

# Optimalizace krytu předního čidla a nástroje pro jeho zpracování

Bc. David Suchomela

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Suchomela**  
Osobní číslo: **T17276**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace krytu předního čidla a nástroje pro jeho zpracování**

Zásady pro vypracování:

- Vypracovat literární studii pro dané téma
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti
- Optimalizace dílu pomocí SW Mouldflow
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl a provedení analýzy procesu vstřikování

Rozsah diplomové práce: **cca 60 stran**  
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. 1. vydání – Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.**
2. **REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.**
3. **OSSWALD, T. A. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

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

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je optimalizace krytu předního čidla a návrhu vstřikovací formy pro jeho zpracování. Teoretický část je zaměřena na polymery a jejich přípravu před následným zpracováním, technologii vstřikování, konstrukční zásady vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem a na optimalizaci procesu vstřikování.

Praktické části je řešena optimalizace plastového dílu v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 a je zde popsán samotný návrh konstrukce vstřikovací formy provedený v programu CATIA V5R19 za použití normalizovaných součástí od firem Hasco a Meusburger, který je založen na různých optimalizačních analýzách. Celý návrh vstřikovací formy je podroben tokovým analýzám ve výše zmíněném programu od firmy Autodesk.

**Klíčová slova:** polymery, vstřikování, vstřikovací forma, Autodesk Moldflow, CATIA V5R19.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to optimize the front sensor cover and design the injection mold for its processing. The theoretical part is focused on polymers and their preparation before subsequent processing, injection molding technology, structural principles of injection molded products and injection molds and on optimization of injection molding process.

The practical part deals with the optimization of the plastic part in the program Autodesk Moldflow Synergy 2016 and it describes the design of the injection mold made in the program CATIA V5R19 using standardized components from Hasco and Meusburger, which is based on various optimization analyzes. The entire injection mold design is subject to flow analysis in the above-mentioned Autodesk program.

**Keywords:** polymers, injection molding, injection mold, Autodesk Moldflow, CATIA V5R19

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi Ph.D. za jeho odborné rady, konzultace a čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

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 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 PLASTY .....	13
1.1.1 Termoplasty.....	14
1.1.2 Amorfnní termoplasty .....	14
1.1.3 Semikrystalické termoplasty .....	15
1.2 ELASTOMERY .....	16
1.2.1 Kaučuky .....	16
1.2.2 Termoplastické Elastomery.....	17
<b>2 TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY PLASTŮ</b> .....	<b>18</b>
2.1 TECHNOLOGIE GRANULACE.....	18
2.2 TECHNOLOGIE RECYKLACE .....	19
2.3 DOPRAVA MATERIÁLU.....	20
2.4 SUŠENÍ .....	21
<b>3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>22</b>
3.1 PODSTATA A PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	22
3.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	23
3.2.1 Vstřikovací jednotka .....	24
3.2.2 Šneky vstřikovacích strojů .....	25
3.2.3 Uzavírací jednotka .....	26
3.2.4 Kontrolní a řídicí jednotka .....	27
<b>4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>28</b>
4.1 TLOUŠŤKA STĚN .....	28
4.1.1 Stejněměrná tloušťka stěn.....	29
4.2 KONSTRUKCE ŽEBER .....	29
4.3 ZAOBLENÍ HRAN A ROHŮ .....	30
4.4 ÚKOSY .....	31
4.5 UMÍSTĚNÍ VTKŮ .....	32
4.6 TOLERANCE A PŘESNOST VSTŘIKOVANÝCH PLASTOVÝCH DÍLŮ.....	32
<b>5 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM</b> .....	<b>34</b>
5.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ DVOUDESKOVÉ FORMY .....	35
5.2 OBVYKLÉ TYPY VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	36
5.3 VTKOVÝ SYSTÉM .....	36
5.3.1 Studené vtokové systémy.....	36
5.3.2 Zásady konstrukce studených vtokových systémů .....	37
5.3.3 Průřezy rozváděcích kanálů .....	38
5.3.4 Vtoková ústí .....	39



5.3.5	Filmové ústí vtoku.....	39
5.3.6	Vějířové a zvonové ústí vtoku.....	40
5.3.7	Tunelové ústí vtoku.....	41
5.3.8	Banánové ústí vtoku.....	41
5.3.9	Vyhřívané vtokové systémy.....	42
5.3.10	Rozvodné bloky .....	43
5.4	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM.....	44
5.4.1	Mechanické vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků.....	45
5.4.2	Vyhazování pomocí stíracích desek.....	45
5.4.3	Šikmé vyhazování .....	46
5.4.4	Vzduchové vyhazování .....	46
5.4.5	Hydraulické vyhazování.....	47
5.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	47
5.5.1	Zásady volby temperačního kanálu.....	47
<b>6</b>	<b>OPTIMALIZACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>49</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÝ SOFTWARE .....</b>	<b>52</b>
8.1	CATIA V5R19 .....	52
8.2	HASCO DAKO MODUL.....	52
8.3	KATALOG MEUSBURGER.....	52
8.4	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016 .....	52
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>OPTIMALIZACE DÍLU .....</b>	<b>54</b>
10.1	VYTVOŘENÁ SÍŤ .....	54
10.2	ZJIŠTĚNÍ OPTIMÁLNÍHO UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	55
10.3	VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU PRO VÝROBEK A JEHO APLIKACI .....	56
10.3.1	PP+EPDM T15.....	56
10.3.2	PC+PBT .....	56
10.3.3	PA+ABS 10 %GF .....	57
10.3.4	PA+PE T20 .....	57
10.3.5	Analýzy jednotlivých materiálů a určení jejich vhodnosti.....	58
10.4	VZDUCHOVÉ KAPSY NA VSTŘIKOVANÉM VÝROBKU .....	59
10.5	STUDENÉ SPOJE .....	60
<b>11</b>	<b>3D NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>61</b>

11.1	DĚLÍCÍ ROVINA A ZAFORMOVÁNÍ.....	62
11.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	63
11.3	VTKOVÁ SOUSTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	65
11.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	66
11.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	70
11.6	TRANSPORT A ZAJIŠTĚNÍ FORMY .....	72
<b>12</b>	<b>TOKOVÉ ANALÝZY.....</b>	<b>73</b>
12.1	ČAS PLNĚNÍ .....	74
12.2	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE.....	74
12.3	ANALÝZY PRO VOLBU VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	75
12.3.1	Vstřikovací tlak .....	75
12.3.2	Uzavírací síla.....	76
12.3.3	Volba vstřikovacího stroje .....	77
12.4	ČAS POTŘEBNÝ K OCHLAZENÍ VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU NA VYHAZOVACÍ TEPLOTU.....	78
12.4.1	Temperační systém A.....	78
12.4.2	Temperační systém B.....	78
12.4.3	Temperační okruh C.....	79
12.4.4	Porovnání temperačních systémů.....	80
12.4.5	Ovlivnění času potřebného k ochlazení vstřikovaného výrobku vlivem výměny materiálu formy .....	80
12.5	TEPLOTA V TEMPERAČNÍCH OKRUŽÍCH .....	81
12.6	TLAK V TEMPERAČNÍM SYSTÉMU .....	81
12.7	CELKOVÁ DEFORMACE OD VŠECH VLIVŮ.....	82
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

V současné době si život bez polymerních materiálů nedokážeme představit. Plasty se staly nedílnou součástí našich životů. Proto se stále vyvíjejí nové a vylepšují staré technologie zpracování polymerních materiálů. Stále se rozšiřují oblasti použití plastů snad ve všech průmyslových odvětvích. Děje se tak díky jejich vlastnostem, jelikož je velké množství druhů plastů a nespočet jejich kombinací, je možné tak najít polymerní materiál vhodný na zvolenou aplikaci.

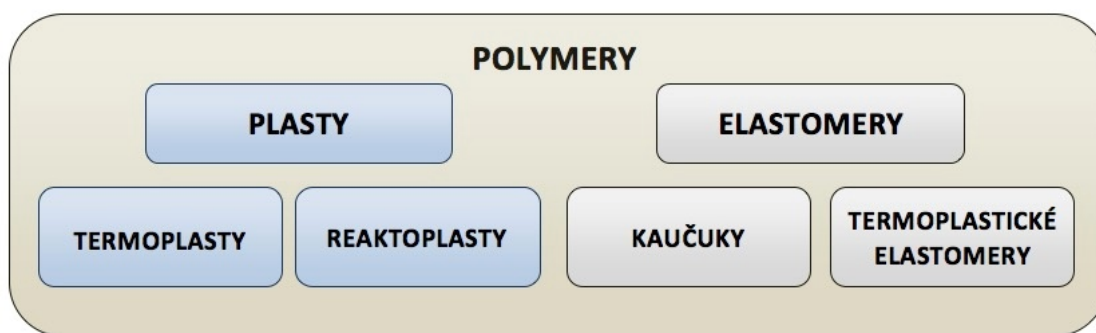
Polymerní materiály se běžně zpracovávají vstřikováním, vytlačováním, tvarováním, vyfukováním a válcováním. Z těchto typů zpracování vyniká proces vstřikování díky své rozšířenosti v průmyslu. Tento proces je založen na principu roztavení polymeru na taveninu a tato tavenina je vstříknuta pod velkým tlakem do uzavřené tvarové dutiny formy. Tady dojde k ochlazení na vyhazovací teplotu, následně výsledný výrobek je z formy vyhozen a proces se může opakovat.

Aby se mohli plasty dále rozvíjet v průmyslu rostou požadavky na přesnost jejich výroby a zvyšování jejich kvality. To zapříčinilo vznik 3D konstrukčních softwarů umožňující jednodušší, rychlejší a ekonomičtější řešení daného problému. Následně na trh přišli analytické a simulační programy. Tyto programy simulují chování polymeru v procesu vstřikování a poskytují tak velmi důležité informace využitelné k úpravám formy i samotného vstřikovaného výrobku. Tento software se stal nedílnou součástí návrhu a konstrukce vstřikovacích forem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Jedná se o chemické materiály syntetického či přírodního charakteru, které obsahují molekuly obrovských rozměrů (tzv. makromolekuly). V řetězcích těchto makromolekul se mnohokrát opakuje základní konstituční jednotka mer. Díky tomu je umožněno poskládat a modifikovat výsledné látky o nečíselném množství složení a vlastností. Polymerní materiály se rozdělují podle chování za normální a zvýšené teploty na plasty a elastomery. Plasty jsou následně děleny na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery se dále dělí na kaučuky a termoplastické elastomery viz obr. 1. [1]



Obr. 1 Základní rozdělení polymerů [2]

### 1.1 Plasty

V dnešní době jsou plasty velmi důležité materiály používané snad všech odvětvích průmyslu. Na rozdíl od obvykle používaných materiálů je možné použít velice efektivních metod technologií výroby a dosáhnout značně vyšších hodnot využití materiálu (90 až 95 %). Oproti tradičním materiálům je produkce plastů velmi zajímavá z hlediska spotřeby energie, zvláště ve zpracovatelském procesu je v různých případech o poznání nižší (např. výroba plastových lahví proti shodným skleněným láhvím je rozdíl až třiceti násobný). Oproti kovům, které jsou složeny z krystalických mřížek, jsou složeny z makromolekulárních řetězců. [3,4]

Polymery jsou za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Plastickými a tvarovatelnými se stávají za zvýšených teplot. Polymery, u kterých je změna z plastického do tuhého stavu opakovatelná jsou označovány jako termoplasty. Avšak jestli se jedná o změnu nevratnou (neopakovatelnou), jelikož je výsledkem chemická reakce mezi molekulami většinou ze zvýšené teploty, je řeč o reaktoplastech. [1]

### 1.1.1 Termoplasty

V dnešní době se nachází na trhu přibližně 50 druhů plastů. Termoplasty z toho tvoří asi 80 %. Jak z ekologického, tak ekonomického hlediska jsou tyto materiály výhodné. Recyklace výrobků termoplastů lze snadno a téměř bez odpadu, popřípadě jdou dále při recyklaci modifikovat. Zpracovávají se tvářením z taveniny, jde tedy o materiály teplem tvárné. Technologie vstřikování je pro velkosériovou výrobu plastových výrobků nejpoužívanější z tvářecích technologií. [5]

Rozdělení termoplastů na amorfní a semikrystalické je velmi důležité hledisko vlastního procesu vstřikování i z hlediska aplikačního použití, protože jejich chování při zahřívání a následném vstřikování je pro obě skupiny různé. Toto chování se projeví i ve vlastnostech finálních výstřiků. V tabulce 1. je uvedeno porovnání obou skupin z hlediska vybraných vlastností. Vyráběné množství semikrystalických polymerů je menší než amorfních, tento poměr je opačný pro technicky náročné aplikace: semikrystalické polymery se na tzv. konstrukčních termoplastech podílejí až 75 procenty. [5]

Tab. 1 Porovnání z hlediska vybraných vlastností [5]

Vlastnost	Amorfní polymery	Semikrystalické polymery
Mechanické vlastnosti (základní)	o	+
Ohybová pevnost	-	+
Vrubová citlivost	-	+
Tok za studena	+	o
Chemická odolnost	-	+
Teplota použití	o	+
Kritická teplota při zahřívání	$T_g$	$T_m$
Smrštění proti formě [%]	0,3-0,8	1-3

Legenda: + Výhodnější (lepší); - méně výhodné (horší); o průměrné (stejně)

### 1.1.2 Amorfní termoplasty

Transparentnost patří mezi typické znaky mnohých druhů amorfních termoplastů (např. PS, PMMA, PC, SAN). Při výrobě rozměrových přesných dílů a součástí jsou tyto polymery zvýhodněny, protože se vyznačují relativně nízkým smrštěním proti formě (pod 1 %). Teplota  $T_g$  (teplota skelného přechodu) je dominantní z hlediska vstřikování a samostatné aplikace. Z hlediska vyhazovací teploty z formy a hranice teplotního použití je tato teplota limitní. Jen asi 20 % je určeno pro technologii vstřikování z celkového množství vyráběných amorfních termoplastů. Tyto polymery jsou pro automobilový průmysl nepostradatelné díky

svým vynikajícím optickým a mechanickým vlastnostem, kde se aplikují na světelnou techniku, nejvíce PMMA a PC. [5]



Obr. 2 Výstřiky z amorfních termoplastů [5]

1 – styrenové polymery (PS, SB, SAN); 2 – terpolymer ABS; 3 – polymerní blend PC/ABS; 4 – polymetylmakrylát PMMA; 5 – polykarbonát PC

### 1.1.3 Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty (např. PE, PP, PA, POM, PBT a další) se vyznačují schopností vytvářet z taveniny krystalickou strukturu. Krystalický podíl může dosáhnout obsahu až 80 % v závislosti na technologických podmínkách vstřikování a chemické stavbě polymeru. Například u PA je obsah krystalického podílu 15 až 40 %, u lineárního PE 50 až 65 %, u PP 50 až 60 % a u POM 65 až 80 %. Tohle způsobuje 1 až 2,5 % smrštění výstřiků proti formě. Standardní semikrystalické polymerní výstřiky nemohou být transparentní jako polymery amorfní z důsledku tvorby sférolitické struktury. Vlastnosti tuhost, pevnost a houževnatost jsou závislé na obsahu krystalického podílu, a proto je ochlazovací fáze výrazně ovlivňuje (z technologických parametrů tedy především teplota formy). U semikrystalických polymerů je z hlediska procesu vstřikování teplota  $T_g$  málo významná. Teplota bodu tání krystalického podílu ( $T_m$ ) je významná pro tyto polymery. Výstřiky si zachovávají určitou tuhost a pevnost a nebortí se až do této teploty, oblast taveniny je nad touto teplotou (viskózně tekutý

stav), v níž probíhá proces vstřikování. Technické výrobky, které jsou více či méně mechanicky namáhané jsou významnou aplikační oblastí těchto polymerů. Mezi nejvíce využívané patří různě modifikovaný PP, PA, PET, PBT a POM.



Obr. 3 Výrobky ze semikrystalických termoplastů [5]

1 – polyoxymetylen POM; 2 – polyamidy PA 6, PA 66; 3 – polypropylen a kopolymery PP; 4 – polyethyleny PE

## 1.2 Elastomery

Jsou tak nazývány elastické polymery, které lze při běžných podmínkách bez porušení malou silou značně deformovat. Deformace je převážně vratná. Jejich zesíťování probíhá pomocí vulkanizace, což je proces, při kterém působí teplota, tlak, vulkanizační činidlo a případně další složky. Před zesíťováním se dlouhé molekulární řetězce mohou vzájemně posouvat, vykazují malou pružnost. Po zsvulkanizování dojde k zesíťování řetězců, pokud je materiál vystaven zatížení a následnému odlehčení, řetězce se navrátí do původní polohy. [4,6]

### 1.2.1 Kaučuky

Kaučuky jsou polymery, které lze převést na elastomer (pryž) za pomoci řídkého zesíťování. Vyskytují se buď v přírodní nebo syntetické podobě (surovinovou základnou je ropa). Proces síťování je nazýván vulkanizace. Vulkanizace běžně probíhá za pomoci síry za teplot (140



÷ 160) °C (případně za pomoci peroxidů aj.). Mezi původně lineárními makromolekulami kaučuku atomy síry vytváří příčné vazby (C-S-C). Pro základní typ vulkanizovaného kaučuku se používá (2 ÷ 3) % síry, pro polotvrdou pryž (10 ÷ 20) % a tvrdou pryž (ebonit) více než 20 % síry. Pryž se nezhotovuje pouze z čistého kaučuku, ale z gumárenské směsi. V této směsi krom kaučuku a vulkanizačních činidel jsou také obsaženy stabilizátory, plastifikátory, retardéry, antidegradanty, urychlovače a jiné pomocné látky. Vulkanizát (pryž) je elastický v širokém rozmezí teplot za to surový kaučuk je za studena tuhý a nepružný a za tepla lepivý [2]

### 1.2.2 Termoplastické Elastomery

Termoplastické elastomery v současné době zaujímají významnou oblast polymerních materiálů, vznikající za pomoci kopolymerace (např. styrenové kopolymer, kopolyestery, termoplastické polyolefiny a polyuretany, polyeteramidy, etylenvinylacetát, a terpolymery) anebo za pomoci mísení základního polymeru (např. PA, PP) s elastomerní složkou (např. NR, EPDM). Využívání polymerních kompabilizátorů zajistilo značný rozvoj těchto materiálů. Tyto kompabilizátory vylepšují mezifázovou adhezi a také zlepšují dispergaci složek a tím je umožněna příprava směsí prakticky z libovolných kombinací výchozích polymerů. Klasicky síťované elastomery (kaučuky) mají sice lepší vlastnosti než termoplastické elastomery, ale jejich velkou výhodou je velmi snadné vstřikování. [5]



Obr. 4 Výrobky z termoplastických elastomerů [5]

1 – TPE na bázi polyolefinů (Santoprene); 2 – TES (Multiflex); 3 – SIR (slikonový TPE); 4 – EVA (kopolymer etylenvinylacetát); 5 – PE/EPDM; 6 – kopolymer SEBS (Termoplast K)

## 2 TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY PLASTŮ

Před technologickým zpracováním plastů a kompozitů je nutno připravit nebo upravit plast dle požadovaných vlastností za pomoci technologických postupů a procesů. Tyto technologické postupy a procesy slouží např. k dopravě plastů, k recyklaci plastů, k přidávání různých přísad do plastů, k sušení plastů apod. Technologie přípravy plastů neslouží jenom k ovlivnění konečných vlastností plastů, ale i k přípravě dopravy a dávkování plastů. Technologie přípravy a zpracování plastů patří např. technologie míchání, technologie hnětení, tabletování, recyklace, granulace, sušení a doprava materiálu. [8]

### 2.1 Technologie granulace

Pro samotný proces zpracování se plasty v technologických procesech používají v různém tvaru. Používaným tvarem mohou být například granule, pasty, kaše, premixy, rozemleté plasty (recykláty), kapaliny, ale i polotovary základních geometrických tvarů. Granule jsou pro technologické procesy zpracování jedním z nejpoužívanějších tvarů, které mohou nabývat tvarů čoček, krychle, válečků atd. Sypná hmotnost granulí je dobrá, velmi dobře je lze míchat s dalšími materiály a také dobře dávkovat. [8,11]



Obr. 5 Příklady tvaru granulí termoplastů [8]

Granulace je technologie, jak už název napovídá, která se využívá pro výrobu granulí. Využívá se dvou metod granulace plastů, a to granulace ze strun a taky granulace ze strun. Oba typy granulací se provádějí za tepla i za studena. Výběr správné technologie pro granulaci je závislý na tekutosti a tvrdosti zpracovávané taveniny, také na se musí brát ohled na ekonomii procesu. [8,11]

## 2.2 Technologie recyklace

Při zpracování plastů a kompozitů vznikají určitá část výrobků, které nesplňují předepsané nebo chtěné požadavky z různých důvodů ať už kvality, rozměrů, vlastností a tvaru. Tato část výrobků je nazývána odpad. Tento odpad může být znova využit pro další zpracování plastů, a díky tomu se recyklace dá zařadit mezi přípravné technologie.

Plastový odpad se dá dělit na dva typy, a to na technologický a užitný odpad. Technologický odpad vzniká při samotné výrobě. Jsou to vtokové systémy, vadné výrobky, odstříky atd. Pod užitný odpad se řadí plasty, které byly používány ve všech možných aplikacích. Například tříděný plastový odpad z domácností, automobilů, a jiných odvětví. U těchto dílů se projevuje proces stárnutí, tedy dochází k nevratným změnám vlastností plastů, snad v každé možné podobě. Technologický odpad je možno vracet do výroby, protože se jedná o materiál s velmi podobnými vlastnostmi jak původní polymer. Naopak užitný odpad je z valné většiny znehodnocen jak změnou vlastností, tak i znečištěním, povrchovými úpravami, kaširováním atd. A proto je jeho využití velmi omezené. [8,11]



Obr. 6 Technologický odpad – PE [8]

### 2.3 Doprava materiálu

Dopravou materiálu se rozumí dodání suroviny až ke zpracovatelskému stroji. Materiál je dopravován z chemických závodů, který je již připraven pro zpracování. Je dopravován v různých formách, a to ve formě granulí, prášků, balíků, pasty nebo kapalin. Do výrobních závodů se výchozí surovina dodává buď v pytlích o váze 20 a 25 kg, ve velkých pytlích o vážících až 500 kg, oktábínech nebo v cisternách. Samotná manipulace a následné skladování by nemělo mít negativní vliv na kvalitu a vlastnosti dodávaného materiálu. [8,11]



Obr. 7 Granulát polymeru v pytlích a oktábínu [8]

V menších podnicích se většinou využívají pytle. U velkých firem se většinou využívá venkovních sil, která lze naplnit až 20 tunami materiálu. Ta jsou plněna přímo z cisteren. [8,11]



Obr. 8 Sila pro granulát a ukázka plnění z cisterny [8]

## 2.4 Sušení

Vzhledem k tomu, že některé materiály přišly v předchozích operacích ke styku s vodou je nutné počítat s technologickou operací sušení. Většinou se musí sušit materiály, které prošli operacemi, jak je suspenzní nebo emulzní polymerace nebo při granulaci hmoty, kdy je polymer chlazen vodní lázní. Jelikož jsou některé plasty navlhavé a nasákavé, tak je za potřeby před samotné zpracování zakomponovat proces sušení. Provádí se, proto aby se materiál dosáhl správných vlastností. [7,9,11]

Tab. 2 Rozdělení plastů dle obsahu vlhkosti [8]

Skupina plastů	Příklady plastů	Obsah vlhkosti
Nenavlhavé	PE, PP, PS, PTFE	Méně než 0,1 %
Málo navlhavé	ABS, SAN, PC	0,1 až 0,5 %
Středně navlhavé	POM, PMMA, PVC, PA11	0,5 až 2 %
Silně navlhavé	PA6, PA66, PUR	Více než 2 %

Samotné sušení granulátu probíhá buď v sušičkách, anebo v samotných plastikačních jednotkách strojů. Tyto stroje ale musejí být vybaveny odplyněním. V sušičkách bývá teplota granulátu od 70 do 120 °C. Za to v plastikačních jednotkách s odplyněním je teplota od 190 do 350 °C. Zbylá vlhkost v polymerech po plastikaci se může projevit vznikem bublin během odstříku. [7,9,11]

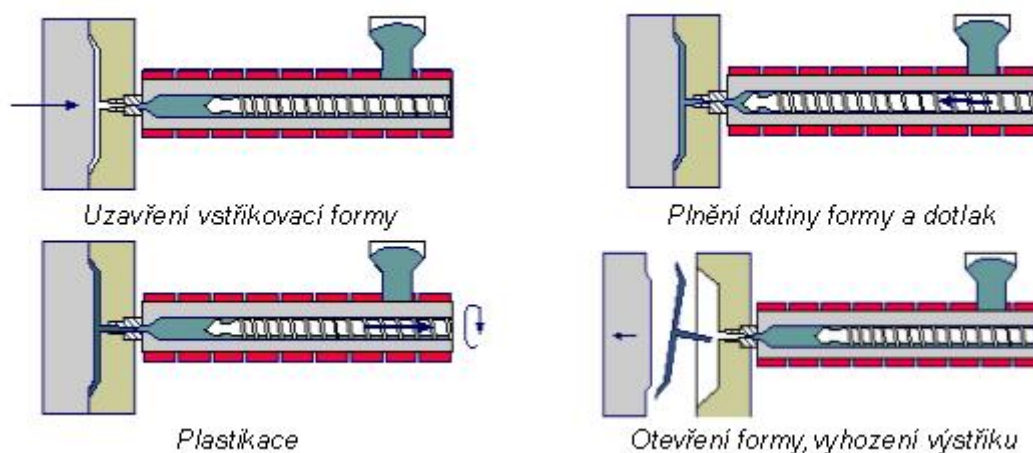
### 3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

V současné době je technologie vstřikování jedna z nejdůležitějších a nejrozšířenějších technologií, která se používá pro zpracování plastů a kompozitů, pro výrobu plastových dílů pro širokou oblast průmyslových aplikací, od spotřebního průmyslu až po zbrojní průmysl. Škála využití této technologie se táhne přes automobilový, letecký, medicínský, vojenský a potravinářský průmysl.

Vstřikováním jsou vyrobeny výrobky, které jsou vyráběny jako konečný díl, polotovár nebo jednotlivé součástky k zhotovení celého výrobku. Tyto výrobky mají dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost. Při vstřikování plastů se jedná o proces cyklický, diskontinuální. Technologie vstřikování je vhodná téměř pro všechny druhy termoplastů. Touto technologií se dají vstřikovat i některé reaktoplasty a kaučuky, ale pouze v omezené míře. [7,8]

#### 3.1 Podstata a princip technologie vstřikování

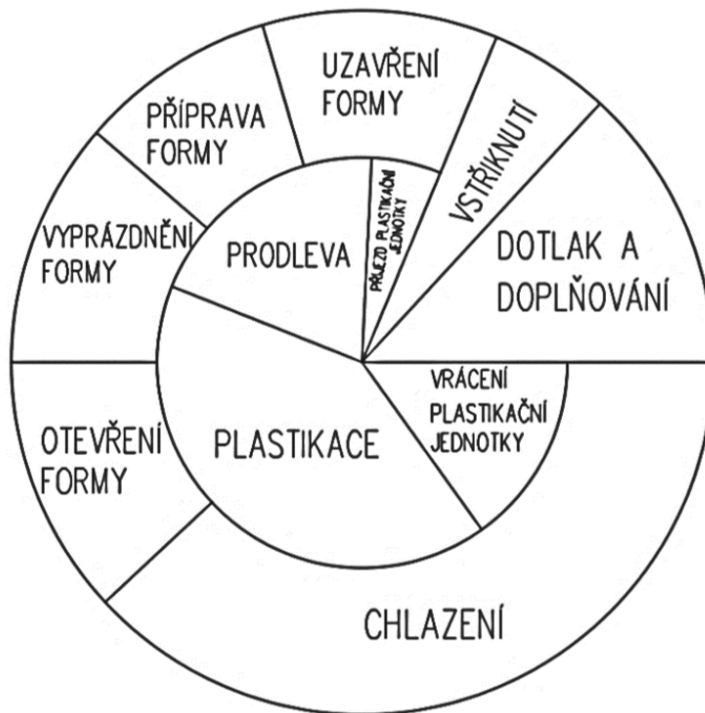
V technologii vstřikování plastů je dávka materiálu ve formě taveniny vstříknuta za pomoci šneku nebo pístu velkou rychlostí z plastikační komory do uzavřené tvarové dutiny vstřikovací formy. Tady tavenina vlivem odvodu tepla ztuhne ve finální výrobek. [8,9]



Obr. 9 Vstřikovací cyklus [7]

Technologie vstřikování – princip: plast často používaný v podobě granulí, případně recyklátu je vložen do násypky. Z níž je následně odebírán šnekem nebo pístem vstřikovacího stroje, který hmotu přepravuje do tavicí komory. V této komoře dochází k tání vlivem třetí a topných těles a vzniká tavenina. Tato tavenina je následně vstříknuta do tvarové dutiny formy. Následujícím krokem je dotlaková fáze, která snižuje smrštění a rozměrové změny.

Forma odeberá teplo vstříknutého plastu a ten následně ztuhne ve tvaru finálního výrobku vlivem ochlazení. Poté dochází k otevření formy a vyhození výrobku. Výrobní cyklus je tedy ukončen a může se cyklicky opakovat. [8,9]

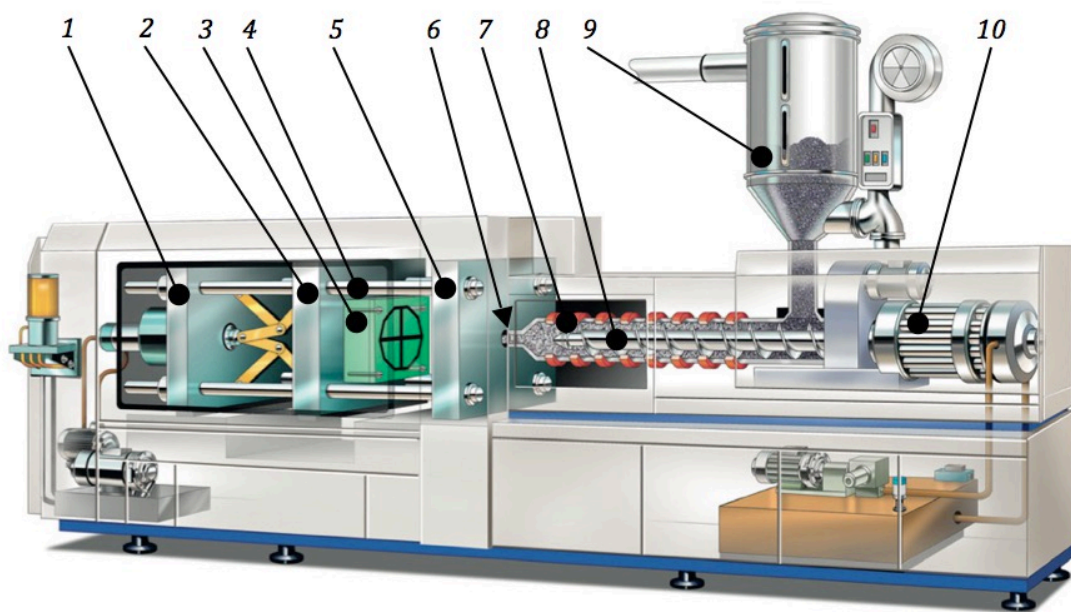


Obr. 10 Časový sled vstříkovacího cyklu [10]

### 3.2 Vstříkovací stroj

Vstříkovací stroj je nezbytný v technologickém procesu vstříkování v součinnosti se vstříkovací formou a dalšími přídatnými zařízeními. Nejčastěji s temperační jednotkou, která má za úkol řízení a kontrolu tepelných procesů ve formě. Součinnost stroje, formy a temperační jednotky je řízena těmito technologickými parametry: teplotou, tlakem, dobou, dráhou a rychlostí.

Základní vybavení bývá rozšiřováno dalším příslušenstvím. Například transportním a dopravníkovým systémem se zabudovaným sušením, robotem a manipulátorem. [13]



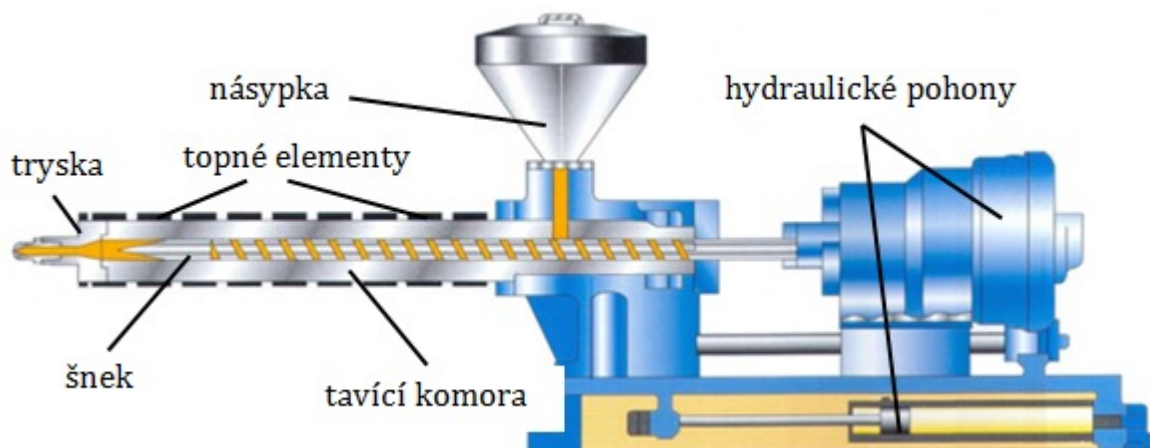
Obr. 11 Vstřikovací stroj [12]

1 – jednotka uzavírací, 2 – levá upínací deska vstříkolisu, 3 – pohyblivá část vstříkovací formy, 4 – vodící sloupky vstříkolisu, 5 – pravá upínací deska vstříkolisu, 6 – čelo špičky vstříkovací trysky vstříkolisu, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – pohonná jednotka šneku

### 3.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka, která je určena pro zpracovávání termoplastů, převádí tuhý polymer do stavu taveniny. Tu musí přesunout do tvarové dutiny vstříkovací formy. Nejpoužívanější vstřikovací jednotky jsou jednotky se šnekem, rotujícím se kolem své osy s dopředným a vratným pohybem. Pohyb vstřikovací jednotky zajišťuje posuvná konzola, na které je vstřikovací jednotka připevněna. Hydraulické pohony vstřikovací jednotky mají za úkol zajištění rotace šneku v procesu plastikace taveniny a jejího přesunu do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tento přesun je zajišťuje dopředný pohyb šneku. Šnek zde působí jako píst vytlačující taveninu z tavící komory. V dnešní době příslušenství vstřikovací jednotky zajišťuje pozici, rychlost šneku a také kontrolovat velikost působících tlaků. Celková konstrukce provedení vstřikovací jednotky a šneku by měla zajišťovat jednoduchou výměnu materiálu i jednotlivých komponent vstřikovací jednotky. [4,7,13]





Obr. 12 Vstřikovací jednotka [13]

### 3.2.2 Šneky vstřikovacích strojů

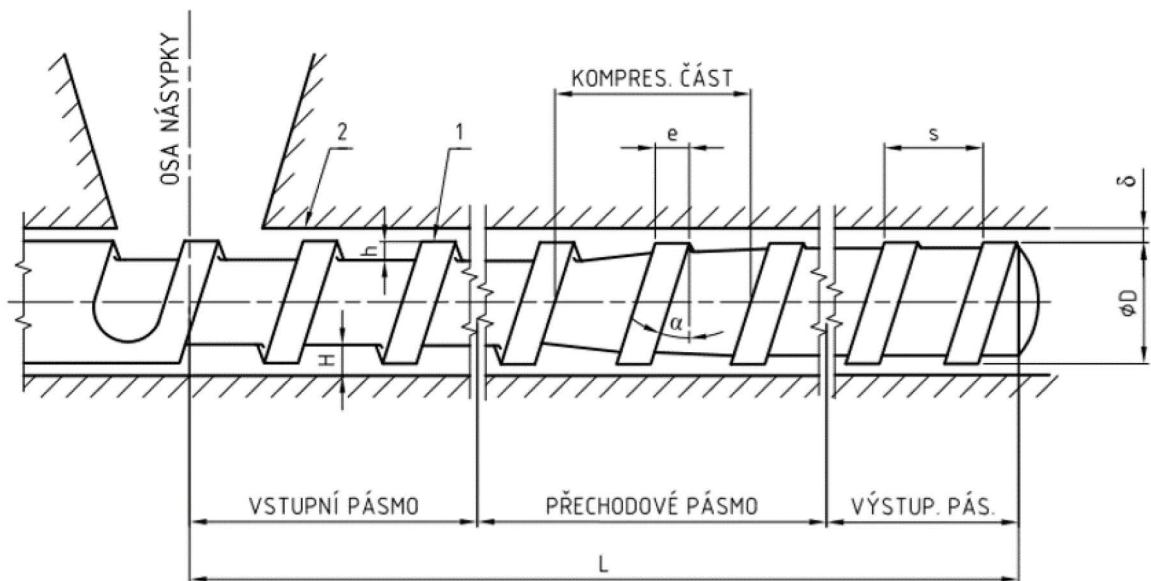
Standartní šneky nemají jednotný profil po celé délce. Šroubovice nemají stejnou hloubku po celé délce. Stoupání šroubovice je proměnné. Obvykle mají šneky tři pracovní zóny.

Zóna dopravní (vstupní) se nachází pod násypkou. Šroubovice i hloubka závitů jsou zde největší. Tato část zajišťuje, aby byl granulát odebrán a dopraven do tavící komory zahříváné topnými elementy.

Zóna kompresní se materiál postupně a intenzivně stlačuje a zároveň je vytlačován vzduch. Šneku se směrem ke špičce postupně zmenšuje stoupání i hloubka šroubovice. Nazývá se kompresní, jelikož je zde materiál intenzivně stlačován.

Zóna homogenizační zajišťuje intenzivní prohnětení taveniny. To způsobí, že má tavenina rovnoměrně rozloženou teplotu.

Dle druhu a typu zpracovávaného polymeru se odvíjí délka jednotlivých pracovních zón šneku.



1 - šnek, 2 - pracovní válec, D - průměr šneku, L - délka šneku, s - stoupání závitů, e - vodící plocha závitů, h - hloubka šnekového profilu, H - hloubka šnekového kanálu,  $\delta$  - poloviční vůle,  $\alpha$  - úhel stoup.

Obr. 13 Schéma jednoduchého šneku

### 3.2.3 Uzavírací jednotka

Upnutí vstříkovací formy a její plynulé pohyby jsou zajišťovány uzavírací jednotkou vstříkovacího stroje. Základními součásti uzavírací jednotky:

- Vodící sloupky
- Pevná upínací deska stroje
- Pohyblivá upínací deska stroje

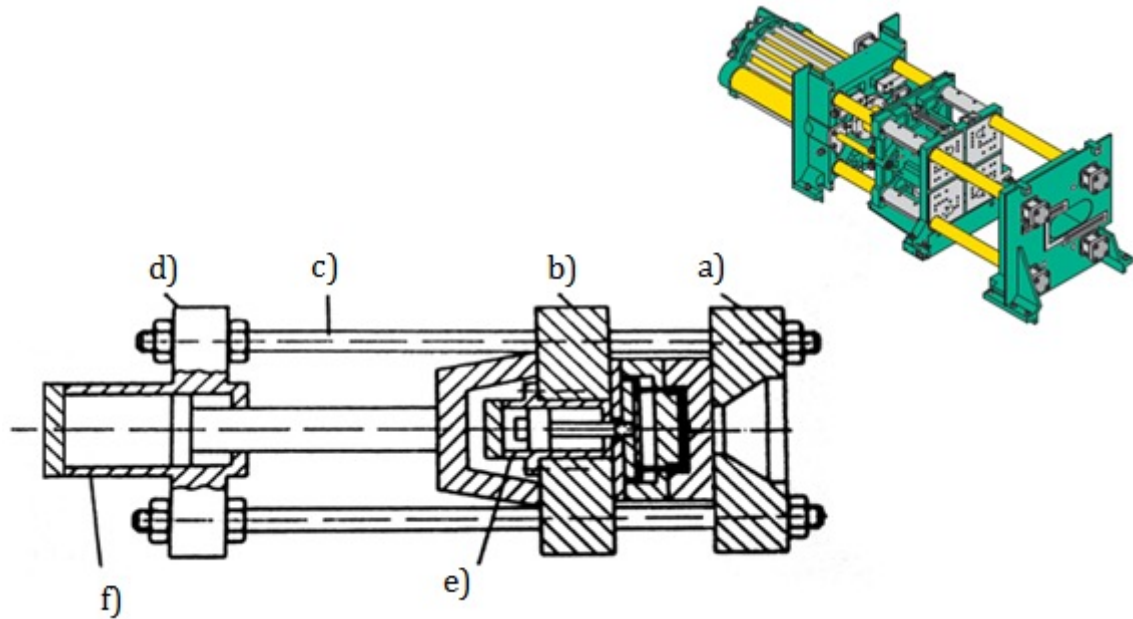
Pevná a pohyblivá deska jsou opatřeny upínacím systémem. Tento mechanismus vytváří uzamykací sílu, která je potřebná pro otevření a uzavření formy. Tato síla je:

- Mechanická – forma se uzavře mechanicky
- Hydraulická – forma je uzavřena pomocí hydraulického pístu

Uzamykací síla může být také vyvozena kombinací obou systémů. Pohony zajišťující pohyby uzavíracích jednotek se dělí na:

- Elektrické
- Hydraulické

Píst hydrauliky bývá napojen na pohyblivou desku nebo sílu přenáší, jako u elektromotoru, mechanický systém. Dle napojení pístu se systémy dělí na hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické. [4,7,13]



Obr. 14 Hydraulická uzavírací jednotka [13]

(a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

### 3.2.4 Kontrolní a řídicí jednotka

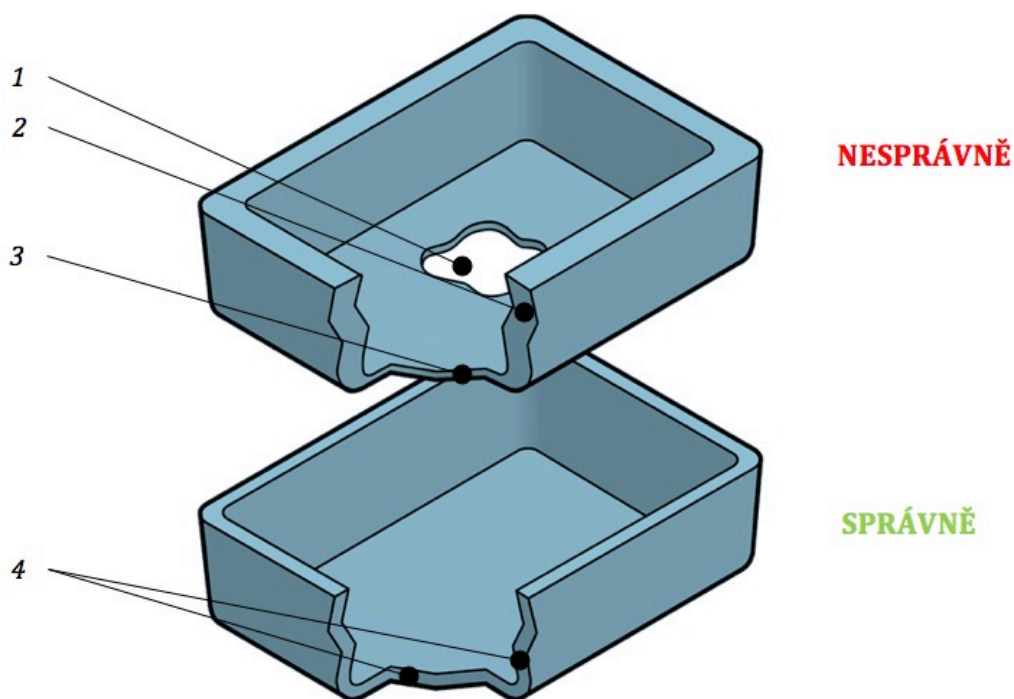
V kontrolní a řídicí jednotce je regulátor, jenž dokáže zpracovat aktuální hodnoty nastavených sledovaných parametrů. Tyto dokáže získat přímo ze systému vstřikovacího stroje. Dále je porovnává se zadanými hodnotami. Při registraci odchylky mimo zadané parametry dorovnáva pomocí regulačních prvků hodnotu na požadovanou úroveň. V dnešní době je systém řízen mikroprocesory, tím je umožněna i automatická optimalizace celého procesu. Kontrolní a řídicí jednotka je vybavena komunikačním rozhraním. Jehož prostřednictvím lze nastavit technologické parametry a tyto aktuálně sledovat. Obsluha se může v komunikačním zařízení pohybovat pomocí dotykového displeje, eventuálně pomocí klávesnice nebo myši. Na komunikačním rozhraní se zobrazují také poruchy, ke kterým došlo během operace. Software je vybaven i statickými a kvalitativními nástroji. Mezi příslušenství patří i signalizační zařízení, které informuje o právě probíhající funkci stroje, eventuálně poruše. [4,13]

## 4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Vstřikované polymerní díly nelze vyrobit ve stejné přesnosti a jakosti jako výrobky kovové. Na kvalitě samotného výrobku se značně podílí vlastnosti použitého materiálu, výrobně technologické parametry, podmínky skladování a manipulace s výrobkem a konkrétní využití dílu v praxi. Konstrukční návrh samotného dílu by měl zohledňovat všechny tyto parametry.

### 4.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěny ovlivňuje velké množství vlastností vstřikovaného dílu. Zejména jde o mechanickou odolnost, celkový vzhled, samotná možnost zpracovatelnosti a ekonomika vstřikovaného dílu. Optimální tloušťkou stěny se rozumí kompromis mezi požadavky: pevnost, hmotnost, trvanlivost, náklady. Musí být dobře provedena rozvaha, aby se co nejvíce eliminovali finančně nákladné úpravy vstřikovací formy. [12,14]

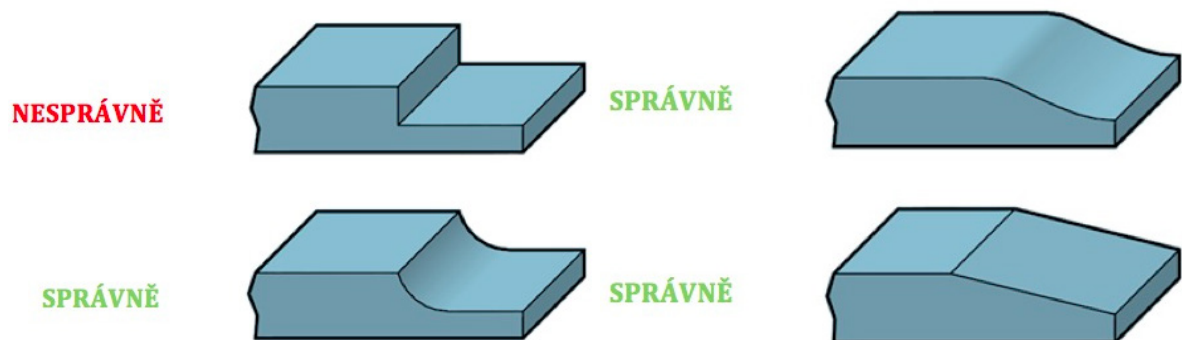


Obr. 15 Vliv tloušťky stěny na technologii výroby plastového dílu [12]

1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, 3 – příliš malá tloušťka, 4 – rovnoměrná tloušťka

### 4.1.1 Stejneměrná tloušťka stěn

Základním pravidlem konstrukce stěn modelu je snaha udržet stejnosměrnou tloušťku stěn v celém modelu. Větší nerovnoměrnosti způsobují problémy jako jsou propady povrchu, vytváření vzduchových kapes a neočekávaná smrštění. A navíc se může dojít k prodloužení celého cyklu. Nezbytná změna tloušťky musí být plynulá, musí umožňovat hladký průtok materiálu, aby se nevytvářela místa s vnitřním pnutím. Což by mělo za následek rozpad dílu, který by zvyšoval náklady na následnou úpravu formy. [15]

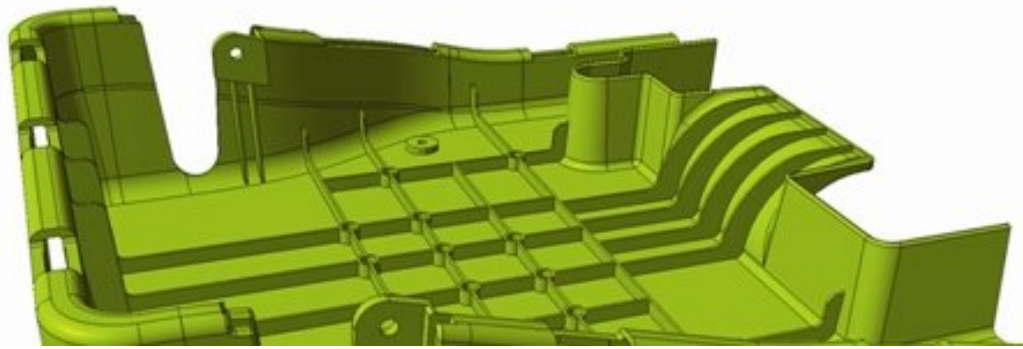


Obr. 16 Příklady vhodných a nevhodných změn tlouštěk stěny [12]

## 4.2 Konstrukce žebor

Žebra jsou součástí konstrukce dílu čistě jen z důvodu navýšení pevnosti. Doporučuje se nekombinovat tlustá žebra s tenkými. K jejich návrhu jsou vypracovány konstrukční standardní metody a zásady: [15]

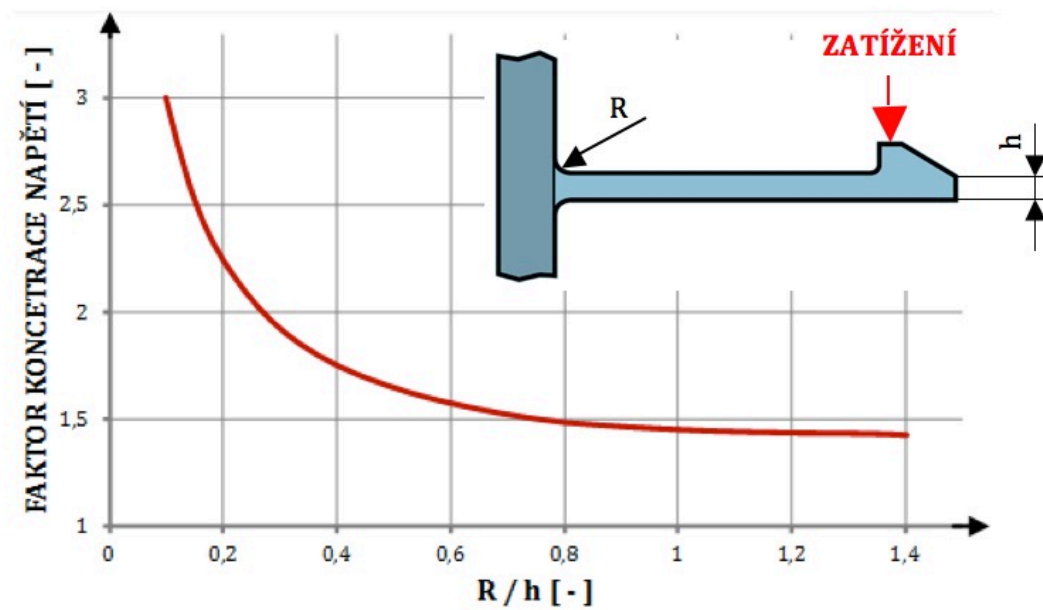
- Tloušťka žebor by měla odpovídat 60 a 80 % tloušťky stěny
- Maximální výška žebor by neměla přesáhnout trojnásobek tloušťky stěny. Aby se navýšila pevnost je doporučeno navýšit počet žebor, nezvětšovat jejich výšku
- Nejmenší vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem jmenovité tloušťky stěny
- Není doporučeno zaoblení hran žebor tak aby poloměr zaoblení přesáhl 50 % tloušťky žebor
- Neumísťovat extrémně tlustá žebra
- Pokud je to možné je doporučeno použití křížení žebor, protože navyšují stabilitu a rovnoměrné rozložení napětí.



Obr. 17 Konstrukce žeber [15]

### 4.3 Zaoblení hran a rohů

Nedoporučuje se, a plastový díl byl konstruován s ostrými rohy. A to z důvodu, že v oblasti ostrých hran vzniká velká koncentrace napětí, která zapříčiňuje snížení mechanické odolnosti plastových výrobků. Doporučuje se hodnota – poměr rádiusu a tloušťky stěny konzoly  $R/h$  0,15. [12,14]



Obr. 18 Vliv velikosti rádiusu na koncentraci napětí [12]

## 4.4 Úkosy

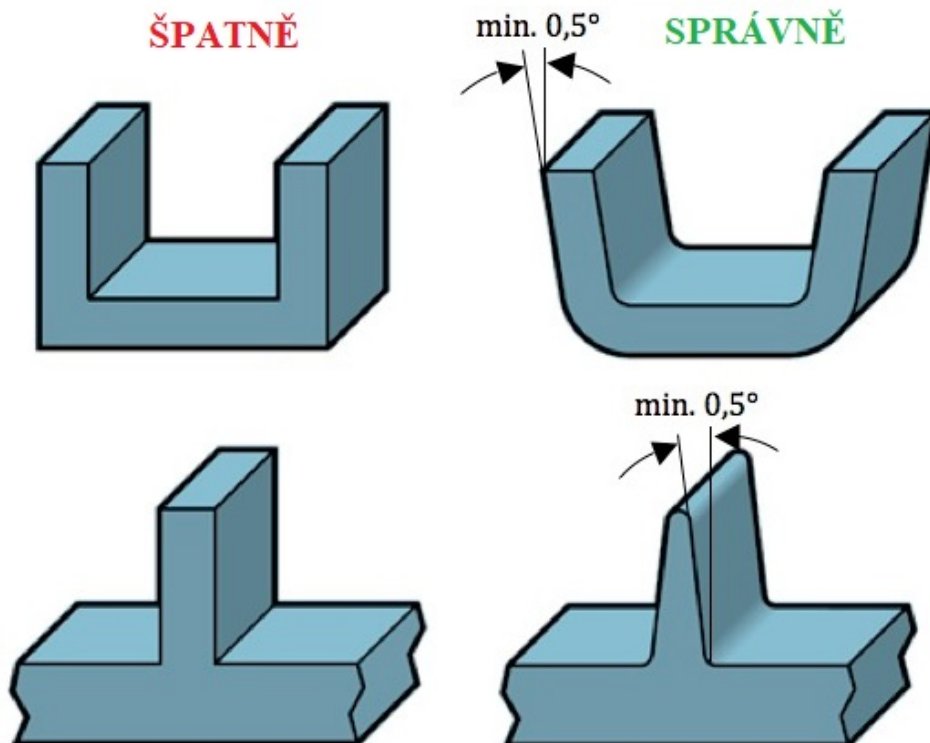
Hlavním důvodem opatření určitých partií vstřikovaného dílu (boční stěny, žebra, komínky apod.) je zlepšení odformovatelnosti vstřikovaného dílu.

Analýza tloušťky stěn umožňuje zjistit potenciální problémy před vytvořením prototypu.

Úkosový úhel představuje důležitý technologický parametr pro bezproblémové vyhození vstřikovaného dílu z formy. Vyhození dílce z formy s nulovým úkosem je možné za pomoci dvoustupňového vyhazování nebo čelistí, ale takovéto formy jsou konstrukčně složité a jejich cena je vysoká. [12,14,15]

Obecná pravidla při konstrukci úkosů u vstřikovaných dílů:

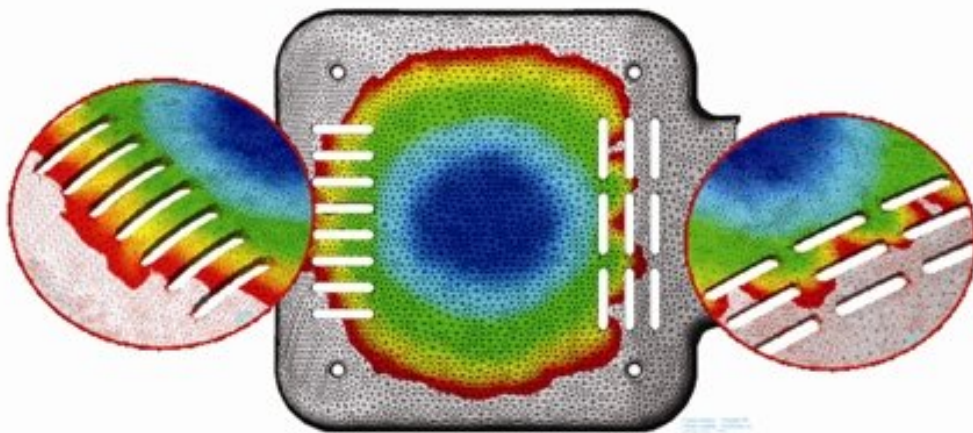
- Čím vyšší vstřikovací tlak, tím větší musí být úkos.
- U hladkých površích musí být minimální úkosový úhel  $0,5^\circ$  pro každou stěnu
- Pro většinu površích je doporučeno použití úkosového úhlu  $1^\circ$
- U površích, které nejsou stejnoměrné se přidává ke standardnímu úkosu  $1,5^\circ$  na  $0,025$  mm hloubky nerovnosti povrchu



Obr. 19 Špatné a správné návrhy úkosů [12]

#### 4.5 Umístění vtoků

Umístění vtoků má zásadní vliv na to, jak se bude chovat tekoucí materiál, jaká bude kvalita povrchu vstříkovaného dílu, množství a velikost studených spojů, smrštění a zvlnění. Ve většině případů se vtok umísťuje do nejtlustší části dílu. Zabrání se tak propadům povrchu způsobené nedostatečným stlačením materiálu. Studené spoj vzniká tam kde se setkávají dva toky materiálu. Oblasti studených spojů jsou pod zatížením náchylné k praskání. Při větší koncentraci studených spojů v kritických částech dílu se doporučuje přemístění vtoků anebo změna tloušťky stěn dílu. [15]



Obr. 20 Vtoková analýza [15]

#### 4.6 Tolerance a přesnost vstříkovaných plastových dílů

Tolerancí se rozumí výroba dílu v určitém rozměrovém rozmezí neboli tolerančním poli. S úžněním tohoto tolerančního pole dosáhneme větší přesnosti. Dosažitelnost tolerančního pole rozměrů pro vstříkované díly ovlivňuje mnoho faktorů. Nejčastěji se jedná o:

- Parametry technologického procesu vstříkování
- Konstrukci vstříkovací formy (výrobní tolerance jednotlivých dílů formy).
- Konstrukci plastového dílu.
- Podmínky okolního prostředí – některé plastové materiály (např. polyamidy) jsou rozměrově citlivé na míru vlhkosti, popř. vlivem různé okolní teploty mohou být indikovány změny rozměrů plastových dílů.

Pro dodržení daných rozměrů v požadované toleranci se doporučuje:



- Díly, které jsou určeny pro přesné aplikace se doporučuje použití materiálů s nízkým smrštěním.
- Vyhnout se předepisování úzkých tolerancí u rozměrů ovlivněných dosedáním obou polovin formy či rozměrů ovlivněných pohyblivými částmi formy (např. pohyblivá jádra).
- Vyvarovat se předepisování příliš úzkých tolerancí dílů a sestav v oblastech, ve kterých je riziko vzniku deformací vlivem vstřikování.
- Vyrábět díly vstřikovací formy co nejbližší na střed tolerančního pole.

Předepisování úzkých tolerancí rozměrů plastových dílů je vhodné pouze v nutných případech. Dle fyzikálních principů nelze vyrábět vstřikované díly ve stejné toleranci jako díly kovové, které jsou obráběny. Tato skutečnost je třeba si uvědomit, protože v praxi často dochází k uvedení takových tolerancí, které nejsou vstřikováním dosažitelné. Takto zvolené tolerance mají za následek zbytečné zdražení nebo dokonce nemožnost realizace. [12,14]

## 5 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

System vstřikovací formy by musí splňovat následující požadavky vycházejících z procesu vstřikování termoplastů:

- Dopravit roztavený polymer do dutiny formy a tuto dutinu zcela zaplnit.
- Tvar výstřiku musí být tvarově stejný jako tvar dutiny formy
- System musí efektivně odvádět teplo, které vzniklo přivedením taveniny polymeru
- Vstřikovací forma musí pracovat tak aby vyhození dílu by rychlé, bezpečné a rychle se opakující.

Dále musí být provedeno zajištění těchto tří hlavních funkcí – doprava taveniny polymeru, odvod tepla, odformování – vyžaduje i přítomnost dalších (vedlejších) funkcí vstřikovací formy. Například funkce dopravy taveniny polymeru vyžaduje, aby:

- Forma byla zkonstruována tak aby nedošlo v důsledku velkých sil k jejímu otevření nebo jakémukoli poškození
- Forma obsahovala vtokový systém spojující trysku vstřikolisu a jednu nebo více dutin vstřikovací formy.

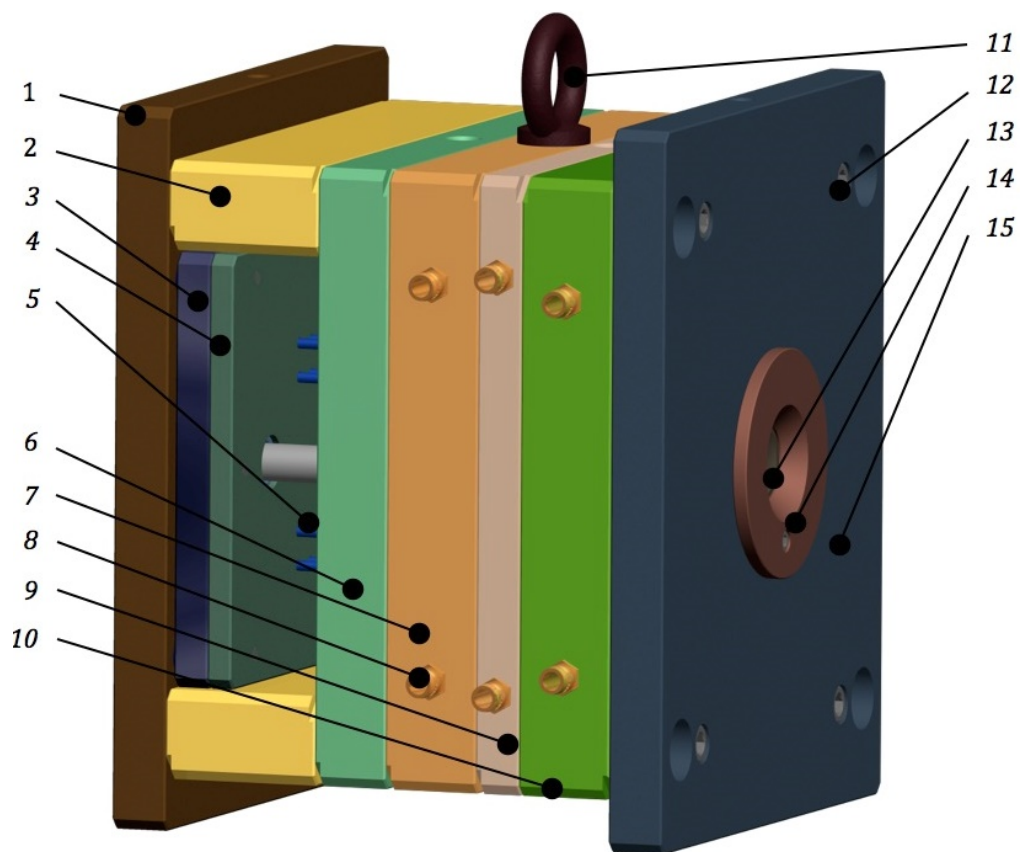
Tyto vedlejší funkce mohou dále generovat další požadavky na vstřikovací formu zejména v případě speciálních modifikací vstřikovacího procesu. [14,16]

VSTŘIKOVACÍ FORMA					
DOPRAVA TAVENINY		PŘENOS TEPLA		ODFORMOVÁNÍ DÍLU	
ODOLNOST PROTI DEFORMACÍM	VEDENÍ TAVENINY	ODVOD TEPLA Z DÍLU	ODVOD TEPLA Z FORMY	OTEVŘENÍ FORMY	ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ
PODPĚRNÉ VÁLCE	VTOKOVÝ SYSTÉM	POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ	RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY	DĚLÍCÍ ROVINA	VYHAZOVAČE
TLOUŠŤKA DESEK	ÚSTÍ VTOKU	ROZMĚRY CHLADÍCÍCH KANÁLŮ	PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY	VYTAŽENÍ JADER	ROBOTICKÉ VYJMÁNÍ
VÍ CENÁSOBNÁ PROPOJENÍ	:	TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY	:	:	TAHAČE JADER

Obr. 21 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [12]

## 5.1 Popis jednotlivých částí dvoudeskové formy

Dvoudesková vstříkovací forma je složena z několika desek, které jsou vzájemně spojeny nejčastěji za pomoci šroubů. Upínací desky levá a pravý slouží k upnutí obou částí formy na vstříkovací stroj. Desky „levá kotevní deska“ a „pravá kotevní deska“ (poz. 7 a 9) slouží k vytvoření tvarové dutiny pro budoucí vstříkovaný díl. Tvarová dutina bývá vytvořena buď v těchto deskách, nebo se v těchto deskách ukotvují vložky, ve kterých je tvarová dutina výrobku vytvořena. Využití tvarových vložek je vzhledem potřeby použití teplotně i mechanicky odolnějších materiálů velmi významnou úsporou nákladů na výrobu vstříkovací formy. [12,16]



Obr. 22 Popis uzavřené dvoudeskové vstříkovací formy [12]

1 – levá upínací deska, 2 – rozpěrná deska, 3 – kotevní vyhazovací deska, 4 – vyhazovací deska přídržovací, 5 – vyhazovače, 6 – levá opěrná deska, 7 – levá kotevní deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – pravá kotevní deska, 10 – pravá opěrná deska, 11 – manipulační oko, 12 – montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pravé části vstříkovací formy, 15 – pravá upínací deska

## 5.2 Obvyklé typy vstřikovacích forem

Dvoudeskové vstřikovací formy jsou velmi rozšířeným konstrukčním pojetím vstřikovací formy, ovšem mají poměrně mnoho omezení:

- Nutné zaformování vtokového systému do dělicí roviny.
- Omezené množství řešení ústí vtoku.
- Limitovaná vzdálenost dutin v případě vícenásobných vstřikovacích forem.
- Zvýšené tlaky taveniny polymeru v důsledku proudění taveniny vtokovým systémem.
- Vyšší podíl odpadu – vtokový systém je primárně odpad (lze ho ovšem recyklovat).

Proto pro velkosériovou výrobu bylo nutno vyvinout jiné typy vhodnějších forem. Nejvíce používaným typem je forma s tzv. horkým rozvodem. Dále to jsou etážové formy, třideskové formy, vytáčekci, čelist'ové apod. [12,14,16]

## 5.3 Vtokový systém

Funkcí vtokového systému vstřikovací formy je zajistit vedení proudu polymerní taveniny z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Základním požadavkem je co nejrychlejší naplnění dutiny s minimálním odporem. Tvar, umístění a rozměry vtokového systému závisí na několika faktorech. Důležité jsou rozměry, vzhled a požadované vlastnosti vyráběného dílu, energetická náročnost procesu, druh použitého polymeru nebo násobnost formy [4]

### 5.3.1 Studené vtokové systémy

Vstříknutá tavenina do studeného vtokového systému na jeho stěnách ihned tuhne a vytváří se izolační vrstva ztuhlého polymeru. Tavenina plastu následně proudí horkým jádrem. Správným odstupňováním průměrů kanálů je zajištěno rovnoměrné plnění dutin. [17]

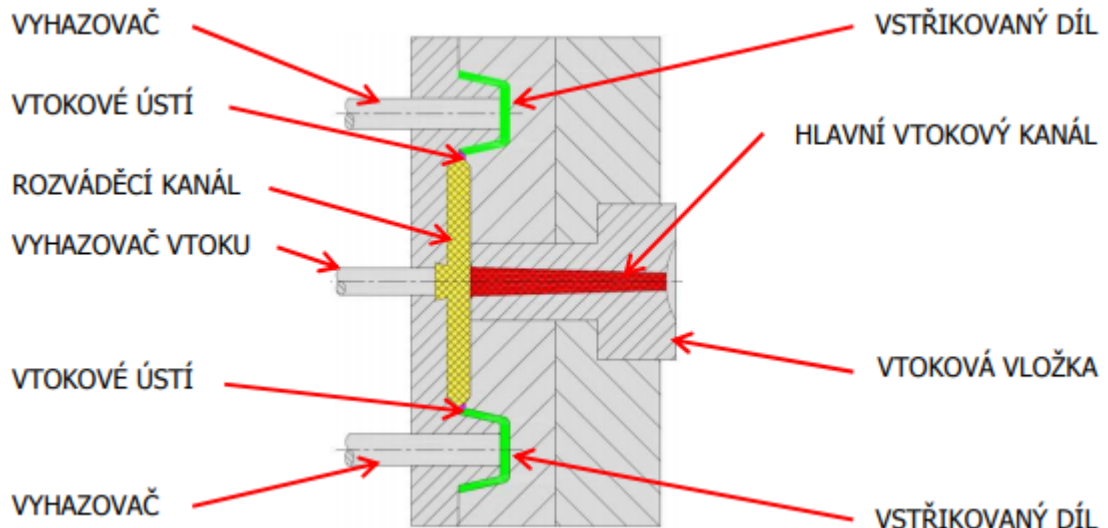
Výhody studených vtokových systémů:

- Forma a její provedení je jednodušší i levnější než u horkých vtoků
- komponenty jsou normalizované
- není zapotřebí energetického připojení
- u vícenásobných forem je provedení studeného vtokového systému jednoduší

Nevýhody studených vtokových systémů:

- oproti horkému vtoku větší spotřeba polymeru
- musí být zajištěno oddělení vtoku
- Nutnost využití přidržovače vtoku a zajistit jeho následné vyhození

vtokového zbytku

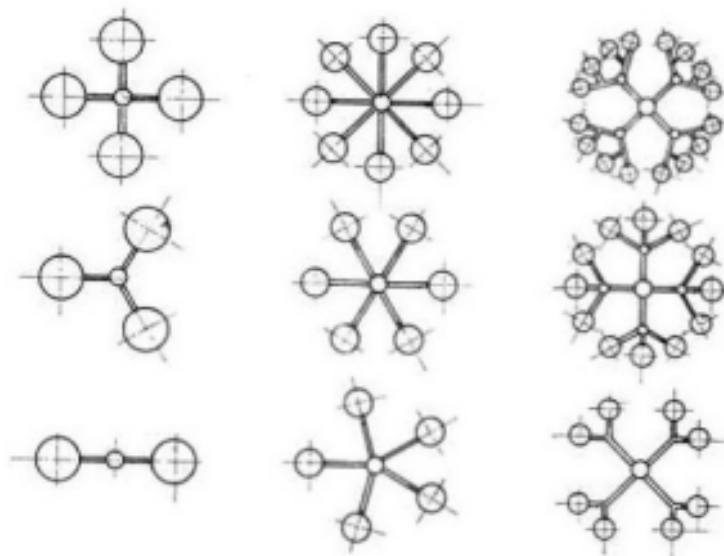


Obr. 23 Popis uzavřené dvoudeskové vstřikovací formy [17]

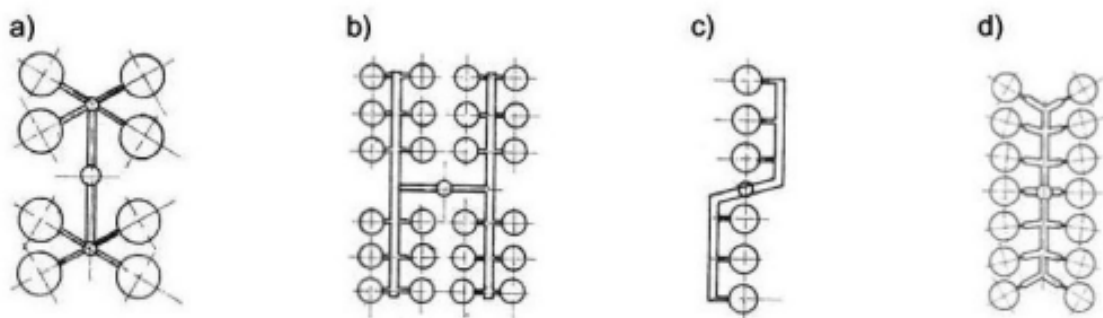
### 5.3.2 Zásady konstrukce studených vtokových systémů

Při konstrukci studených vtokových systémů musí být zajištěno aby:

- Odstranění oblastí, kde se hromadí plast (menší tlakové ztráty, lepší rovnoměrnost chladnutí)
- Musí být zaoblené hrany, aby proudění taveniny nebylo turbulentní
- Aby bylo zachyceno čelo taveniny, protože je chladnější než zbytek taveniny
- Systém vtoku musí být krátký – menší odpad, zmenšení tlakových ztrát
- Aby všechny dutiny byly zaplněny rovnoměrně a stejný čas
- Povrch kanálů musí být co nejmenší – zmenšení tepelných a tlakových ztrát
- Použití dostatečného průřezu pro vytvoření plastického jádra a tím umožnit působení dotlaku
- Aby vtokové ústí na výstřiku zanechalo co nejméně stop.
- Aby se zbytky polymerů dali snadno vyjmout z tokových kanálů. [17]



Obr. 24 Symetrické uspořádání studených vtokových systémů [18]

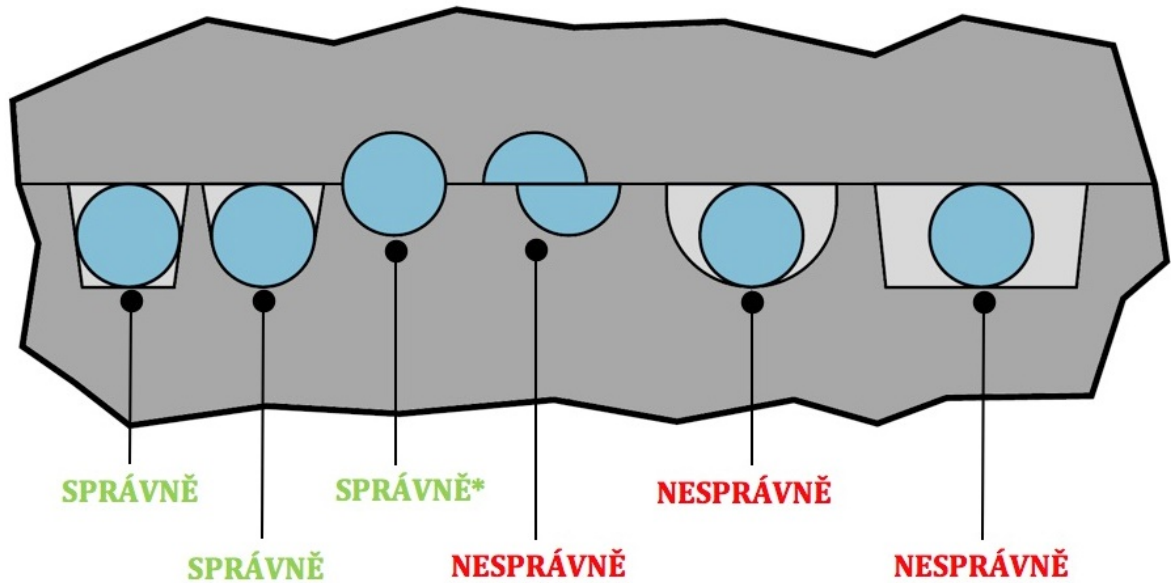


Obr. 25 Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [18]

a) se stejnou délkou toku taveniny  
b), c), d) s nestejnou délkou toku taveniny (nutná korekce ústí vtoku)

### 5.3.3 Průřezy rozváděcích kanálů

Na rozdíl od vtokové vložky, je materiál dopravován rozváděcími kanály v dělicí rovině od jejího středu. Konstrukční rozměry a konstrukce rozváděcích kanálů musejí být navrženy přesně, protože ovlivňují kvalitu a efektivitu celého vstřikovacího procesu. Při zvolení velkého průřezu kanálu dochází k prodlužování výrobního cyklu, zvýšení odpadu a tím zvýšení výrobních nákladů. Volba velmi malého průřezu způsobuje nepřiměřené vstřikovací tlaky a tím mohou nastat komplikace při vstřikování. Rozměr kanálu musí být zvolen tak aby plnění dutiny formy bylo snadné a konstrukčně proveditelné. [14,16]



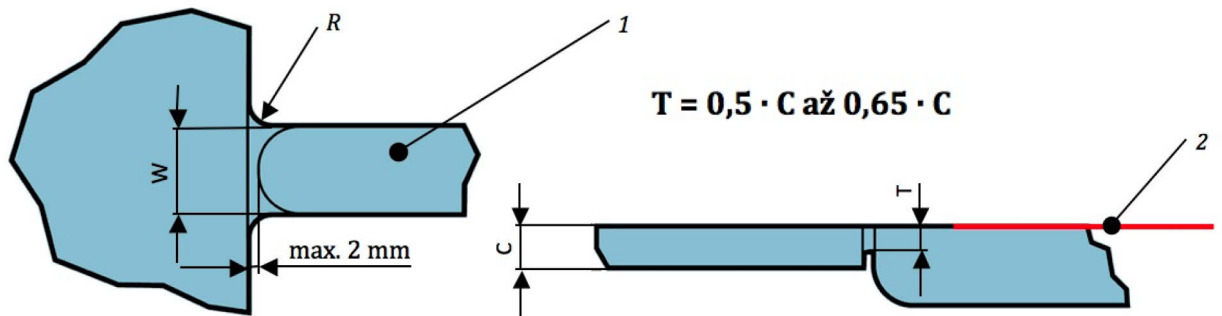
Obr. 26 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [12]

#### 5.3.4 Vtoková ústí

Většinou je ústí vtoku konstruováno tak, aby bylo spojnicí mezi rozváděcím kanálem a výstřikem. Tloušťka stěny výstřiku a rozváděcího kanálu musí být větší než tloušťka ústí vtoku. Základní funkcí ústí vtoku je zamrznutí materiálu, aby po fázi dotlaku bylo zabráněno jeho zpětnému vracení do rozváděcího kanálu. Následující funkcí je usnadnění oddělení výstřiku od rozváděcích kanálů. [14,16]

#### 5.3.5 Filmové ústí vtoku

U tohoto typu ústí vtoku je umožněno použít menší vstřikovací tlaky. Ale vzdálenost mezi výstřikem a rozváděcím kanálem nesmí zajít za hranici dvou milimetrů. Filmové ústí vtoku je vhodné pro materiály, které mají nízkou tekutost nebo jsou choulostivé na smykové namáhání během plnění. Jsou zde splněny i nároky na vysokou kvalitu povrchu.



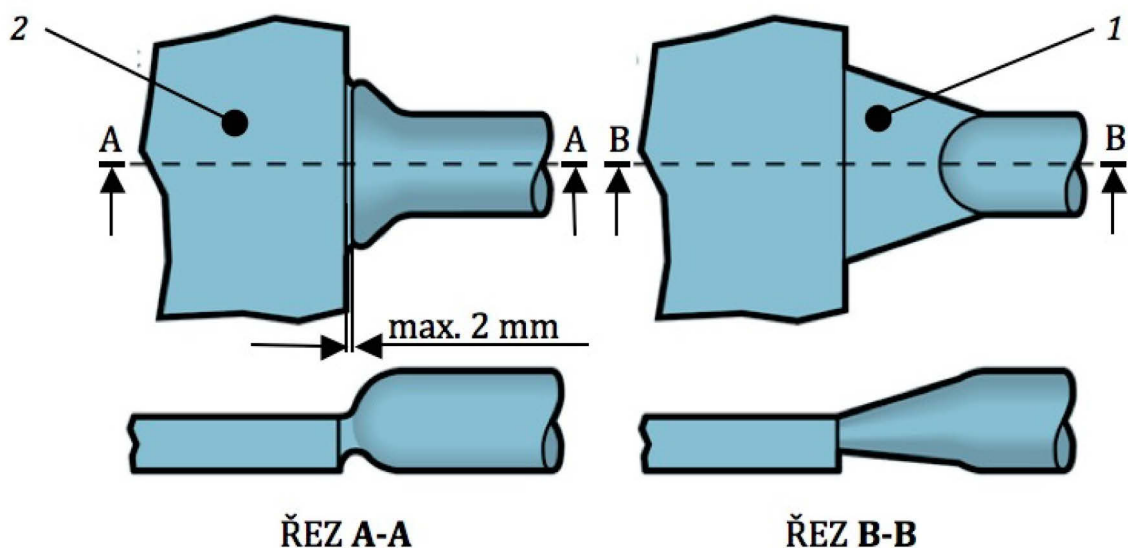
Obr. 27 Filmové ústí vtoku [12]

1 – rozváděcí kanál, 2 – dělicí rovina vstřikovací formy,  $R$  – rádius,  $T$  – tloušťka filmového ústí vtoku,  $C$  – tloušťka stěny vstřikovaného dílu,  $W$  – šířka filmového ústí vtoku

### 5.3.6 Vějířové a zvonové ústí vtoku

Je to alternativa filmového ústí vtoku. Jeho rozšíření je konstruováno ve směru od rozváděcího kanálu. Působení dotlaku u tlustostěnných výrobků je zde lepší než u filmového ústí vtoku. V tlustostěnných výrobků je vzhled povrchu lepší než při použití standartního filmového ústí.

U vějířového ústí vtoku platí stejná zásada jako u filmového ústí, kdy vzdálenost spojnice mezi výstřikem a rozváděcím kanálem nesmí zajít za hranici dvou milimetrů. U zvonového ústí vtoku je tato hranice povolena až na 10 milimetrů.



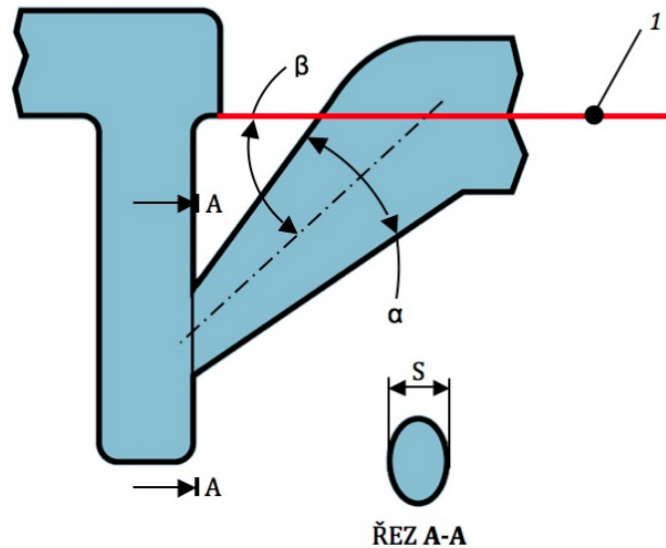
Obr. 28 Vějířové a zvonové ústí vtoku [12]

1 – vějířové ústí vtoku, 2 – zvonové ústí vtoku



### 5.3.7 Tunelové ústí vtoku

Prostřednictvím tohoto typu ústí vtoku je možné plnit dutinu vstříkovací formy i v jiných místech než v dělicí rovině. Obvykle tímto způsobem dochází k plnění kolmému na povrch dutiny vstříkovací formy. V závislosti na konkrétní konstrukci tunelového ústí vtoku plní tento typ ústí funkci samooddělení od vstříkovaného dílu.

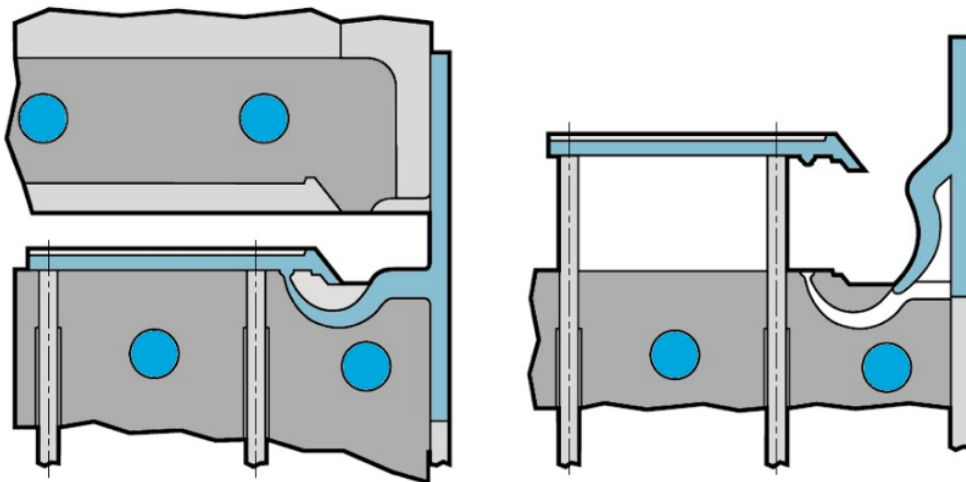


Obr. 29 Tunelové ústí vtoku [12]

$1$  – dělicí rovina,  $S$  – efektivní průřez ústí vtoku,  $\beta$  – úhel sklonu tunelového ústí vtoku,  $\alpha$  – kuželovitost tunelového ústí vtoku

### 5.3.8 Banánové ústí vtoku

U tohoto typu ústí vtoku je dutina formy plněna ze strany. Jelikož je výroba vnitřního tvaru tvořícího ústí vtoku poměrně složitá a je realizována pomocí elektroerozivního obrábění, je opět vhodnějším řešením použití nakupovaného dílu – vložky.



Obr. 30 Banánové ústí vtoku [12]

### 5.3.9 Vyhřívání vtokové systémy

Pro velkosériové a hromadné výroby se nejčastěji používají vyhřívání vtokové systémy. Tuhost formy musí být vyšší a forma musí být vyrobena s větší přesností, protože systém rozvodu je velmi mechanicky i tepelně namáhaný. Výsledná cena formy je tedy vyšší. Z ekonomických důvodů se nehodí pro krátký a přerušovaný provoz. [18]

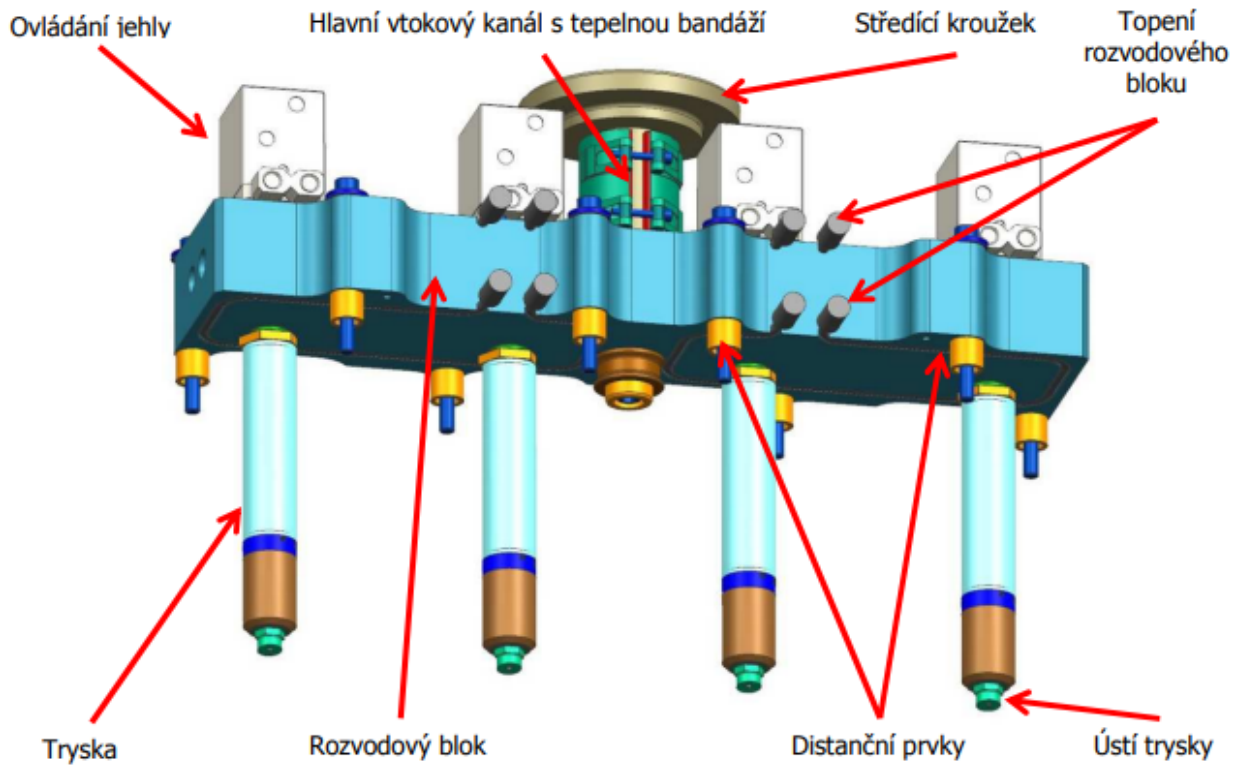
Vyhřívání komponenty u vyhřívání vtokového systému zaručují u polymerů konstantní teplotu v celé délce systému. [19]

Výhody:

- Úspora času ve výrobním cyklu
- Vtokové kanály nejsou potřeba
- Nízké náklady pro dokončovací operace, protože je odpad eliminován
- Nemusí se obnovovat vtoková soustava
- Jelikož jsou odstraněny vtokové kanály je doba vstřikování snížena
- Malé tlakové ztráty, protože horký tavenina je přímo vstřikována do dutiny formy
- V porovnání se studeným vtokem je používán menší tlak pro dopravu taveniny
- Možnost regulace teploty ovlivňující vlastnosti výstřiku
- Jednotlivé systémy jsou přestavitelné
- Jednoduchost výměny nebo opravy vtoků
- Jednotlivé trysky je mohou být otevírány postupně

Nevýhody:

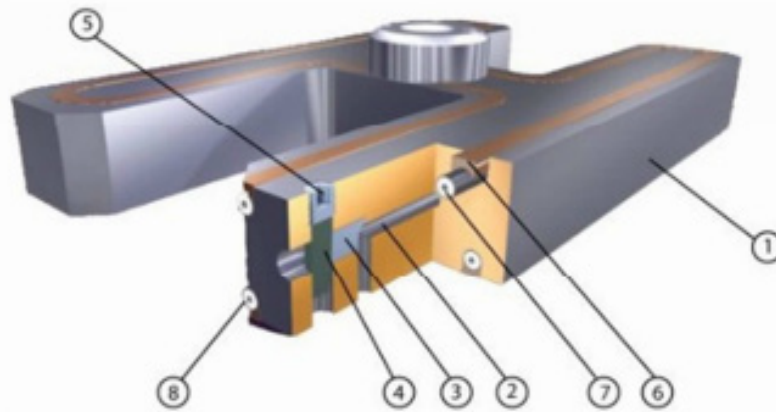
- Z konstrukčního hlediska náročnější na zakomponování do formy
- Počáteční cena je vyšší a obsluha je náročnější
- Před prvním použitím je nutno konzultovat s dodavatelem systému
- Vyšší provozní náklady
- Dodatečné konstrukční změny na polohách vtoků jsou komplikované
- Nedá se použít pro všechny druhy materiálů, zejména na ty, které jsou velmi citlivé na teplo.



Obr. 31 Řez horkým vtokem s jehlou [19]

### 5.3.10 Rozvodné bloky

Jejich hlavní využití je u více násobných forem. Podle tvaru konečného dílu se tvoří podoba a uspořádání bloků. Do drážek na jejich povrchu se umisťují elektrické odporové vodiče, které bloky vyhřívají. Aby správně vyhřivali musí být vodiče rovnoměrně rozložené. Tepelné ztráty jsou eliminovány dobře tepelně vodivých krytů z mědi nebo mosazi. Levnější variantou může být plech. Vzduchovou mezerou mezi blokem a vedlejšími částmi formy, je zabráněno přenosu tepla. [19]



Obr. 32 Rozvodový blok tvaru H [19]

1. *Tělo rozvodového bloku – různé typy profilů*
2. *Rozváděcí kanál – zpracování závisí na typu vstříkovaného materiálu a jeho vstříkovacího objemu*
3. *Ucpávka – zabraňuje vytékání taveniny. Odnímatelná pro účel čištění kanálu*
4. *Kolík – Vytváří tlak na ucpávku, aby bránila vytékání taveniny*
5. *Šroub pro seřízení – Zajištění kolíku*
6. *Kryt topení – vyroben z materiálu s velmi dobrou tepelnou vodivostí. Většinou z mosazi Zaručuje předání tepla rozváděči*
7. *Tubulární topení – Vyrovnává teplotní ztráty*
8. *Druhá sada topení – Zajišťuje rovnoměrnější ohřívání bloku*

## 5.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je důležitý pro automatické vysunutí výstřiku z formy. Vhodný tvar vyhazovačů, jejich opracovaný povrch do hladka a správná síla pro vyhození, je podmínkou pro úspěšné vyhození vstříkovaného dílu z formy. Počet vyhazovačů a jejich rozmístění se mění dle konstrukčního návrhu vstříkovaného výrobku. Aby nedocházelo k deformaci výstřiku musí být vyhození rovnoměrné. Již v počátku konstrukce formy se musí počítat s tím, že vyhazovače zanechávají stopy, a proto jejich umístění se směřuje na nepohledovou část vstříkovaného dílu. Rozdělení vyhazovačů dle pohybu:

- Dopředný – výstřik je vyhozen
- Vratný – návrat vyhazovačů na původní pozici

Aktivace vyhazovacího systému bývá zajištěna při:

- Narážecím kolíkem při procesu otevírání formy

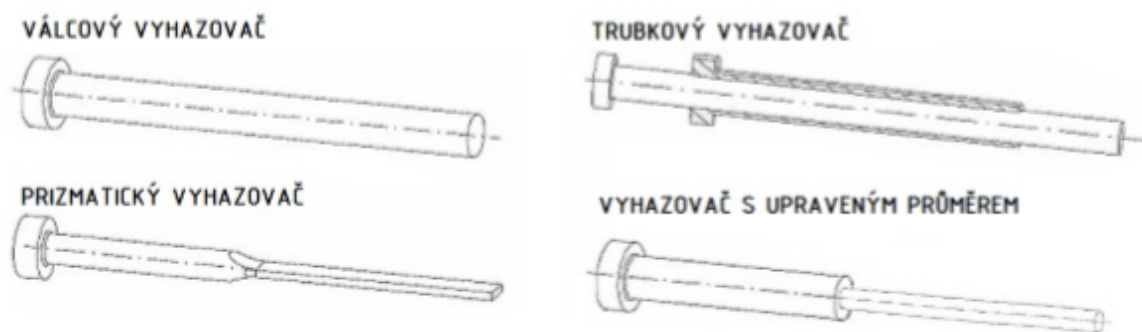
- Za pomoci hydraulického nebo pneumatického zařízení. V závislosti na volbě vstříkovacího stroje
- Ruční vyhazování za pomoci různých mechanismů

Zajištění zpětného pohybu je zajištěno vratnými kolíky, také pružinami nebo speciálním hydraulickým, mechanickým nebo vzduchovým zařízením. [18]

#### 5.4.1 Mechanické vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Vyhazovací kolíky jsou jednoduché pro výrobu a mají zaručenou funkčnost. Patří mezi nejběžnější způsoby vyhazování. Umísťují se proti ploše výrobku ve směru vyhození.

Nejčastěji se využívá vyhazovacích kolíků válcových. Jejich správným tolerančním uložením vzniká vůle, která zajišťuje odzdušnění formy. [18]

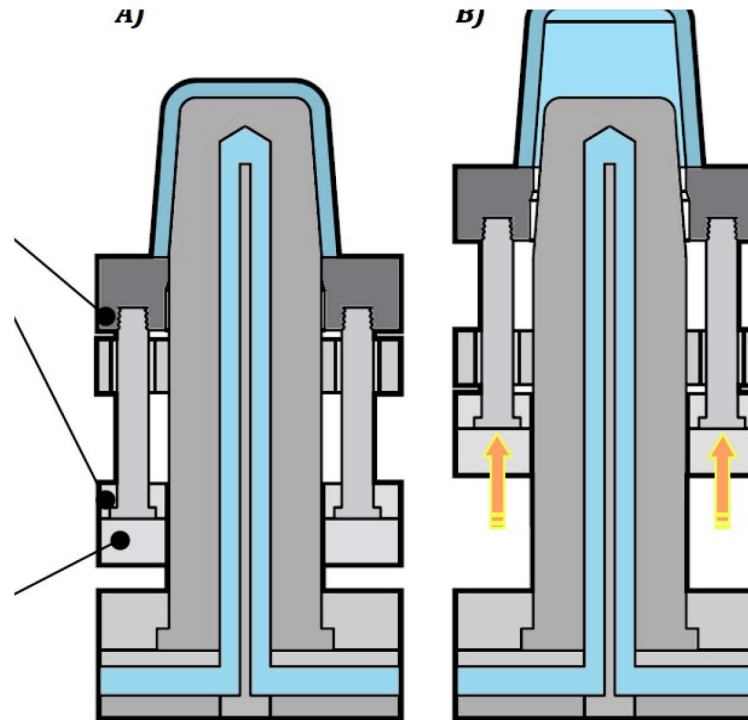


Obr. 33 Typy vyhazovacích kolíků [18]

#### 5.4.2 Vyhazování pomocí stíracích desek

Princip tohoto typu vyhazování se zakládá na stírání vystřikovaného výrobku po celém obvodu. Jejich použití je nutné tam kde nesmí být znatelná stopa po vyhození. Má velkou stykovou plochu, která výrobek deformuje v minimální míře.

Jejich hlavní využití se nachází při vyhazování tenkostěnných výstřiků. Základním pravidlem je to, aby vystřikovaný výrobek dosedal na stírací desku v rovině, eventuálně na plochu pod mírným úhlem. [18]



Obr. 34 Princip funkce stírací desky [12]

1 – stírací deska, 2 – přídržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

### 5.4.3 Šikmé vyhazování

Jedná se neobvyklé mechanické vyhazování. Vyhazovací kolíky se umísťují pod různými úhly vůči dělicí rovině. Jejich využití je u malých a středních dílců s mělkým zápichem. [18]

### 5.4.4 Vzduchové vyhazování

Tento systém se nejčastěji používá pro tenkostěnné vstříkované výrobky, která mají tvar velkých nádob a musí se při vyhození odvědušnit z důvodů deformace.

Pneumatické vyhazování funguje na principu vhánění stlačeného vzduchu mezi vystříkovaný výrobek a líc formy. To zaručuje rovnoměrné oddělení vstříkovaného výrobku od tvárníku formy. Tato metoda nezanechává stopy po vyhazovačích. Pneumatické vyhazování je použitelné jenom pro některá tvary vstříkovaných dílů.

Kombinací mechanickým vyhazováním se používá u automatických forem. Z důvodu zabezpečení správného vyhození.

Mechanismus formy nebo vstříkovací stroj zajišťují ovládání vzduchového vyhazovače. [18]

#### 5.4.5 Hydraulické vyhazování

Tento systém je vyráběn jako samostatná hydraulická jednotka. Ta se vkládá do předem konstrukčně daného místa ve vstřikovací formě. Jeho účel je ovládní mechanických vyhazovačů. Má pružnější pohyb, velkou vyhazovací sílu a flexibilitu. Také má pomalejší kratší zdvih. [18]

### 5.5 Temperační systém

Zajišťuje konstantní teplotu ve vstřikovací formě. Aby se dosáhlo optimálního cyklu vstřikování, je nutné spojit s ochlazováním nebo vyhříváním celou formu případně jen její část.

Do formy přivedený plast ve formě taveniny postupně chladne na teplotu, při které je vhodné vstřikovaný výrobek vyjmout. Přebytké teplo, které vzniká opakováním cyklu vstřiku polymeru, se odvádí temperačním systémem.

Existují však polymery, která vyžadují značně vyšší teplotu formy. U vstřikování takových to polymerů jsou tepelné ztráty vyšší, než když se forma ohřeje od přivedené taveniny a je tedy nutné vstřikovací formu ohřívát. Vstřikovací formy se před zahájením výroby musí zahřát na materiálem danou provozní teplotu.

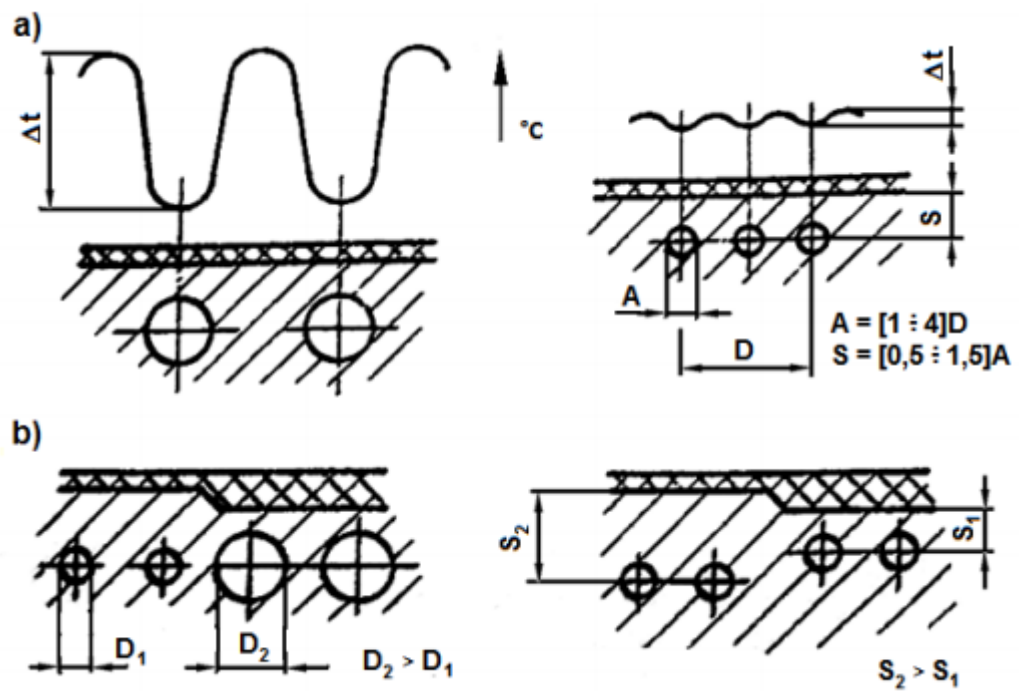
Rozdílná teplota různých částí formy může mít za následek rozměrové a tvarové odchylky. Ve výjimečných případech se záměrnou rozdílnou temperací jednotlivých částí formy eliminují tvarové i rozměrové odchylky výstřiku. [12,18]

Úkolem temperace je:

- Zajistit to, aby teplota formy po celém povrchu dutiny byla stejná
- Odvádět teplo z formy tak, aby byl vstřikovací cyklus ekonomicky přijatelný

#### 5.5.1 Zásady volby temperačního kanálu

- Nesmí být snížena pevnost stěn dutiny formy. Toho docílíme správnými rozměry a rozmístěním temperačních kanálů
- Musí být zajištěno menší kolísání teploty. Toho docílíme použitím většího počtu kanálů s menším průřezem a roztečí.
- Správná volba rozměrů průřezu kanálů. Toto se volí dle rozměru výrobku. Dále závisí na druhu použitého polymeru a rozměrech formy.
- Doporučené průměry jsou 6, 8, 10, 12. Další zvětšování je zbytečné. [18]



Obr. 35 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty [18]

a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku



## 6 OPTIMALIZACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Použití počítačových simulací v oboru vstřikování plastů se začalo rozvíjet zhruba od 80 let dvacátého století. Jejich vznik byl potřeba pro vylepšení návrhů vstřikovaných plastových dílů hlavně z hlediska vyrobiteľnosti. Díky výsledkům jednotlivých simulací je možno ověřit samotnou konstrukci formy a zredukovat či zcela odstranit případné úpravy vstřikovací formy po výstřiku prvních dílů. V dnešní době se na trhu pohybuje hned několik firem nabízející svůj software pro simulaci vstřikování polymerů. Ze všech těchto softwarů je nejvíce rozšířen produkt Autodesk Moldflow.

Autodesk Moldflow je software určený pro optimalizaci vstřikovacího procesu. Mezi schopnosti tohoto softwaru patří optimalizace designu samotného dílu, optimální nastavení vstřikovacího stroje při výběru vhodného plastu z velké databáze plastů na trhu a také optimalizace celé vstřikovací formy. A to po obou stránkách jak pevnostní, tak i technologické. Kromě základních analýz je možno také analyzovat tyto problémy:

- Kdy dochází ke ztrátám stability tvaru výstřiku.
- Průběh reziduální napjatosti ve vstřikovaném dílu
- Orientaci a lámání vláken plniva plastu v průběhu vstřikování
- Účinnost temperačního systému a odvodu tepla z celého objemu formy
- Deformace vstřikovaných dílů i jednotlivých částí formy vlivem tlaků ve formě. [20]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se věnuje následujícím cílům:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti,
- Optimalizace dílu pomocí SW Mouldflow,
- Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl a provedení analýzy procesu vstříkování

V teoretické části byli zkoumány polymery a jejich příprava před následným zpracováním, technologie vstříkování a také konstrukční zásady vstříkovaných výrobků, vstříkovacích forem a optimalizace procesu vstříkování.

V praktické části je úkolem zkonstruovat 3D model zadané vstříkované součásti a jeho samotné optimalizace za pomoci programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Návrh 3D konstrukce vstříkovací formy pro zadaný díl, který bude probíhat v programu CATIA V5R19 za podpory normálíí a provedení analýzy procesu vstříkování ve výše zmíněném programu od Autodesku.

## **8 POUŽITÝ SOFTWARE**

### **8.1 CATIA V5R19**

CATIA (computer-aided three-dimensional interactive application) je produkt společnosti Dassault Systemes. Software obsahuje velmi široké spektrum různých modulů, které mají využití ve všech směrech vývoje produktu. Pro konstrukci výrobku bylo využito několik modulů jmenovitě Part design a Generative Shape Design. Následně při návrhu samotné formy bylo využito modulů Mold Tooling Design a Assembly Design. Tento software je nejpoužívanější nejvíce v leteckém a automobilovém průmyslu, ale i ostatních technických odvětvích.

### **8.2 HASCO DAKO Modul**

Tento modul poskytuje široké spektrum normalizovaných součástí využitelných při konstrukci vstřikovací formy. Tento modul disponuje velmi jednoduchým rozhraním a možnostmi importování součástí do většiny technických programů na trhu. Také jeho obsahem jsou ceny všech dílů, takže je možné zjistit přibližné celkové náklady na formu.

### **8.3 Katalog MEUSBURGER**

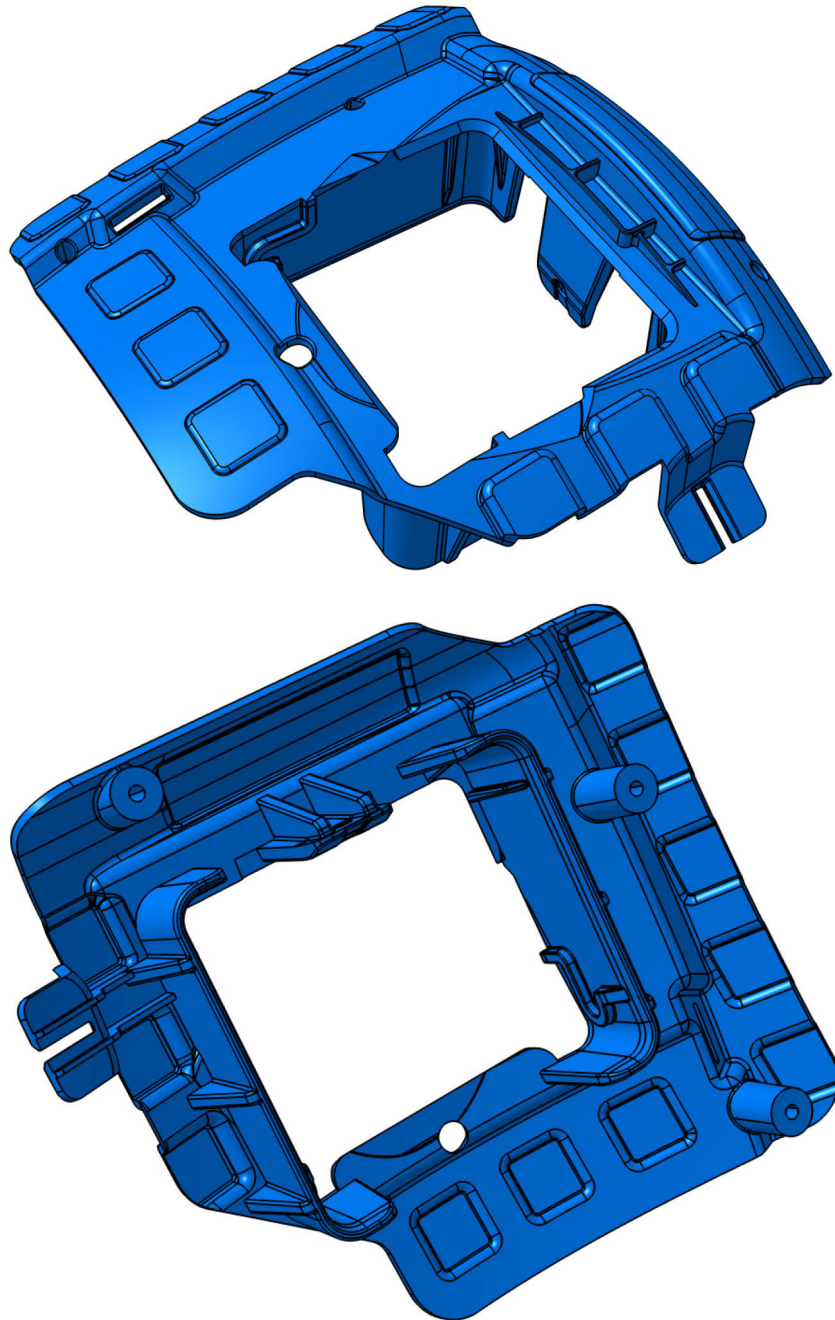
Společnost Meusburger disponuje rozsáhlou knihovnou normálí, která umožňuje generování součástí a jejich importování do technických softwarů. Také obsahuje ceník jednotlivých součástí.

### **8.4 Autodesk Moldflow Synergy 2016**

Tento software od společnosti Autodesk je jeden z nejpoužívanějších v průmyslu. Disponuje možnostmi kompletní analýzy vstřikovaného výrobku i celého vstřikovacího procesu také disponuje rozsáhlou databází používaných polymerů, materiálů forem, kapalin a jiných součástí potřebných k analyzování.

## 9 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný díl, který je analyzován a je pro něj navržena forma, je kryt/pouzdro automobilového čidla umístěného v předním nárazníku automobilu. Tento díl není pohledový jeho rozměry jsou 153 x 132 x 43 (délka x šířka x výška). Díl byl vymodelován za pomoci softwaru CATIA V5R19 ve dvou verzích. První model měl stejné rozměry jako zadaný díl a druhý model byl zvětšen o hodnotu smrštění materiálu.



*Obr. 36 Zadaný Vstříkovaný díl*

## 10 OPTIMALIZACE DÍLU

### 10.1 Vytvořená síť

Pro začátek bylo na modelu v programu Moldflow vytvořena trojúhelníková síť o délce stran 3 mm. Tato síť byla následně upravena a ověřena její kvalita.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles          28010
  Connected nodes   13996
  Connectivity regions 1
  Invisible triangles 0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
  Surface Area:      474.008 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         48.7865 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
  14.63     2.08     1.16

Edge details:
  Free edges          0
  Manifold edges     42011
  Non-manifold edges 0

When invisible triangles are excluded:
  Free edges          8

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage     84.5%
  Reciprocal percentage 79.6%

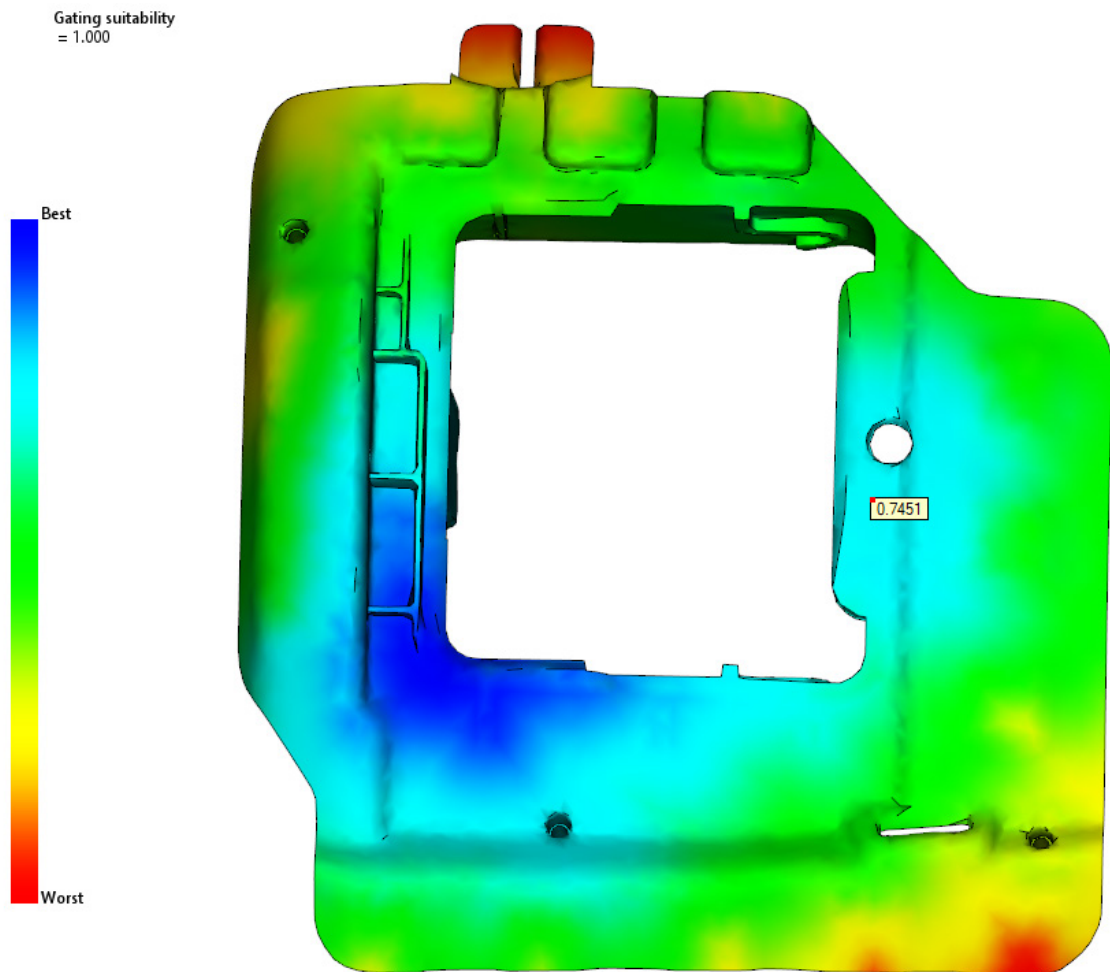
```

Obr. 37 Konečná statistika sítě

Vytvořená síť splňuje následující podmínky pro síť:

- Maximum Aspect Ratio (Poměr stran trojúhelníku) = 6 až 15,
- Free edges (volné hrany) = 0,
- Non-manifold edges (zdvojené hrany) = 0,
- Elements not oriented (neorientované elementy) = 0,
- Elements intersections (průsečíky mezi elementy) = 0,
- Fully over-lapping elements (překryté elementy) = 0,
- Match percentage (kvalita modelu)  $\geq 85$  %

## 10.2 Zjištění optimálního umístění vtoku



*Obr. 38 Zadaný Vstřikovaný díl*

Analýzou „Gate location“ bylo zjištěno vhodné umístění vtoku. Vtok byl umístěn do vyznačeného bodu 0,7451, který je dle analýzy vhodný a zároveň se nachází zhruba uprostřed plochy výrobku pro usnadnění následující konstrukce formy.

### 10.3 Výběr vhodného materiálu pro výrobek a jeho aplikaci

Byly vybrány materiály, které by se mohli hodit pro výrobek a jeho aplikaci. Zvolené materiály: PP+EPDM T15, PC+PBT, PA+ABS-10 %GF, PA+PE.

#### 10.3.1 PP+EPDM T15

Polypropylen modifikovaný Ethylen-propylen-diénovým termoplastickým kaučukem s 15 % příměsí mastku od firmy Shanghai PRET Composites Co Ltd s obchodním názvem PP+EPDM-T15 C3322T-550-A.

Je nejvíce aplikovaný v automobilovém průmyslu a také v oblasti elektrotechniky. Produkty jsou relativně stabilní, degradace během zpracování nebývá problémem, jeho hodnota smrštění je malá a díky EPDM materiál získává rázovou houževnatost i za nízkých teplot. Příměs mastku zvyšuje rozměrovou stabilitu, chemickou a tepelnou odolnost. Odpad může být snadno znovu zpracován.

Tab. 3 Doporučené zpracovatelské podmínky pro PP+EPDM-T15 C3322T-550-A

Procesní parametr materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	50	°C
Teplota taveniny	210	
Doporučená minimální teplota formy	40	
Doporučená maximální teplota formy	60	
Doporučená minimální teplota taveniny	190	
Doporučená maximální teplota taveniny	230	
Maximální možná teplota taveniny	290	
Vyhazovací teplota	116	
Maximální smykové napětí	0,25	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100000	s <sup>-1</sup>

#### 10.3.2 PC+PBT

Je to univerzální termoplastická směs Polykarbonátu a Polybuten tereftalátu od firmy Win-Tech Polymer Ltd s obchodním názvem DURANEX H7500.

Tento polymer má dobrou chemickou odolnost, velkou odolnost proti nárazům i při nízkých teplotách, tepelnou odolnost, vynikající estetiku a tokové vlastnosti. Využívá se hlavně v automobilovém průmyslu.



Tab. 4 *Doporučené zpracovatelské podmínky pro DURANEX H7500*

Procesní parametr materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	60	°C
Teplota taveniny	260	
Doporučená minimální teplota formy	40	
Doporučená maximální teplota formy	12	
Doporučená minimální teplota taveniny	240	
Doporučená maximální teplota taveniny	260	
Maximální možná teplota taveniny	320	
Vyhazovací teplota	125	
Maximální smykové napětí	0,4	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	50000	s <sup>-1</sup>

### 10.3.3 PA+ABS 10 %GF

Tato polymerní směs je složena z Polamidu, Akrylonitril butadien styrenu a je plněná z 10 % skelnými vlákny. Je od firmy Daicel Polymer Ltd s obchodním názvem Novalloy.

Tato polymerní směs je typická svou houževnatostí i za nízkých teplot a svou sníženou závislostí houževnatosti na obsahu vlhkosti. Materiál je také lepší v oblasti útlumu vibrací. Teplotní odolnost je vyšší než u samotného ABS.

Tab. 5 *Doporučené zpracovatelské podmínky pro Novalloy*

Procesní parametr materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	60	°C
Teplota taveniny	255	
Doporučená minimální teplota formy	20	
Doporučená maximální teplota formy	100	
Doporučená minimální teplota taveniny	230	
Doporučená maximální teplota taveniny	280	
Maximální možná teplota taveniny	320	
Vyhazovací teplota	140	
Maximální smykové napětí	0,5	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	60000	s <sup>-1</sup>

### 10.3.4 PA+PE T20

Je to směs Polyamidu a Polyethylenu s příměsí 20 % mastku od firmy Suzhou Sunway Polymer Co Ltd s obchodním názvem P232T-UV.

Tato směs se vyznačuje velmi vysokou houževnatostí i za nízkých teplot, která je typická pro polyethylen, nižší navlhavostí, vysokou pevností a tuhostí, která je typická pro polyamid, ale nižší tvarovou stálostí za tepla. Příměs mastku zvyšuje rozměrovou stabilitu, chemickou a tepelnou odolnost.

Tab. 6 Doporučené zpracovatelské podmínky pro P232T-UV.

Procesní parametr materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	75	°C
Teplota taveniny	225	
Doporučená minimální teplota formy	65	
Doporučená maximální teplota formy	85	
Doporučená minimální teplota taveniny	210	
Doporučená maximální teplota taveniny	240	
Maximální možná teplota taveniny	280	
Vyhazovací teplota	123	
Maximální smykové napětí	0,25	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100000	s <sup>-1</sup>

### 10.3.5 Analýzy jednotlivých materiálů a určení jejich vhodnosti

Materiály byly analyzovány v oblastech celkové deformace v milimetrech, za jakou dobu dosáhnou vyhazovací teploty při použití stejného chladicího okruhu s teplotou chladicího média, která je -5 °C vůči jejich doporučené teplotě povrchu formy a rychlosti smykové deformace.

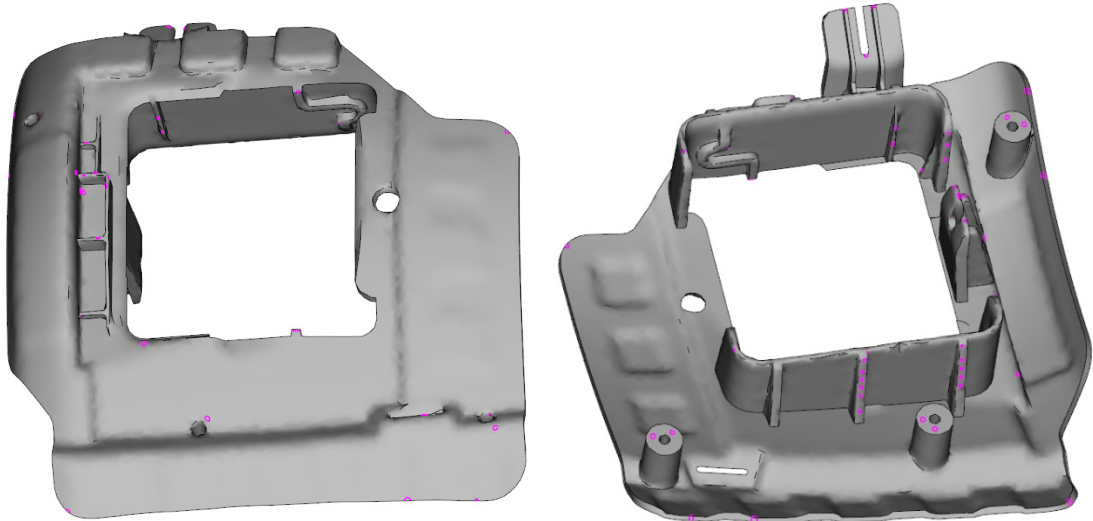
Tab. 7 Porovnání vybraných materiálů

Materiál	Čas vyhození [s]	Celková deformace [mm]	Rychlost smykové deformace [s <sup>-1</sup> ]
PP+EPDM T15	28,7	0,8421	32 809
PC+PBT	57,9	1,031	43 095
PA+ABS 10 % GF	41,8	0,3911	36 433
PP+PE	40,9	0,7175	31 769

Při porovnání materiálů jsme došli k závěru, že optimální materiál pro zadaný díl bude PP+EPDM T15, především díky značně rychlejšímu času, za jakou dobu dosáhne vyhazovací teploty.

## 10.4 Vzduchové kapsy na vstříkovaném výrobku

Dle výsledku analýzy můžeme zjistit, ve kterých místech hrozí, že se bude uzavírat vzduch, což může mít za následek špatného dotečení materiálu do těchto míst a taky je zde možnost vzniku Dieslova efektu.



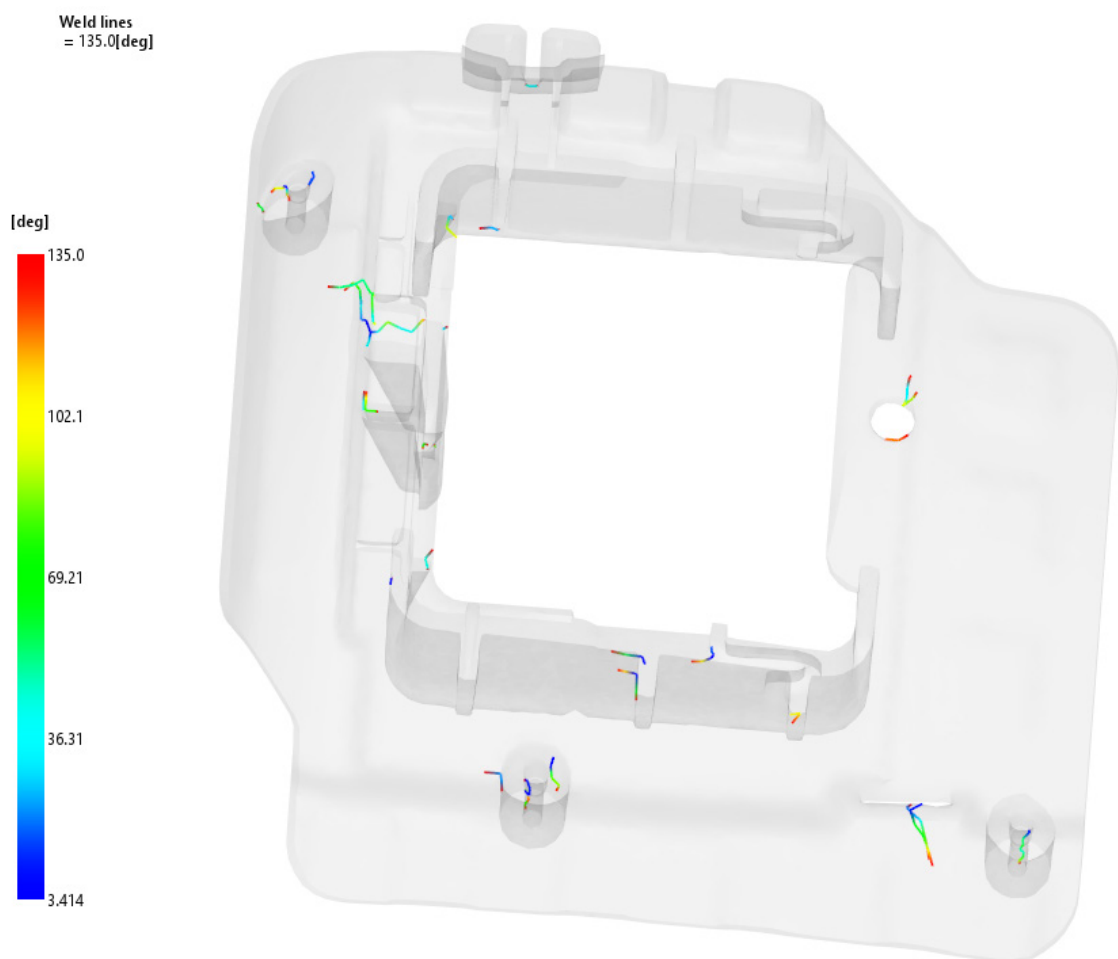
*Obr. 39 Vzduchové kapsy*

Vzduchové kapsy jsou znázorněny růžovou barvou. Míst kde by se mohl vzduch zdržovat je poměrně málo. Je zde také předpoklad že většina vzduchu bude z formy vytlačena přes dělicí rovinu a taky přes vůle mezi vyhazovači a tvárníkem. Jestli by při prvních testech převládali problémy vlivem vzduchových kapes, musela by se forma upravit odvzdušňovacími kanálky zejména v oblasti žeber.

## 10.5 Studené spoje

Tato analýza nám ukáže, ve kterých místech je pravděpodobné, že dojde ke vzniku studeného spoje. Tento jev je nežádoucí vzhledem k tomu, že snižuje mechanické a vzhledové vlastnosti.

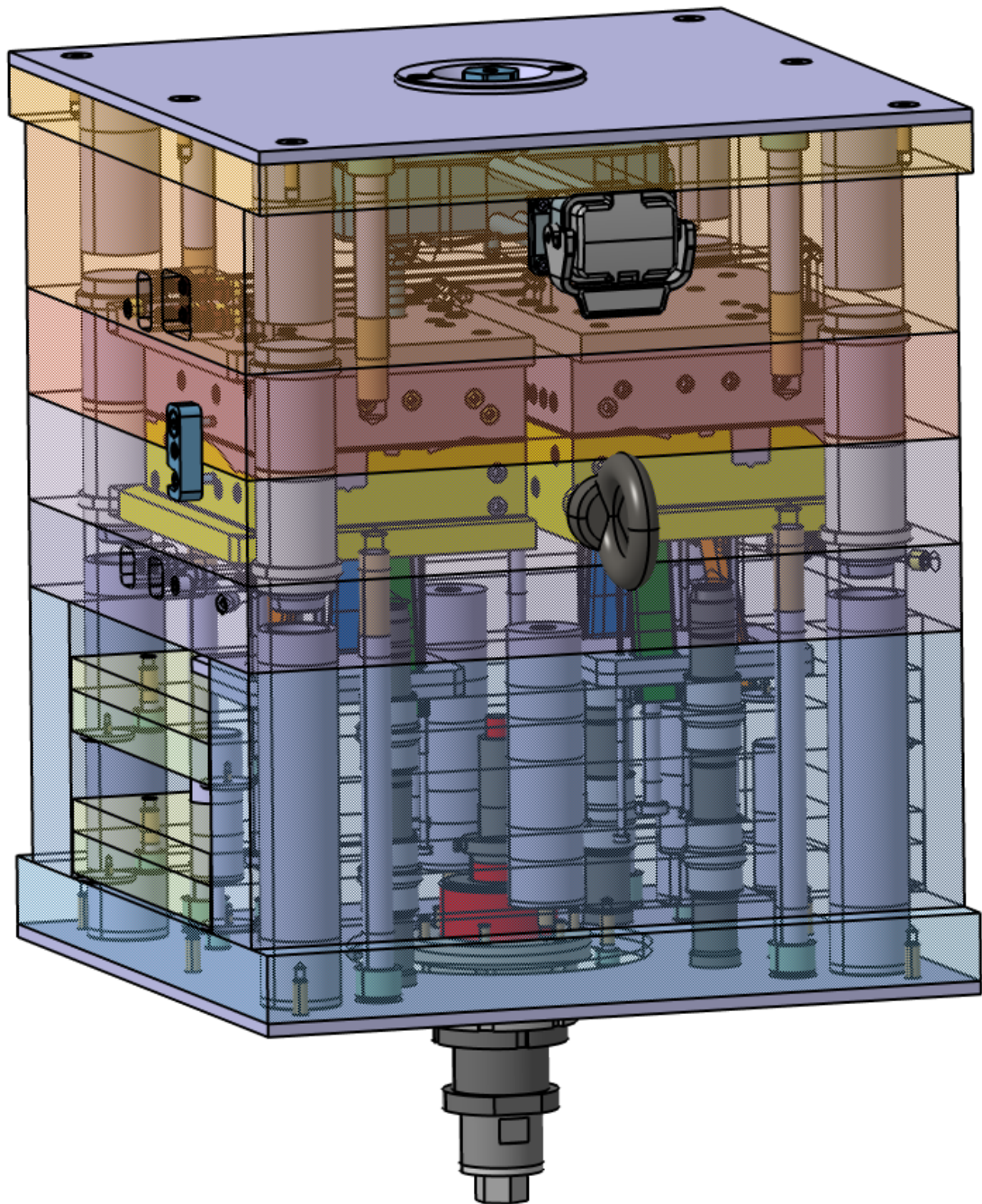
Na výstřiku je patrný jen jeden studený spoj, který se nachází na protější straně od místa vstřiku.



Obr. 40 Studené spoje na výstřiku

## 11 3D NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

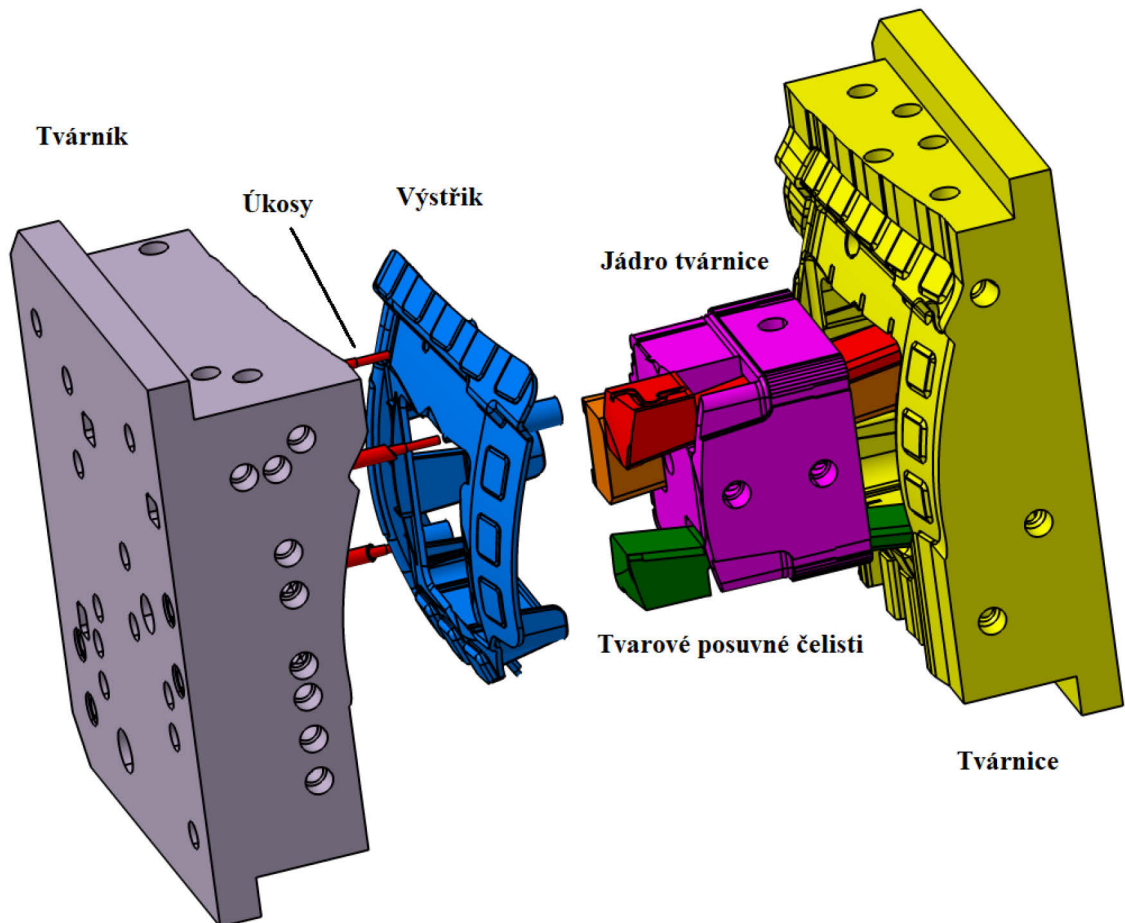
Pro návrh formy byl zvolen horký vtokový systém, a to pro výrobu dvou výstřiků v jednu pracovním cyklu vzhledem k funkci daného dílu (levý a pravý díl). Návrh dále obsahuje vyhazovací systém pro vyhození výrobku z formy, temperační systém k dosažení dostatečného chlazení. Vzhledem na jednoduchost výroby a ekonomičnost formy je snaha o co největší využití normálií od firem Meusburger a Hasco.



Obr. 41 Sestava vstřikovací formy

## 11.1 Dělicí rovina a zaformování

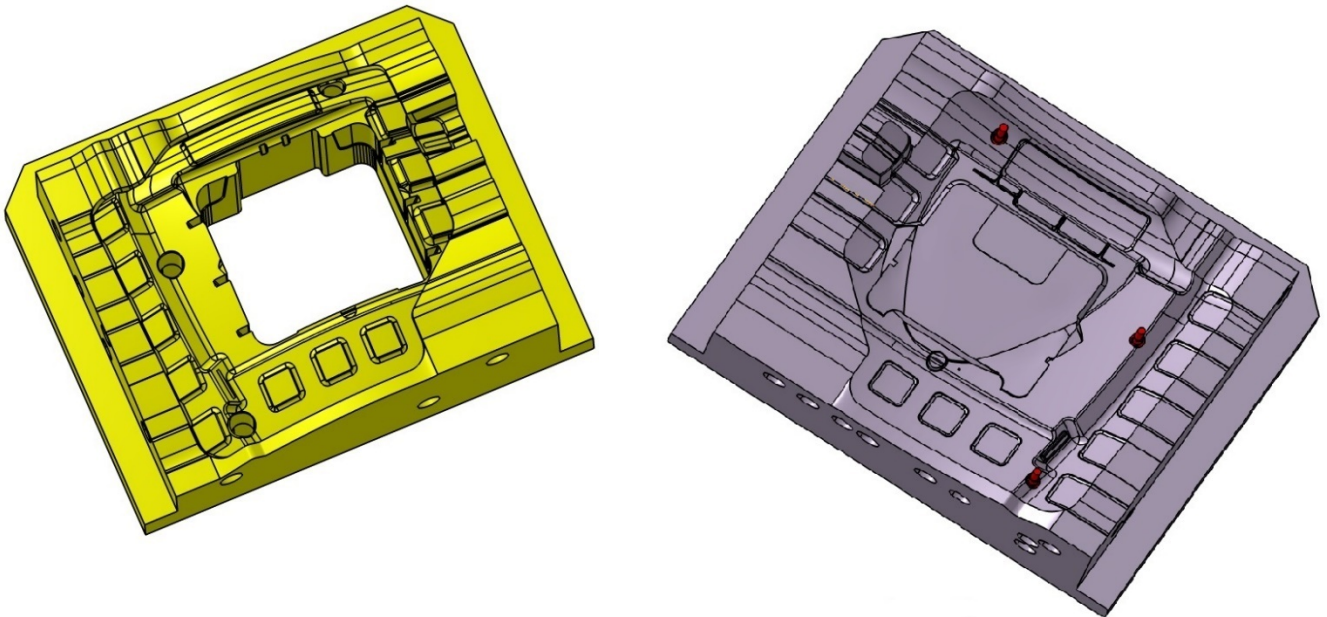
Dík je umístěn v horizontální poloze. Jeho zaformování je provedeno za pomoci hlavní dělicí roviny, které je umístěna na horní ploše celého výrobku. Tato rovina je paralelní s upínací deskou formy. V této rovině se bude forma otevírat a bude umožněno samotné odformování a následné vyhození součástí.



Obr. 42 Zaformování výstříku

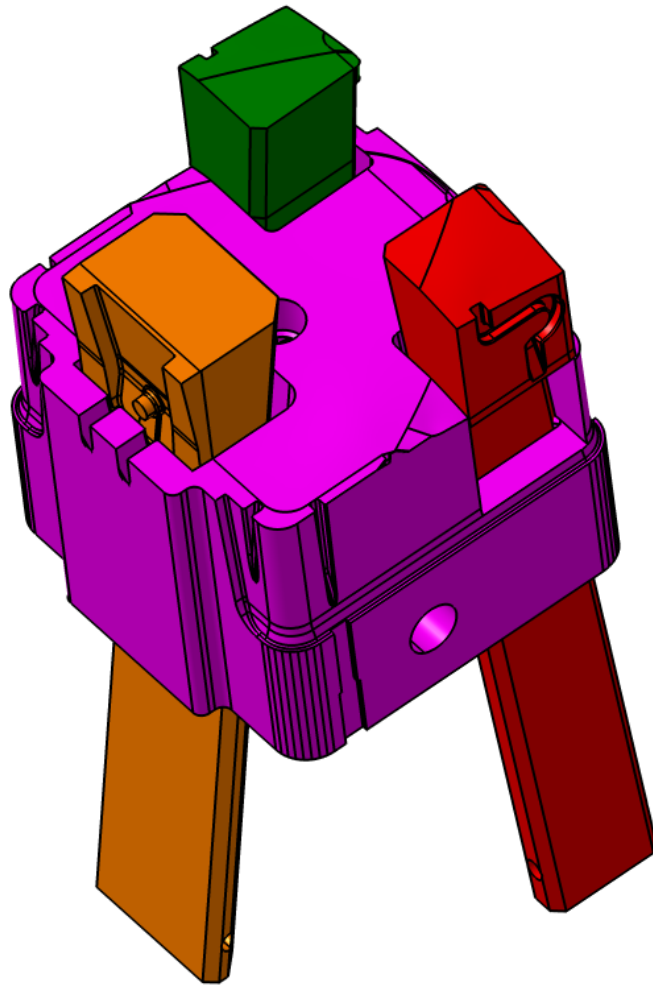
## 11.2 Tvarové části formy

Tvarová dutina formy udává výslednou podobu výrobku. Tu tvoří tvárník, tvárnice, středové jádro tvárnice, tvarové posuvné čelisti, úkosy a válcové vyhazovače. Společně tvoří tvarovou dutinu, která je zvětšena o průměrnou hodnotu smrštění námi zvoleného materiálu PP+EPDM T15, která činí 1,1 %. Tvárnice a tvárník jsou konstruovány jako vložky pro lepší ekonomiku a servis formy.



*Obr. 43 Tvárnice a tvárník*

Ve tvárníku jsou umístěny tři tvarové úkosy, které slouží jako jádra v dírách vstříkovaného dílu.



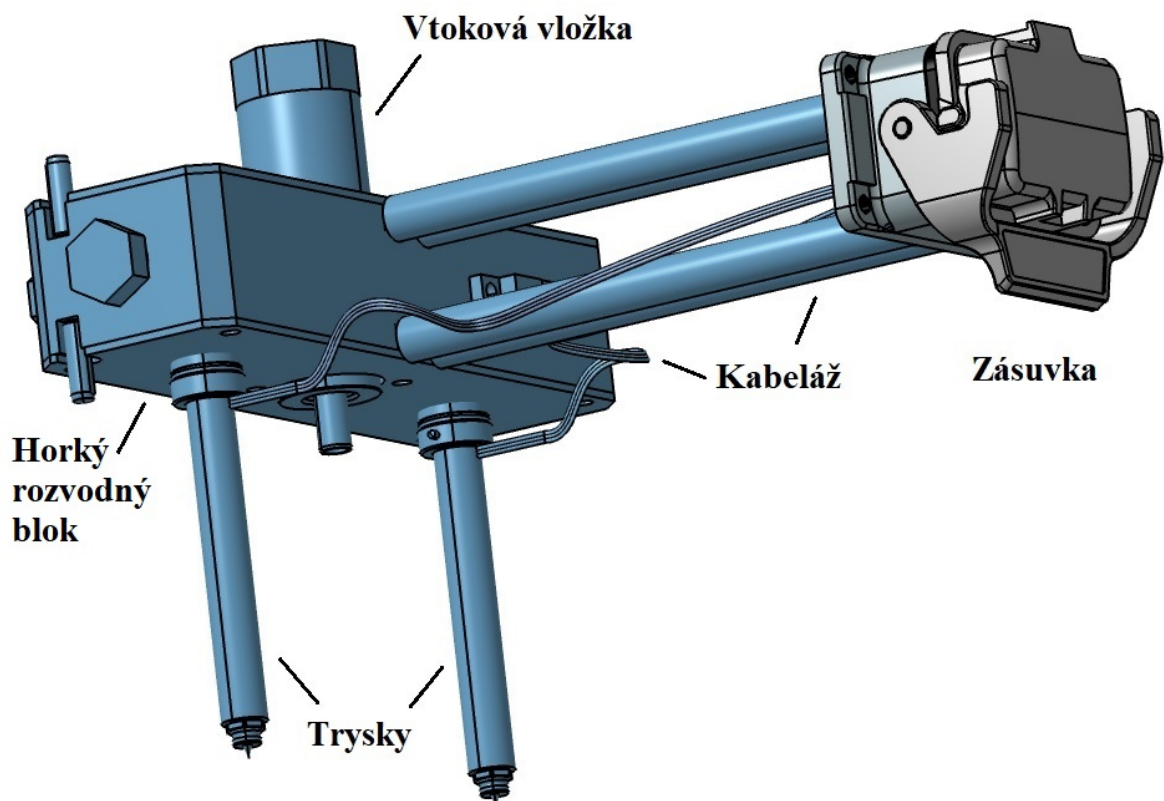
*Obr. 44 Středové jádro tvárnice s hlavním (oranžová) a vedlejšími (zelená a červená) tvarovými posuvnými čelistmi*

Středové jádro je vytvarováno tak aby kopírovalo tvar spodní části výstřiku. Toto jádro je připevněno ke kotvicí desce šrouby a je temperováno. Vzhledem ke složitosti spodní části vstříkovaného výrobku byli použity tvarové posuvné čelisti, které jsou součástí dvoustupňového vyhazovacího systému. Hlavní čelist je nakloněna pod úhlem  $10^\circ$  a vedlejší čelisti jsou nakloněny pod úhlem  $8^\circ$ .



### 11.3 Vtoková soustava vstřikovací formy

Dle následujících tokových analýz byl zvolen horký vtokový systém pro tuto formu. Skládající se ho z rozvodného bloku od firmy Hasco H106/1/56x180/36, který je opatřen dvěma tryskami s hrotem od firmy Hasco Z3210/1/18x100. Ty ústí přímo do tvarové dutiny formy. Tato soustava je umístěna ve vybrání v pravé kotevní desce, kde je vypodložena a zajištěna vůči pootočení za pomoci několika válcových kolíků. Kabeláž je vyvedena do zásuvky na straně pravé kotevní desky od stejnojmenné firmy H1227/16x4.

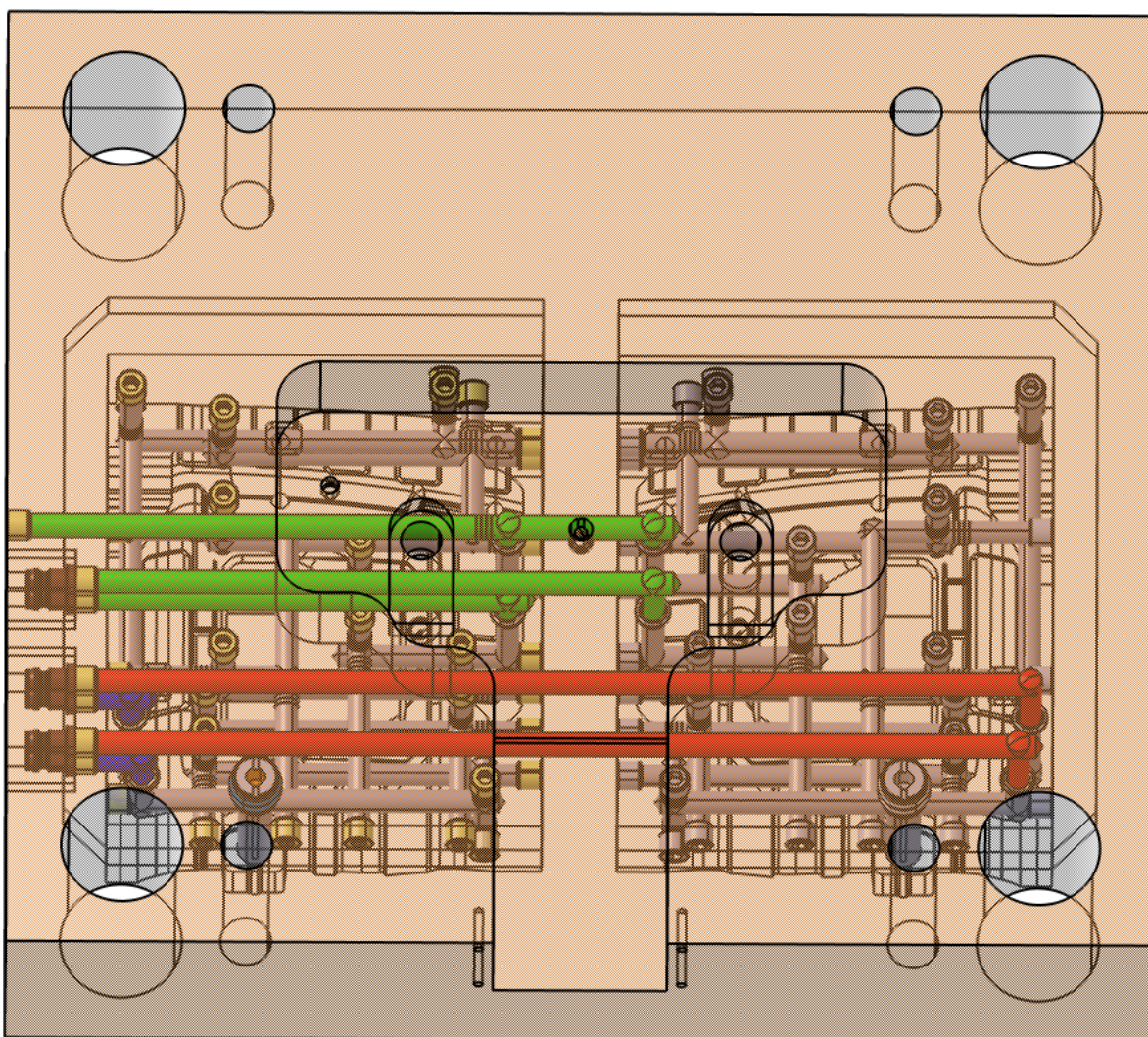


Obr. 45 Horká vtoková soustava

## 11.4 Temperační systém

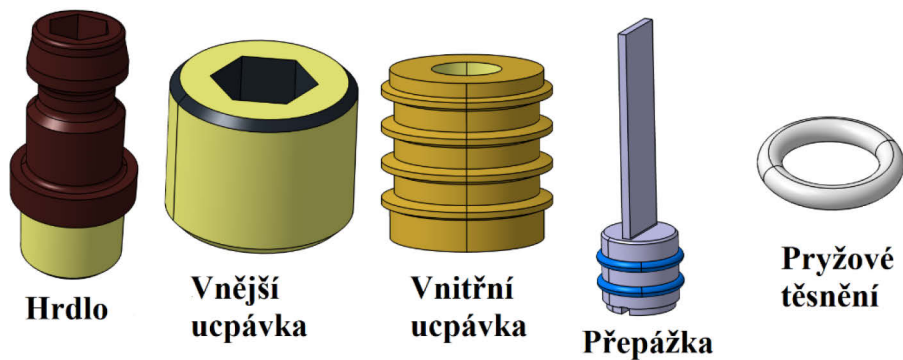
Vzhledem k požadavku co nejefektivněji snížit čas jednotlivého cyklu byl vytvořen složitý, ale účinný temperační systém skládající se z pěti temperačních okruhů, ve kterých proudí 20/80 % Ethylen glycol/voda o teplotě 45 °C.

Všechny okruhy jsou opatřeny hadicovými hrdly Hasco Z810/9x10x1. Pro usměrnění správného směru temperačního média byli použity vnitřní ucpávky Hasco Z942/8 a pro zacpání jednotlivých ústí byli použity vnější ucpávky Hasco Z940/10x1. Pro těsnost přechodů temperačních kanálů mezi deskami bylo využito pryžového těsnění Hasco Z98/8/2.

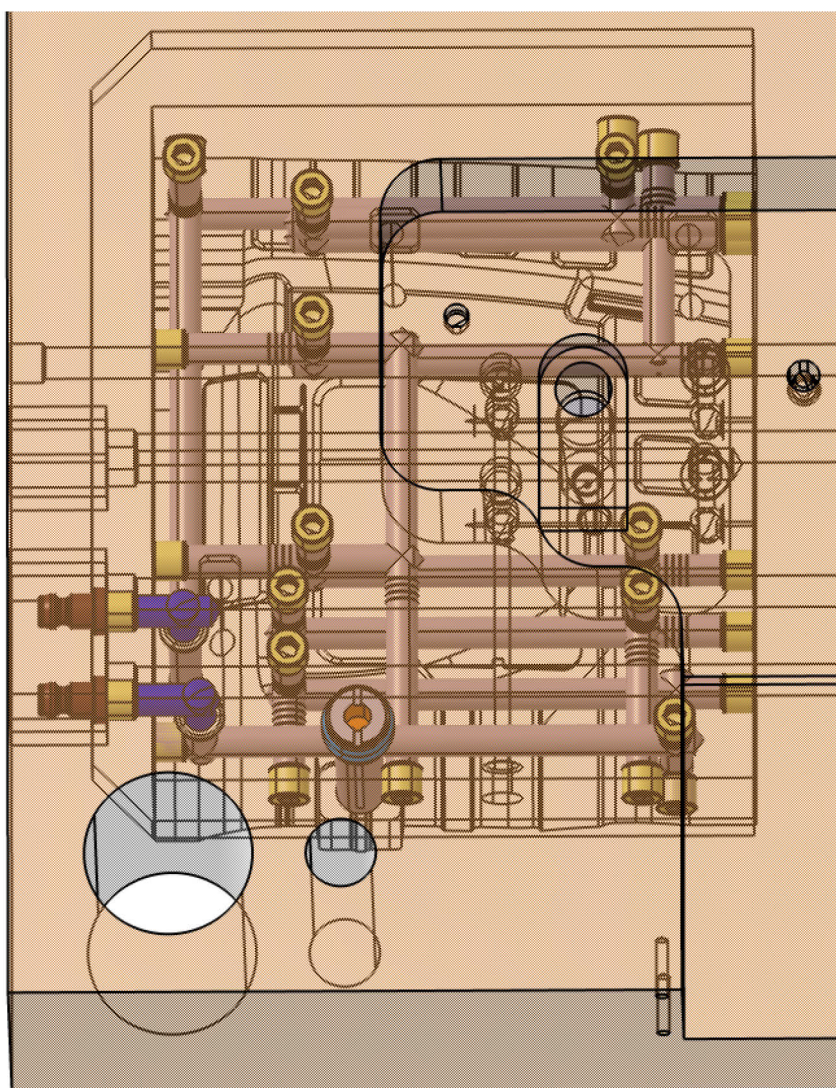


Obr. 46 Temperační systém tvárníku

Temperační systém tvárníku se skládá ze tří okruhů. Modrý a červený okruh je zcela identický až na to, že přívod a odvod temperačního média je vyveden na druhou stranu.

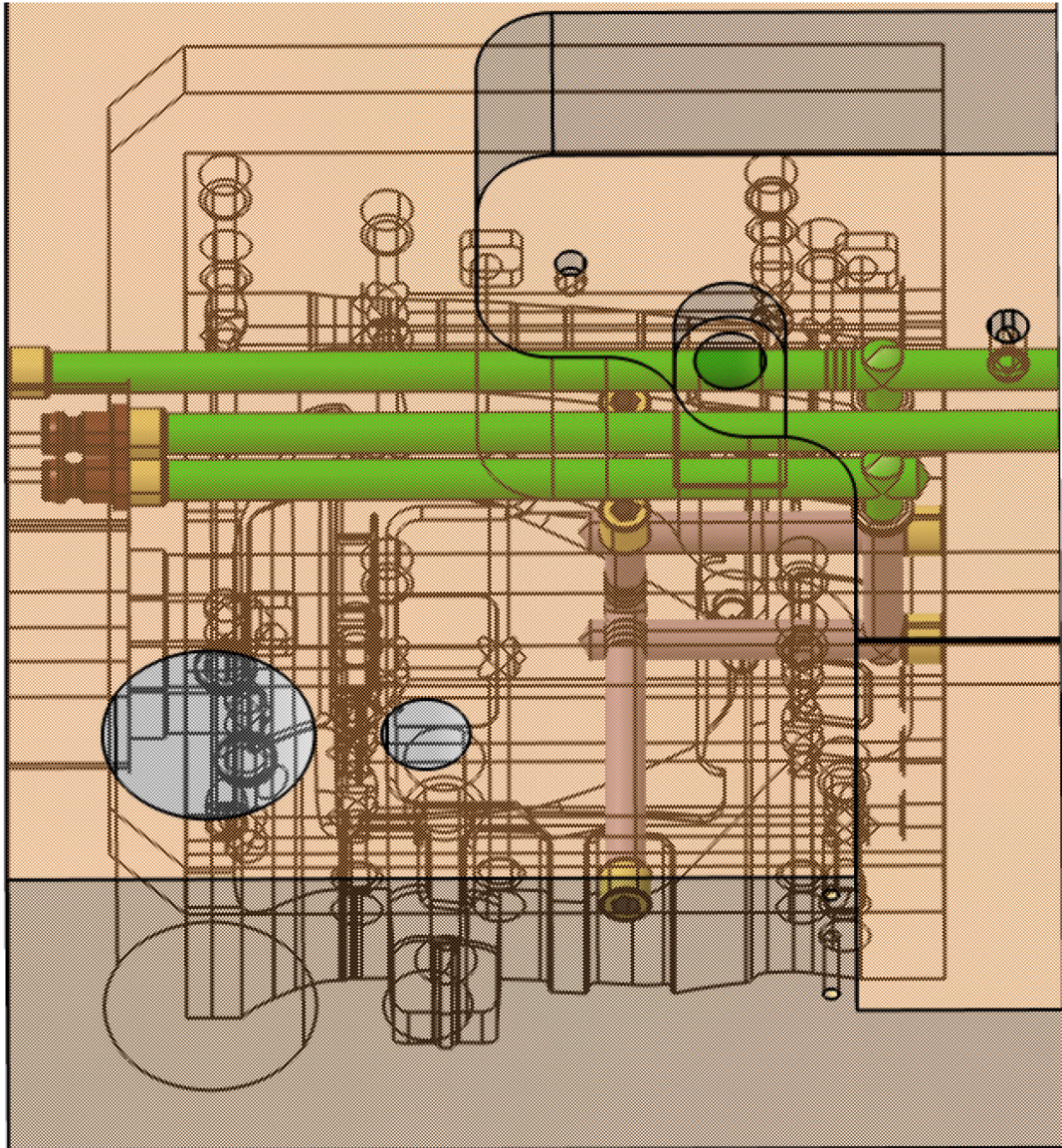


Obr. 47 Součásti použité v temperačním systému



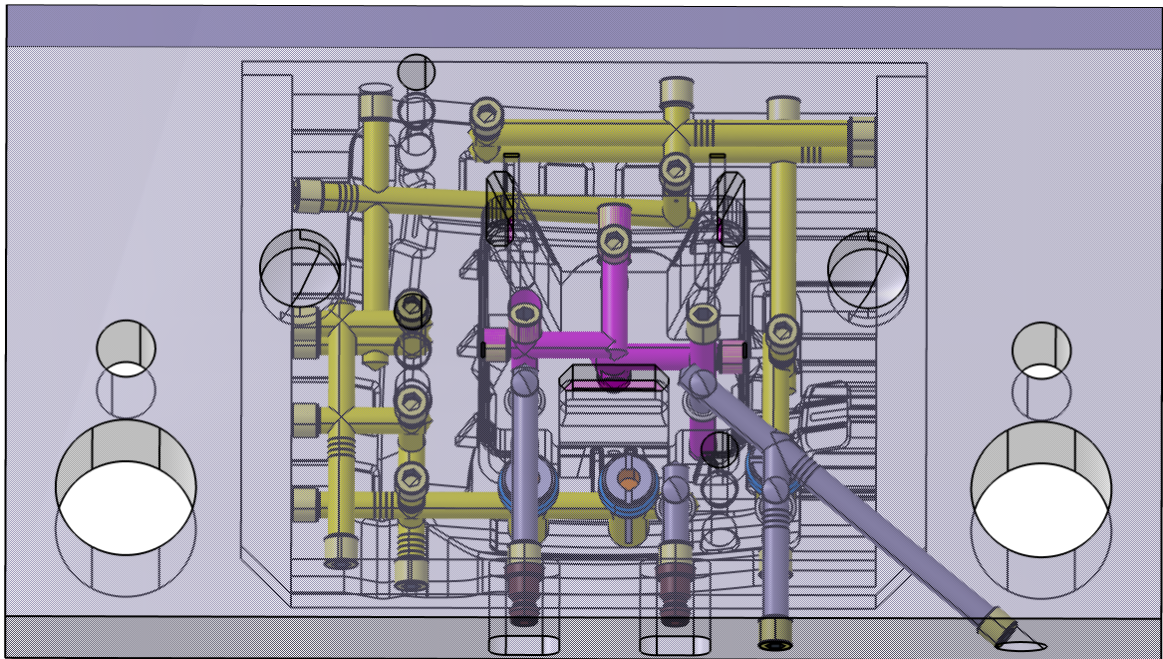
Obr. 48 Hlavní temperační okruh tvárníku

Hlavní (modrý a červený) temperační okruhy tvoří vrtané kanály o průměru 8 mm, které jsou vrtané ve více rovinách kvůli složitosti výstřiku. Tento okruh je vyveden do pravé kotvení desky. Je zde využito výše uvedených součástí a taky je zde využito jedné přepážky Hasco Z965/1,8x12x44.



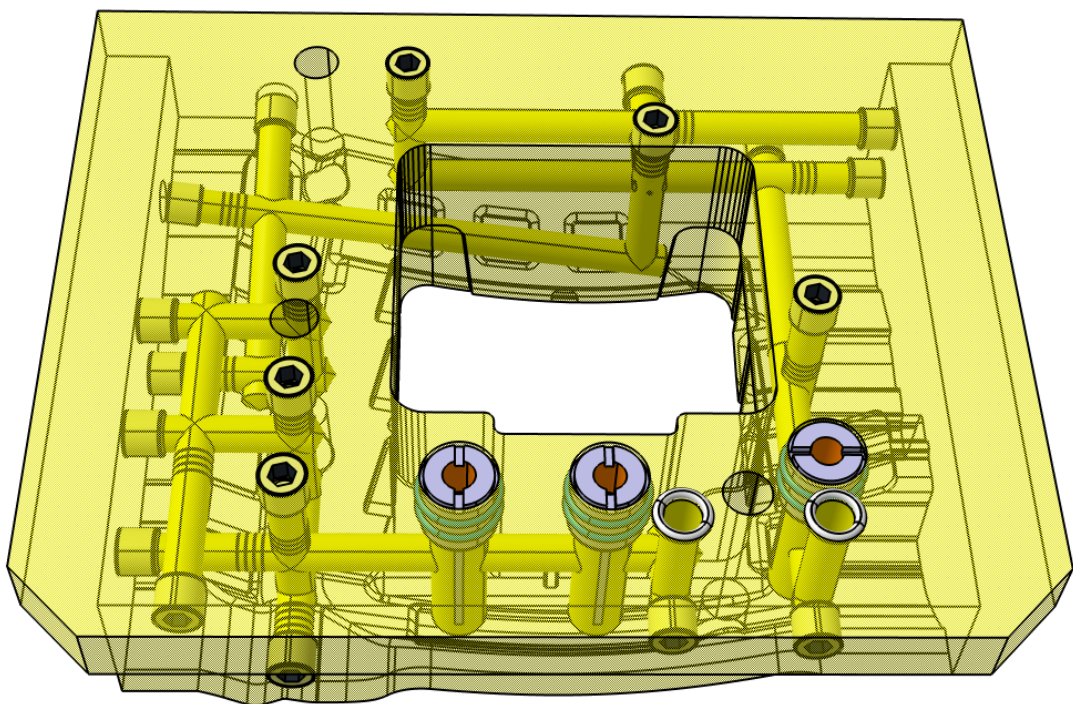
*Obr. 49 Vedlejší temperační okruh tvárniku*

Vedlejší temperační okruh je jednoduchý okruh vrtaných kanálů o průměru 8 mm. Zasahuje do obou částí tvárniku a tyto části jsou identické. Tento okruh je také vyveden do pravé kotevní desky. To, jak jsou okruhy mezi sebou propojeny můžeme vidět na obr 44. Je využito výše uvedených součástí.

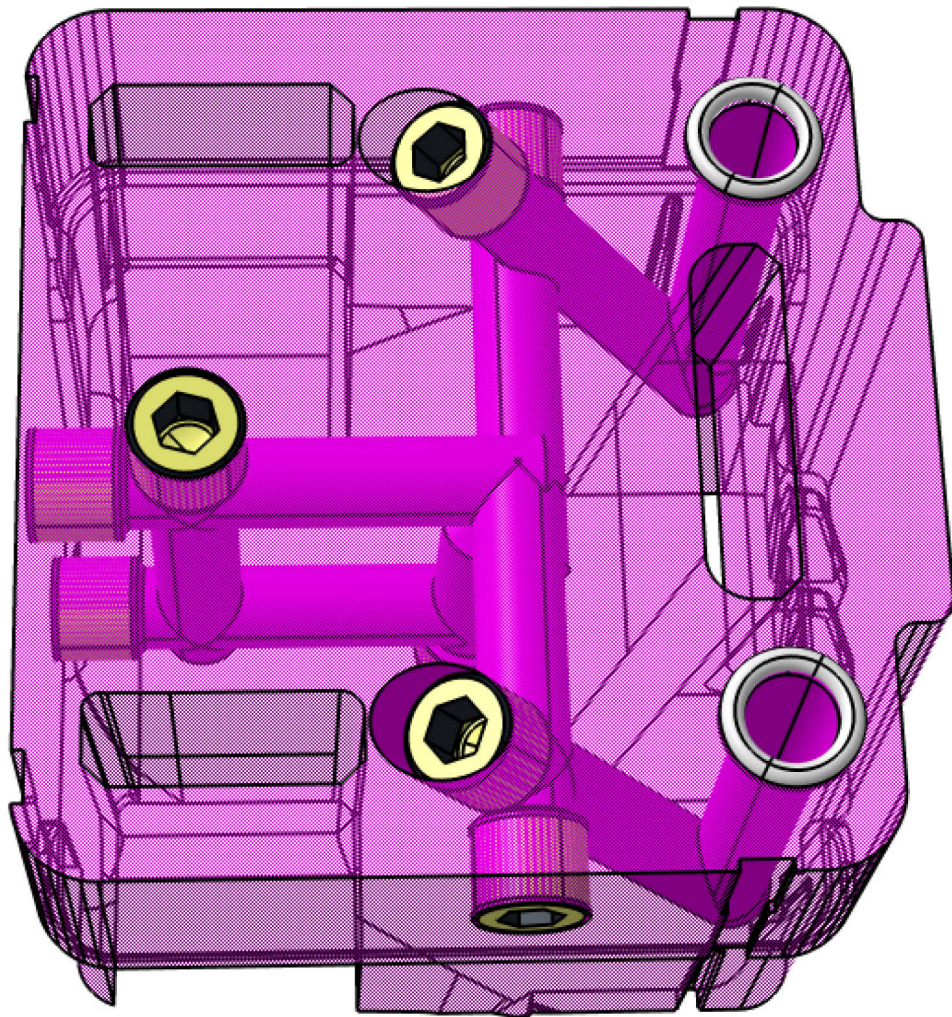


*Obr. 50 Temperační okruh tvárnice*

Temperační systém tvárnice se skládá ze dvou identických okruhů tedy pro každý výstřik jeden. Okruh zasahuje do tří částí formy, a to do tvárnice, středového jádra tvárnice a levé kotevní desky, kde vyveden přívod a odvod temperačního média. Tento kruh je vrtaný o průměru 8 mm. Ve tvárnici je využito tří přepážek, dvě Hasco Z965/1,8x12x34 a jedna Hasco Z965/1,8x12x23 jinak zbylé součásti jsou stejné jako výše uvedené.



*Obr. 51 Část temperačního okruhu v tvárnici*

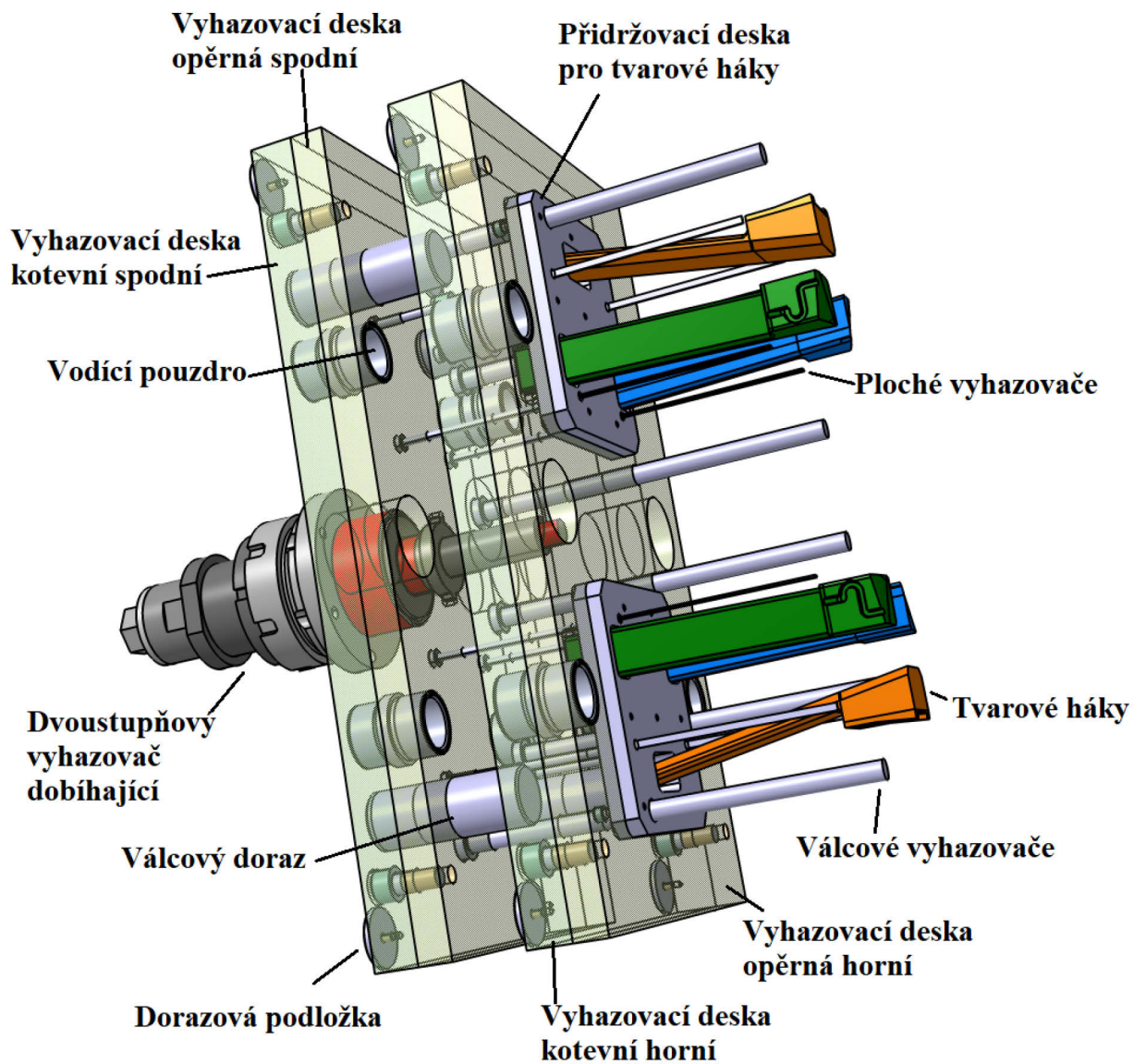


Obr. 52 Část temperačního okruhu ve středovém jádru tvárnice

## 11.5 Vyhazovací systém

Pro složitost výrobku byl zvolen dvoustupňový vyhazovací systém, který zajišťuje správné vyhození vstříkované součásti z formy. Vyhození zajišťuje osm plochých vyhazovačů Hasco Z465/3,5x1x200 a šest válcových vyhazovačů Hasco Z40/10x250 uložených ve spodní kotevní desce. Dále za pomoci hlavních a vedlejších tvarových háků, které jsou uloženy v horní kotevní desce za pomoci kolíků Hasco Z25/4x30 a přídržovací desky pro tvarové háky. Vedení vyhazovacího systému je zajištěno čtyřmi vodícími čepy, které jsou uchyceny v levé opěrné desce. Tyto čepy jsou vedeny za pomoci osmi vodících pouzder, které jsou uchycené ve vyhazovacích deskách. Středění probíhá za pomoci čtyřech středících válcových rozpěrek

uložených v levé upínací desce. Aby se systém vracel správně do výchozí polohy je za potřeby válcových dorazů, ty jsou uchyceny šrouby k levé upínací desce. Na spodních stranách jsou přišroubovány dorazové podložky. Pohyb celého vyhadzovacího systému zajišťuje dvou-  
 stupňový vyhadzovač dobíhající od firmy Meusburger E 1870/20/111.

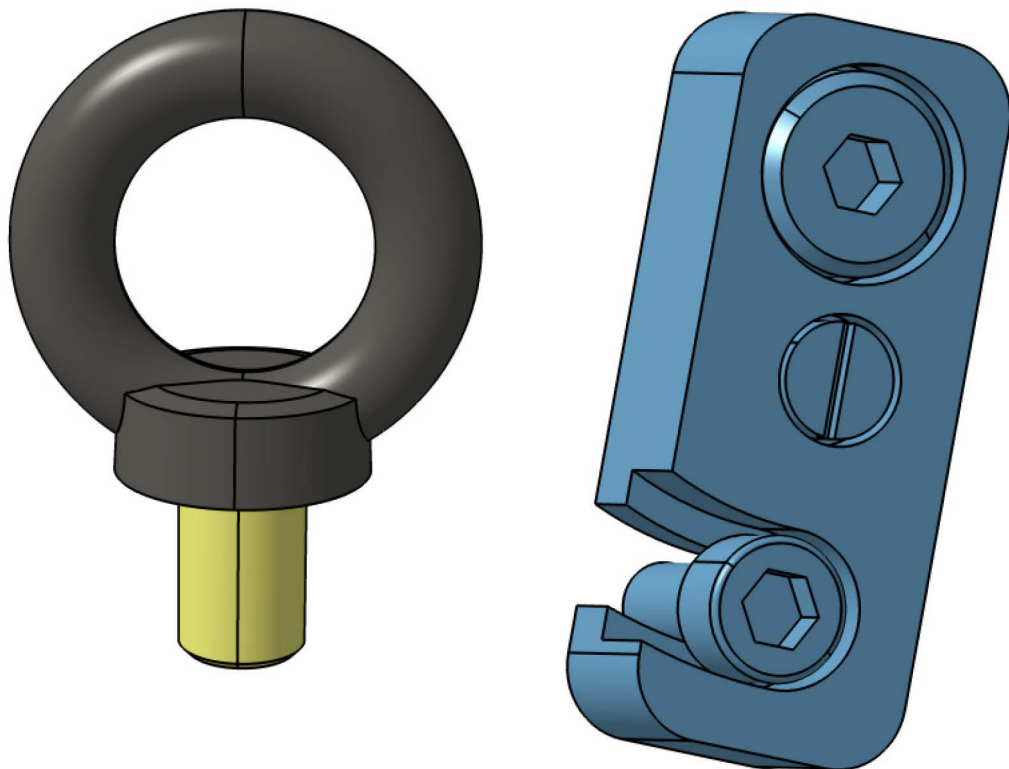


Obr. 53 Vyhazovací systém vstřikovací formy

## 11.6 Transport a zajištění formy

Jelikož je potřeba formu nějakým způsobem transportovat bylo použito závěsného oka od firmy Hasco Z710/20. Toto oko je umístěno v těžišti formy pro dobrou distribuci vah při transportu.

Při transportu je zapotřebí zajistit dělicí rovinu proti otevření. Pro řešení tohoto problému bylo využito zámku od firmy Hasco Z73/12x20x50



*Obr. 54 Transportní oko a zámek dělicí roviny*



## 12 TOKOVÉ ANALÝZY

Jelikož už jsme analyzovali výrobek samotný bylo využito stejné sítě při následující analýze celé vstřikovací formy.

Byli zvoleny následující procesní parametry:

Tab. 8 Zvolené procesní parametry

Procesní parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	210	°C
Teplota povrchu formy	50	°C
Vyhazovací teplota	116	°C
Doba otevření formy	5	s
Procento zamrzlých vrstev při vyhození	90	%
Vstřikovací čas	1	s
Přepnutí na dotlak po zaplnění formy	99,8	%

Dále bylo nastavena dotlaková fáze dle hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku v procentech. Dotlak působil 8 sekund a velikostí 90 % z maximální hodnoty vstřikovacího tlaku.

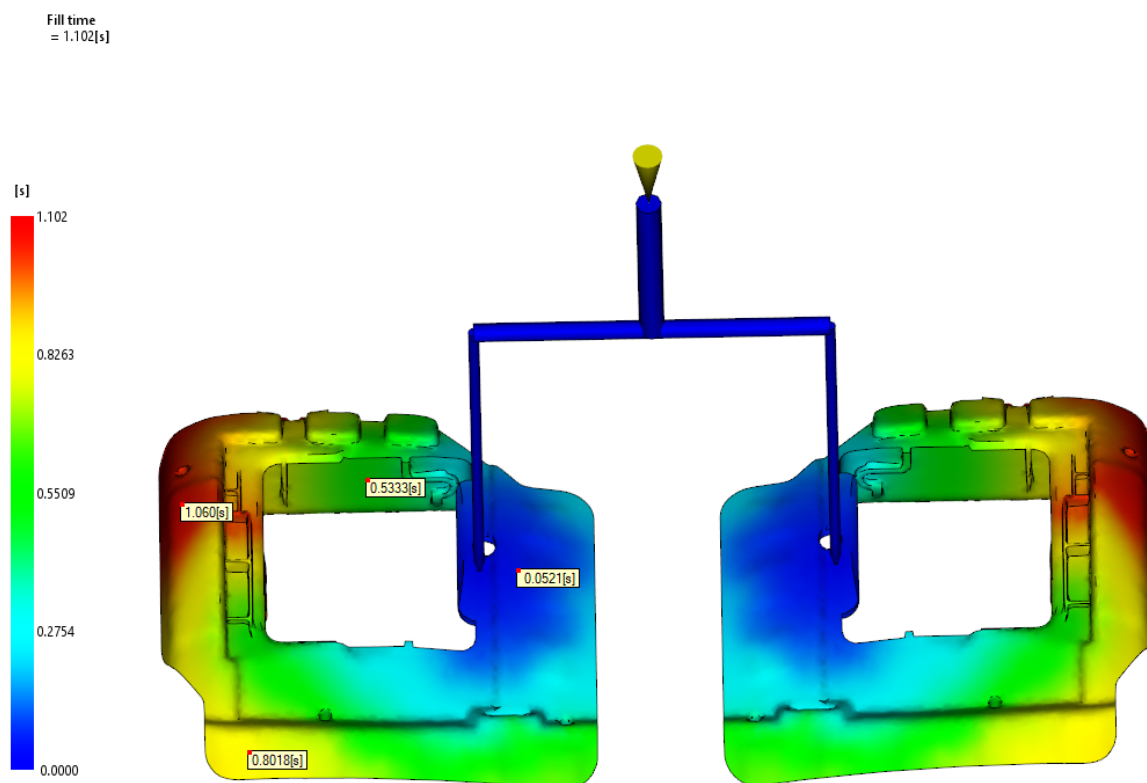
Následovalo nastavení materiálu formy Tool steel P-20.

Pro přesnější teplotní analýzy byl nastaven blok formy, který je velikostně identický 3D návrhu.

Následujícím krokem bylo nastavení temperačního systému. Jako temperační médium byl zvolen Ethylen glycol a voda v kombinaci 20 % a 80 % za teploty 45 °C. Temperační médium byl vháněno pod tlakem 3 barů v hlavních okruzích a 2,4 bar ve vedlejším okruhu.

## 12.1 Čas plnění

Tato analýza ukáže průběh plnění a dobu, za kterou se dutina formy zcela zaplní. Tuto analýzu ovlivňuje hodně faktorů zejména vtokový systém, zpracovatelské podmínky, druh materiálu a samotná složitost výrobku. Nezatečení materiálu by znamenalo, že je potřeba upravit jednu nebo více parametrů.

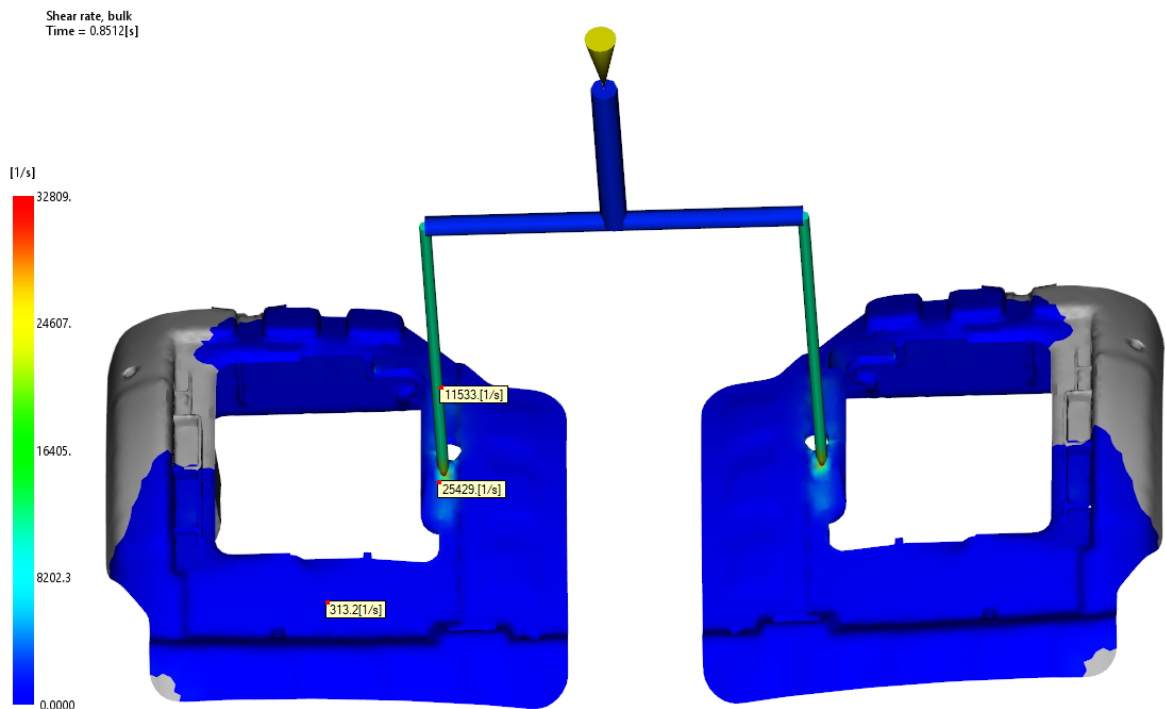


Obr. 55 Transportní oko a zámek dělicí roviny

V tomto případě materiál spolehlivě dotekl do všech částí dutiny formy za 1,102 sekund.

## 12.2 Rychlost smykové deformace

Tato analýza ukazuje maximální dosaženou rychlost smykové deformace během vstřikovacího procesu plnění tvarové dutiny taveninou. Zpravidla bývá největší rychlost smykové deformace ve vtokové systému. Pro námi zvolený materiál je maximální rychlost smykové deformace  $100\,000\text{ s}^{-1}$ .



Obr. 56 Rychlost smykové deformace

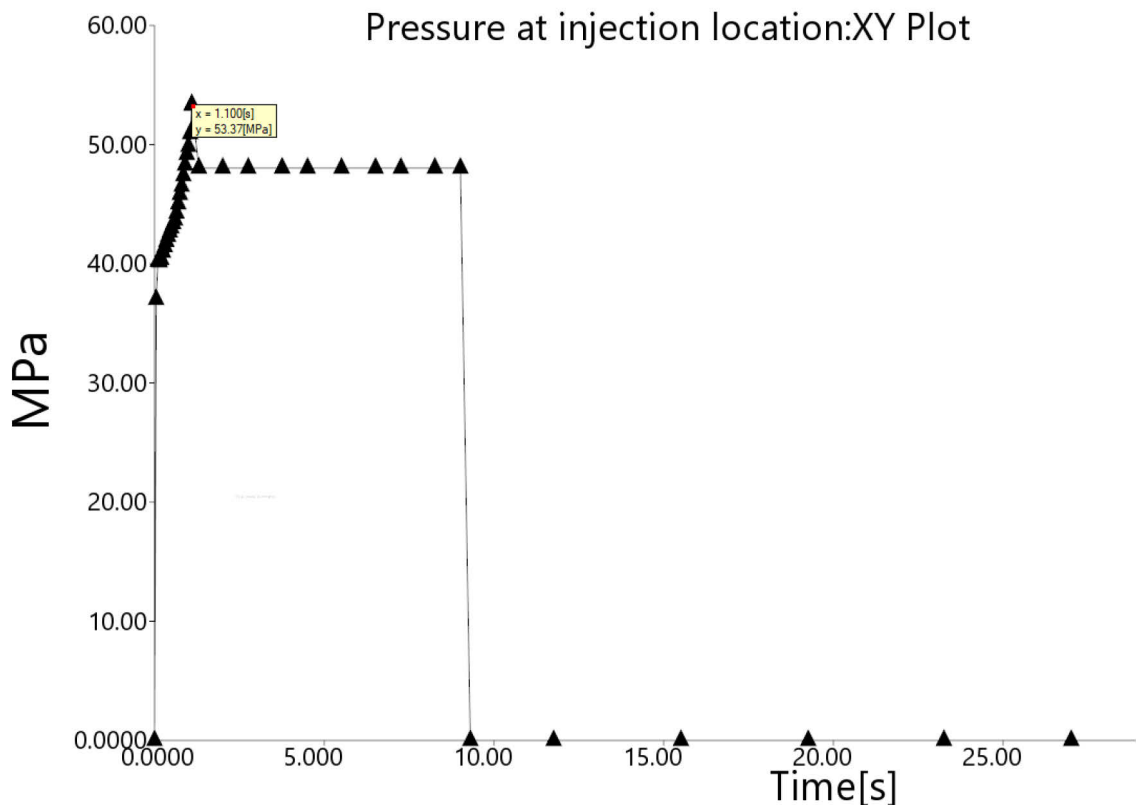
Výsledek analýzy prokázal, že maximální hodnota rychlosti smykové deformace nebyla překročena, protože dosáhla hodnoty  $32\,809\text{ s}^{-1}$ .

## 12.3 Analýzy pro volbu vstřikovacího stroje

Pro určení správného vstřikovacího stroje je zapotřebí vzít v úvahu následující analýzy, které poskytují data pro jeho volbu.

### 12.3.1 Vstřikovací tlak

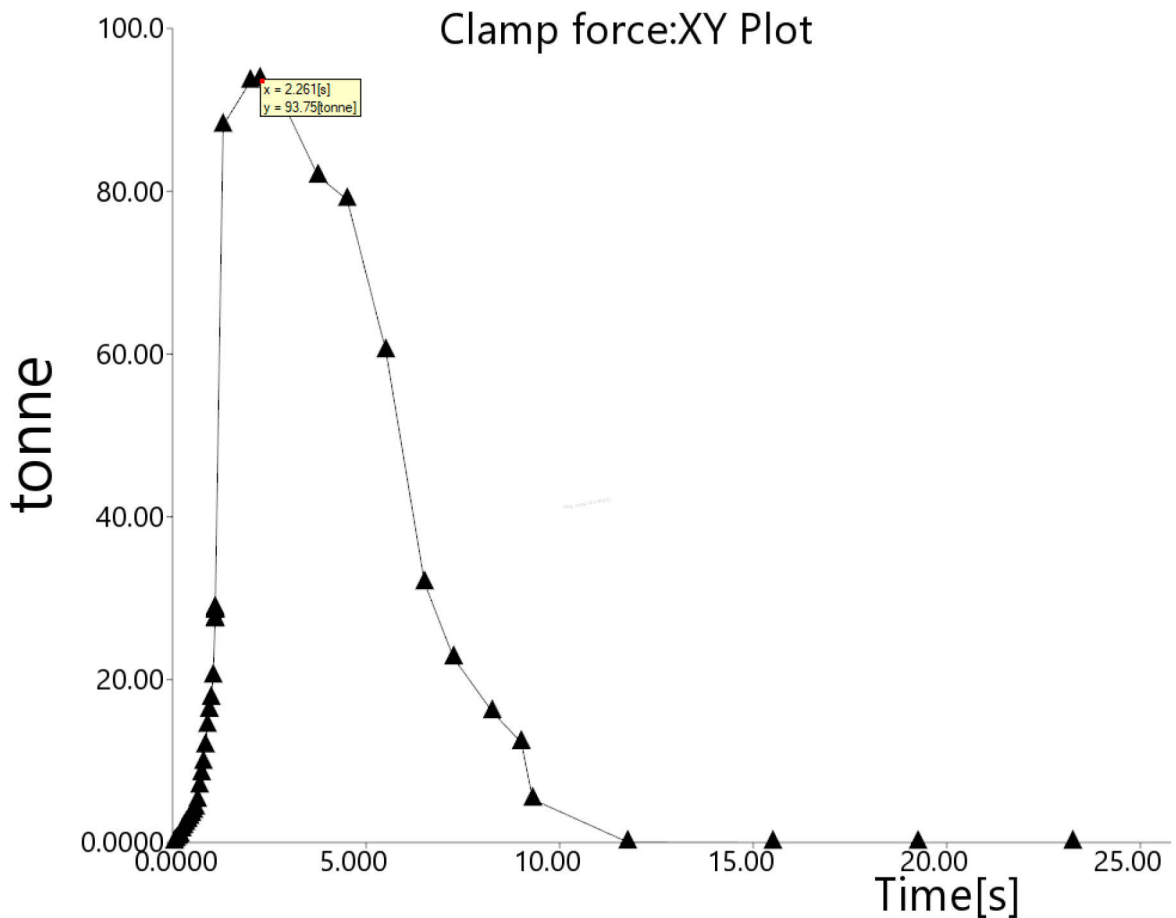
Tato analýza je ve formě grafu tlaku v závislosti na čase. Průběh vstřikovacího tlaku je vykreslen v následujícím grafu, kde tlak dosahuje maximální hodnoty  $53,37\text{ MPa}$ .



Obr. 57 Průběh vstřikovacího tlaku

### 12.3.2 Uzavírací síla

Z této analýzy byl získán nejdůležitější parametr při volbě vstřikovacího stroje a tím je průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu. Graf znázorňuje závislost uzavírací síly na čase. Uzavírací síla dosahuje nejvyšší hodnoty a to 93,75 tun tedy 937,5 kN. Obecné pravidlo říká, že uzavírací síla nesmí být menší než vstřikovací tlak, jinak by hrozilo pootevření formy během vstřikování.



Obr. 58 Průběh uzavírací síly

### 12.3.3 Volba vstřikovacího stroje

Díky předešlým analýzám a technickým parametrům navržené vstřikované formy byl vybrán hydraulický vstřikovací stroj ALLROUNDER 420C GOLDEN EDITION 1000-290 (30 mm) od firmy Arburg.

Tab. 9 Srovnání technických parametrů stroje a formy

Technické parametry	Vstřikovací stroj	Forma	Jednotka
Rozměr formy	420x420	396x346	mm
Objem vstřiku	106	48,78	cm <sup>3</sup>
Vstřikovací tlak	250	53,37	Mpa
Uzavírací síla	1000	937,5	kN
Průměr šneku	30	-	mm

Kompletní technické parametry stroje ALLROUNDER 420C jsou přiloženy v příloze P II.

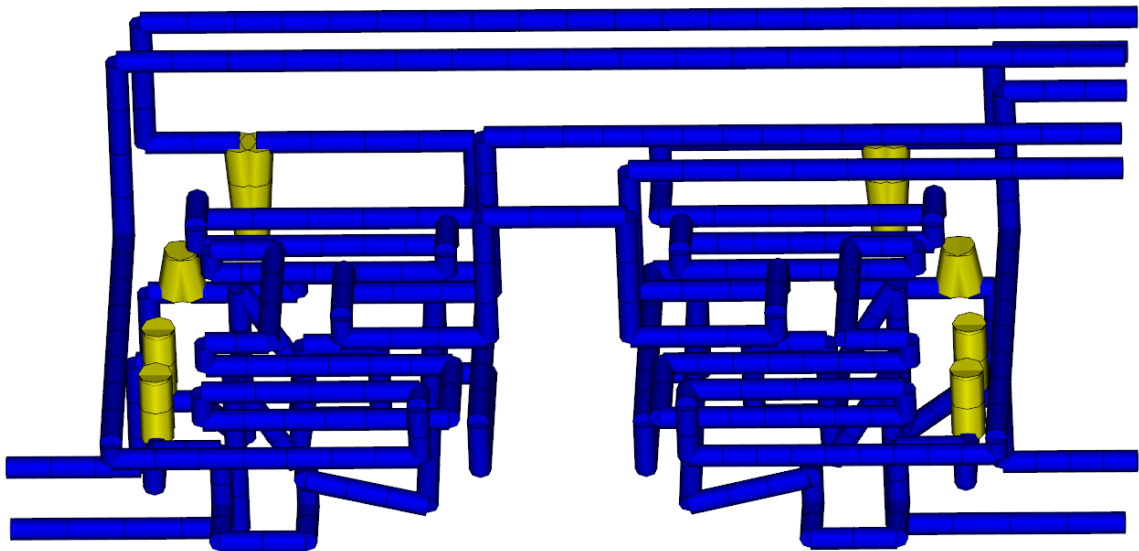
## 12.4 Čas potřebný k ochlazení vstřikovaného výrobku na vyhazovací teplotu

V praxi je tento parametr jeden z nejdůležitějších z hlediska produktivity práce. Jelikož závisí především na účinnosti temperačního systému byly testovány tři typy temperačních systémů. Hlavní rozdíly jsou v jejich složitosti konstrukce. Od jednoduché po složitou konstrukci.

Dále bylo testováno, jak moc ovlivní čas potřebný k ochlazení vstřikovaného výrobku na vyhazovací teplotu výměna standartního materiálu formy za materiál, který velmi dobře odvádí teplo.

### 12.4.1 Temperační systém A

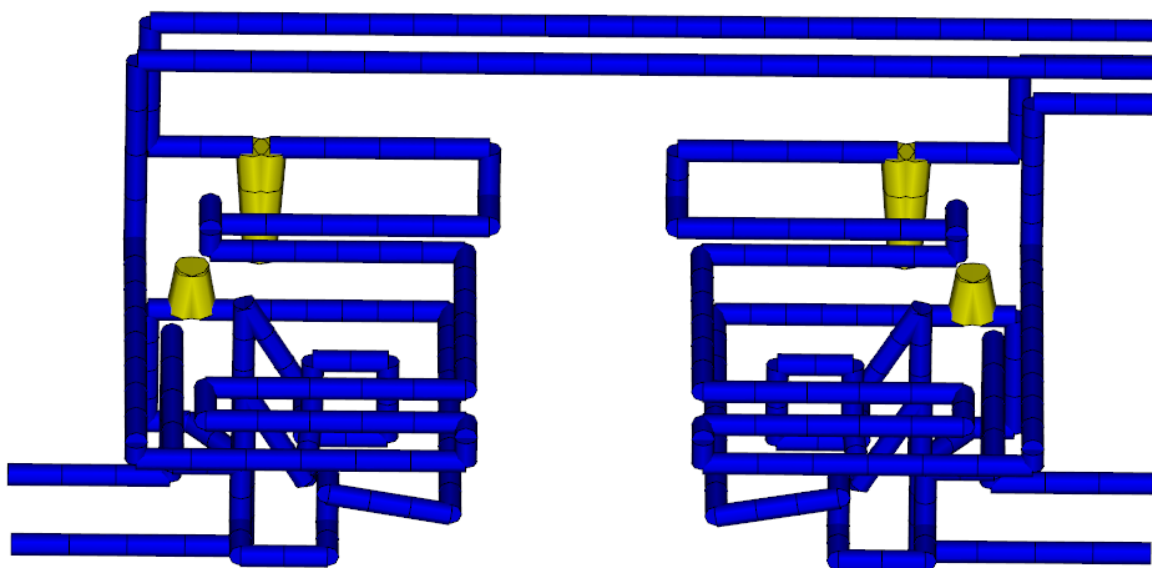
Jedná se o nejsložitější temperační systém skládající se z pěti okruhů, dvou hlavních a jednoho vedlejšího chladicí tvárnici a dvou hlavních chladicí tvárnici.



Obr. 59 Temperační systém A

### 12.4.2 Temperační systém B

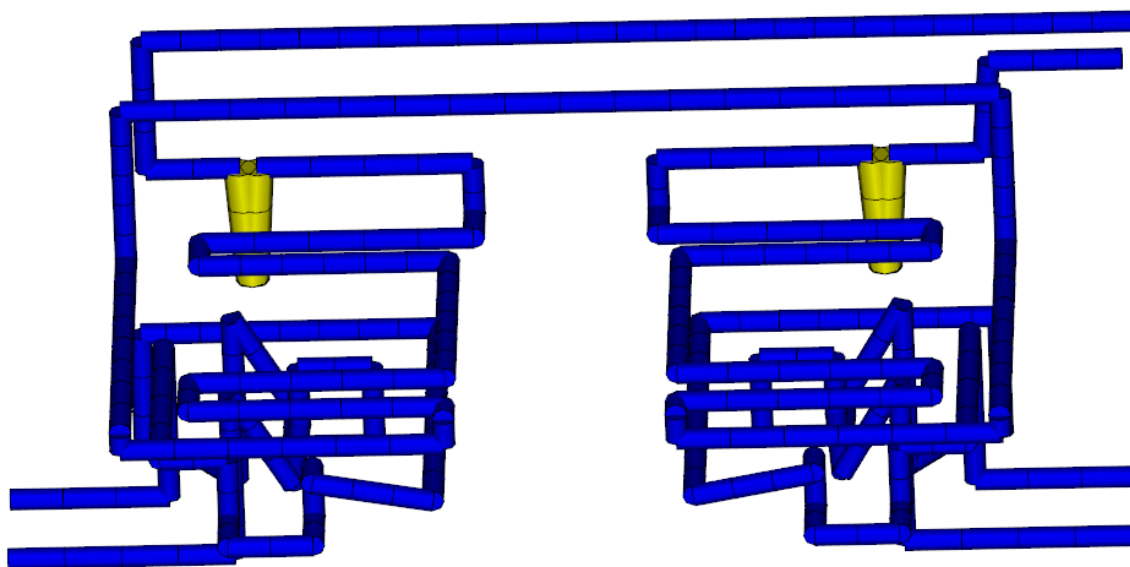
Tento temperační systém je jednodušší oproti systému A. Ze systému B byl odstraněn vedlejší okruh tvárníku a hlavní okruhy byly zjednodušeny. Okruhy tvárnice byly zjednodušeny a došlo k odstranění dvou přepážek z každého okruhu.



*Obr. 60 Temperační systém B*

### 12.4.3 Temperační okruh C

Nejjednodušší ze tří testovaných. Oproti systému B došlo k ještě většímu zjednodušení, okruhy tvárníku bylo spojeny v jeden samotný okruh a z okruhů tvárnice byli odstraněny všechny přepážky.



*Obr. 61 Temperační systém C*

#### 12.4.4 Porovnání temperačních systémů

V těchto okruzích proudilo temperační médium ethylen glycol/voda v poměru 20 % a 80 % za teploty 45 °C. Temperační médium byl vhnáno do hlavních okruhů pod tlakem 3 bar a do vedlejšího 2,4 bar. Ostatní parametry analýzy nebyly měněny.

Tab. 10 Srovnání jednotlivých systémů

Systémy	Čas potřebný k ochlazení	Jednotka
Temperační systém A	28,70	s
Temperační systém B	29,69	
Temperační systém C	30,86	

Temperační systém A byl tedy vybrán pro návrh formy, protože se ukázal jako nejúčinnější tedy zkrátit nejvíce čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu. Byl rychlejší o 0,99 sekund než systém B a rychlejší o 2,16 sekund než systém C.

#### 12.4.5 Ovlivnění času potřebného k ochlazení vstřikovaného výrobku vlivem výměny materiálu formy

Při této analýze byl pouze vyměněn materiál formy. Místo Tool steel P-20 byl použit materiál AMPCOLOY 972 od firmy Ampco Metal. Tento materiál velmi dobře odvádí teplo.

Analýza porovnává výsledky při použití Temperačního systému A.

Tab. 11 Srovnání jednotlivých materiálů formy

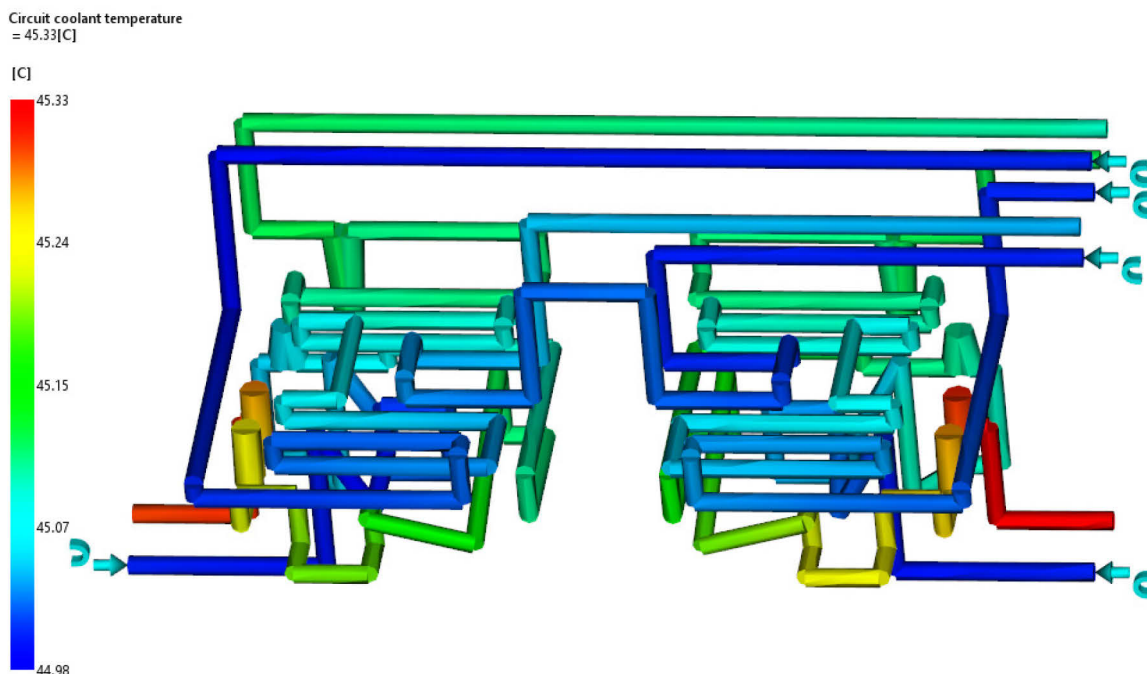
Materiál	Čas potřebný k ochlazení	Jednotka
Tool steel P-20	28,70	s
AMPCOLOY 972	27,04	s

Tato analýza ukázala, že výměna materiálu formy může značně zrychlit čas potřebný k ochlazení vstřikovaného výrobku na vyhazovací teplotu a to o 1,64 sekundy. Problém je v tom, že tento materiál je značně drahý a není tedy doporučeno jeho použití, pokud nejde o velkosériovou výrobu, kde by se použití tohoto materiálu vyplatilo.



## 12.5 Teplota v temperačních okruzích

Zásadou konstrukce temperačních systémů je to, aby teplotní rozdíl na vstupu a výstupu nepřesáhl hodnotu 3 až 5 °C.

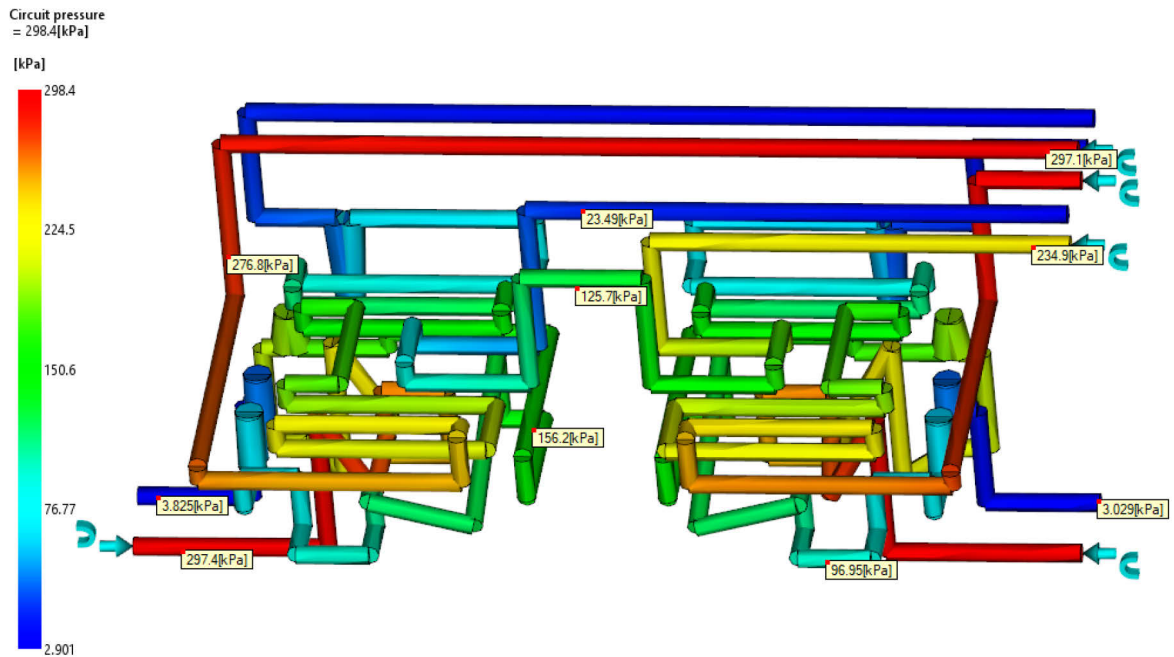


Obr. 62 Teplota v temperačních okruzích

Tato zásada byla splněna, protože teplotní rozdíl je přibližně 0,3 °C.

## 12.6 Tlak v temperačním systému

Analýza tlaku v temperačním systému dává informace o tom, jak se bude měnit tlak v temperačních kanálech. Tlak je na vstupu nejvyšší a s délkou kanálu klesá. Analýza se provádí z důvodů zjištění, jestli v daném systému nejsou tzv. mrtvá místa tedy místa, kde je tlak nulový. Z výsledků vyplývá, že použitý temperační systém tyto místa neobsahuje.



Obr. 63 Průběh tlaku v temperačních okruzích

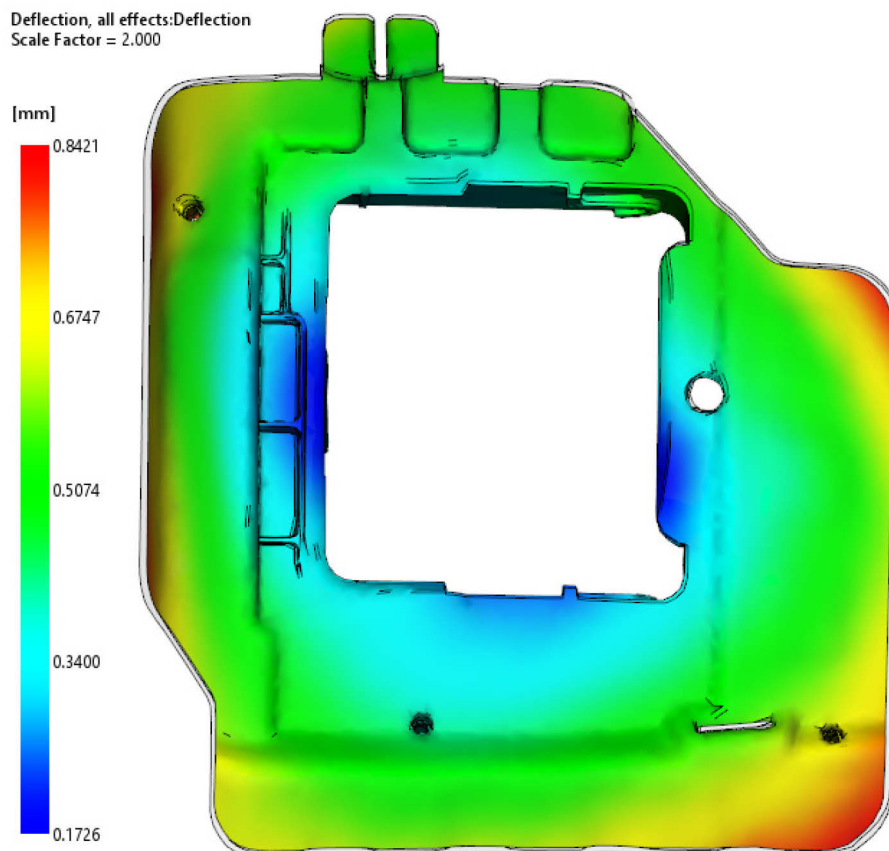
## 12.7 Celková deformace od všech vlivů

Analýza kontroluje celkovou deformaci vstříkovaného výrobku, která je ovlivněna mnoha vlivy. V této analýze jsou zahrnuty deformace způsobeny smrštěním vstříkovaného materiálu a jeho orientace. Také deformace způsobené samotným chlazením vstříkovaného výrobku. Tyto deformace jsou velmi důležité při návrhu tvarové dutiny vstříkovací formy. Tvarová dutina by měla být o tyto hodnoty zvětšena.

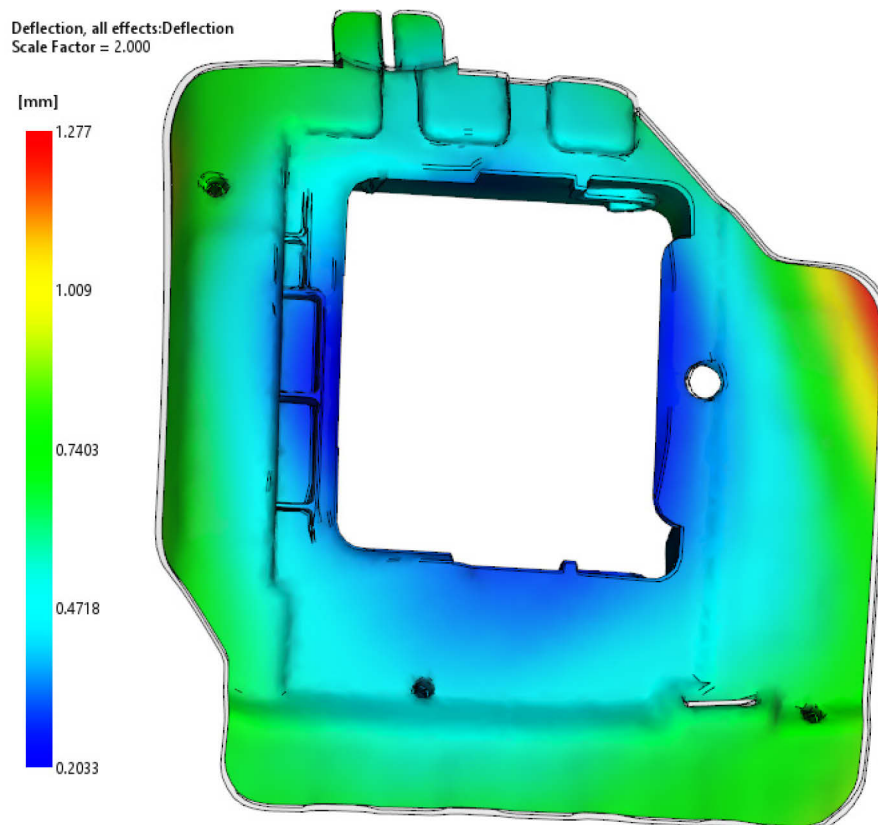
Byla taky provedena analýza, jak velký rozdíl v deformacích vznikne při použití studeného vtokového systému místo horkého systému.

Zobrazená deformace je dvakrát zvětšena pro názornost. Na obrázku č. 64 je znázorněna celková deformace od všech vlivů za použití horkého vtokového systému. Velikost deformací dosáhla hodnoty 0,8421 mm. Za to na obrázku č. 65 je znázorněna deformace od všech vlivů za použití studeného vtokového systému. Velikost deformací zde dosáhla hodnot 1,277 mm.

Při použití horkého vtokového systému mluvíme o zlepšení až 34 %. Z toho plyne doporučení pro použití horkého vtokového systému.



*Obr. 64 Deformace při použití horkého vtokového systému*



*Obr. 65 Deformace při použití studeného vtokového systému*

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce je řešena optimalizace zadaného vstřikovaného dílu, který slouží jako kryt/pouzdro automobilového čidla umístěného v předním nárazníku automobilu o rozměrech 153 x 132 mm a výšky je 43 mm. Návrh konstrukce vstřikovací formy ve 3D programu a její následná optimalizace v programu Autodesk Moldflow.

Vstřikovaný díl byl optimalizován v programu Autodesk Moldflow. Proběhlo testování čtyř různých materiálů PP+EPDM T15, PC+PBT, PA+ABS-10 %GF, PA+PE, které by teoreticky mohli být použity pro výrobu zadaného dílu a byly zároveň vhodné pro odvětví ve kterém je samotný díl použit. Na základě času potřebného k ochlazení vstřikovaného výrobku na vyhazovací teplotu byl zvolen materiál PP+EPDM T15 od firmy Shanghai PRET Composites Co Ltd. Následně se určilo optimální umístění na základě kompromisu výsledku analýzy a zjednodušení následné konstrukce formy. Dále místa, kde je pravděpodobnost výskytu vzduchových kapes a také místa s pravděpodobností výskytu studených spojů.

Vzhledem k funkci výrobku byla zvolena forma jako dvounásobná, aby mohl být zhotoven levý a pravý díl. Tvarová dutina je tvořena tvárníkem, tvárnicí, úkosy, středovým jádrem tvárníku, tvarovými posuvnými čelistmi a vyhazovači. Všechny součásti, které tvoří tvarovou dutinu byly zvětšeny o hodnotu smrštění zvoleného materiálu. Tvárnice a tvárník jsou řešeny jako vložky.

Je využito horké vtokové soustavy jako vtokový systém vstřikovací formy. Byl zvolen z důvodů menších celkových deformací vstřikovaného dílu na rozdíl od studeného vtoku. Analýzy prokázaly, že při použití horkého vtokového systému jsou celkové deformace až o 34 % menší.

Temperační systém navržené vstřikovací formy se skládá z pěti okruhů. Jako temperační médium byla zvolena emulze ethylen glycolu a vody v poměru 20 % a 80 % o teplotě 45 °C. Toto médium je vháněno do hlavních okruhů pod tlakem 3 bar a do vedlejšího okruhu 2,4 bar. Systém je tvořen vrtanými kanály o průměru 8 mm. Je zde využito pěti přepážek o průměru 12 mm různých délek. Temperační okruhy jsou ukončeny hadicovými přípojkami. Ve vrtaných kanálech je tvořen okruh pomocí ucpávek a díry jsou uzavřeny zásepky. Těsnost přechodů mezi deskami je řešena pomocí pryžového těsnění.

Vyhazovací systém je navržen jako dvoustupňový z důvodu postupného vyhození kdy tvarové posuvné čelisti uložené v horní vyhazovací desce se musejí vysunout pod úhlem 8° pro

vedlejší a  $10^\circ$  pro hlavní tak, aby uvolnily výstřik a ten následně mohl být vyhozen válčovitými a plochými vyhazovači uloženými ve spodní vyhazovací desce.

Tato forma také disponuje transportním okem a zámkem dělicí roviny.

Navržená forma byla následně podrobena analýze v programu Moldflow. Analýza poskytla data potřebná pro volbu vstřikovacího stroje a tím byl ALLROUNDER 420C GOLDEN EDITION. Následně se experimentovalo se třemi temperačními systémy A, B a C. Systém A je identický tomu v navržené formě a systémy B a C jsou jeho zjednodušené verze. Analýzy prokázali, že investice do složitějšího systému je vhodná, protože bylo ušetřeno 0,99 sekundy oproti systému B a 2,16 sekund oproti systému C z času potřebného k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu. Dále se provedla analýza, jak moc se změní čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu, když se vymění standardní materiál formy Tool steel P-20 za materiál AMPCOLOY 972. Časová úspora byla 1,64 sekundy, ale použití tohoto materiálu není doporučeno z důvodu vysoké ceny.

## ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce jsou projednávány polymery jako takové a jejich příprava před následným zpracováním, technologie vstřikování a také konstrukční zásady vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem a optimalizace procesu vstřikování.

V praktické části byl zkonstruován model zadaného výrobku, provedena jeho analýza a optimalizace a na těchto datech navrhuta vstřikovací forma. Z analýz vhodnosti materiálů byl zvolen materiál PP+EPDM T15 od firmy Shanghai PRET Composites Co Ltd pro zadaný výrobek, kterým je kryt/pouzdro automobilového čidla. Navržená forma je dvounásobná, která používá horký vtokový systém. Tvarová dutina je řešena za pomoci tvarových vložek, jader, úkosů, tvarových posuvných čelistí a vyhazovačů. Forma disponuje pěti tepeřnými okruhy, ve kterých proudí emulze ethylen glycolu a vody. Tento systém je řešen vrtanými kanály při použití přepážek. Vyhazování je zajištěno mechanickým dvoustupňovým vyhazovacím systémem, kdy první stupeň je určen pro tvarové háky a druhý pro válcové a ploché vyhazovače.

Analýzami v programu Autodesk Moldflow byla získána data pro určení vhodného vstřikovacího stroje, a to ALLROUNDER 420C GOLDEN EDITION. Dále byly provedeny analýzy jednotlivých typů tepeřných systémů a učení vhodnosti investice do složitějšího typu systému. A také vhodnost výměny materiálu formy za materiál, který lépe odvádí teplo. Následně se provedli standartní tokové analýzy formy pro ověření správné funkce navržené formy.

Návrh vstřikovací formy a model zadaného výrobku včetně všech provedených analýz je situován na příkládaném DVD.

V programu CATIA V5R19 byl vytvořen model vstřikovaného výrobku tak i návrh vstřikovací formy za pomoci normalizovaných dílů od firem Hasco a Meusbureger. Všechny analýzy byly prováděny v programu Autodesk Moldflow.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. Úvod do studia materiálů. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 190s. ISBN 8070805684.
- [2] Ing. Luboš Běhálek, Ph.D. Polymery 2016 [online] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [3] MLEZIVA, Josef. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 544s. ISBN 8085920727.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl - vstřikování termoplastů. 2.vyd.Brno: UNIPLAST, 1999. 134s.
- [5] MM Průmyslové Spektrum Polymery amorfnní a semikrystalické z hlediska vstřikování. [online] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [6] DOMININGHAUS, Hans. Plastic for Engineers – Materials, Properties, Applications. Munich: Hanser, 1993, 785 s. ISBN 3-446-15723-9
- [7] LENFELD, P. Technologie II. - Vstřikování plastů, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie 2016 [online] Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [8] prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld Technologie vstřikování [online] Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [9] KREBS, J. Teorie zpracování nekovových materiálů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-449-8
- [10] Staněk, Michal. Přednášky konstrukce forem (T5KF). Zlín: UTB ve Zlíně, 2016.
- [11] KUTA, A. Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů. VŠCHT Praha, 1999 (skripta).
- [12] Ing. Jiří Bobek, Ph.D. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů 2016 [online] Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [13] Ing. Martin Seidl Stroje pro zpracování polymerních materiálů 2016 [online] Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>

- [14] MALLOY, Robert. Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction. Mnichov: Hanser, 2011, ISBN 3446404686.
- [15] MM Průmyslové Spektrum Principy konstrukce plastových výlisků. [online] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/principy-konstrukce-plastovych-vylisku.html>
- [16] CAMPO, Alfredo. The Complete Part Design Handbook: For Injection Molding of Thermoplastics. Mnichov: Hanser Gardner Publications, 2006, ISBN 1569903751.
- [17] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv Studené a živé vtokové systémy. Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni. [online] Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [18] Vstřikování plastických hmot. [online] Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)
- [19] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv Horké vtoky. Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni. [online] Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Horke\\_vtoky.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf)
- [20] Digitální prototyp Autodesk Simulation Moldflow [online] Dostupné z: [https://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska\\_digitalni\\_prototyp\\_ASM\\_cz.pdf](https://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska_digitalni_prototyp_ASM_cz.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
SAN	Styren-akrylonitril
Tg	Teplota skelného přechodu
SB	Styren-butadien
ABS	Akrylonitrilbutadiestyren
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
POM	Polyoxymetylen
PBT	Polybutentereftalát
Tm	Teplota tání
PET	Polyethylentereftalát
C	Uhlík
S	Síra
NR	Přírodní kaučuk
EPDM	Ethylen-propylen-dienový kaučuk
TPE	Termoplastický elastomer
SIR	Silikonový termoplastický elastomer
EVA	Ethylenvinylacetát
SEBS	Styren-ethylen-butylen-styren
Kg	Kilogram
PTFE	Polytetraflourethyne

---

PVC	Polyvinylchlorid
PUR	Polyuretanový kaučuk
°C	Stupeň Celsia
%	Procento
°	Stupeň
R	Rádus [°]
h	Výška
SW	Software
GF	Skelné vlákno
MPa	Mega pascal
s <sup>-1</sup>	Reciproká sekunda
s	Sekunda
kN	Kilo newton
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
bar	Barometrický tlak

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Základní rozdělení polymerů [2]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Výstřiky z amorfních termoplastů [5]</i> .....	15
<i>Obr. 3 Výrobky ze semikrystalických termoplastů [5]</i> .....	16
<i>Obr. 4 Výrobky z termoplastických elastomerů [5]</i> .....	17
<i>Obr. 5 Příklady tvaru granulí termoplastů [8]</i> .....	18
<i>Obr. 6 Technologický odpad – PE [8]</i> .....	19
<i>Obr. 7 Granulát polymeru v pytlích a oktabinu [8]</i> .....	20
<i>Obr. 8 Sila pro granulát a ukázka plnění z cisterny [8]</i> .....	20
<i>Obr. 9 Vstřikovací cyklus [7]</i> .....	22
<i>Obr. 10 Časový sled vstřikovacího cyklu [10]</i> .....	23
<i>Obr. 11 Vstřikovací stroj [12]</i> .....	24
<i>Obr. 12 Vstřikovací jednotka [13]</i> .....	25
<i>Obr. 13 Schéma jednoduchého šneku</i> .....	26
<i>Obr. 14 Hydraulická uzavírací jednotka [13]</i> .....	27
<i>Obr. 15 Vliv tloušťky stěny na technologii výroby plastového dílu [12]</i> .....	28
<i>Obr. 16 Příklady vhodných a nevhodných změn tlouštěk stěny [12]</i> .....	29
<i>Obr. 17 Konstrukce žeber [15]</i> .....	30
<i>Obr. 18 Vliv velikosti rádiusu na koncentraci napětí [12]</i> .....	30
<i>Obr. 19 Špatné a správné návrhy úkosů [12]</i> .....	31
<i>Obr. 20 Vtoková analýza [15]</i> .....	32
<i>Obr. 21 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [12]</i> .....	34
<i>Obr. 22 Popis uzavřené dvoudeskové vstřikovací formy [12]</i> .....	35
<i>Obr. 23 Popis uzavřené dvoudeskové vstřikovací formy [17]</i> .....	37
<i>Obr. 24 Symetrické uspořádání studených vtokových systémů [18]</i> .....	38
<i>Obr. 25 Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [18]</i> .....	38
<i>Obr. 26 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [12]</i> .....	39
<i>Obr. 27 Filmové ústí vtoku [12]</i> .....	40
<i>Obr. 28 Věžířové a zvonové ústí vtoku [12]</i> .....	40
<i>Obr. 29 Tunelové ústí vtoku [12]</i> .....	41
<i>Obr. 30 Banánové ústí vtoku [12]</i> .....	41
<i>Obr. 31 Řez horkým vtokem s jehlou [19]</i> .....	43
<i>Obr. 32 Rozvodový blok tvaru H [19]</i> .....	44

<i>Obr. 33 Typy vyhazovacích kolíků [18]</i> .....	45
<i>Obr. 34 Princip funkce stírací desky [12]</i> .....	46
<i>Obr. 35 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty [18]</i> .....	48
<i>Obr. 36 Zadaný Vstříkovaný díl</i> .....	53
<i>Obr. 37 Konečná statistika sítě</i> .....	54
<i>Obr. 38 Zadaný Vstříkovaný díl</i> .....	55
<i>Obr. 39 Vzduchové kapsy</i> .....	59
<i>Obr. 40 Studené spoje na výstřiku</i> .....	60
<i>Obr. 41 Sestava vstříkovací formy</i> .....	61
<i>Obr. 42 Zaformování výstřiku</i> .....	62
<i>Obr. 43 Tvárnice a tvárník</i> .....	63
<i>Obr. 44 Středové jádro tvárnice s hlavním (oranžová) a vedlejšími (zelená a červená) tvarovými posuvnými čelistmi</i> .....	64
<i>Obr. 45 Horká vtoková soustava</i> .....	65
<i>Obr. 46 Temperační systém tvárníku</i> .....	66
<i>Obr. 47 Součásti použité v temperačním systému</i> .....	67
<i>Obr. 48 Hlavní temperační okruh tvárníku</i> .....	67
<i>Obr. 49 Vedlejší temperační okruh tvárníku</i> .....	68
<i>Obr. 50 Temperační okruh tvárnice</i> .....	69
<i>Obr. 51 Část temperačního okruhu v tvárnici</i> .....	69
<i>Obr. 52 Část temperačního okruhu ve středovém jádru tvárnice</i> .....	70
<i>Obr. 53 Vyhazovací systém vstříkovací formy</i> .....	71
<i>Obr. 54 Transportní oko a zámek dělicí roviny</i> .....	72
<i>Obr. 55 Transportní oko a zámek dělicí roviny</i> .....	74
<i>Obr. 56 Rychlost smykové deformace</i> .....	75
<i>Obr. 57 Průběh vstříkovacího tlaku</i> .....	76
<i>Obr. 58 Průběh uzavírací síly</i> .....	77
<i>Obr. 59 Temperační systém A</i> .....	78
<i>Obr. 60 Temperační systém B</i> .....	79
<i>Obr. 61 Temperační systém C</i> .....	79
<i>Obr. 62 Teplota v temperačních okruzích</i> .....	81
<i>Obr. 63 Průběh tlaku v temperačních okruzích</i> .....	82
<i>Obr. 64 Deformace při použití horkého vtokového systému</i> .....	83

---

*Obr. 65 Deformace při použití studeného vtokového systému.....83*

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 <i>Porovnání z hlediska vybraných vlastností [5]</i> .....	14
Tab. 2 <i>Rozdělení plastů dle obsahu vlhkosti [8]</i> .....	21
Tab. 3 <i>Doporučené zpracovatelské podmínky pro PP+EPDM-T15 C3322T-550-A</i> .56	
Tab. 4 <i>Doporučené zpracovatelské podmínky pro DURANEX H7500</i> .....	57
Tab. 5 <i>Doporučené zpracovatelské podmínky pro Novalloy</i> .....	57
Tab. 6 <i>Doporučené zpracovatelské podmínky pro P232T-UV</i> .....	58
Tab. 7 <i>Porovnání vybraných materiálů</i> .....	58
Tab. 8 <i>Zvolené procesní parametry</i> .....	73
Tab. 9 <i>Srovnání technických parametrů stroje a formy</i> .....	77
Tab. 10 <i>Srovnání jednotlivých systémů</i> .....	80
Tab. 11 <i>Srovnání jednotlivých materiálů formy</i> .....	80

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

PŘÍLOHA P III: DVD – DISK OBAHUJÍCÍ:

- Diplomovou práci
- Model vstříkovaného výrobku
- 3D návrh vstříkovací formy
- Optimalizační a tokové analýzy

# PRÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST



上海普利特复合材料股份有限公司

Shanghai PRET Composite Co., Ltd.

## 产品说明书

### Product information

材料名称 Material	PP+EPDM-T15 C3322T-550-A	材料标准 Standard	WSK-M4D550-A (2010)
材料特性 Character	高刚性、高韧性改性PP. Modified polypropylene with good flowability properties and good impact/stiffness balance.		
加工方法 Processing method	注射成型. Injection moulding.		
用途 Applications	主要用于汽车内外饰件、电器等。 Interior and exterior trim parts of automobiles, electronic appliances.		

### 材料典型性能

#### Typical Properties

序号 ID	检验指标 Test Item	单位 Unit	实测值 Result	检验方法 Method	测试条件 Test condition
1	密度 Specific gravity	g/cm <sup>3</sup>	1.025	ISO 1183	
2	燃烧残余 Filler content	%	15.6	ISO 3451	
3	拉伸屈服强度 Tensile strength at yield	MPa	20.3	ISO 527	50 mm/min
4	弯曲模量 Flexural modulus	MPa	1650	ISO 178	2 mm/min
5	缺口冲击强度 Impact strength- notched	KJ/m <sup>2</sup>	26.7	ISO 180	23℃
6	缺口冲击强度 Impact strength- notched	KJ/m <sup>2</sup>	2.8	ISO 180	-40℃
7	热变形温度 Heat deflection temp.	℃	53.4	ISO 75	1.8MPa
8	热变形温度 Heat deflection temp.	℃	95.8	ISO 75	0.45MPa
9	熔体流动速率 Melt flow rate	g/10min	18.5	ISO 1133	230℃×2.16kg
10	材料收缩率 Material Shrinkage	%	1.1-1.3	PRET方法	

### 加工参数 Processing Conditions

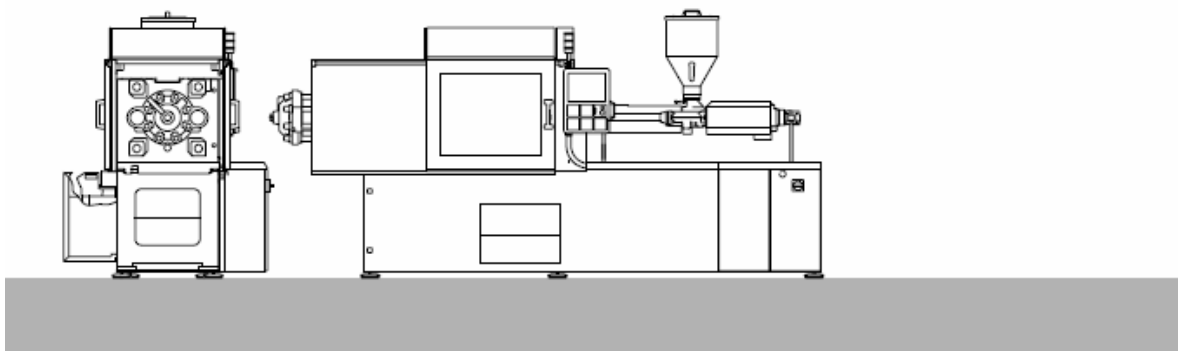
干燥温度(℃) Predrying temperature	90-100	干燥时间(h) Predrying time(h)	1-2	最低水份含量(%) minimum water content	0.1
料筒温度(℃) Moulding temperature	Front, 200-230 Center, 180-200 Rear 160-180	喷嘴温度(℃) Nozzle temperature	190-200	注射压力(MPa) Injection pressure	70-100
螺杆转速(r/min) Screw speed	40-80	背压(MPa) Back Pressure	0.3-0.7		
熔体温度(℃) Melt temperature	190-200				
模具温度(℃) Mould temperature	20-60				

报告中数据为上海普利特复合材料有限公司产品实测值，采用注射成型样片得到。如有疑问，请与公司相关工程师联系。公司地址：上海青浦工业园区新业路558号，Post Code:201707, Tel:0086-021-69210096, Fax:0086-021-69210400



# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Facts and figures



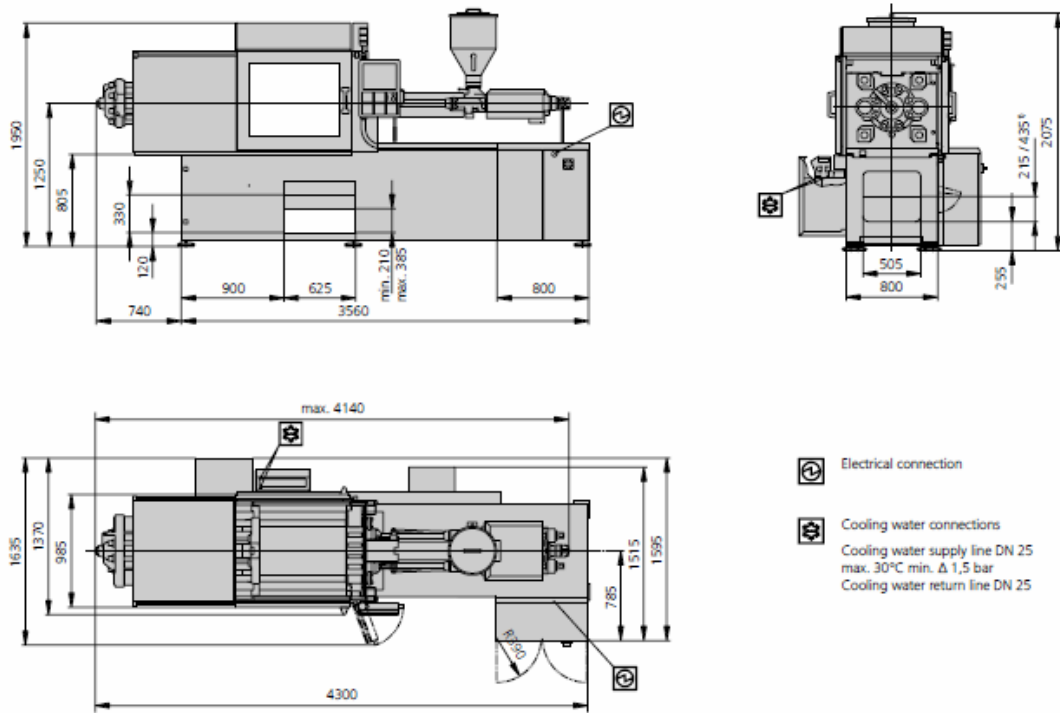
## ALLROUNDER 420 C GOLDEN EDITION

Tie bar distance: 420 x 420 mm

Clamping force: 1000 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 290

**ARBURG**



1) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		420 C GOLDEN EDITION
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		1000-290
<b>Clamping unit</b>		
Clamping force	max. kN	1000
Closing force	max. kN	50
Opening force / increased	max. kN	35 / 250
Opening stroke	max. mm	500
Mould height	min. mm	250
Daylight	max. mm	750
Distance between tie bars	mm	420 x 420
Platen size (hor. x vert.)	mm	570 x 570
Weight of mov. mould half	max. kg	600
Ejector force	max. kN	40
Ejector stroke	max. mm	175
<b>Hydraulics, drive, general</b>		
Drive power of the hydraulic pump	kW	15
Dry cycle time for opening stroke <sup>2)</sup>	s/mm	1,8-294
Total connected load <sup>3)</sup>	kW	23,9
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow		
<b>Control cabinet</b>		
Safety standard according to		DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A
<b>Injection unit</b>		
		290
Screw diameter	mm	30 / 35 / 40
Effective screw length	L/D	23,3 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	150
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	106 / 144 / 188
Shot weight	max. g PS	97 / 132 / 172
Material throughput <sup>4)</sup>	max. kg/h PS	17 / 20,5 / 24,5
	max. kg/h PA 6.6	8,5 / 10,5 / 12,5
Injection pressure <sup>5)</sup>	max. bar	2500 / 2000 / 1530
Injection flow <sup>5)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	102 / 140 / 182
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	46 / 54 / 62
Screw torque	max. Nm	320 / 380 / 430
Nozzle contact force	max. kN	60
Nozzle retraction stroke	max. mm	240
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	5,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,6
Material hopper capacity	l	50
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>		
Oil capacity	l	235
Net weight	kg	3650
Electrical connection (pre-fused) <sup>5)</sup>	A	80

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

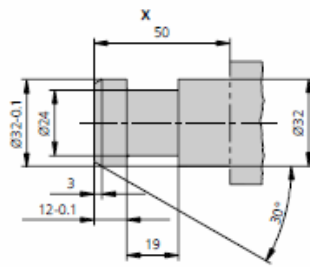
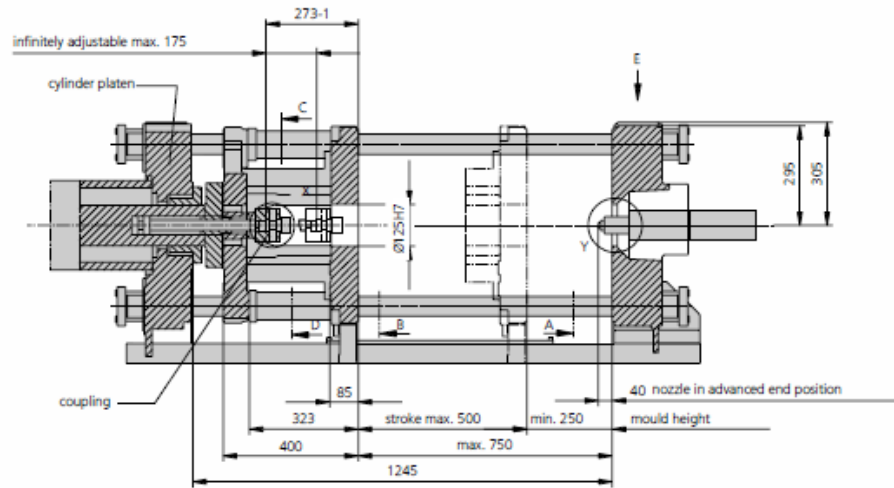
2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment)

3) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output

4) Deviations are possible depending upon process settings and material type

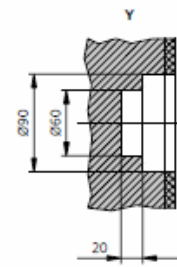
5) According to EUROMAP

These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



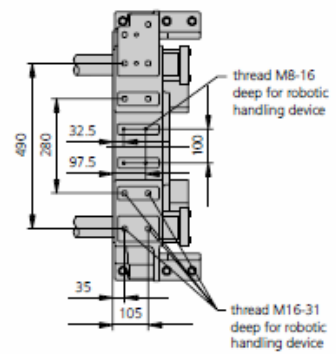
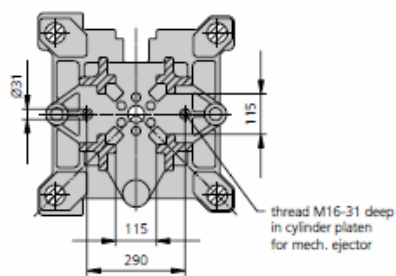
ejector bolt

View C-D



counter bore in the mould required only for short sprue

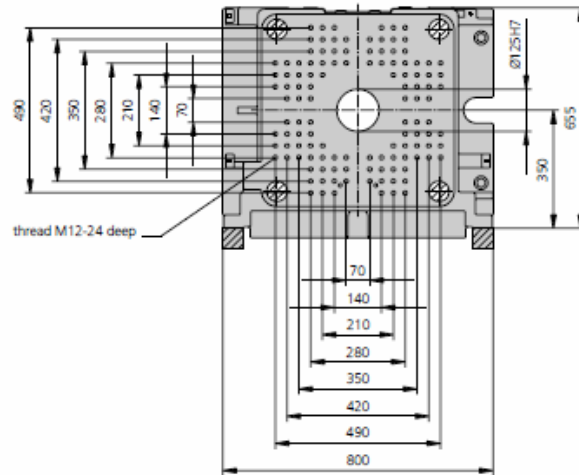
View E



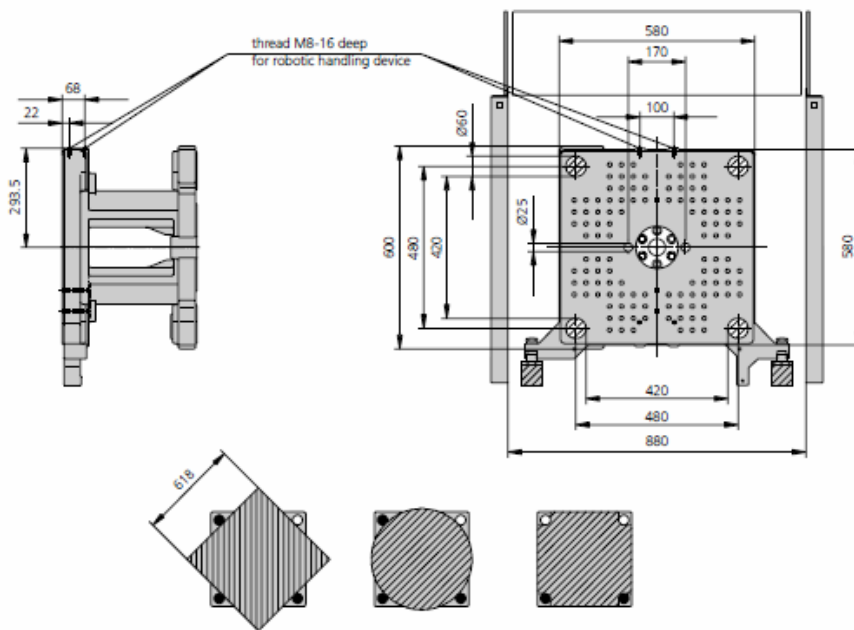
# Mould and platen layout

# | 420 C GOLDEN EDITION

Fixed platen  
View A



Movable platen  
View B



Useable mounting surface with tie bars removed

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)				
Injection units according to EUROMAP		290		
Screw diameter	mm	30	35	40
Polystyrene	PS	97	132	172
Styrene heteropolymerizates	SB	95	129	168
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	93	126	165
Cellulose acetate	CA <sup>1)</sup>	109	148	194
Celluloseacetobutyrate	CAB <sup>1)</sup>	101	138	180
Polymethyl methacrylate	PMMA	100	136	178
Polyphenylene ether, mod.	PPE	90	122	160
Polycarbonate	PC	102	139	181
Polysulphone	PSU	105	143	187
Polyamides	PA 6.6, PA 6 <sup>1)</sup>	96	131	171
	PA 6.10, PA 11 <sup>1)</sup>	90	122	160
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	120	163	213
Polyethylene terephthalate	PET	115	157	205
Polyethylene	PE-LD	73	100	130
	PE-HD	76	103	134
Polypropylene	PP	77	105	137
Fluoropolymerides	FEF, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	155	211	276
	ETFE	136	185	242
Polyvinyl chloride	PVC-U	117	159	208
	PVC-P <sup>1)</sup>	108	147	192

1) average value

#### ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA  
For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG  
DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

