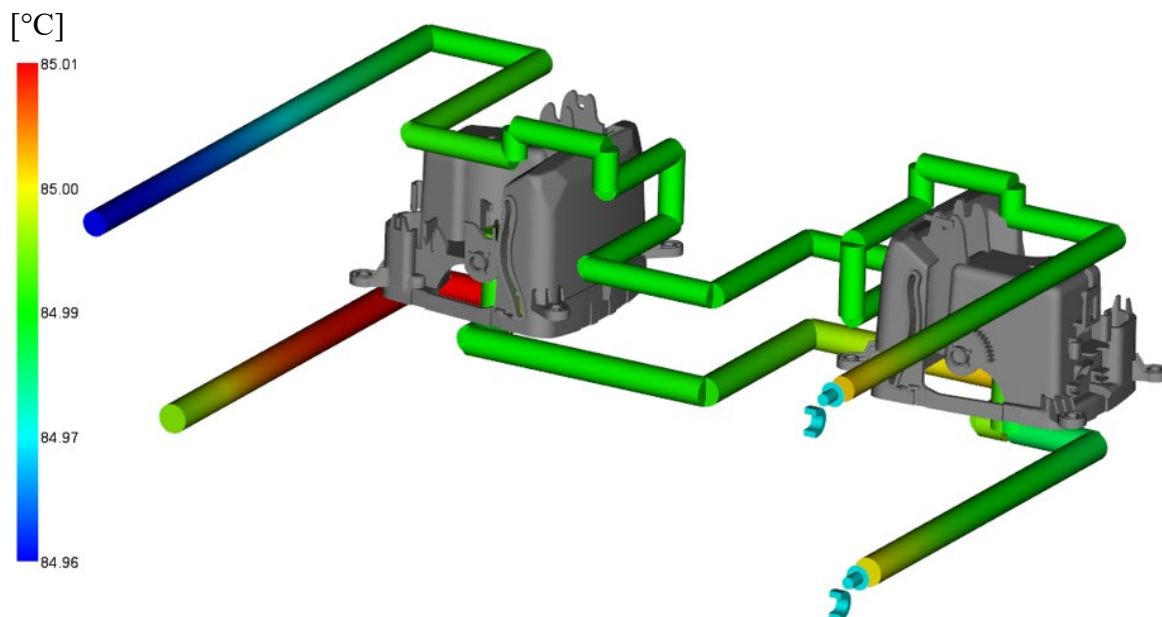
Obrázek 63 - Výsledek analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty při použití VVS



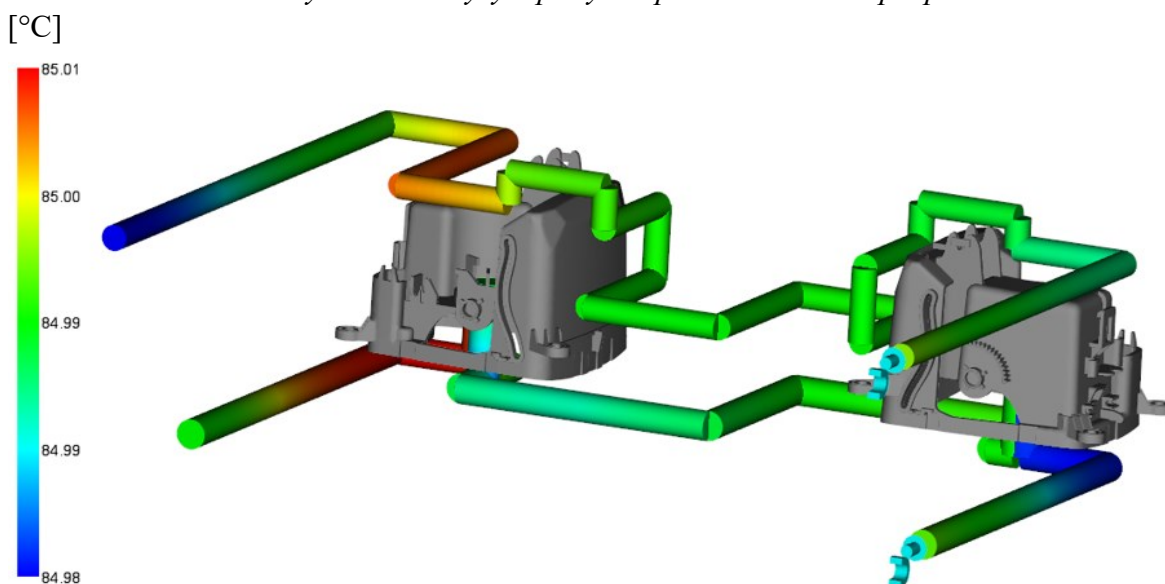
Obrázek 64 - Výsledek analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty při použití SVS

### 11.3.7 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

Jak je popsáno v kapitole 3.2, rozdíl teplot temperačního média na vstupu a výstupu do systému by se neměl lišit o více jak 3 °C. Toto kritérium bylo u obou vtokových systému splněno, kdy maximální teplota média u obou případů stoupne v levém temperačním kanálu na 85,01 °C. Při použití VVS vstupuje temperační médium při nastavené teplotě 85 °C, kdy v pravém temperačním kanálu dojde k ochlazení na výstupu na teplotu 84,96 °C. K ochlazení média média dojde i v pravém temperačním kanálu při použití SVS, a to na teplotu 84,98 °C. Tento nižší pokles teploty je způsoben vyšší teplotou taveniny při použití tohoto systému.



Obrázek 65 - Výsledek analýzy teploty temperačního média při použití VVS

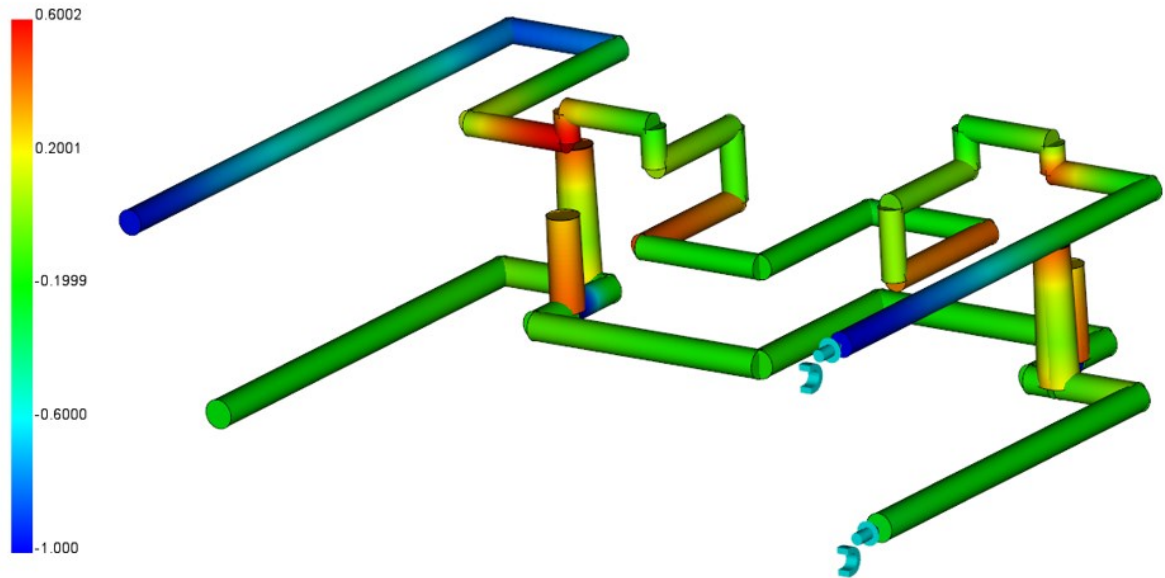


Obrázek 66 - Výsledek analýzy teploty temperačního média při použití SVS

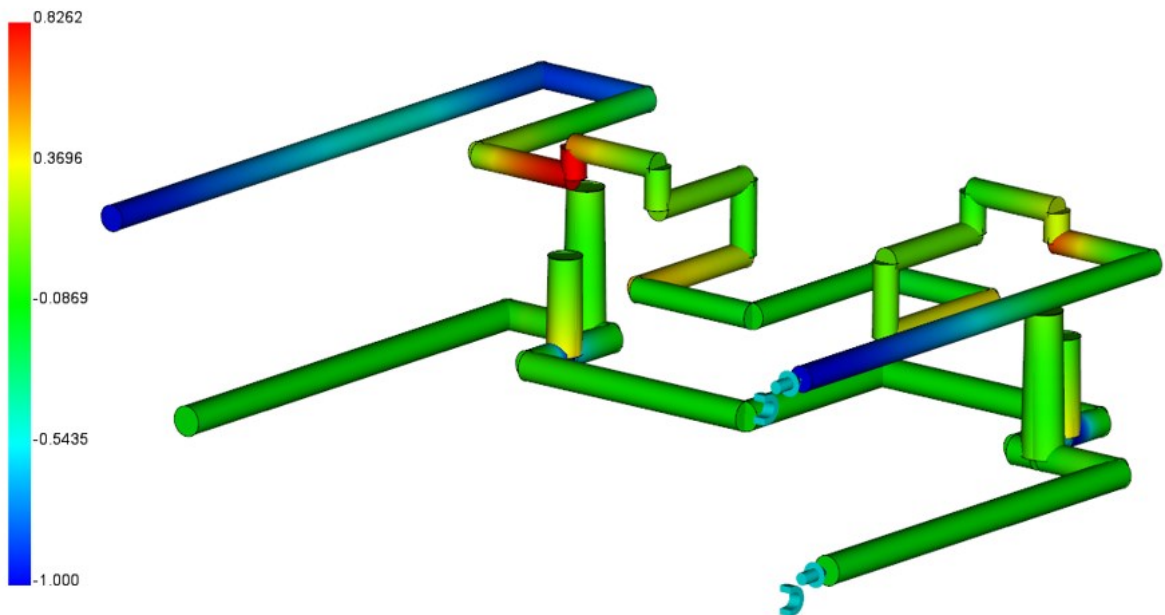
### 11.3.8 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Při návrhu geometrie temperačního systému je jedním z hlavních kritérií jeho efektivita odvodu tepla. Výsledek analýzy, pomocí barevné škály, popisuje efektivitu odvodu tepla jednotlivých úseků temperačního systému. Odvod tepla definují na škále kladná čísla, kdyby dokonalý odvod tepla dosahoval hodnoty 1. Záporná čísla na škále definují ohřev formy skrze temperační médium. Efektivita odvodu tepla při použití SVS vykazuje vyšší maximální hodnotu (0,83), než při použití VVS (0,6), ale tato hodnota se nachází pouze v pravém temperačním kanále ve dvou úsecích, kdy se ve většině úseků vyskytuje neutrální

hodnota (0). Zatímco při použití VVS se kladné hodnoty vyskytují více, kdy podle očekávání touto hodnotou disponují i ploché přepážky. V celém rozsahu temperačního systému lze říci, že systém má lepší efektivitu odvodu tepla při použití VVS.



Obrázek 67 - Výsledek analýzy efektivity odvodu tepla temperačním systémem při použití VVS

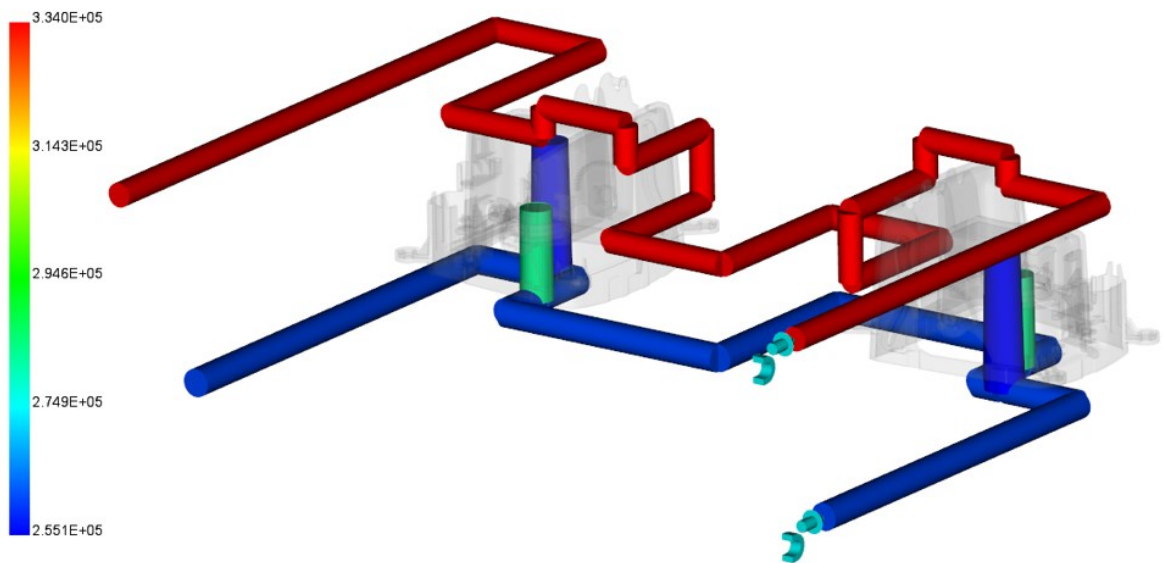


Obrázek 68 - Výsledek analýzy efektivity odvodu tepla temperačním systémem při použití SVS

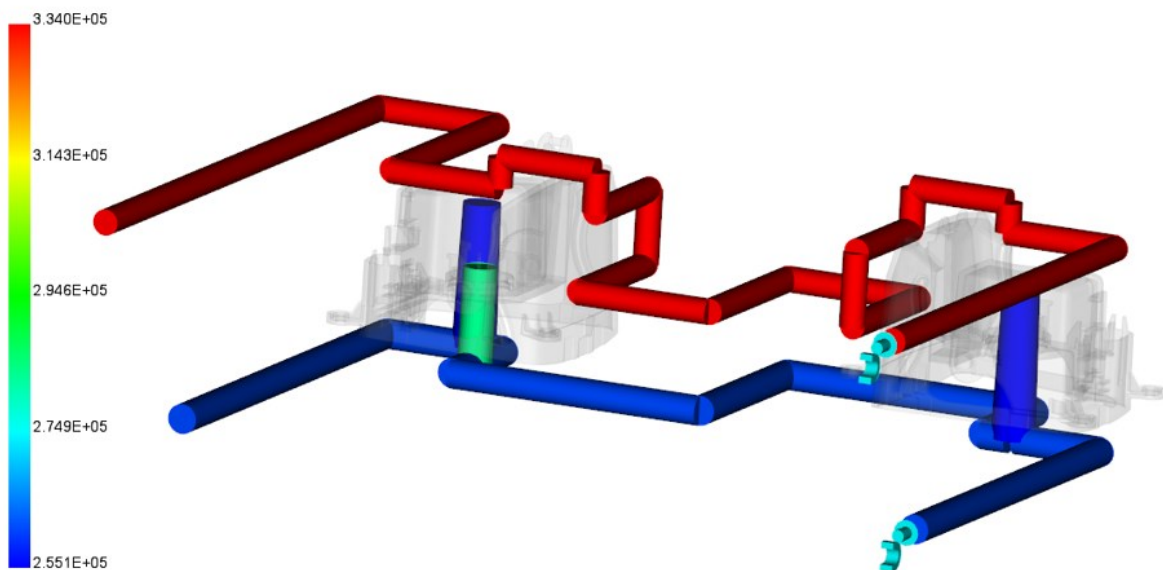
### 11.3.9 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

Jak je již zmíněno v kapitole 3.2, temperační médium disponuje lepším odvodem tepla, je-li jeho proudění temperačním systémem turbulentní. Proudění je popsáno pomocí

Reynoldsova čísla, kdy pro zajištění turbulentního proudění by mělo vykazovat hodnotu 10 000 a více. Jelikož jsou geometrie a vstupní podmínky temperačního systému stejné pro oba vtokové systémy, jsou i výsledky této analýzy u obou systémů stejné. Nejnižší hodnotu dosahuje Reynoldsovo číslo v levém temperačním okruhu, ale i tak dostatečnou pro zajištění turbulentního proudění média (255 000). Nejvyšší hodnotou disponuje celý pravý temperační kanál, kdy je tato hodnota 334 000. Navržená geometrie temperačního systému vyhovuje u obou vtokových systémů.



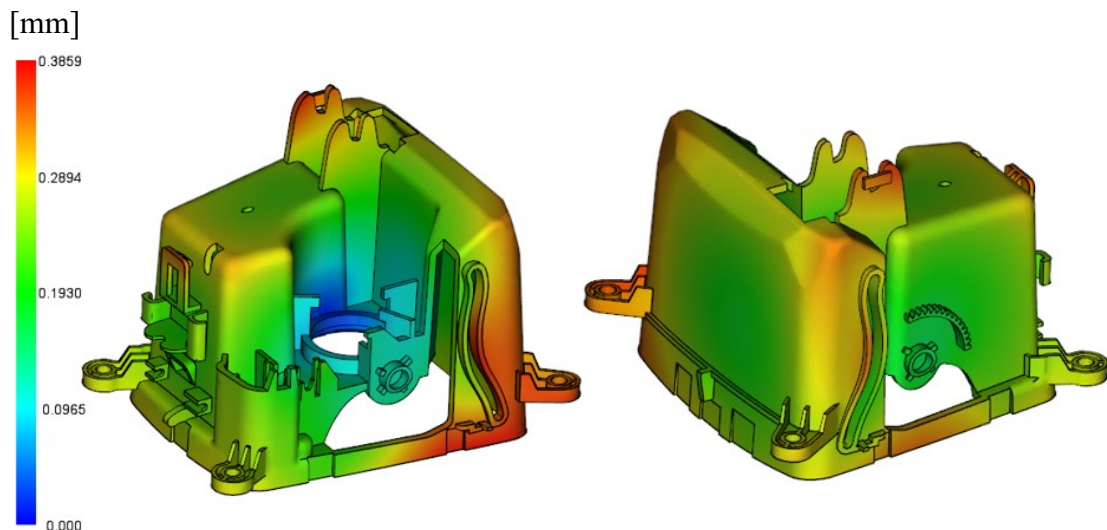
Obrázek 69 - Výsledek analýzy Reynoldsova čísla při použití VVS



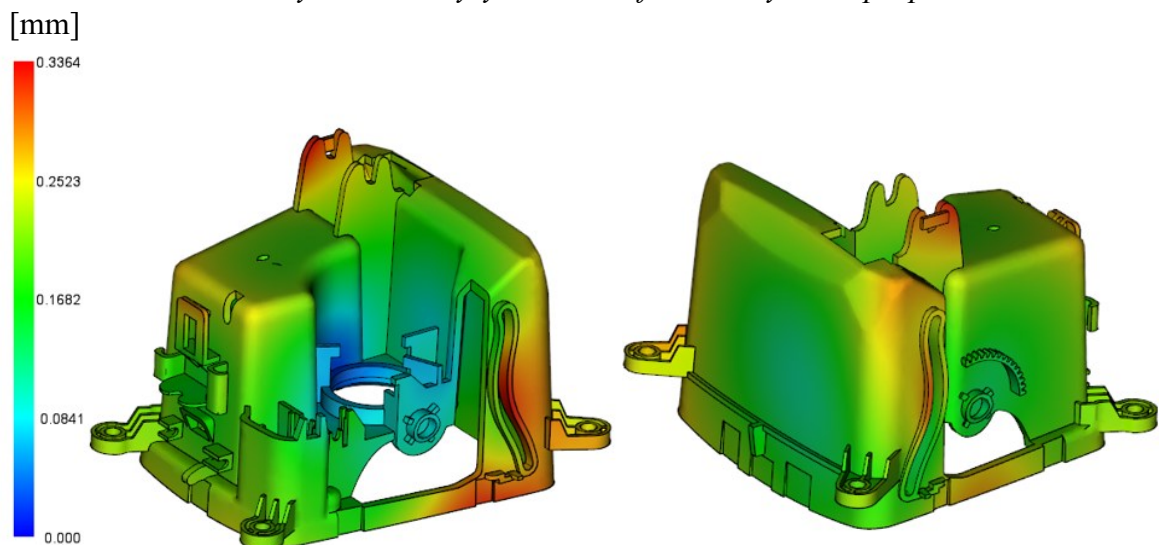
Obrázek 70 - Výsledek analýzy Reynoldsova čísla při použití VVS

### 11.3.10 Celková deformace (Deflection, all effects)

Výsledek analýzy definuje místa na výrobku, která se vlivem rozdílného smrštění a ochlazování materiálu, budou doformovat. Místa na výrobku definována červenou barvou budou deformována nejvíce, zatím co místa s modrou barvou nejméně. Při použití VVS bude celková deformace výrobku přibližně 0,39 mm. Tato deformace je způsobena vzájemným působením rozdílného smrštění materiálu (0,37 mm) a jeho rozdílným ochlazováním (0,12 mm). Při použití SVS bude celková deformace o něco nižší, její hodnota činí přibližně 0,34 mm. Kdy je tato hodnota opět výsledkem vzájemného působení rozdílného smrštění materiálu (0,3 mm) a jeho rozdílného ochlazování (0,13 mm). V obou případech se jedná o přípustnou hodnotu deformace, kdy nejdůležitější místo pro uchycení zabudovaného zapalovače disponuje minimální deformací (modrá barva).



Obrázek 71 - Výsledek analýzy celkové deformace výrobku při použití VVS



Obrázek 72 - Výsledek analýzy celkové deformace výrobku při použití SVS

## DISKUSE VÝSLEDKŮ

Pro zadaný automobilový díl, kterým je držák zabudovaného zapalovače společně s odkládacím prostorem, byl dle jeho charakteru, zvolen materiál. Zvoleným materiálem je směs dvou polymerů: polykarbonátu (PC) a akrylonitril-butadien-styrenu (ABS) od výrobce SABIC Innovative Plastics US pod obchodním názvem COCOLOY CX2244ME.

Při návrhu vstřikovací formy, za účelem snížení ekonomických nákladů, se využívalo normálií od dodavatele HASCO. Po převážení charakteru a přesnosti vyráběného dílu, požadovaného množství a ekonomiky výroby, byla forma navržena jakožto dvojnásobná. Z ekonomických důvodů jsou tvarové prvky navrženy v podobě vyměnitelných vložek. Tvárnice s tvárníky jsou osazeny ve vyfrézovaných otvorech v kotevních deskách vstřikovací formy, kdy je na svém místě drží opěrné desky. Aby bylo možné díl odformovat a vyhodit z formy, bylo pro každý díl využito tří tvarových jader. Jádra jsou za pomoci dvou zápusných šroubů s vnitřním šestihranem, připevněna k mechanismu bočních posuvných čelistí, kdy jejich polohu zajišťuje středící kolík. Pro všechny systémy bočních posuvných čelistí byly použity šikmé kolíky o sklonu  $18^\circ$  a délce 120 mm. Jejich použitím dojde, při otevírání formy, k odjezdu tvarových jader o 37 mm, což je dostatečná vzdálenost pro bezproblémové odformování a vyhození výrobků. Tvarové prvky, jelikož přicházejí do kontaktu s taveninou, jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343. Při návrhu tvarových prvků se muselo počítat se smrštěním materiálu (0,4847 %). Umístění vtokového ústí na výrobku bylo zvoleno dle výsledků analýzy vhodnosti jeho umístění, a tak, aby bylo možné díl zaformovat.

Pro formu byl navržen temperační systém, skládající se ze dvou temperačních okruhů. Pravý temperační okruh prochází tvárnicí a je tvořen vrtanými kanály o průměru 14 mm. Levý okruh prochází tvárníkem a tvoří jej jednak vrtané kanály o průměru 16 mm, které procházejí přes čtyři ploché přepážky se závitem. Pro každý výrobek jsou použity dvě přepážky, kdy jedna je průměru 20 mm a druhá 24 mm. Normalizovaná délka těchto přepážek je 150 mm, kdy každou z nich bylo potřeba upravit na požadovanou délku. Temperační médium, v podobě čisté vody, vstupuje do obou okruhů o teplotě  $85^\circ\text{C}$  a tlaku 6 bar. Temperaci zajistí jednotky TT-168 H/A od firmy TOOLTEMP. Vhodnost návrhu temperačního systému byla ověřena analýzou.

Pro formu byl zvolen vyhřívaný vtokový systém. VVS se nachází v pravé části vstřikovací formy, kdy je jeho podstatná část uložena ve vyfrézovaném otvoru v pravé rozpěrné desce.

Jeho přesnou polohu zajišťují tři středící kolíky společně s distančními podložkami. Distanční podložky navíc zastávají izolační funkci, kdy vytvářejí mezi blokem vyhřívaného vtokového systému a deskami formy vzduchovou mezeru, která omezuje tepelný přestup mezi blokem a formou. Centrální vtoková vložka má průměr vnitřního kanálu 12 mm a její konec vyúsťuje z formy skrze pravý středící kroužek, kde dochází k napojení s tryskou vstřikovacího stroje. Vyhříváný blok obsahuje kanál o průměru 15 mm a topná tělesa, která jsou napájena elektrickým proudem skrze elektrické vodiče připojené na elektrickou zásuvku. Při návrhu formy bylo voleno mezi vyhříváním a studeným vtokovým systémem. Prvním kritériem pro volbu VVS byl výsledek deseti analýz. Tyto výsledky popisuje následující tabulka, kdy výsledky, které vyšly lépe pro VVS jsou označeny zelenou, zatím co červenou jsou označeny ty, které vyšly lépe pro SVS. Hlavním a zásadním výsledkem na ekonomičnost výroby je čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty výrobků.

Tabulka 5 – Porovnání výsledků analýz mezi VVS a SVS

Porovnávaný výsledek	Výsledek při použití VVS	Výsledek při použití SVS	Rozdíl výsledků
Doba plnění [s]	1,604	1,642	- 0,038
Rozdíl teplot na čele taveniny [°C]	2,3	3,1	- 0,8
Uzavírací síla stroje [t]	58	116,9	- 58,9
Vznik vzduchových kapes [-]	-	-	přibližně stejný
Vznik studených spojů [-]	-	-	přibližně stejný
Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty [s]	184,9 (56,4)	186,5 (103,8)	- 1,6 (- 47,4)
Rozdíl teplot temperačního média [°C]	0,05	0,03	+ 0,02
Efektivita odvodu tepla temperačním médiem [-]	0,6002	0,8262	- 0,226
Minimální Reynoldsovo číslo temperačního média [-]	255 100	255 100	stejně
Maximální celková deformace [mm]	0,3859	0,3364	+ 0,0495

Druhým kritériem, které podpořilo volbu VVS, byl ekonomický propočet. Cena VVS byla, dle dohledatelných cen od dodavatele HASCO, stanovena na 72 540 Kč. SVS tvoří vtoková vložka, která má délku 105 mm a její průměr přechází postupně z 8 mm na 12 mm.



Rozvodný kanál má lichoběžníkový tvar s délkou horní podstavy 8 mm, spodní 12 mm a výškou 8 mm. Rozvodný kanál pak přechází do kruhového průřezu o průměru 7 mm. Vtokové ústí má průměr 3,5 mm. Přidržovač vtokového systému má délku 10 mm a jeho průměr přechází z 9 mm na 10 mm. Výsledný objem vtokového zbytku, při použití SVS, je  $53,4 \text{ cm}^3$ , což při hustotě materiálu  $1,1974 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$  odpovídá přibližně 64 g materiálu. Při ceně materiálu 150 Kč za jedno kilo vychází cena jednoho vtokového zbytku 9,6 Kč. Aby byla zajištěna návratnost za pořízení VVS musí být vyrobeno 15 114 výrobků (7557 vtokových zbytků). Vzhledem k tomu, že zadaný díl pochází z automobilového odvětví, lze předpokládat, že počet vyrobených kusů bude řádek několika desítek až stovek tisíc, kdy je z ekonomického hlediska výhodnější použití VVS. [42] [44]

Navržený vyhazovací systém se skládá z opěrné a kotevní desky. V kotevní desce jsou otvory, které zajišťují přesné usazení vyhazovacích kolíků. Pro každý výrobek je použito 8 plochých vyhazovacích kolíků, jejichž styčná plocha s výrobkem má obdélníkový průřez o rozměrech 5,5 mm na 1,5 mm. Ty jsou rovnoměrně rozmístěny do spodního obvodu výrobku, aby bylo zajištěno co nejrovnoměrnější vyhození. Těchto osm plochých vyhazovacích kolíků je doplněno o jeden válcový vyhazovací kolík o průměru 10 mm.

Z výsledků analýzy pro vznik vzduchových kapes je zvoleno, že odvzdušňovací systém pro tvarové dutiny formy není navržen. Únik přebytečného vzduchu z tvarových dutin se předpokládá dělicími rovinami a otvory pro vyhazovací kolíky.

## ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se ve svém úvodu věnuje technologii vstřikování obecně, následuje popis jednotlivých částí vstřikovacího stroje a formy. Další kapitolou je popis vlastností polymerů, a jejich možných modifikací. Následuje popis negativních jevů, které mohou při vstřikování na výrobku vzniknout. Závěr této části je věnován konstrukčním zásadám vstřikovaných dílů a analýze vstřikovacího procesu.

Praktická část popisuje zadaný automobilový výrobek, kdy se jedná o část středové konzole automobilu značky BMW. Konkrétně jde o držák, který slouží k upevnění zabudovaného zapalovače společně s odkládacím prostorem. Jeho největší šířka je 140 mm, délka 150 mm a výška 110 mm. Hmotnost držáku je 148 g. Pro držák byl, dle účelu jeho použití, zvolen kompozitní materiál tvořen směsí polykarbonátu (PC) a akrylonitril-butadien-styrenu (ABS). Materiál bude dodán od výrobce SABIC Innovative Plastics US pod obchodním názvem COCOLOY CX2244ME. Materiálový list lze nalézt v přílohách.

Dle charakteru výrobku, byla navržena dvojnásobná vstřikovací forma. Vstřikovací forma má výšku 580,5 mm, šířku 696 mm, délku 596 mm a její hmotnost je 1543 kg. Rozměry byly voleny co nejmenší možné, aby byla zajištěna co nejnižší cena vstřikovací formy. Za tímto účelem bylo dále využíváno co nejvíce normalizovaných prvků od dodavatele HASCO. Pro vytvoření 3D modelu zadaného výrobku, 3D modelu navržené vstřikovací formy a 2D výkresů sestavy této formy bylo využito programu CATIA V5R20. Výkresová dokumentace obsahuje pohled do levé a pravé části formy, společně se třemi řezy formou. K dokumentaci je přiložen kusovník.

Ověření návrhu vstřikovací formy bylo provedeno v programu Autodesk Moldflow Synergy 2023. Pomocí deseti výsledků analýz byla ověřena vhodnost návrhu. Pro ověření nejvhodnějšího návrhu vtokového systému bylo proveden výpočet, jak pro studený, tak pro vyhřívaný vtokový systém. Kdy z výsledků analýz, tak i z ekonomických propočtů byl zvolen pro formu vyhřívaný vtokový systém.

Dle výsledných parametrů vstřikovací formy byl pro ni zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S – 2500 – 800 (50) od výrobce Arburg a temperační jednotka TT-168 H/A od firmy TOOLTEMP. Jejich technické listy jsou přiloženy v přílohách.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CZEPIEL, Mateusz; BAŃKOSZ, Magdalena a SOBCZAK-KUPIEC, Agnieszka. Advanced Injection Molding Methods: Review. Online. 2023, s. 16. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16175802>. [cit. 2024-01-15].
- [2] CATOEN, Bruce a REES, Herbert Res. Injection Mold Design Handbook. Online. Hanser, 2022. ISBN 978-1-56990-815-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01637-3>. [cit. 2024-01-15].
- [3] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [4] V. ROSATO, Dominick; V. ROSATO, Donald a G. ROSATO, Marlene. Injection molding handbook - 3rd edition. Online. 2000. ISBN 978-1-4651-4597-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4597-2>. [cit. 2024-01-15].
- [5] ZHENG, Rong; I. TANNER, Roger a FAN, Xi-Jun. Injection molding: Integration of Theory and Modeling Methods. Online. Springer, 2011. ISBN 978-3-642-21263-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21263-5>. [cit. 2024-01-15].
- [6] WANG, Jian. Some Critical Issues for Injection Molding. Čína: InTech, 2012. ISBN 978-953-51-0297-7.
- [7] 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.
- [8] MADAN, Jatinder; MANI, Mashesh; H. LEE, Jae a W. LYONS, Kevin. Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes: injection molding case study. Online. 2013. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.060>. [cit. 2024-01-16].
- [9] LA MANTIA, F.P.; MORREALE, M. Morreale; BOTTA, L.; MISTRETTA, M. C.; CERAULO, M. et al. Degradation of polymer blends: A brief review. Online. 2017, s. 145. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.011>. [cit. 2024-01-17].
- [10] DAE HAN, Chang. Rheology and processing of polymeric materials. 1. Oxford University Press, 2007. ISBN 978-0-19-518782-3.

- [11] ZHOU, Huamin. Computer Modeling for Injection Molding: Simulation, Optimization, and Control. Online. Čína: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 9781118444887. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118444887>. [cit. 2024-01-18].
- [12] Injection moulding world. Online. Dostupné z: <https://injectionmouldingworld.com/equipment/>. [cit. 2024-01-23].
- [13] ORYCON. Online. Dostupné z: <https://www.orycone.cz/cs>. [cit. 2024-01-24].
- [14] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Online. 2015. Brno: Code Creator. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>. [cit. 2024-01-25]
- [15] HYNEK, Martin. Plastové díly. Online. 2013. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/projekty-verfin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://kks.zcu.cz/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05/). [cit. 2024-01-25]
- [16] YOUNG, Robert J. a LOVELL, P. A. Introduction to polymers. 3rd ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, c2011. ISBN 9780849339295.
- [17] WILCZYŃSKI, Krzysztof. Rheology in polymer processing: modeling and simulation. Munich: Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-660-6.
- [18] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/vstrikovani-plastu-4633/>.
- [19] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů 2: simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk - teorie a praxe. Grada, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/vstrikovani-plastu-2-10379/>.
- [20] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002503.
- [21] YANG, Yi; CHEN, Xi; LU, Ningyun a GAO, Furong. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Progress in polymer processing series. Munich: Hanser, [2016]. ISBN 9781569905920.
- [22] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. Understanding injection molds. Munich: Hanser, c2013. ISBN 9781569905272.

- [23] RAUWENDAAL, Chris. SPC: statistical process control in injection molding and extrusion. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2008. ISBN 9781569904275.
- [24] TRES, Paul A. Designing plastic parts for assembly. 8th edition updated. Munich: Hanser, [2017]. ISBN 9781569906682.
- [25] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang. Molding simulation: theory and practice. 2nd Edition. Munich: Hanser publishers, [2022]. ISBN 978-1-56990-884-6.
- [26] KENNEDY, Peter a ZHENG, Rong. Flow analysis of injection molds. 2nd ed. Munich: Hanser, c2013. ISBN 9781569905128.
- [27] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, [2018]. ISBN 9781569906453.
- [28] CHO, Kwang Soo. Viscoelasticity of polymers.: theory and numerical algorithms. Springer series in materials science. Dordrecht: Springer, [2016]. ISBN 9789401775625.
- [29] KAMAL, Musa R.; ISAYEV, Avraam I. a LIU, Shih-Jung (ed.). Injection molding: technology and fundamentals. Progress in polymer processing. Munich: Hanser, c2009. ISBN 9781569904343.
- [30] MALLOY, Robert A. Plastic part design for injection molding: an introduction. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011. ISBN 9781569904367.
- [31] OSSWALD, Tim A.; BAUR, E. a RUDOLPH, Natalie. Plastics handbook: the resource for plastics engineers. 5th edition. Munich: Hanser Publisher, [2019]. ISBN 978-1-56990-559-3.
- [32] KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016]. ISBN 9781569905708.
- [33] CHEREMISINOFF, Nicholas P. An introduction to polymer rheology and processing. CRC revivals. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018. Dostupné z: <https://doi.org/9781351082273>.
- [34] Publi. Online. Dostupné z: <https://publi.cz/>. [cit. 2024-01-15].
- [35] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2019, xx, 450 s. ISBN 978-1-56990-590-6.

- [36] STAUBER, R. a L. VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0.
- [37] RESEARCHGATE. 1D, 2D, and 3D elements. Online. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Fig-3-8-1D-2D-and-3Delements\\_fig10\\_313725653](https://www.researchgate.net/figure/Fig-3-8-1D-2D-and-3Delements_fig10_313725653). [cit. 2024-04-24].
- [38] SHOEMAKER, Jay (ed.). *Moldflow design guide: a resource for plastic engineers*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2006. ISBN 1569904030.
- [39] AUTODESK. Online. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>. [cit. 2024-04-24].
- [40] ANSYS. Online. Dostupné z: <https://www.ansys.com/>. [cit. 2024-04-24].
- [41] KEYENCE. Observation, Analysis, and Inspection of Injection Molding Defects and Molding Materials. Online. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/microscope/digital-microscope/industries/chemistry/molding-defects.jsp>. [cit. 2024-04-24].
- [42] SABIC. Sabc. Online. Dostupné z: <https://www.sabic.com/en>. [cit. 2024-04-29].
- [43] ARBURG. Arburg. Online. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/svet-vyrobku/vstrikovaci-stroje/hydraulicke-stroje/allrounder-s/>. [cit. 2024-04-29].
- [44] HASCO. Hasco. Online. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>. [cit. 2024-05-02].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

%	Procento
p	Tlak
v	Specifický objem
T	Teplota
MPa	Jednotka tlaku (megapascal)
bar	Jednotka tlaku (bar)
cm <sup>3</sup>	Jednotka objemu (kubický centimetr)
g	Jednotka hmotnosti (gram)
°C	Jednotka teploty (stupeň celsia)
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	Teplota tání
t	Čas
s	Jednotka času (sekunda)
T <sub>c</sub>	Vyhazovací teplota
T <sub>1bar</sub>	Atmosférický tlak
T <sub>t</sub>	Pokožová teplota
WNR	Německé materiálové číslo
ČSN	Československá norma
DR	Dělicí rovina
HDR	Hlavní dělicí rovina
VDR	Vedlejší dělicí rovina
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
mm	Jednotka délky (milimetr)
Re	Reynoldsovo číslo

---

°	Úhlová jednotka (stupeň)
MFI	Index toku taveniny
UV	Ultrafialové záření
CAE	Proces s počítačovou kontrolou
1D	Jednorozměrný
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
2,5D	Kombinace 2D a 3D
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
s <sup>-1</sup>	Reciproká sekunda
kN	Jednotka síly (kilonewton)
L/D	Poměr délky ku průřezu
$\dot{\gamma}$	Rychlost smykové deformace
$\eta$	Smyková viskozita
kč	Koruna česká
kg	Jednotka hmotnosti (kilogram)
min	Jednotka času (minuta)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 - Graf potřebné doby (dle aplikace) pro jednotlivé části vstřikovacího cyklu pro vstřikovací formu (vlevo) a plastikační jednotku (vpravo) [2] .....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2 - Diagram p-v-T pro amorfni termoplast [34] .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3 - Diagram p-v-T pro semikrystalický termoplast [34] .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 4 - Průběh tlaku ve vstřikovací formě (nahore vlevo) s průběhem teploty polymeru (nahore vpravo), diagram p-v-T pro amorfni polymer s vyznačeným průběhem vstřikovacího cyklu [11] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 5 - Vstřikovací stroj s vyznačenými základními částmi [2] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6 - Schéma otevřené čtyřnásobné vstřikovací formy včetně popisu jednotlivých částí [34] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 7 - Schéma studeného vtokového systému dvoudeskové (vlevo), třideskové (uprostřed) formy a formy s vyhříváním vtokovým systémem (vpravo) [2] .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 8 - Příklad studeného dvoudeskového (vlevo) a třideskového (vpravo) vtokového systému včetně výrobků [2] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 9 - Složená polovina formy s vyhříváním vtokovým systémem (vlevo) a tři různé modifikace vyhřívání bloků (vpravo) [13] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 10 - Jednotlivé části VVS [2] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 11 - Příklady různých druhů trysek pro VVS [13] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 12 - Tři základní konstrukce temperačních přepážkových systémů [15] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 13 - Mechanický systém odformování výrobku pomocí bočních posuvných čelistí [4] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 14 - Příklady umístění vyhazovacích kolíků na výrobcích [2] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 15 - Typy vyhazovacích kolíků a vložek [2] .....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 16 - Porovnání rozdílných teplot v závislosti smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [2] .....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 17 - Schéma fontánového toku [2] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 18 - Deformace výrobku vlivem rozdílné tloušťky stěn [25] .....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 19 - Studený spoj na výrobku [41] .....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 20 - Propadlina na výrobku [41] .....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 21 - Porovnání správného (vlevo) plnění tvarové dutiny s volným tokem taveniny (vpravo) [11] .....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 22 - Přetoky na výrobku [41] .....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 23 - Vzduchová kapsa na výrobku [25] .....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 24 - Viditelný tok materiálu [41] .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 25 - Delaminace vrstev výrobku [25] .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 26 - Graf závislosti jednoduchosti a ceně úpravy vstřikovací formy na čase [2] .....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 27 - Možnosti umístění dělicí roviny na výrobcích [2] .....</i>	<i>48</i>

<i>Obrázek 28 - Možnost úpravy tloušťky stěny výrobku: A – nevhodný návrh, B – lepší návrh [2] .....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 29 - Možnosti přechodu mezi různými tloušťkami stěn [2] .....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 30 - Návrh rohu vstřikovaného dílu [2] .....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 31 - Návrh žebra vstřikovaného dílu [2] .....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 32 - Úprava tvaru žebra [2] .....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 33 - Základní prvky pro tvorbu konečně prvkové sítě [37] .....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 34 - Typy konečně prvkových sítí [39] .....</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 35 - Pohled na 3D model držáku shora (nahore) a zespod (dole) .....</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 36 - 3D sestava vstřikovací formy .....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 37 - Pravá (nepohyblivá) část formy .....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 38 - Levá (pohyblivá) část formy .....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 39 - Výsledek analýzy vhodnosti umístění vtokového ústí s příslušnou hodnotou ve zvoleném místě .....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 40 - Výsledek analýzy velikosti odporu proti toku materiálu .....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 41 - Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo) .....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 42 - Tvarová jádra společně s příslušnými mechanismy bočních posuvných čelistí .....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 43 - Hlavní dělicí rovina (žlutá) a vedlejší dělicí roviny znázorněny vůči výrobku .....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 44 - Vyhříváný vtoková systém .....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 45 - Temperační okruh pravý (světle modrý) a levý (tmavě modrý) .....</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 46 - 3D model ploché přepážky se závitem a jejich umístění vůči výrobku .....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 47 - Vyhazovací systém .....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek 48 - Rozmístění vyhazovacích kolíků pro jeden výrobek .....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek 49 - Sředičí, izolační, transportní a ochranné prvky .....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 50 - 2,5D síť výrobku včetně uzlových bodů .....</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek 51 - Výsledky kvality 2,5D sítě výrobku .....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 52 - Kvalita sítě temperačního systému .....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 53 - Kvalita sítě vyhříváného vtokového systému .....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 54 - Kvalita sítě studeného vtokového systému .....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 55 - Výsledek analýzy doby plnění při použití VVS .....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 56 - Výsledek analýzy doby plnění při použití SVS .....</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 57 – Výsledek analýzy teploty na čele taveniny při použití VVS .....</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 58 – Výsledek analýzy teploty na čele taveniny při použití SVS .....</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 59 – Výsledek analýzy vzniku vzduchových kapes na výrobku při použití VVS ....</i>	<i>78</i>

<i>Obrázek 60 – Výsledek analýzy vzniku vzduchových kapes na výrobku při použití SVS.....</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 61 – Výsledek analýzy vzniku studených spojů na výrobku při použití VVS .....</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek 62 – Výsledek analýzy vzniku studených spojů na výrobku při použití SVS.....</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek 63 - Výsledek analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty při použití VVS.....</i>	<i>81</i>
<i>Obrázek 64 - Výsledek analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty při použití SVS.....</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 65 - Výsledek analýzy teploty temperačního média při použití VVS .....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 66 - Výsledek analýzy teploty temperačního média při použití SVS .....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 67 - Výsledek analýzy efektivity odvodu tepla temperačním systémem při použití VVS.....</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 68 - Výsledek analýzy efektivity odvodu tepla temperačním systémem při použití SVS.....</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 69 - Výsledek analýzy Reynoldsova čísla při použití VVS.....</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek 70 - Výsledek analýzy Reynoldsova čísla při použití VVS.....</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek 71 - Výsledek analýzy celkové deformace výrobku při použití VVS.....</i>	<i>86</i>
<i>Obrázek 72 - Výsledek analýzy celkové deformace výrobku při použití SVS .....</i>	<i>86</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 – Přehled nejpoužívanějších typů ocelí pro výrobu vstřikovacích forem [31] ...</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 2 – Porovnání vlastností studeného a vyhřívaného vtokového systému [2] .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3 – Vlastnosti polymerů dle uspořádání makromolekul [2] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4 – Vybrané parametry materiálu COCOLOY CX2244ME [42] .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 5 – Porovnání výsledků analýz mezi VVS a SVS.....</i>	<i>88</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I: Materiálový list COCOLOY CX2244ME

Příloha P II: Technický list temperační jednotky TT-168 H/A

Příloha P III: Technický list pro vstříkovací stroj ALLROUNDER 630 S – 2500 – 800 (50)

Příloha P IV: Výkresy sestavy vstříkovací formy s kusovníkem

Příloha P V: CD disk

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST COCOLOY CX2244ME



## CYCOLOY™ FR RESIN CX2244ME

REGION EUROPE

### DESCRIPTION

CYCOLOY CX2244ME Polycarbonate/Acrylonitrile Butadiene Styrene (PC/ABS) blend is an injection moldable, medium flow, non chlorinated/brominated flame retardant grade. It has a UL94 V0@0.75mm and 5VB@1.5mm flame rating. This grade has improved chemical resistance compared to standard PC/ABS blends and is a good candidate for thin wall applications and hospital/medical equipment.

### TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 2023 1109

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
<b>MECHANICAL <sup>(1)</sup></b>			
Tensile Stress, yld, Type I, 50 mm/min	65	MPa	ASTM D638
Tensile Stress, brk, Type I, 50 mm/min	58	MPa	ASTM D638
Tensile Strain, yld, Type I, 50 mm/min	4.1	%	ASTM D638
Tensile Strain, brk, Type I, 50 mm/min	100	%	ASTM D638
Tensile Modulus, 5 mm/min	2600	MPa	ASTM D638
Flexural Stress, yld, 1.3 mm/min, 50 mm span	104	MPa	ASTM D790
Flexural Modulus, 1.3 mm/min, 50 mm span	2500	MPa	ASTM D790
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	65	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	50	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	4	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	90	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2600	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	96	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2500	MPa	ISO 178
<b>IMPACT <sup>(1)</sup></b>			
Izod Impact, notched, 23°C	700	J/m	ASTM D256
Izod Impact, notched, -30°C	175	J/m	ASTM D256
Instrumented Dart Impact Total Energy, 23°C	65	J	ASTM D3763
Izod Impact, notched 80°10°3 +23°C	40	kJ/m²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80°10°3 -30°C	10	kJ/m²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	40	kJ/m²	ISO 179/1eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	10	kJ/m²	ISO 179/1eA
<b>THERMAL <sup>(1)</sup></b>			
Vicat Softening Temp, Rate B/50	110	°C	ASTM D1525
HDT, 1.82 MPa, 3.2mm, unannealed	89	°C	ASTM D648
CTE, -40°C to 40°C, flow	7.5E-05	1/°C	ASTM E831
CTE, -40°C to 40°C, xflow	7.5E-05	1/°C	ASTM E831
CTE, -40°C to 40°C, flow	7.5E-05	1/°C	ISO 11359-2
CTE, -40°C to 40°C, xflow	7.5E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 75°C +/- 2°C	Pass	-	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate B/50	110	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	113	°C	ISO 306
HDT/AF, 1.8 MPa Flatw 80°10°4 sp=64mm	93	°C	ISO 75/AF

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
Relative Temp Index, Elec <sup>(1)</sup>	90	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact <sup>(2)</sup>	90	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact <sup>(2)</sup>	90	°C	UL 746B
<b>PHYSICAL <sup>(1)</sup></b>			
Specific Gravity	1.19	-	ASTM D792
Mold Shrinkage, flow, 3.2 mm <sup>(3)</sup>	0.4 – 0.6	%	SABIC method
Melt Flow Rate, 260°C/2.16 kgf	18	g/10 min	ASTM D1238
Density	1.2	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/saturated)	0.2	%	ISO 62-1
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.1	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 260°C/2.16 kg	15	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
<b>ELECTRICAL <sup>(1)</sup></b>			
Volume Resistivity	>1.E+15	Ω.cm	IEC 60093
Surface Resistivity, ROA	>1.E+15	Ω	IEC 60093
Dielectric Strength, in oil, 0.8 mm	35	kV/mm	IEC 60243-1
Dielectric Strength, in oil, 1.6 mm	25	kV/mm	IEC 60243-1
Dielectric Strength, in oil, 3.2 mm	17	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative Tracking Index (UL) (PLC)	3	PLC Code	UL 746A
Hot-Wire Ignition (HWI), PLC 3	0.75	mm	UL 746A
High Amp Arc Ignition (HAI), PLC 0	0.75	mm	UL 746A
High Voltage Arc Track Rate (PLC)	2	PLC Code	UL 746A
Arc Resistance, Tungsten (PLC)	6	PLC Code	ASTM D495
<b>FLAME CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup></b>			
UL Yellow Card Link	<a href="#">E65329-564206</a>	-	-
UL Recognized, 94-5VA Flame Class Rating	≥3	mm	UL 94
UL Recognized, 94-5VB Flame Class Rating	≥1.5	mm	UL 94
UL Recognized, 94V-0 Flame Class Rating	≥0.75	mm	UL 94
Glow Wire Ignitability Temperature, 3.0 mm	800	°C	IEC 60695-2-13
Glow Wire Flammability Index, 3.0 mm	960	°C	IEC 60695-2-12
<b>INJECTION MOLDING <sup>(4)</sup></b>			
Drying Temperature	80 – 90	°C	
Drying Time	2 – 4	Hrs	
Maximum Moisture Content	0.02	%	
Melt Temperature	250 – 300	°C	
Nozzle Temperature	250 – 300	°C	
Front - Zone 3 Temperature	250 – 300	°C	
Middle - Zone 2 Temperature	240 – 290	°C	
Rear - Zone 1 Temperature	230 – 280	°C	
Hopper Temperature	60 – 80	°C	
Mold Temperature	60 – 85	°C	
Vent Depth	0.03 - 0.075	mm	


# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST TEMPERAČNÍ JEDNOTKY TT-168 H/A



## TT-168 E/A TT-168 H/A

### Water temperature control unit

Powerful device with high functionality

	Water up to 90°C
	Heating capacity <b>18 kW</b>
	Cooling capacity <b>45 kW @ 90°C</b>
	Cooling system indirect
	Application: moulds up to 1'800 kg



### Functions

- Self-optimizing temperature controller with temperature display 1/10°C – steps
- Display in °C to °F and l/min or gal/min
- Digital flow display and monitoring
- Automatic temperature control
- Switchover for temperature control on the mould
- Heating switchable in stages
- Pressure display
- Automatic or manual refill
- Time limited water refill
- Automatic mould drainage
- Leakstopper device – operation in pressure and vacuum mode possible

### Construction

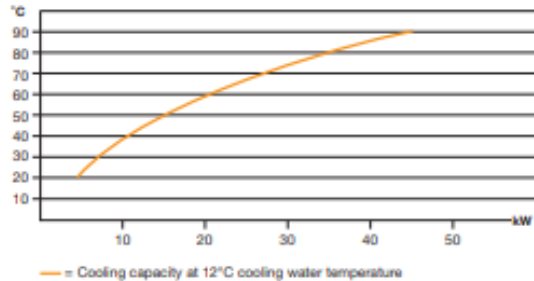
- Submersible sealless pump made from bronze
- Limescale free heat exchanger
- Corrosion resistant device for a long service life
- All parts in contact with water are made of stainless steel or bronze
- Unit on castors

### Safety features

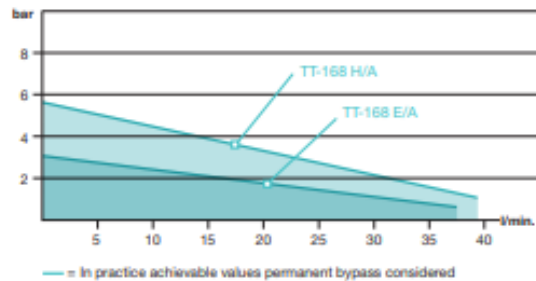
- Level control for dry run protection
- Electronic temperature limitation and monitoring in the controller
- Visual and acoustic fault indications
- Integrated circuit breakers
- Main switch, transformer and motor protection switch



## Cooling capacity



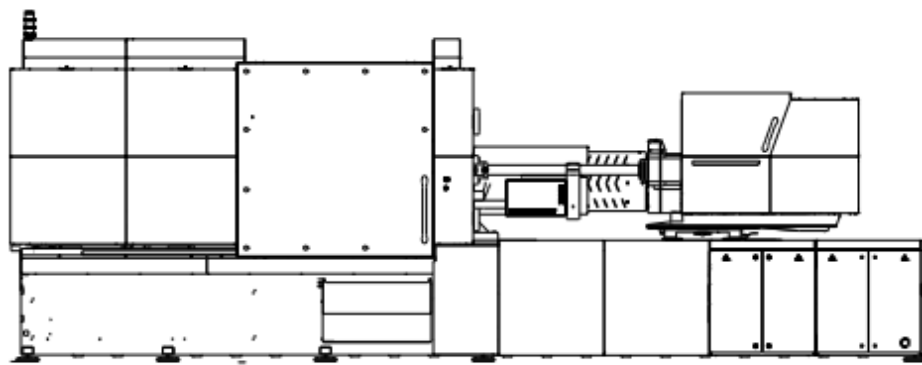
## Pump capacity



## Technical data

Product attribute	Unit	TT-168 E/A	TT-168 H/A
Temperature range max.	°C	Up to 90°C with water	Up to 90°C with water
Temperature control		Self-optimizing, electronic microprocessor controller MP-888 with digital display of the set and actual value. Automatic temperature monitoring.	
Flow control		Electronically, with digital display and automatic control of the minimum flow.	
Heating capacity water	kW	<b>18 kW</b>	<b>18 kW</b>
Switchable in stages		9/9	9/9
Cooling capacity		<b>45 kW at 90°C - see diagram</b>	
Pump capacity			
Motor	kW	0,75 kW	1,5 kW
Pressure mode		Max. 4,0 bar Max. 60 l/min	Max. 7,0 bar Max. 60 l/min
Vacuum mode		Vacuum max. 8 mH <sub>2</sub> O	
Filling amount		Min. 16 litres, max. 20 litres	
Connections			
Medium		½" BSP female thread	
Cooling water			
Inlet		With water filter ½" BSP female thread	
Outlet		½" BSP male thread	
Dimensions (LxWxH)	mm	710x325x785 mm, incl. castors	
Weight	kg	Approx. 67 kg empty	
Colour		Silvergrey RAL 7001	

**PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST PRO VSTŘIKOVACÍ STROJ  
ALLROUNDER 630 S – 2500 – 800 (50)**



**ALLROUNDER 630 S**

**Clamp-Design**

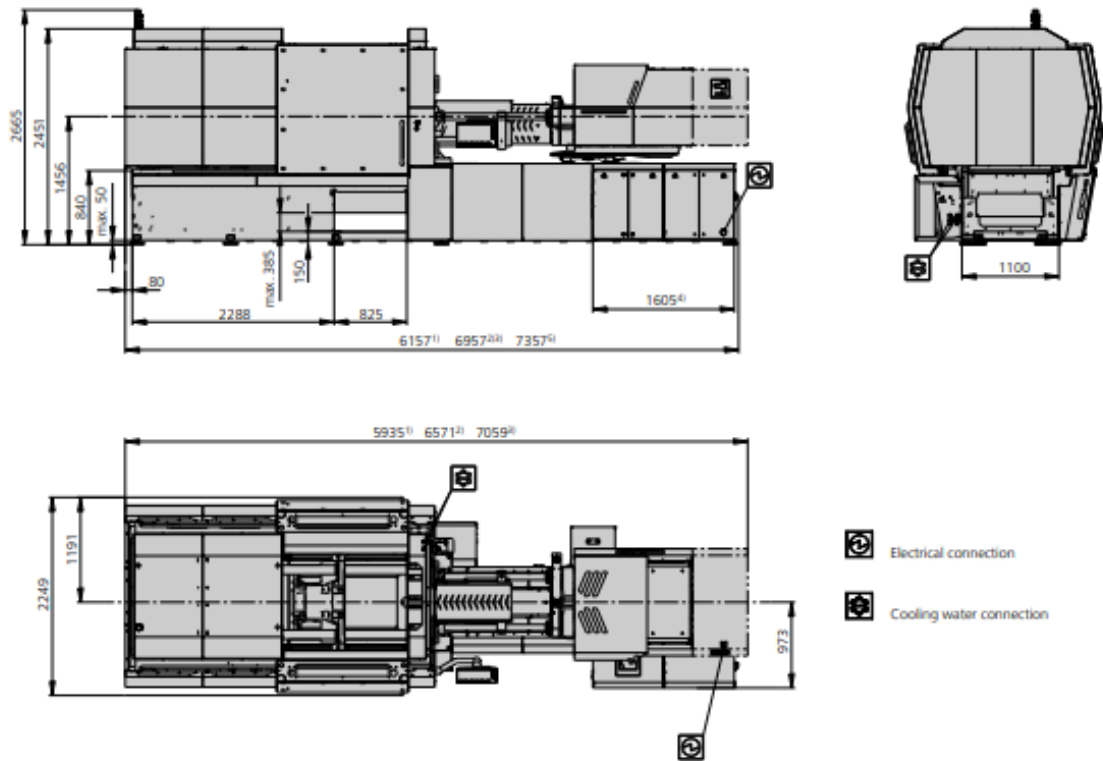
Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

**ARBURG**

## MACHINE DIMENSIONS | 630 S



- 1) Injection unit 900
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100
- 4) Subject to performance variant and injection unit size
- 5) Injection unit 2100 and hydraulic accumulator

## TECHNICAL DATA | 630 S

Clamping unit			630 S		
with clamping force	max. kN		2500		
Opening force   stroke	max. kN   mm		725   600		
Mould height, fixed   variable	min. mm		700   [300-700]		
Platen daylight fixed   variable	max. mm		1300   [900-1300]		
Distance between tie bars (w x h)	mm		630 x 630		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		900 x 900		
Weight of movable mould half	max. kg		2500		
Ejector force   stroke	max. kN   mm		90   225		
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	1 pump	min. s - mm	3,8 - 441		
	2 pumps	min. s - mm	2,3 - 441		
	Accum.	min. s - mm	1,7 - 441		

Injection unit			800			1300			2100		
with screw diameter	mm		45	50	55	55	60	70	60	70	80
Effective screw length	LD		22	20	18	22	20	17	23	20	17,5
Screw stroke	max. mm		200			240			280		
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>		318	392	474	558	664	904	792	1078	1407
Shot weight	max. g PS		291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Material throughput	max. kg/h PS		46	53	59	86	96	115	125	145	175
	max. kg/h PA6.6		23	27	30	43	48	58	62	74	88
Injection pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Injection flow <sup>2</sup>	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	242	300	364	238	284	388	---		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	---		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm		880			1510	1640	1920	2140	2500	2550
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm		70   400			90   550			110   600		
Heating capacity   zones	kW		19,9   8			22,9   8			31,1   8		

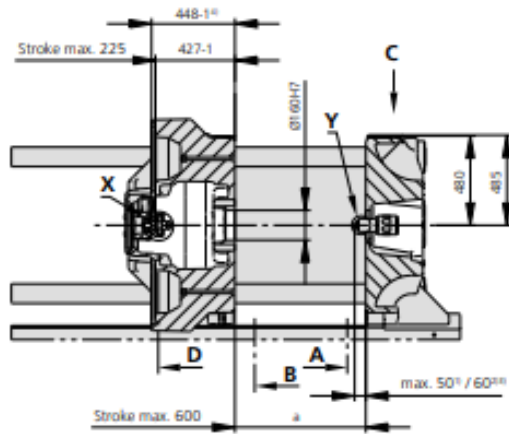
Drive and connection			1 pump (servo)			2 pumps			Accum.		
with injection unit			800	1300		800	1300	2100	800	1300	2100
Net weight of machine	kg		12200	12500		12200	12500	13200	---		
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)		< 65			73   3			< 70		
Oil filling	l		330	410		330	410	410	360	460	530
Drive power <sup>2</sup>	max. kW		45	45		45	45	55	30	37	45
Electrical connection <sup>3</sup>		kW	68	74		68	71	89	53	63	70
	Total	A	---			---			---		
	Machine	A	125	125		100	100	125	80	100	125
Cooling water connection		A	50	50		35	35	50	25	35	50
		max. °C	30			30			30		
	min. Δp bar	1,5   DN 25			1,5   DN 25			1,5   DN 32			

Machine type	
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>	Drive
630 S 2500-800	1   2   Accum.
630 S 2500-1300	1   2   -
630 S 2500-2100	1   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 W50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.

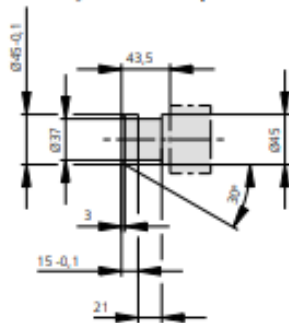
## MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S



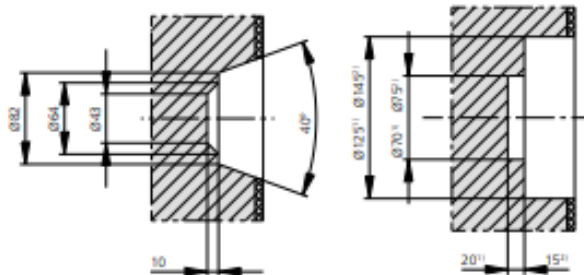
Mould installation height	a min.	a max.
Fixed	700	1300
variable, manually	[400, 500, 600]	[1000, 1100, 1200]
variable, automatically	300-700	900-1300

[ ] Specifications apply to alternative equipment

**Ejector bolt | X**

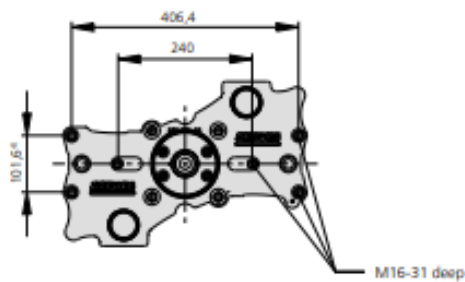


**Bore in mould (if required) | Y**

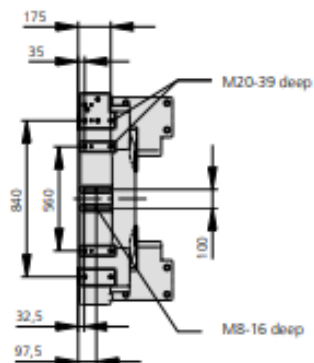


Injection unit 800<sup>1)</sup> and 1300<sup>1)</sup>  
Thermoset execution -  
2100 injection unit on request

**Ejector plate | D**



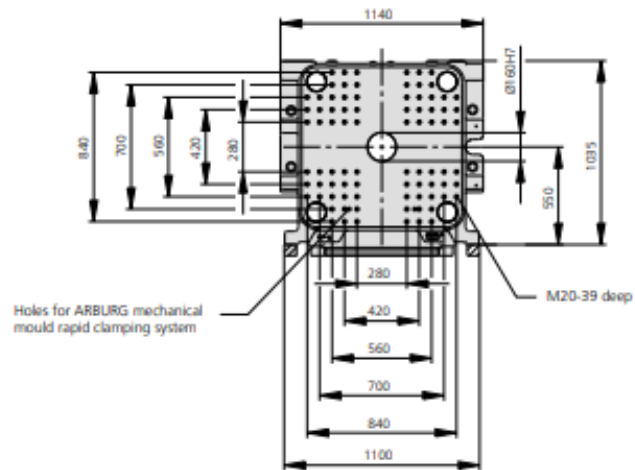
**Robotic system mounting | C**



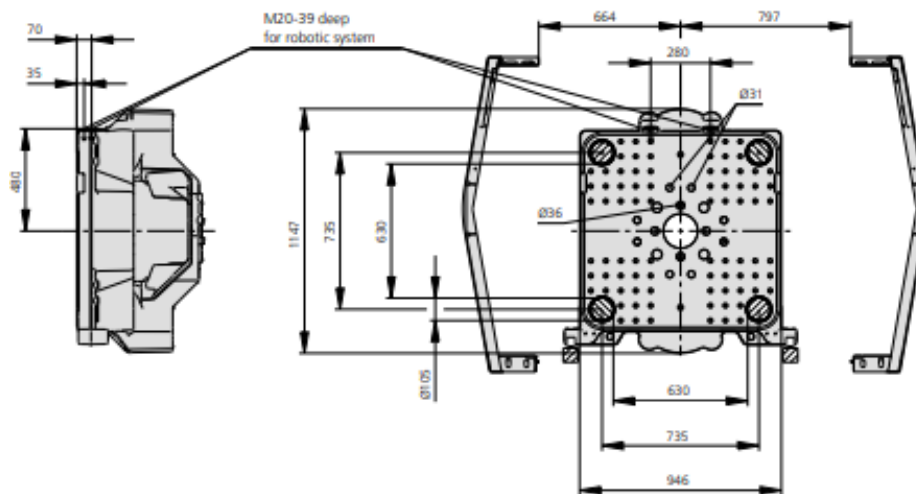
- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100
- 4) Positions of ejector plate

## MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S

### Fixed mould mounting platen | A



### Moving mould mounting platen | B



## SHOT WEIGHTS | 630 S

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

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FER, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value

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