

# Konstrukční návrh nástroje pro výrobu technického plastového dílu

Bc. Stanislav Ježek

---

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. Stanislav Ježek**  
Osobní číslo: **T17266**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh nástroje pro výrobu technického plastového dílu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Nakreslete 3D model zadaného plastového dílu
3. Provedte návrh 3D modelu vstřikovací formy
4. Nakreslete výkres sestavy vstřikovací formy
5. Návrh ověřte pomocí analýzy

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.**
2. **OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6**
3. **BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

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

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

Příjmení a jméno: JEŽEK STANISLAV.....

Obor: KONSTRUKCE TECHNOLOGICKÝCH ZARÍZENÍ

## 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 1.5.2019.

.....

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem nástroje pro výrobu technického plastového dílu, konkrétně pouzdra pro termostat.

V teoretické části jsou popsány součásti vstřikovacích forem a zároveň jsou zde uvedeny materiály vhodné pro vstřikování. Dále jsou popsány materiály pro výrobu vstřikovacích forem.

Praktická část práce se zabývá tvorbou 3D modelu výrobku, vytvořením vstřikovací formy pro tento výrobek a ověřením pomocí analýzy. Na závěr je práce doplněna o výkres sestavy vstřikovací formy.

Pro konstrukci nástroje je využit software CATIA V5 a pro analýzy Autodesk Moldflow.

**Klíčová slova:** vstřikování, polymery, vstřikovací forma, tokové analýzy

## **ABSTRACT**

This master thesis deals with the design of injection mold for technical plastic part production, specifically a housing for a thermostat.

In the theoretical part, parts of the injection molds are described, and materials suitable for injection are provided. Materials for manufacturing injection molds are also provided.

The practical part deals with creation of 3D model of product, design of injection mold for this product and verification by analysis. Finally, the work is completed with a drawing of the injection mold assembly.

CATIA V5 software and Autodesk Moldflow analysis are used to construct the tools.

**Keywords:** Injection molding process, Polymers, Injection Mold, Flow Analysis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za rady, připomínky a čas, který mi věnoval pro zdárné dokončení této diplomové práce.

Dále chci poděkovat mé rodině za podporu při studiu.

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

Současně také prohlašuji, že na mé diplomové práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1 DĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	12
1.1.1 Plasty .....	12
1.1.2 Elastomery.....	13
1.2 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	13
1.3 PŘÍSADEY UPRAVUJÍCÍ ZPRACOVATELNOST .....	14
1.3.1 Příprava polymerů před vstřikováním.....	14
1.4 POUŽITÍ MATERIÁLŮ .....	15
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>17</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
2.2 PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ .....	18
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>20</b>
3.1 ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ.....	21
3.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	22
3.3 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	23
3.4 ŘÍDÍCÍ A REGULAČNÍ JEDNOTKA .....	23
3.5 PERIFERIE VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ.....	24
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>25</b>
4.1 PŘÍPRAVA KONSTRUKCE.....	26
4.2 SMRŠTĚNÍ POLYMERŮ.....	27
4.3 DĚLÍCÍ ROVINA .....	29
4.4 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	30
4.4.1 Studený vtokový systém (SVS) .....	30
4.4.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS).....	34
4.5 VLIV JAKOSTI POVRCHU DUTINY VSTŘIKOVACÍ FORMY NA ZATÉKAVOST .....	37
4.6 TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	37
4.6.1 Zásady návrhu temperačního systému .....	38
4.6.2 Temperační prostředky.....	39
4.6.3 Součásti temperačního systému .....	40
4.7 VYHAZOVÁNÍ VÝROBKŮ Z FOREM.....	42
4.7.1 Mechanické vyhazování.....	42
4.7.2 Pneumatické vyhazování.....	44
4.7.3 Hydraulické vyhazování.....	44
4.8 ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	45
4.9 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	45
<b>5 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>47</b>

5.1	NEDOTEČENÝ VÝROBEK .....	47
5.2	PŘETOKY .....	47
5.3	DEFORMACE VÝROBKU .....	47
5.4	STŘÍBŘENÍ .....	48
5.5	SPÁLENÁ MÍSTA .....	48
5.6	STUDENÉ SPOJE .....	48
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>CHARAKTERISTIKA VÝROBKU .....</b>	<b>51</b>
7.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU .....	52
<b>8</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>PŘEDBĚŽNÁ TOKOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>54</b>
9.1	VÝSLEDKY ANALÝZY POLOHY VTOKU .....	54
9.1.1	Analýza vhodnosti umístění vtoku (Gating suitability) .....	54
9.2	ANALÝZY RŮZNÝCH TYPŮ VTOKOVÝCH SYSTÉMŮ .....	55
9.2.1	Vyhřívaný vtokový systém .....	55
9.2.2	Studený vtokový systém .....	56
9.2.3	Kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému .....	56
<b>10</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>58</b>
10.1	VOLBA NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	58
10.2	KONCEPCE ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	59
10.3	TVAROVÉ ČÁSTI .....	60
10.3.1	Tvárník a tvárnice .....	60
10.3.2	Tvarové čelisti a jádra .....	61
10.4	ZPŮSOB ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	62
10.5	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	63
10.6	VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ PRVKY .....	65
10.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	66
10.7.1	Temperace pevné poloviny formy .....	68
10.7.2	Temperace pohyblivé poloviny formy .....	68
10.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	70
10.9	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	71
10.10	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	71
10.11	OSTATNÍ KOMPONENTY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	73
<b>11</b>	<b>TOKOVÉ ANALÝZY .....</b>	<b>75</b>
11.1	TVORBA SÍTĚ .....	75
11.1.1	Analýza sítě .....	75
11.2	NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK TOKOVÉ ANALÝZY .....	76
11.3	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU .....	78
11.3.1	Čas plnění (Fill time) .....	78
11.3.2	Průběh tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection location) .....	79
11.3.3	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	80
11.3.4	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	81

11.3.5	Studené spoje (Weld lines).....	82
11.3.6	Uzavírací síla (Clamp force) .....	82
11.4	VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE .....	83
11.4.1	Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).....	83
11.5	VÝSLEDKY ANALÝZY CHLAZENÍ.....	84
11.5.1	Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature).....	84
11.5.2	Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure) .....	85
11.5.3	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency) .....	86
11.5.4	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection tempera-ture – part) .....	87
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>100</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály jsou všude kolem nás. Člověk si ani neuvědomuje, co všechno je z polymerních materiálů a velká část z nich je vyrobena právě technologií vstřikování. Technologie vstřikování je poměrně nová technologie, její začátky lze datovat do 20. let 20. století, na rozdíl třeba od technologie kování. K většímu rozmachu technologie však dochází až v druhé polovině 20. století.

Důvod, proč došlo k masovému využití polymerů je jejich nízká hmotnost, dobrá mechanická pevnost, dobrá fyzikální a chemická odolnost. Oproti kovům jsou několikanásobně lehčí. Díky jejich vlastnostem tak pronikly do řady odvětví jako je elektrotechnický průmysl, stavebnictví, spotřební průmysl a zejména automobilový průmysl.

Proces vstřikování je složitý výrobní děj, jehož nástrojem je vstřikovací forma. Tento proces má vysoké počáteční náklady (koupě vstřikovacího stroje a periferie kolem něj), v neposlední řadě konstrukce a výroba vstřikovací formy. Po počátečních investicích lze vyrábět velmi levně (při velkých sériích) a rychle polymerní výrobky, jež mohou být konečným výrobkem, meziproduktem nebo částí sestavy.

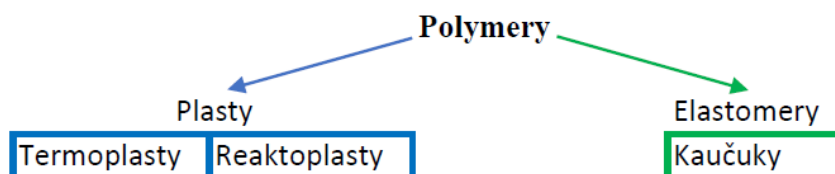
Při návrhu vstřikovacích forem se využívají CAD, CAE a CAM systémy. Tyto systémy usnadňují návrh, zvyšují rychlost výroby a tím i snižují výrobní náklady.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



# 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Nejrozšířenějším materiálem používaným pro technologii vstřikování jsou polymerní materiály. Jsou to chemické látky s velkým rozsahem vlastností, jež se skládají z atomů uhlíku, vodíku, kyslíku a jiných prvků. Za působení například tepla a tlaku je lze formovat na nejrůznější tvary podle budoucího použití. Dělení polymerních materiálů je na Obr. 1. [1]



Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů [1]

## 1.1 Dělení polymerních materiálů

### 1.1.1 Plasty

Plasty se řadí mezi polymery, u kterých dochází vlivem působení vnějšího namáhání k převážně trvalým deformacím. Přitom, jak se chovají při zahřívání, se dělí na termoplasty a reaktoplasty. Základními vlastnostmi plastů za běžných podmínek je tvrdost a křehkost. [2]

#### *Termoplasty*

Jedná se o materiály, které lze tvářet za působení tepla (přechází do stavu plastického). Pokud překročí teplotu tání, přechází do oblasti taveniny. Snížením teploty pod teplotu tání se z nich stávají opět tuhé látky. U termoplastů při zahřívání neprobíhá chemická reakce (nedochází ke změně chemické struktury), nýbrž probíhá reakce, která má fyzikální charakter. Proces tuhnutí a měknutí lze provádět opakovaně. Termoplasty lze dělit na amorfní a semikrystalické. Do skupiny termoplastů patří polypropylen (PP), polystyren (PS), polyetylen (PE), polyamid (PA), polykarbonát (PC) a mnoho dalších. [2]

#### *Reaktoplasty*

Na rozdíl od termoplastů, zde dochází k chemické změně, při níž molekuly zesítují. Zesítováním se stanou netavitelné a nerozpustné – dochází k tzv. vytvrzování. Výrobky z reaktoplastů vynikají tepelnou a chemickou odolností, tvrdostí a také tuhostí. Reaktoplasty jsou amorfní a patří sem různé druhy pryskyřic: epoxidová pryskyřice, polyesterová pryskyřice, fenolformaldehydová pryskyřice apod. [2]

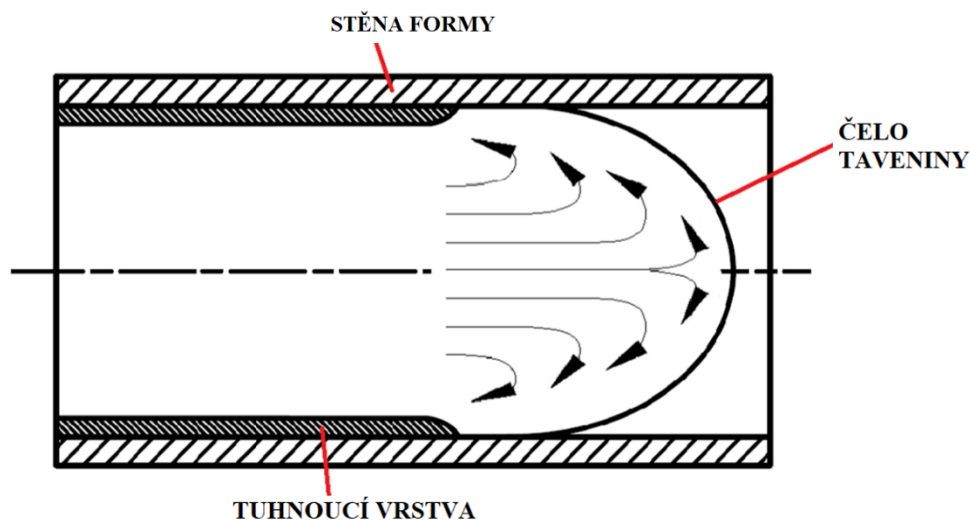
### 1.1.2 Elastomery

Elastomer je pružný materiál s nízkou tuhostí, který lze za působení malé síly značně deformovat, aniž by došlo k porušení. Po odlehčení se vrací převážně do původního stavu. Hlavním představitelem jsou kaučuky, z kterých se vulkanizací vyrábí pryže. Pryž je charakterizována chemickými vazbami, jež tvoří prostorové síť. [2]

## 1.2 Reologické vlastnosti polymerních materiálů

Mechanismus toku polymerních tavenin (dále se již pojednává o termoplastech) je newtonský a pseudoplastický. Pomocí experimentů lze zjistit tokové vlastnosti daného polymeru naměřením smykových napětí a rychlostí smykové deformace a následného zkonstruování tokových křivek. Viskozita kapalin je základní charakteristikou, která určuje odpor kapaliny proti tečení. Při toku taveniny dochází k disipaci (přeměně mechanické energie na tepelnou). Disipace je úměrná součinu smykového napětí a rychlosti smykové deformace, při čemž rychlost smykové deformace dominantnější. K ohřevu taveniny dochází v nejužších místech (nejrychlejší proudění) a ohřev může způsobit až degradaci materiálu.

Při vstřikování je teplota stěny formy nižší než teplota vstřikovaného materiálu, tudíž při toku polymerních tavenin dochází k časově neustálenému toku a na stěně tavenina tuhne v rostoucí vrstvě. Pod tuhnoucí vrstvou tavenina nadále teče. Tento tok se nazývá fontánový tok (Obr. 2) a jedná se o nejvhodnější způsob plnění tvarové dutiny formy. [3]



Obr. 2 Fontánový tok

Vznik fontánového toku je způsoben absencí skluzu mezi taveninou a stěnou dutiny formy. Při vstřikování taveniny dochází k orientaci materiálu v povrchových vrstvách. Čelo taveniny má zvonovitý tvar. [4]

### 1.3 Přísady upravující zpracovatelnost

Za účelem usnadnění zpracovatelnosti se do polymerních materiálů přidávají aditiva. Aditiva zvyšují stabilitu taveniny po dobu jejího pobytu v plastikačním válci, zaručují dobrou zatékavost, plastikaci taveniny a její nelepivost. Přísady:

- změkčovadla – snižují tuhost a tvrdost,
- stabilizátory – zvyšují odolnost materiálu k termooxidačnímu a atmosferickému stárnutí,
- maziva – snižují viskozitu taveniny,
- barviva – změna barvy zpracovávaného materiálu,
- plniva – přidáním plniva odlišných vlastností vznikne výrobek s vynikajícími mechanickými vlastnostmi (tzv. synergický efekt). Plniva mohou být: částicová, vyztužující a nanoplniva. [3]

#### 1.3.1 Příprava polymerů před vstřikováním

Před samotným zpracováním polymerů je nutné velkou většinu polymerů vysušit, neboť termoplasty mají schopnost přejímat vlhkost z okolního prostředí. Vlhkost granulátu před zpracováním může mít vliv na zhoršení mechanických vlastností a může způsobovat povrchové vady na výstřiku.

Obsah maximální povolené hodnoty vlhkosti je obvykle možné najít v materiálových listech výrobce. Materiály pro vstřikování bývají často baleny v obalech, obsahujících nepropustnou vrstvu pro vlhkost. Pro odstranění vlhkosti se používají tzv. sušárny, jsou určeny pro sušení granulátů (sušárny se samovolnou cirkulací vzduchu, s nuceným oběhem vzduchu, podtlakové a tlakovzdušné sušárny). [3]



*Obr. 3 Sušárna materiálu [25]*

#### **1.4 Použití materiálů**

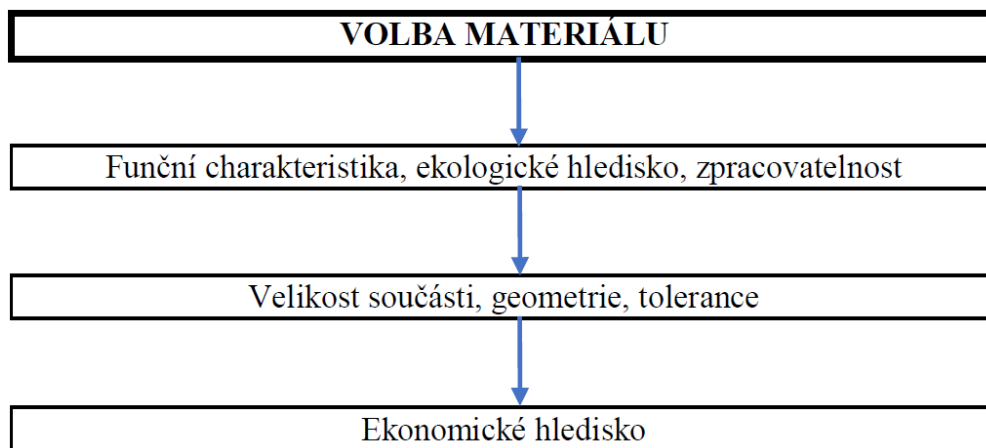
Použití polymerů jako konstrukčního materiálu, potažmo jako materiálu pro vstřikování má celou řadu výhod:

- realizace tvarů neuskutečnitelných s kovem nebo dřevem,
- možnost kombinovat dva polymerní materiály, aby se zajistilo několik funkcí, pokud nejsou přineseny všechny požadované vlastnosti společně v jediném polymeru,
- redukce hmotnosti díky dobrým mechanickým vlastnostem – výsledné úspory paliva v automobilovém průmyslu, na což se klade v posledních letech velký důraz,
- možnosti mnoha druhů barev, vzorů – odstranění dodatečných úprav.

Jedna ze zásad volby materiálu zní: je zbytečné volit polymer s výbornými mechanickými vlastnostmi, pokud není technicky a ekonomicky vhodný pro výrobu součástí.

Konečná volba materiálu je výsledkem mnoha iterací týkajících se funkčních vlastností, možností výroby v požadovaném množství a ceně. Uvažovaná cena může zahrnovat pouze část nákladů nebo také může brát v potaz montáž, dodávku a sestavení.

Na následujícím obrázku je příklad postupu při výběru materiálu. [6]



Obr. 4 Schéma volby materiálu [6]

V následující tabulce (Tab. 1) se nacházejí příklady použití termoplastů v automobilovém průmyslu pro jednotlivé součásti.

Tab. 1 Příklady volby termoplastů [7]

<b>PŘÍKLADY VOLBY TERMOPLASTŮ – AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL</b>		
<b>Převážný druh prostředí</b>	<b>Druh součásti</b>	<b>Materiál</b>
Olej	Kryt ventilu	PA 6
	Komponenty pro dodávku oleje	PA 6
	Olejový filtr a kryt filtru	PA 66
Palivo	Palivová nádrž	PE
	Palivové čerpadlo	PBT
	Dodávka paliva	PA 6; PET
	Víčko	POM
	Snímač hladiny paliva	POM
Voda	Součásti dodávky vody	PA 6; PPA
	Pouzdro termostatu	PA 6
	Chladicí systém	PPO
Vzduch	Vzduchové ventilační systémy, klimatizace	PP; ABS; PA 6
	Ventilátor	PA 6
	Vzduchové senzory	PBT
	Filtry	PBT
Elektrina	Elektrické a elektronické komponenty	PC; PC-HT; PA 6
	Rozdělovač zapalování	PBT
	Kolektory	PA

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

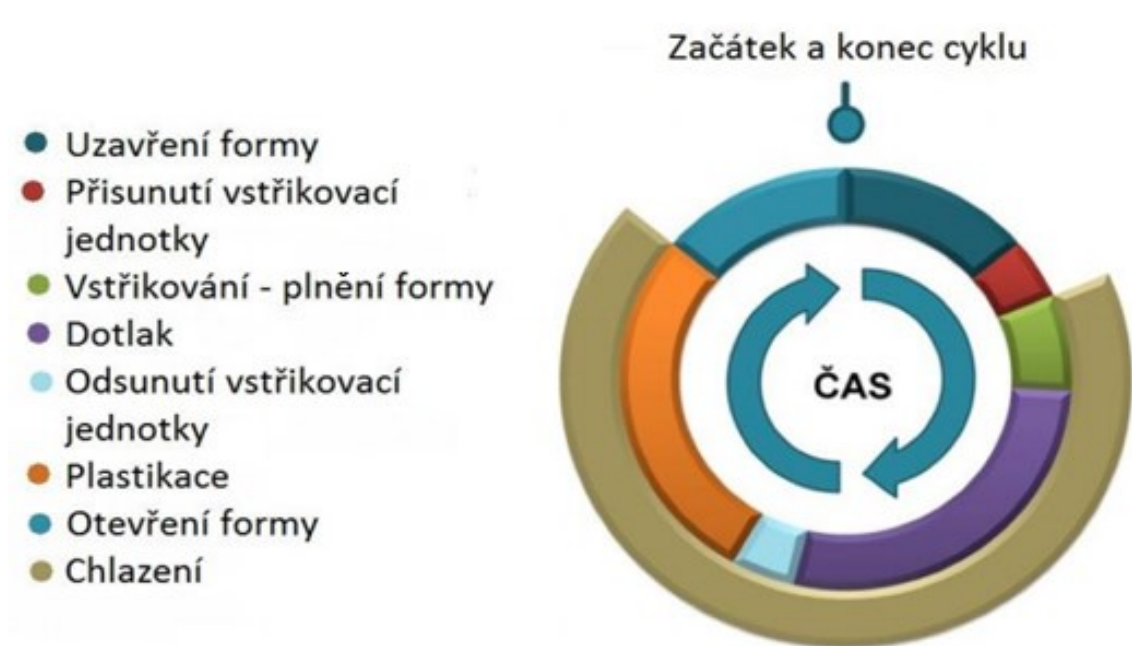
Proces vstřikování je jedním z nejčastěji používaných procesů při výrobě plastových dílů. Jedná se o cyklický proces, kde dojde k rychlému naplnění dutiny vstřikovací formy, následuje ochlazení a po ochlazení dojde k vyhození výrobku z dutiny formy.

Materiál je většinou dodáván ve formě granulí. Ve vstřikovací jednotce dojde k plastikaci a následně je materiál vstřikován do formy pod tlakem. Pro zaručení vysoké kvality (taktéž opakovatelnosti) vstřikovaného výrobku je třeba zaručit:

- nastavení procesu (tlak, teplota),
- materiál se musí dostatečně homogenizovat. [8]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

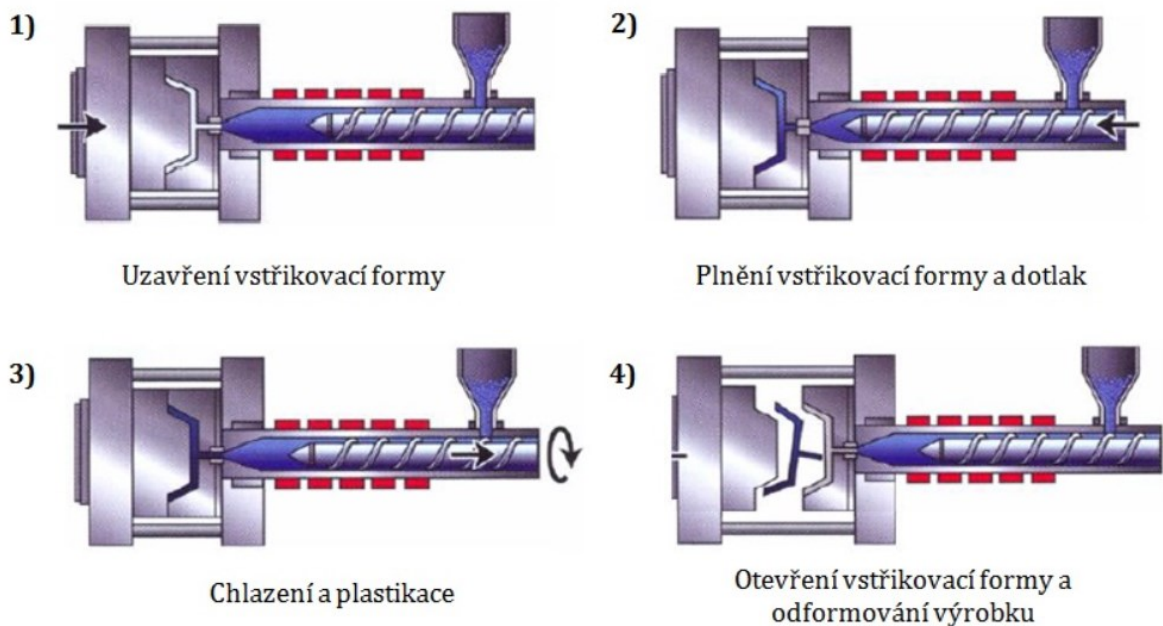
Vstřikovací cyklus se skládá z fází uvedených na Obr. 5. Délky jednotlivých fází se liší u každého výrobku, rovněž má na délku cyklu vliv řešení konstrukce formy.



Obr. 5 Časový průběh vstřikovacího cyklu [9]

Průběh vstřikovacího cyklu je následující: materiál ve formě granulátu je dodáván do násypky, z které je odebírán do pracovního válce, kde dochází k dopravě a tavení materiálu. V pracovním válci (tavicí komoře) vzniká tavenina za současného působení tření a topení. Po homogenizaci se dojde ke vstříknutí taveniny do dutiny vstřikovací formy, kterou zaplní

a zaujme její tvar. Následuje fáze dotlaková, jež má za úkol snížení smrštění a rozměrových změn vůči dutině formy. Polymer předává formě, která je chladnější než vstřikovaný polymer, teplo a ochlazením ztuhne na podobu finálního výrobku. Po ochlazení dojde k otevření vstřikovací formy a výrobek je pomocí vyhazovacího systému vyhozen. Celý cyklus se po uzavření formy opakuje. [11]



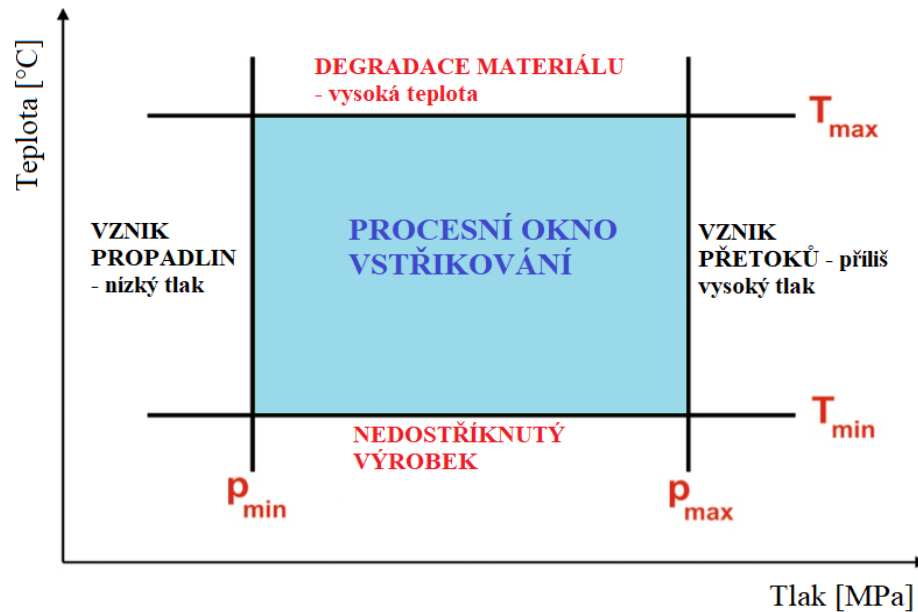
Obr. 6 Vstřikovací cyklus [12]

## 2.2 Parametry vstřikování

Velkou roli v kvalitě vstřikovaného výrobku hraje nastavení parametrů vstřikování. Kvalitu a stabilitu vstřikování rovněž ovlivňuje specifikace vstřikovacího stroje. Při výrobě nastávají určité odchylky v kvalitě, jako je hmotnost výrobku, rozměrová stálost a kvalita povrchu. Velikost těchto odchylek se liší v použití stroje a materiálu, proto je důležité například při změně vstřikovacího stroje ověřit a případně upravit vstřikovací parametry nebo při změně šarže materiálu si ověřit tokové vlastnosti.

Dalšími příčinami mohou být negativní faktory, jež vznikají po dlouhé odstávce vstřikovacího stroje, změny barvy materiálu, teploty v okolí vstřikovacího stroje. Pokud dojde ke stěhování vstřikovacího stroje je nutné parametry rovněž ověřit a o tomto faktu informovat zákazníka, jemuž jsou výrobky dodávány – musí dojít k novému vzorování formy. Teplota a vnitřní tlak formy jsou rozhodujícími faktory výsledné hmotnosti a rozměrů výrobku. Při nastavení parametrů se vychází z hodnot uvedených v materiálových listech, ze

zkušeností konstruktéra (při tokových analýzách) a rovněž ze zkušeností technologa, jenž má na starost nastavit parametry, které zajistí výrobu výrobků v nejvyšší možné kvalitě. Parametry je nutné udržovat v tzv. procesním oknu vstřikování (Obr. 7). [13]

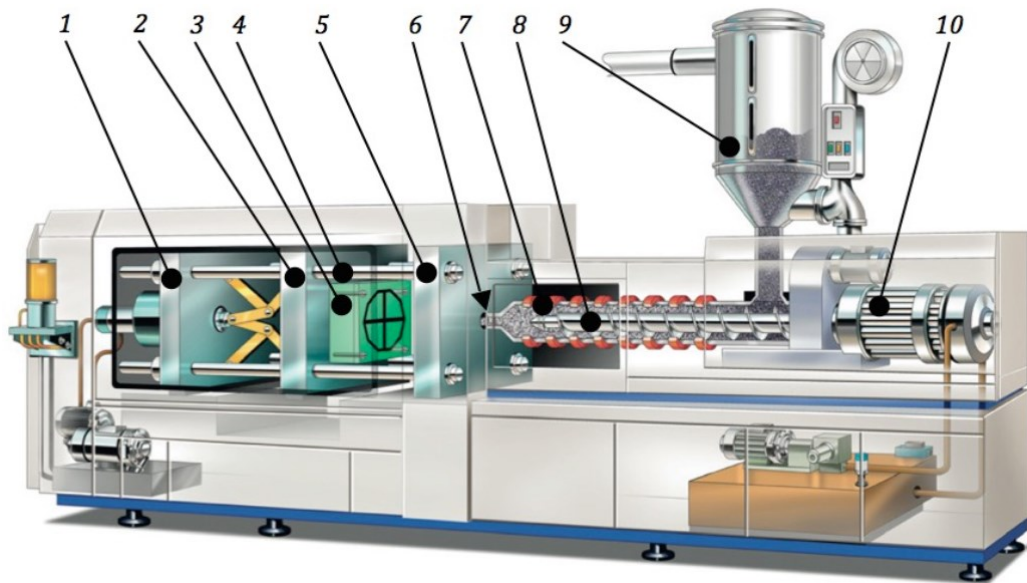


Obr. 7 Procesní okno vstřikování



### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Základním předpokladem pro optimalizaci vstřikovacího cyklu je vstřikovací stroj, na němž bude prováděna pravidelná údržba, čímž se myslí například výměna olejové náplně. Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních částí: vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Schéma vstřikovacího stroje a jeho částí je na Obr. 8. [3; 11]



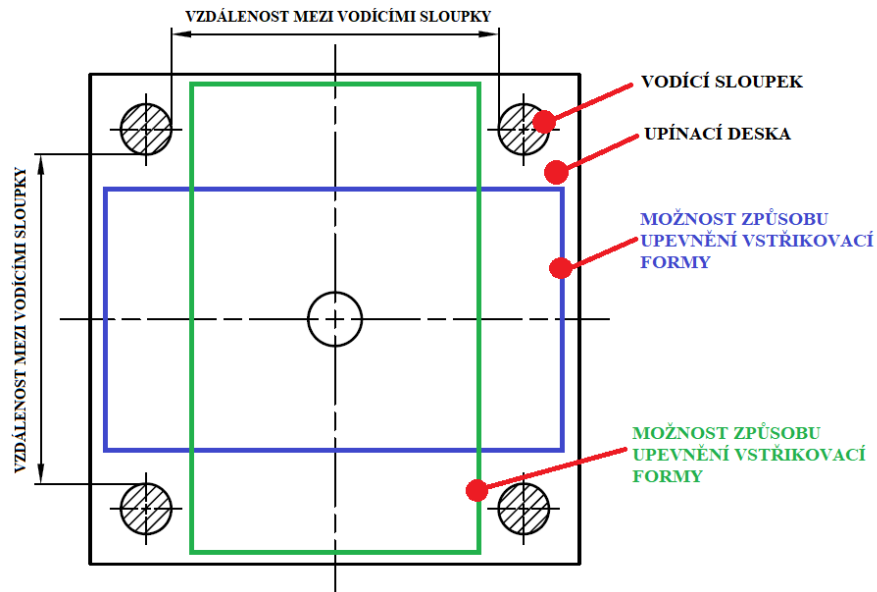
Obr. 8 Vstřikovací stroj [10]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska stroje, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky stroje, 5 – pevná upínací deska stroje, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky stroje, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro polymerní materiál, 10 – pohonná jednotka

Základními parametry vstřikovacího stroje jsou:

- vzdálenost mezi vodícími sloupky vstřikovacího stroje [mm] (Obr. 9) – u některých strojů je možné slupek vyjmout, tím je možné použít větší vstřikovací formu,
- výkon nebo také kapacita plastikační jednotky vstřikovacího stroje [g; cm<sup>3</sup>; kg/h],
- uzavírací síla vstřikovacího stroje [kN; t] – jedná se o sílu, při níž bude držet stroj formu uzavřenou. [14]

Dalšími parametry pro výběr vstřikovacího stroje je velikost vstřikovacího tlaku, minimální a také maximální výška formy apod.



Obr. 9 Vzdálenost mezi vodicími sloupkami

### 3.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

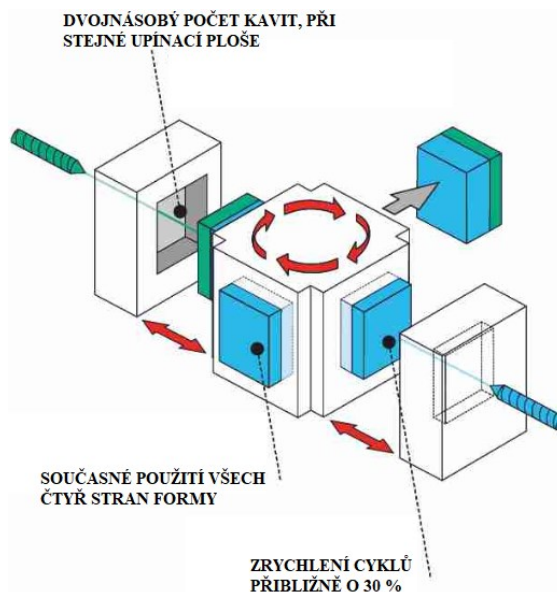
Stroje lze rozdělit podle druhu pohonu na:

- hydraulické – jsou univerzální, využití pro všechny technologie vstřikování,
- hybridní – spojení rychlosti a přesnosti strojů elektrických a rovněž vysoké síly hydraulických strojů,
- elektrické – až o polovinu nižší spotřeba energie vůči hydraulickým strojům.

Podle uspořádání:

- horizontální,
- vertikální.

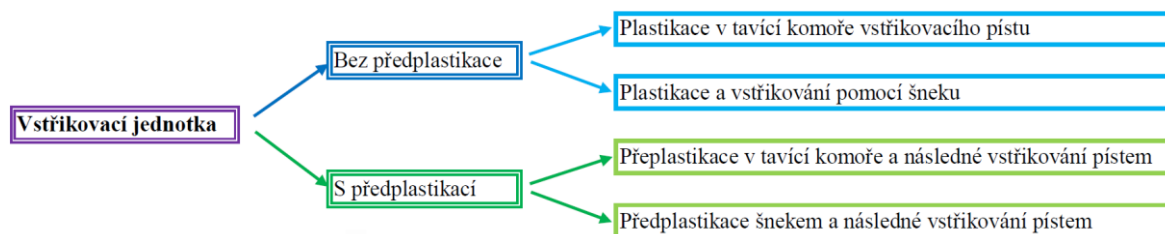
Dalším případem může být stroj s technikou vstřikování do kubické vstřikovací formy (Obr. 10). Jeho výhodou je možnost velkosériové výroby při snížení nákladů na jeden kus výrobku. Při použití krychlové formy lze dosáhnout, při stejné upínací ploše, dvojnásobného počtu kavit a zároveň je možné při výrobních operacích, jakož je např. plnění formy, chlazení nebo odebírání výrobků, současně používat všechny čtyři strany krychle. Tyto stroje jsou vhodné zejména pro výrobu obalových materiálů. [15]



Obr. 10 Vstřikování do kubické formy [15]

### 3.2 Vstřikovací jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je převedení tuhého polymeru do stavu vysoce viskózní taveniny po čemž následuje vstříknutí této taveniny do dutiny vstřikovací formy pod vysokým tlakem. Vstřikovací jednotky lze dělit dle následujícího obrázku.



Obr. 11 Dělení vstřikovacích jednotek

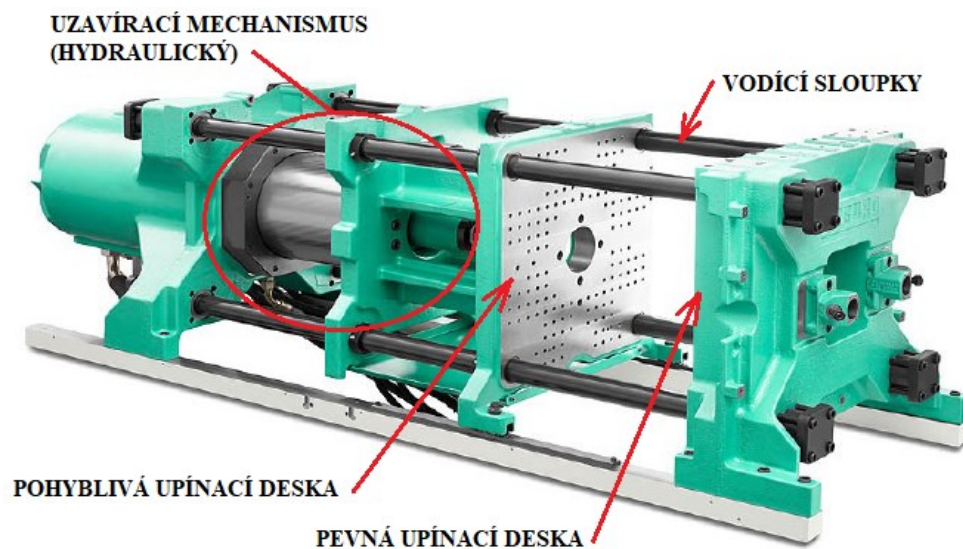
Pro vstřikování termoplastů se nejčastěji používají vstřikovací jednotky se šnekem, jenž rotuje kolem své osy a následně dochází k axiálnímu pohybu vpřed a vzad.

Vstřikovací jednotku se šnekem je možno vidět na Obr. 8, tvoří ji několik částí. Vstupní částí je násypka granulátu, z níž granulát postupuje do plastikační (tavící) komory. Na konci tavící komory je vstřikovací tryska, skrz kterou tavenina vstupuje do vstřikovací formy přes vtokovou vložku. Tavící komoru obklopují topné pásy, které ale nejsou hlavním zdrojem tepelné energie. Asi 70 % tepelné energie je přeneseno do materiálu vlivem tření polymeru mezi stěnami tavící komory a šnekem. Povrch šneku a tavící komory musí mít vysokou tvrdost, aby nedocházelo k předčasnému zničení vlivem abraze.

Objem taveniny, který je možné vstříknout do dutiny formy během jednoho zdvihu udává vstříkovací kapacita. Plastikační kapacita udává množství taveniny, které dokáže stroj převést do plastického stavu za jednotku času. Hodnoty v katalogových listech výrobců vstříkovacích udávají plastikační kapacity při zpracování polystyrénu a tyto hodnoty nelze brát za přesné nýbrž za přibližné. [12]

### 3.3 Uzavírací jednotka

K ovládní formy slouží uzavírací jednotka, která zajišťuje její otevření, uzavření a případné vyhození výrobků. Uzavírací jednotka se skládá z hlavních částí: vodících sloupků (sloupkové konstrukce strojů), z pevné a pohyblivé upínací desky, na které se upíná forma, a mechanismu, jež vyvozuje sílu potřebnou k uzavření a následnému otevření formy. Velikost uzavírací síly je možné nastavit na vstříkovacím stroji, přičemž její velikost se přímo závislá na velikosti vstříkovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině formy. Uzavírací jednotky lze dělit dle druhu pohonu viz kapitola 3.1. [12; 16]



Obr. 12 Hydraulická uzavírací jednotka [15]

### 3.4 Řídící a regulační jednotka

Slouží k nastavení a sledování parametrů vstříkování. Porovnává nastavené hodnoty s hodnotami skutečnými a případně je pomocí regulačních prvků upravuje na požadovanou úroveň. Nejčastěji se obslužný pracovník pohybuje v komunikačním rozhraní pomocí dotykového displeje. V jeho oblasti se rovněž nachází porty pro připojení různých paměťových zařízení, na které je možno nahrávat nastavení různých výrobních cyklů a přenášet tato data

na jiné stroje. Na řídicí jednotce je možno také sledovat výrobní statistiky pro sledování kvality a produktivity výroby. [12]

### 3.5 Periferie vstřikovacích strojů

Kromě dvou základních zařízení pro vstřikování (vstřikovací forma a vstřikovací stroj) jsou pro výrobu potřebná další zařízení, která jsou považována za periferii vstřikovacího stroje. Tato zařízení mají zajistit plnou nebo alespoň částečnou automatizaci výroby. Zejména roboty mohou znamenat nemalou investici při zavádění výroby, avšak znamenají velké časové, tedy i ekonomické úspory, a zajišťují tak konkurenci schopnost podniku pro mezinárodní rozvoj, což je především pro automobilový průmysl velmi důležité.

Mezi tato zařízení patří:

- mlýny a drtiče – slouží ke zpracování výrobního odpadu (vtokových zbytků studených vtokových systémů, zmetků apod.),
- sušárny granulátu – (viz kapitola 1.3.1),
- směšovací zařízení – slouží k přidání aditiv a regenerátů do základního granulátu a k jejich přesnému odměření a zároveň vzájemnému promíchání,
- dopravníky materiálu – umožňují kontinuální přísun materiálu pro výrobu, nejčastěji pracují na základě pohybu vzduchu,
- temperační jednotky – zajišťují konstantní teplotu temperačního média po dobu výroby,
- roboty – jsou nutné pro plnou automatizaci výroby, odebírají výrobky ze vstřikovací formy a mohou provádět další dokončovací operace (oddělení vtokového zbytku, montáže), urychlují tak pracovní cyklus. [12]

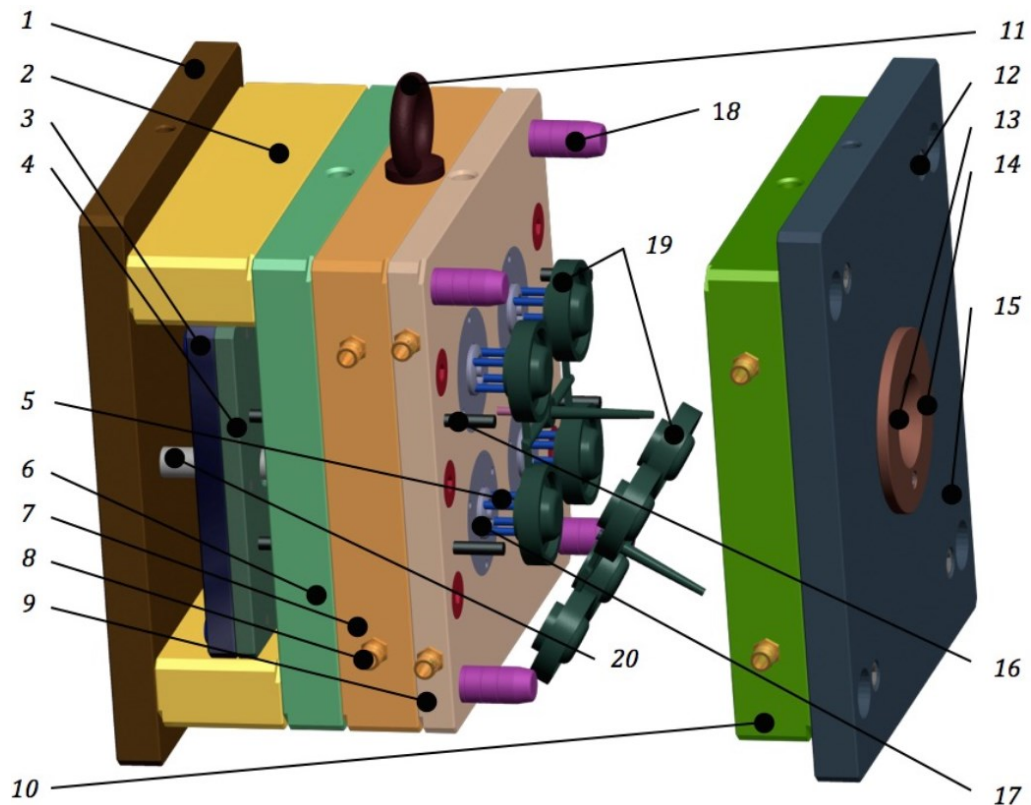
## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, používaný při vstřikování polymerů na vstřikovacím stroji, jehož dutina dává tvar budoucímu výrobku. Jedná se ve velké řadě o technicky komplikovaný nástroj, na něhož jsou kladeny velké nároky z hlediska spolehlivosti, funkčnosti a přesnosti výroby. Nástroj musí být navržen tak, aby umožnil automatizaci výroby a výrobu velkých sérií. Díly, jež podléhají opotřebení nebo jsou náchylné k poškození musí být vyměnitelné, aby nedocházelo k velkým prodlevám ve výrobě a tím k možným finančním problémům.

Konstrukci vstřikovací formy lze rozdělit na část tvarové dutiny, která dává konečnou tvar požadovaného výrobku a její řešení je velmi individuální, na rozdíl od vlastní konstrukční stavby formy. Celá řada konstrukčních dílů je z normalizovaných komponentů, které urychlí návrh formy a díky řadě firem na trhu (Hasco, Meusburger, DME apod.), které nabízí stavebnicové prvky, je možnost velkého výběru dodavatele, který bude vyhovovat zákazníkům zvolených požadavků. [16]

Konstrukce vstřikovací formy probíhá ve 3D softwarech, které značně urychlují a usnadňují celý návrh, včetně optimalizací. Řada výrobců stavebnicových systémů umožňuje, již samotný návrh na svých webových stránkách, kde je možné jednoduše měnit komponenty a vidět nabídku dostupných součástí.

Na následujícím obrázku (Obr. 13) je možné vidět vstřikovací formu v otevřené poloze. Jsou zde popsány základní komponenty vstřikovací formy.



Obr. 13 Vstřikovací forma v otevřené poloze [10]

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěrná deska, 3 – vyhazovací deska opěrná, 4 – vyhazovací deska kotevní, 5 – vyhazovač, 6 – opěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vracecí kolík, 17 – tvarová vložka, 18 – vodící čep, 19 – vstřikovaný výrobek, 20 – podpěrný válec

#### 4.1 Příprava konstrukce

Po volbě materiálu (kapitola 1.4) je nutné dodržet také zásady technologičnosti výrobku, které je nutné zakomponovat do jeho 3D modelu. Dále následuje stanovení tolerancí rozměrů a geometrických úchylek, při čemž je nutné se řídit pravidlem: „Tak přesně, jak je to nutné, ale zároveň tak nepřesně, jak je to možné“. Podle pracovního prostředí, zejména teploty, při které bude výrobek vykonávat svůj životní cyklus s přihlédnutím na jeho teplotní roztažnost, se stanoví hodnota smrštění materiálu výrobku.

Po prozkoumání modelu výrobku se stanoví průběh hlavní dělicí roviny, pokud to bude situace vyžadovat, tak i průběh vedlejších dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina se nachází ve směru otvírání dělicí roviny.



Násobnost formy udává, kolik výrobků bude v hlavní dělicí rovině zaformováno. Násobnost ovlivňuje předpokládané množství výrobků za rok, požadavky na rozměrovou a tvarovou přesnost. Pokud je požadavek vyrábět ve stupni IT 9 případně IT 8 je výhodné vyrábět formu s malou násobností, s přihlédnutím na vstřikovaný materiál.

Volba vtokového systému se opět řídí požadovanou roční produkcí, ale také cenou materiálu a jeho náchylností k tepelné degradaci. Vtokový systém může být studený, vyhřívaný nebo jejich kombinace.

Vhodně navržený temperační systém by měl zajišťovat co možná nejvíce konstantní teplotní pole formy. Temperační systém se rozděluje na jednotlivé okruhy, v nichž musí docházet k turbulentnímu proudění, pro jejich správnou funkci.

V závěrečné části se volí stavebnicové díly, stanovují hlavní rozměry vstřikovací formy, určuje potřebná minimální uzavírací síla a objem vstřikovaných částí včetně vtokového systému. Podle těchto zmíněných parametrů se zvolí vhodný vstřikovací stroj. [17]

## 4.2 Smrštění polymerů

Objemová změna, která vzniká při tuhnutí polymerních tavenin, se nazývá smrštění. Příčinou smrštění je stlačitelnost, tepelná kontrakce plastů, tepelná rozpínavost, u semikrystalických polymerů ke smrštění přispívají krystalizační změny. Pojem deformace znamená změnu tvaru při zachování konstantního objemu výstřiku a často ji způsobuje smrštění.

K rozměrovým změnám dochází anizotropicky, tedy dochází k různým hodnotám smrštění v každém směru. Anizotropie je především způsobena orientací makromolekul a plnivů. Rozdíly mezi smrštěním ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny se liší o 5 až 25 %, přičemž bývají větší u semikrystalických polymerů.

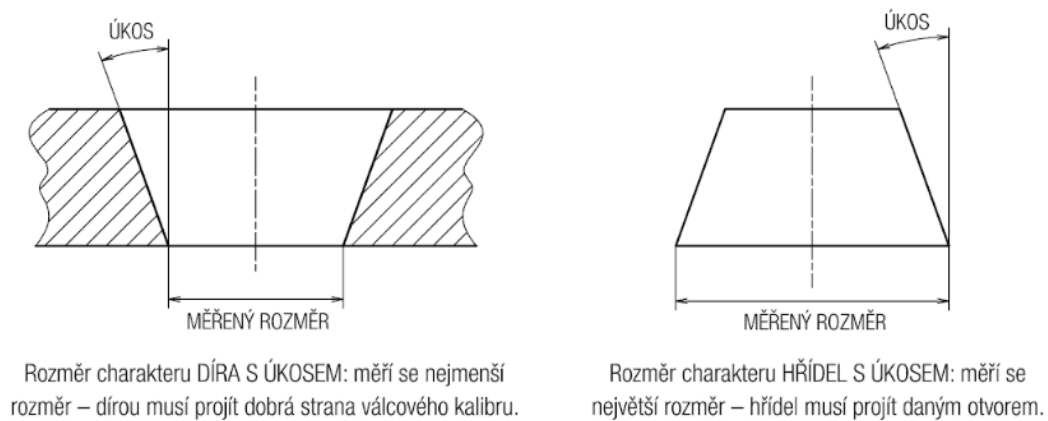
Smrštění se dělí na:

- výrobní smrštění – jedná se o rozdíl mezi rozměrem daným formou při 23 °C a rozměrem výrobku z dané formy, který je měřen po dobu 16 až 24 hodin po jeho vyhození ze vstřikovací formy. Tento výrobek musí být skladován při teplotě 23 °C v suchém prostředí,
- dodatečné smrštění – hodnotu dodatečného smrštění udává rozdíl mezi hodnotou výrobního smrštění měřeného dle postupu viz předchozí odstavec Výrobní smrštění a hodnotou rozměru po delší době skladování za vyšších teplot nebo za předem zvolených podmínek, které mohou odpovídat prostředí používání výrobku.



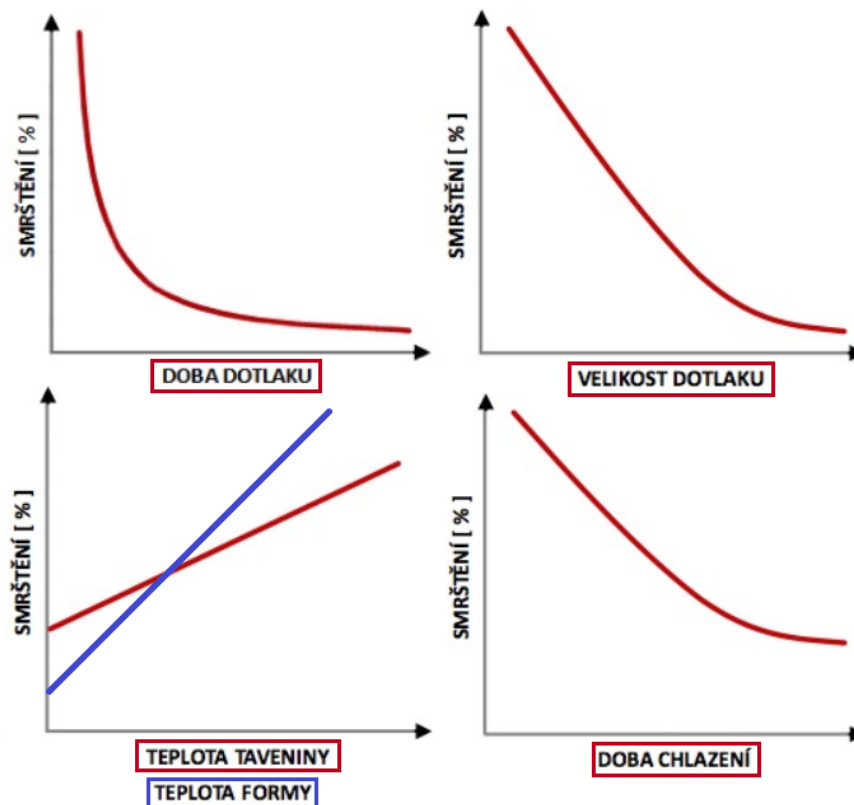
Z pohledu konstrukce výrobku je důležité dodržet zásadu konstantní tloušťky stěn výrobku a také správný způsob žebrování. Platí, že hodnota smrštění v daném místě roste s tloušťkou stěny výrobku v témže místě.

V praxi je nejdůležitější správně navrhnout rozměry formy včetně tolerancí rozměrů. Hodnoty tolerance tvarových částí by měly tvořit asi 10 % tolerance rozměru výstřiku, v případě tolerovaných rozměrů. V případě rozměrů netolerovaných by rozměry formy měly být tolerovány hodnotou 25 % tolerance dílu. Na Obr. 14 je znázorněn správný způsob měření rozměrů s úkosem. [17]



Obr. 14 Měření rozměrů s úkosem [17]

Hlavním technologickým parametrem kompenzují smrštění je doba působení dotlaku. Smrštění je menší, čím delší je doba jeho působení, samozřejmě za předpokladu, že nedošlo k zatuhnutí vtokového ústí. Dalšími technologickými vlivy na smrštění je teplota formy, teplota taveniny, vstřikovací rychlost a doba chlazení. Každý z těchto parametrů více či méně ovlivňuje hodnotu smrštění a je úkolem technologa nastavit optimální parametry s ohledem na ekonomické a funkční hledisko výrobku, najít tedy optimální řešení, jež bude vyhovovat výrobcovi a i zákazníkovi. [17]



Obr. 15 Technologické parametry ovlivňující smrštění [10]

### 4.3 Dělicí rovina

Dělicí rovinu tvoří kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Tato plocha má za úkol zabránit úniku polymeru při vstřikování, přičemž touto dutinou, by měla odejít převážná část vzduchu, jimž je naplněna dutina po uzavření před samotným vstřikováním. Formu udržuje v zavřené poloze uzavírací síla, která tak utěsní dělicí rovinu, při působení tlaku taveniny. Z pohledu jednoduchosti výroby a dobré těsnosti je vhodná rovina rovinného tvaru, pokud to však podmínky nedovolují, je možné navrhnout rovinu obecného tvaru.

Směr otvírání se volí kolmý na dělicí rovinu, přičemž musí být výrobek odformovatelný. Dutina formy musí být orientována tak aby části výrobku, jakož je žebrování, výstupky apod. byly plynule odformovány z pevné části vstřikovací formy a následně za použití vyhazovačů i části pohyblivé. V některých případech se volí odformování z pevné strany vstřikovací formy. [10]

## 4.4 Vtokové systémy

Vedení proudu taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny formy má za úkol vtokový systém. K naplnění dutiny má dojít v co možná nejkratším čase a s co nejmenším odporem. Vtokový systém může být studený (SVS) nebo vyhříváný (VVS) a případně kombinace vyhříváného a studeného. Použití vtokového systému musí být rozhodnuto v první fázi návrhu vstřikovací formy. Volbu vtokového systému ovlivňuje požadovaná konečná cena formy, vstřikovaný materiál, požadovaná produkce a další. [10; 16]

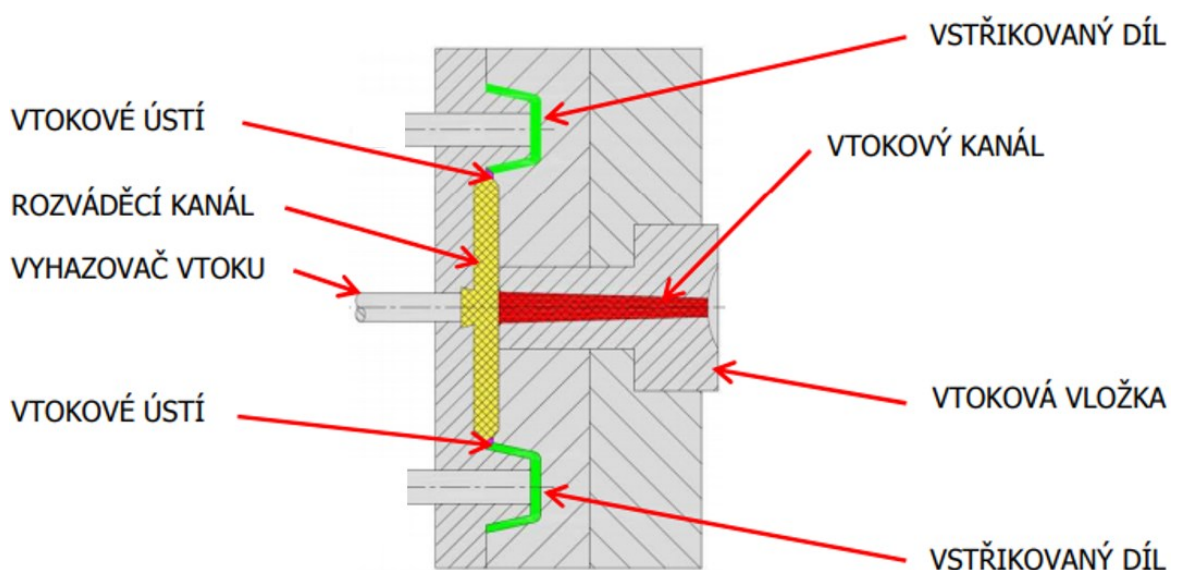
### 4.4.1 Studený vtokový systém (SVS)

Studený vtokový systém je typický tím, že tavenina při průchodu vtokovým kanálem začíná okamžitě tuhnout a na stěně kanálu se tak vytvoří izolační vrstva, která dovoluje proudění taveniny jádrem. Volit SVS je výhodné z důvodu jednoduchosti a levné výroby, naproti tomu vzniká značný odpad a vtokový systém je nutné oddělit od výrobku.

Při návrhu je nutné se řídit těmito pravidly:

- tavenina musí dorazit ke všem tvarovým dutinám ve stejnou dobu,
- zachytit chladné čelo taveniny před jejím vstupem do dutiny,
- dráha SVS by měla být co nejkratší,
- povrch vtokových kanálů co nejmenší, za co největšího průřezu
- po dokončení vstřikování umožnit jednoduché vyjmutí vtokového zbytku. [14; 18]

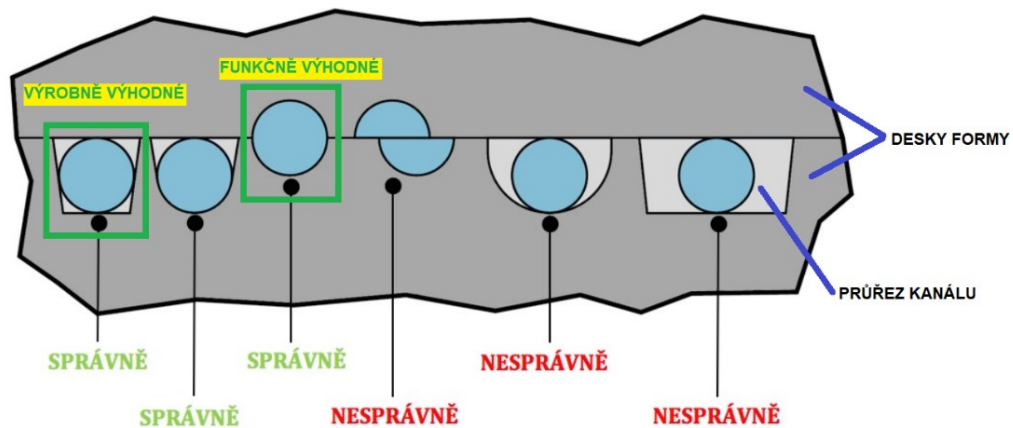
Hlavní části SVS je možné vidět na Obr. 16.



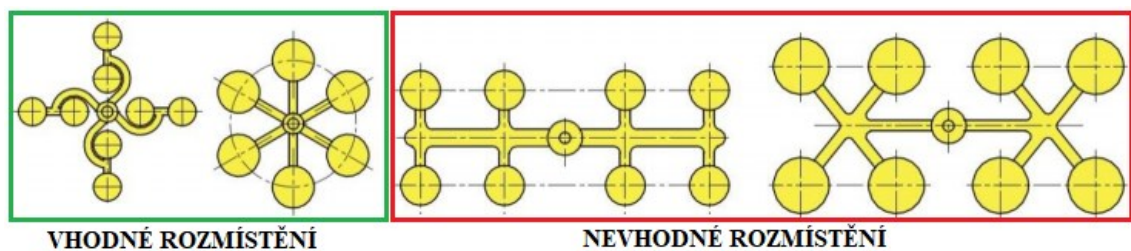
Obr. 16 Hlavní části SVS [18]

### Průřezy a rozmístění rozvodných kanálů

Průřez se volí lichoběžníkový, nejvýhodnější je však průřez kruhový, který splňuje podmínku minimálního povrchu při největším průřezu. Lichoběžníkový se volí z důvodu snadnější výroby. Při vstřikování semikrystalických polymerů se volí větší průměry rozvodných kanálů. Pro optimální působení dotlaku, by měla být tloušťka kanálu minimálně stejné výšky, jako je stěna vstřikovaného výrobku. Různé typy průřezů jsou na Obr. 17. [14]



Obr. 17 Průřezy rozvodných kanálů [10]



Obr. 18 Rozmístění rozvodných kanálů [18]

Příklady rozmístění rozvodných kanálů jsou na Obr. 18. Při návrhu není vhodné používat rozmístění, kdy není dráha ke všem dutinám stejná, nebo řešení kdy by se některá z dutin plnila lépe než druhá. Je vhodné tedy navrhovat rozmístění dutiny symetricky k hlavnímu tokovému kanálu. [18]

### Vtoková ústí

Po průtoku rozváděcím kanálem, teče taveniny do tvarové dutiny přes zúžené místo, jež se nazývá vtokové ústí. Toto ústí by mělo být co nejmenší, aby vznikaly jen minimální stopy na výrobku.

Zásady umístění vtokového ústí, pokud to konstrukce dovoluje:

- ve směru orientace žebor,

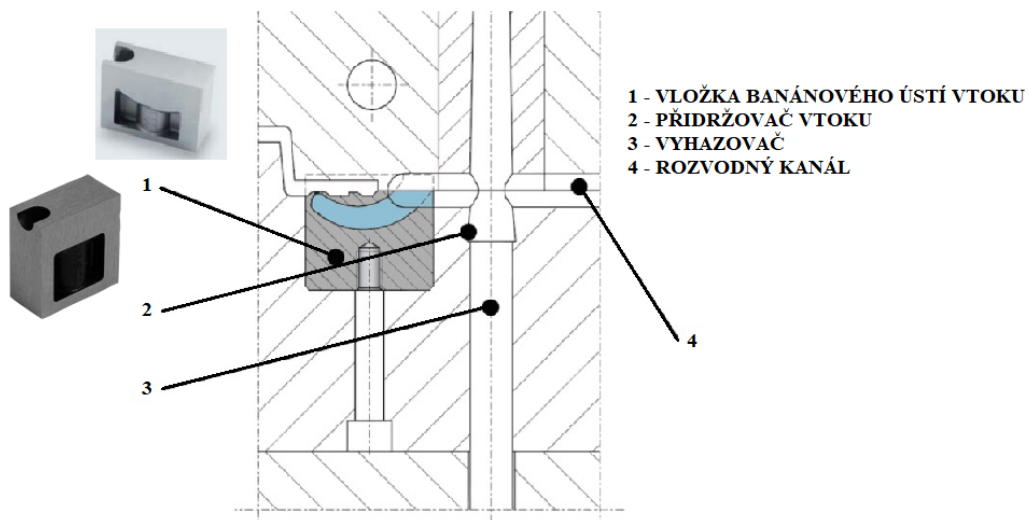
- neumisťovat do pohledových ploch nebo více namáhaných míst,
- do nejtlustšího místa stěny výrobku,
- u podlouhlých výrobků ve směru delší strany,
- aby byla dráha toku taveniny co nejkratší,
- tak aby se zamezilo volnému toku taveniny, jež by způsobovalo turbulentní proudění při plnění tvarové dutiny, mělo by docházet k tzv. fontánovému toku. [18]

Typy vtokových ústí:

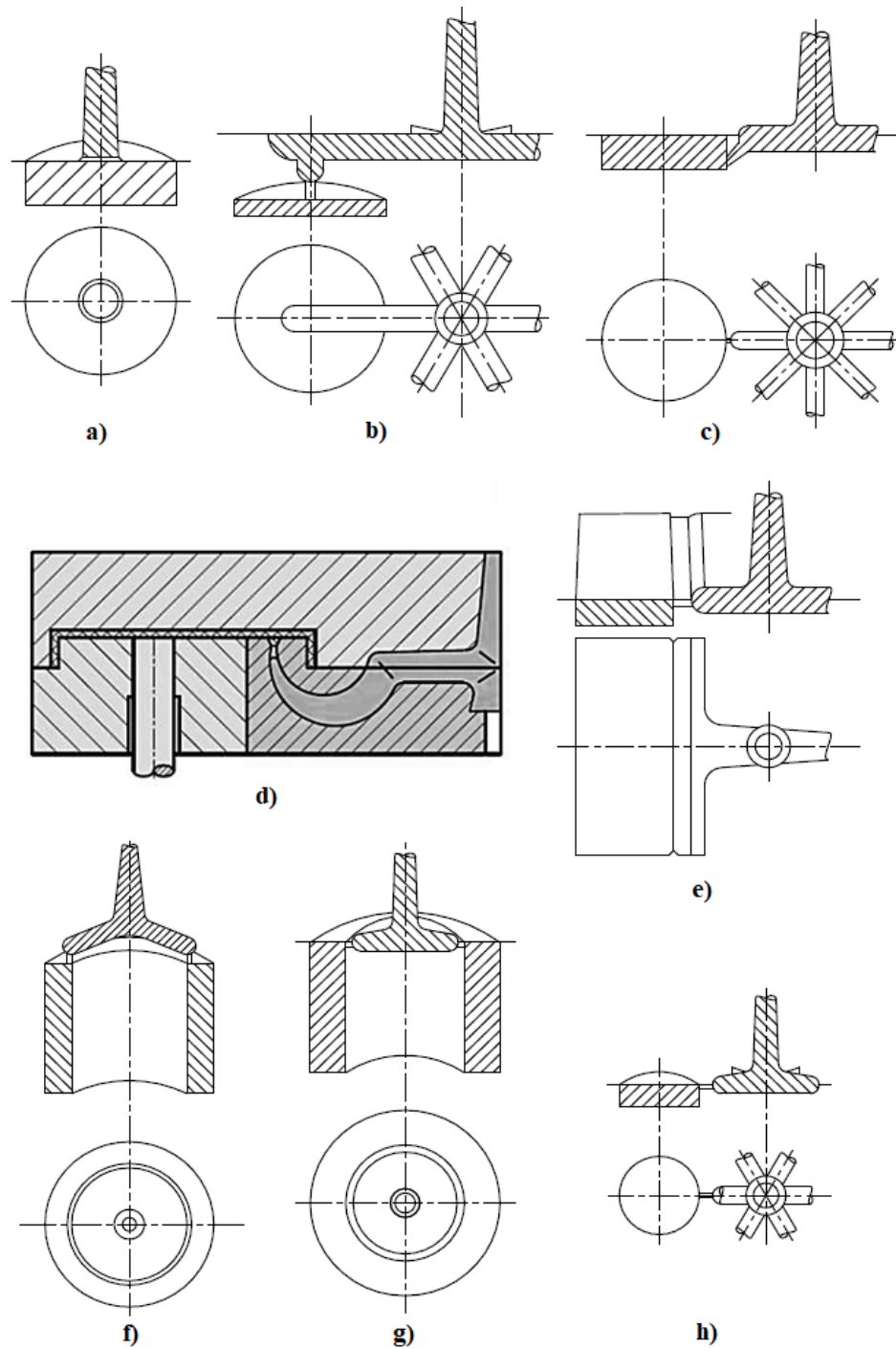
- a) *Plný kuželový vtok* – tento typ vtoku je používán zejména pro jednonásobné formy, kdy výrobek je symetrického tvaru. Oproti bočnímu vtoku dochází k minimálním tlakovým ztrátám a je velmi účinný z hlediska působení dotlaku. Nevýhodou je obtížné odstranění vtokového zbytku. [8]
- b) *Bodový vtok* – používá se pro formy vícenásobné. Tento typ vtoku vyžaduje systém třídeskových forem, tedy dojde nejdříve k odtrhnutí vtokového ústí a až následně se otevře dělicí rovina. Tento systém zajistí odstranění vtokového zbytku přímo ve formě a nejsou tak nutné dokončovací operace. Vtokové ústí nesmí být však příliš velké, neboť by nemuselo dojít k odstranění vtokového zbytku. Optimální průměr vtokového ústí je 0,6 až 2 mm. [8; 14]
- c) *Tunelový vtok* – jedná se o zvláštní typ bodového vtoku, avšak není nutný třídeskový systém formy, neboť k oddělení vtokového zbytku dojde automaticky při vyhození vstřikovaného výrobku. Tunelový vtok se vyrábí pomocí elektroerozivního hloubení což je náročný a zdlouhavý proces.
- d) *Banánový vtok* – tento vtok je možné umístit ze spodní strany výrobku, díky čemuž nevznikají stopy na pohledové straně výrobku. Jedná se o speciální případ tunelového vtoku a jeho výroba je rovněž náročná, kvůli tomu se používají normalizované komponenty, které se vloží do dělicí roviny a značně tak zjednoduší výrobu formy. Ukázky komponent výrobců Hasco a Meusburger je možno vidět na Obr. 19.
- e) *Filmový vtok* – umožňuje rychle naplnit dutinu, avšak tlak taveniny ve vtokovém ústí klesá, ze vzdáleností od rozvodného kanálu. Používá se pro polymery plněné skelnými vlákny a pro díly podlouhlého tvaru, přičemž se vtok umístí na kratší stranu výrobku, buď po celé délce, ve většině případů je však dostatečné použití poloviční délky této hrany. [8; 18]
- f) *Deštníkový vtok* – umožňuje symetrické plnění dutiny formy a tím zabraňuje vzniku studených spojů. Je vhodný pro výrobky s velkými otvory, které jsou v ose výrobku,

jako jsou například ozubená kola, kryty tlumičů nebo rotory ventilátorů. Nevýhodou je poměrně pracné oddělení vtokového zbytku, které se provádí mechanicky po vyjmutí z formy. [10]

- g) *Talířový vtok* – použití zejména u jednonásobných forem s výrobkem ve středu, který je osově symetrický a dochází tak rovnoměrnému radiálnímu plnění. Zde je rovněž nutné mechanické odstranění vtokového zbytku. [8]
- h) *Boční vtok* – průřez bývá nejčastěji obdélníkový, byť může být i jiný. Patří k nejpoužívanějším vtokovým ústím. Vtokové ústí leží v dělicí rovině, a tedy při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělen. [14]



Obr. 19 Použití normalizovaných komponent pro banánový vtok [10; 19; 20]



Obr. 20 Typy vtokových ústí [16; 18]

a) plný kuželový vtok, b) bodový vtok, c) tunelový vtok, d) banánový vtok, e) filmový vtok,  
f) deštníkový vtok, g) talířový vtok, h) boční vtok

#### 4.4.2 Vyhřívání vtokového systému (VVS)

Použití technologie vyhřívání vtokových systémů už má v dnešní době svou zaručenou pozici pro vstřikování velkoplošných dílů a forem pro velké série.



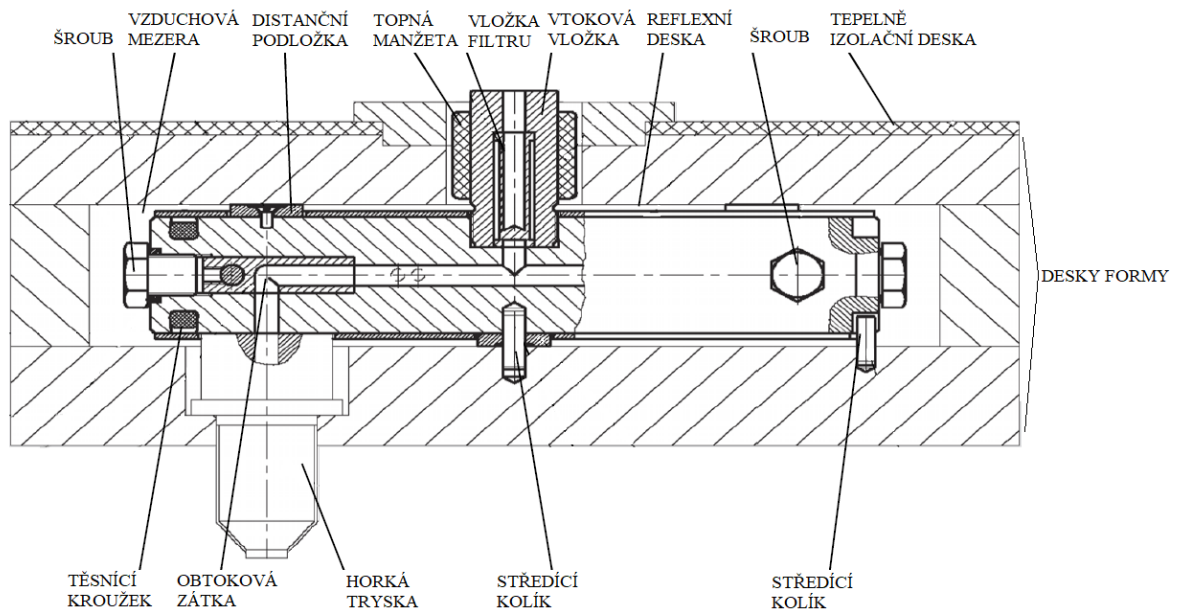
Výhody VVS jsou následující:

- vstup taveniny do dutiny formy je možné přesněji řídit (na rozdíl od SVS) - umožňuje regulace teploty v přesnějších hodnotách,
- odpadá problematika odstraňování vtokových zbytků,
- zvýšení vstřikovací kapacity stroje, jelikož po naplnění VVS, může být celá dávka vstříknuta do dutiny,
- umožňují snadnější automatizaci výroby. [14; 21]

Při návrhu VVS je třeba dodržovat:

- zajištění dostatečného ohřevu trysky a rozvodného bloku,
- zajistit vhodnou regulaci teploty,
- izolovat rozvodný blok a trysky od desek formy,
- průměr trysky stroje by měl být podobný jako průměr kanálu,
- vyvarovat se vzniku ostrých hran a mrtvých míst, kde by mohlo dojít k degradaci materiálu.

Vyhřívané vtokové systémy mají teplotu, která je v okolí teploty tavení zpracovávaného polymeru, což je výrazně vyšší než u SVS. Vysokou teplotou je zajištěno, že nedojde k předčasnému zamrznutí vtokového systému. Použitím VVS dojde k značným úsporám vstřikovaného materiálu, neboť polymer ve vtokovém systému zůstává k dispozici pro další cyklus.



Obr. 21 Vyhřívaný vtokový systém [16]



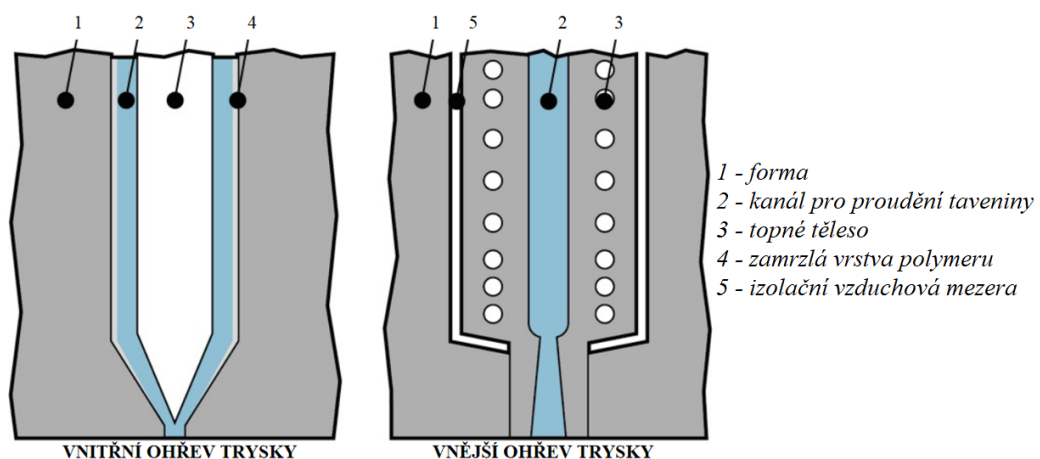
Nepříjemným faktem, jsou vyšší pořizovací náklady (regulátory, snímače apod.) – viz Obr. 22. Samotný vtokový systém bývá navržen přímo na míru pro danou formu, mezi dodavatele patří výrobci: Hasco, Mold Masters, DME, Synventive Molding Solutions, Ewikon, Strack apod. V praxi to funguje tak, že zákazník dodá dodavateli požadované rozměry a vlastnosti vtokového systému, načež mu dodavatel zašle návrh s cenovou nabídkou a případným 3D modelem VVS se zakomponováním do vstřikovací formy. [21]



Obr. 22 Kontrolní jednotka pro regulaci vyhřívání vtoků od firmy Hasco [20]

### Vyhřívání trysky

Podle toho, jak jsou trysky vyhřívány, se dělí na trysky s vnitřním ohřevem a s ohřevem vnějším. K ohřevu trysek dochází pomocí elektrické kabeláže. Topný navinutý svazek zajistí ohřev trysky z vnějšku, zatím co u trysek s vnitřním ohřevem se nachází ve středu topné těleso, kolem kterého obíhá tavenina polymeru. Pokud je požadován co nejmenší tlakový úbytek, je výhodnější použití trysek s vnějším ohřevem, v případě požadavku na přesnější regulaci teploty u špičky je lepší volbou tryska s vnitřním ohřevem. Pro transparentní výrobky, u nichž jsou velké nároky na optickou kvalitu, není doporučeno použití vyhřívání trysek. [18]



Obr. 23 Základní druhy provedení trysek [10]

V některých případech může být zakončena tryska uzavírací jehlou. Použití uzavírací jehly je výhodné pro objemné a tvarově složité výrobky. Ovládání jehel je dosaženo pomocí hydraulických nebo pneumatických válců a poslední době se objevuje i elektromagnetické ovládání jehel. Výhodou použití těchto trysek je odstranění stopy po vstřiku. [18]

### ***Vyhřívané rozvodné bloky***

Slouží k rozvodu taveniny u více násobných forem. Dle tvaru a velikosti výrobku lze zvolit z různých tvarů a typů rozvodných kanálů jakož jsou: přímé, kruhové, tvar H, T, X, Y nebo další speciální tvary podle různých výrobců a přání zákazníka. K ohřevu rozvodného bloku dochází pomocí elektrických odporových vodičů, jež jsou umístěny v drážkách na povrchu bloku. Tyto vodiče musí být rozmístěny rovnoměrně, aby bylo zajištěno rovnoměrné teplotní pole vstřikovaného polymeru. Mezi rozvodným blokem a vstřikovací formou bývá vzduchová mezera, aby nedocházelo k přílišnému ohřevu desek vstřikovací formy. Velikost této mezery je dána zástavbou pro vtokový systém, jež je obsažena v 3D modelu dodaném výrobcem vtokového systému.

## **4.5 Vliv jakosti povrchu dutiny vstřikovací formy na zatékavost**

Při výrobě vstřikovacích forem se klade důraz na vysokou kvalitu povrchu částí, jež přichází ke styku s polymerní taveninou. Tyto dokončovací práce jsou velmi časově a finančně náročné a v řadě případů nemají jiná opodstatnění než lepší zatečení polymeru. Při testování však bylo zjištěno, že vysoká jakost povrchu neznamená lepší zatečení polymeru. Situace je taková, že horší jakost povrchu výrazně nezvyšuje délku zatečení, ba naopak, při horší drsnosti povrchu tavenina zatéká lépe.

Toto zjištění může v případech, kdy to nevyžadují dekorativní či jiné důvody, výrazně usnadnit a také zjednodušit výrobu vstřikovací formy. Proto je důležité na tento fakt myslet při návrhu vstřikovací formy a ušetřit tak nemalé finanční náklady, nepoužívat tedy dokončovací metody, jakož je leštění, v případech, kdy to není nutné. [16]

## **4.6 Temperace vstřikovacích forem**

Správně navržený temperační systém má vliv na výslednou kvalitu vstřikovaného výrobku a umožňuje výrobu identických výrobků po dobu produkce. Koncepce temperačního systému má přímý vliv na délku vstřikovacího cyklu, což výrazně ovlivňuje finanční náklady výroby. Nalezení rovnováhy mezi dobou vstřikovacího cyklu a výslednou kvalitou výrobku

bývá ve velké většině případů velmi náročné. Teploty rovněž ovlivňuje velikost výrobního a dodatečného smrštění.

Hlavním úkolem temperačního systému je udržení co možná nejvíce konstantní teploty vstřikovací formy, přičemž před započatím výroby slouží zejména k ohřevu formy, během výroby se jedná spíše o chlazení. Temperační systém se skládá z: temperační a řídicí jednotky, temperačního média, temperačních kanálů a spojovacích prvků, které zajistí vzájemné propojení jednotlivých částí.

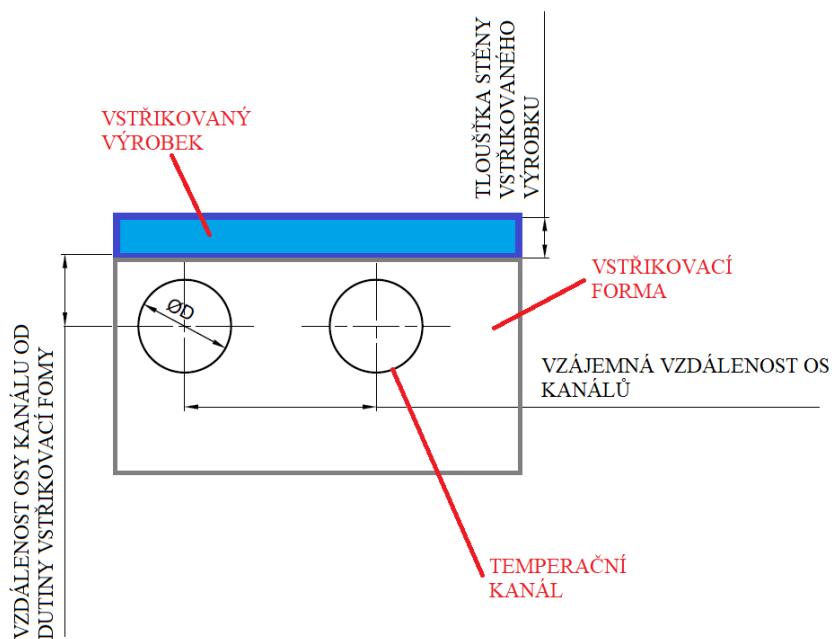
Množství tepla, které se odvádí, ovlivňuje materiál příslušného dílu vstřikovací formy, proto je vhodné pro odvod tohoto tepla používat vysoce vodivé materiály. Tímto materiálem je např. měď a její slitiny. Použitím vysoce vodivého materiálu lze dané množství tepla odvést mnohonásobně rychleji než při použití ocelových materiálů. Bohužel však odvod tepla snižuje nízká tepelná vodivost polymerních materiálů. [10]

#### 4.6.1 Zásady návrhu temperačního systému

Při návrhu by se měl konstruktér řídit těmito zásadami:

- temperační okruh by neměl obsahovat mrtvá místa, tato místa mohou zapříčinit zanášení systému a tím snížení jeho účinnosti,
- použití většího počtu kanálů s menším průměrem, jež zajistí větší rovnoměrnost chlazení výrobku,
- zvýšit temperační účinek v místech silnějších stěn výrobků, v oblasti vtokových vložek a vtokových ústí,
- při návrhu více okruhů myslet na možné budoucí optimalizace a umožnit alespoň částečnou změnu cesty temperačního média,
- kanály neumísťovat v blízkosti hran výstřiků,
- dráha toku taveniny by měla vést od nejteplejšího místa formy k nejchladnějšímu,
- upřednostňovat kruhové kanály z výrobních důvodů,
- volit průměr kanálů větší než 6 mm, aby nedocházelo k zanášení. [10; 14]

Doporučené hodnoty rozměrů a rozmístění kanálů se nachází v tabulce 2 a jí připadajícímu obrázku 24.



Obr. 24 Velikost a rozmístění kanálů

Tab. 2 Doporučené rozměry a rozmístění temperačních kanálů [10]

Tloušťka stěny vstříkovaného výrobku [mm]	Vzdálenost osy kanálu od dutiny vstříkací formy [mm]	Vzájemná vzdálenost os kanálů [mm]	Průměr temperačního kanálu D [mm]
0-1	10-14	10-12	5-6
1-2	10-20	12-16	6-8
2-4	20-25	16-22	8-10
4-6	25-35	22-28	10-12
6-8	32-42	28-36	12-16
8-12	42-55	36-50	16-20

#### 4.6.2 Temperační prostředky

Jsou to média, která svým působením umožňují vstříkací formě pracovat v požadovaných tepelných podmínkách. Temperaci lze provádět pasivními nebo aktivními prostředky. [14]

##### *Pasivní temperační prostředky*

Používají se izolační materiály, které brání přenosu vyhřáté vstříkací formy na upínací desky vstříkacího stroje. Tyto desky je možné koupit jako normalizované součásti od výrobců normálů.

Pro špatně dostupná místa, jakož jsou tenké vložky forem, se používají materiály, které dobře vedou teplo. Mezi tyto materiály patří slitiny mědi a hliníku. Výhodou je snadná obrábitelnost těchto materiálů. Tyto části musí být spojeny s aktivním chlazením. [18]

#### ***Aktivní temperační prostředky***

Používá se média, které přivádí nebo odvádí teplo, mezi tyto média patří: voda, vzduch, oleje, glykoly apod. Výhodou použití vody jako teplotnosného média je nízká cena a její zdravotní nezávadnost, ovšem omezující je možnost použití jen do určitých teplot. Pro vyšší teploty se používají oleje, které zároveň zabraňují korozi. V případě použití glykolů dochází ke stárnutí a znečišťování, ovšem nezpůsobují korozi a ucpávání systému. [14]

#### **4.6.3 Součásti temperačního systému**

Pro přívod, vstup, průtok a utěsnění temperačního média se používá celá řada příslušenství.

##### ***Příslušenství pro přívod temperačního média***

K propojení temperačních okruhů a temperačních jednotek se používají hadice. Typ hadice se volí podle druhu temperačního média, teploty a jeho tlaku. Materiály hadic jsou různé druhy pryže, PVC nebo také hadice s kovovým opletem.

##### ***Příslušenství pro vstup temperačního média***

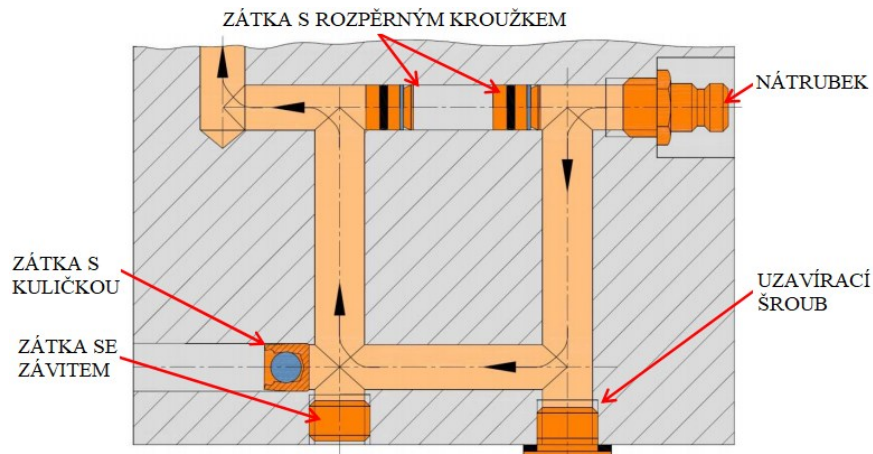
Na konce hadic se připevňují různé typy rychlospojek, přípojek a nátrubků. Na hadice se připevňují pomocí hadicových spon. Tyto přípojky spojují temperační okruhy s hadicemi, mohou být rovněž opatřeny zpětným ventilem, aby při vypojení nedocházelo k úniku temperačního média. [18]



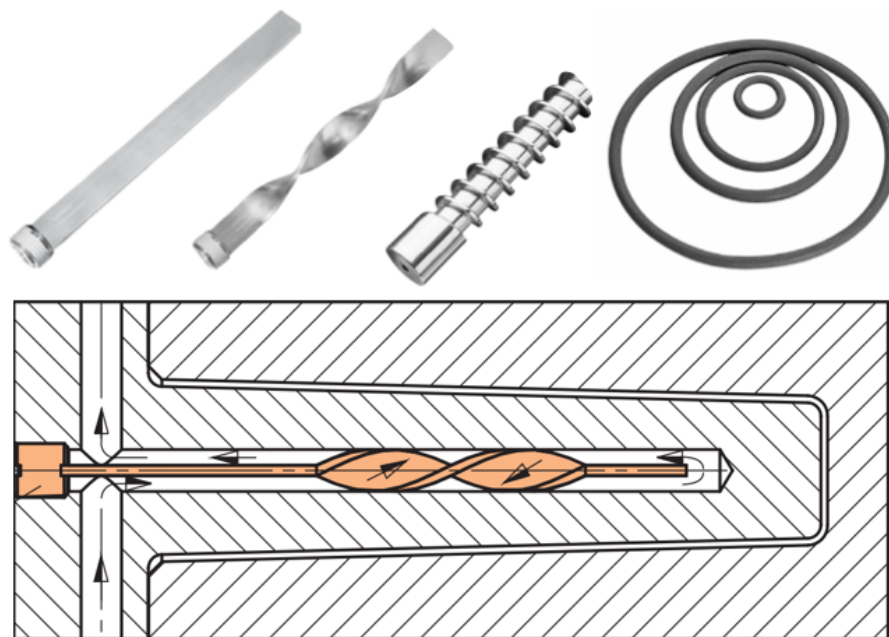
Obr. 25 Spojovací prostředky od výrobce Hasco [20]

### *Příslušenství pro průtok a utěsnění temperačního média*

K zabránění úniku média slouží různé druhy zásepek, uzavíracích šroubů. Pro temperaci míst, kde není možné použít standardních vrtaných kanálů, zejména z konstrukčních důvodů, se používají různé typy normálií. Mezi výrobce těchto normálií patří firmy Hasco, Meusburger apod.



*Obr. 26 Použití normálií v temperačním okruhu [18]*



*Obr. 27 Normálie pro temperaci od výrobce Hasco a ukázka za-  
komponování [20]*

## 4.7 Vyhazování výrobků z forem

Po vstříknutí výrobku je nutné výrobek nějakým způsobem vyjmout z formy, k tomu slouží vyhazovací systém. Tento systém může pracovat na mechanickém, pneumatickém či hydraulickém principu. Vyhazovací systém nejdříve koná dopředné pohyb, kdy dojde k samotnému vyhození, následně se musí vrátit do původní polohy, ve které dojde ke vstříkovaní při dalším cyklu. Správně navržený systém má zajistit vyhození výrobku včetně vtokového zbytku, vyjma forem s vyhřívanou tryskou zavedenou přímo do dutiny formy, pro následné zajištění automatizace výroby.

Správná funkčnost celého vyhazovacího systému je podmíněna úkosovitostí vstříkovaného výrobku a působením rovnoměrné síly na celý výrobek. Tedy vyhazovače musí být rozmístěny, tak aby nedocházelo ke zkřížení výrobku a jeho deformaci. Dále je vhodné je umístit proti hraně žeber, na nepohledové plochy apod. v případě použití kolíkových vyhazovačů.

Aby bylo možné výrobek vyjmout z formy, musí být vyvinuta síla, které překoná tření mezi nástrojem a výrobkem. Tato síla se nazývá vyhazovací síla a její velikost se určuje při funkčních testech formy. [22]

### 4.7.1 Mechanické vyhazování

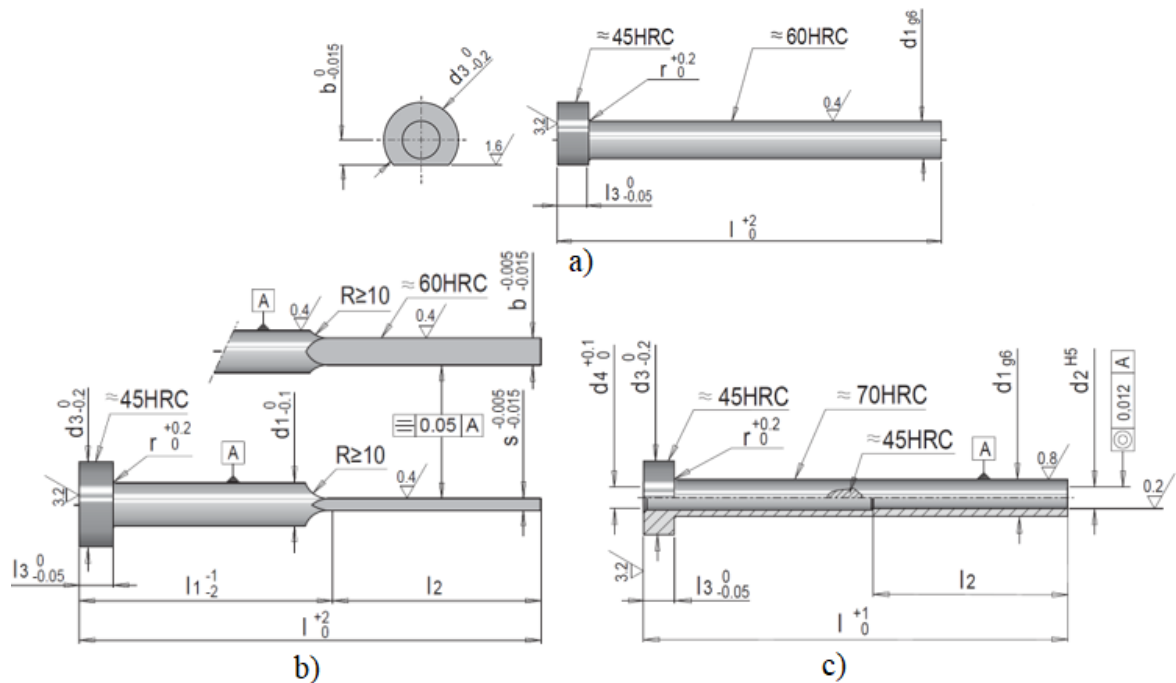
Mechanický způsob vyhazování se používá vždy, pokud je to možné a patří tím mezi nejrozšířenější způsob vyhazování výrobků z forem.

#### *Vyhazovací kolíky*

Z ekonomického důvodu patří k nejpoužívanějšímu způsobu vyhazování výrobků z forem. Pro volbu tohoto systému, je nutné mít možnost umístit vyhazovač proti ploše výrobku ve směru vyhození. Základním typem je válcový vyhazovač, avšak používají se i vyhazovače různých tvarů.

Vyhazovače se ukládají do forem v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6, přičemž se volí tolerance dle tekutosti polymeru. Vůle, která vznikne mezi vyhazovačem a formou, slouží jako místo pro odvzdušnění.

Při použití vyhazovače, který není možné pootočit kolem své vlastní osy z důvodu tvarově upraveného čela, se používá polohové ukotvení ve vyhazovacích deskách. Tyto typy vyhazovačů lze koupit rovněž jako normálie. Ukázka vyhazovače se zajištěním proti pootočení výrobce Meusburger je na Obr. 28, kde se nachází i další typy kolíkových vyhazovačů. [22]

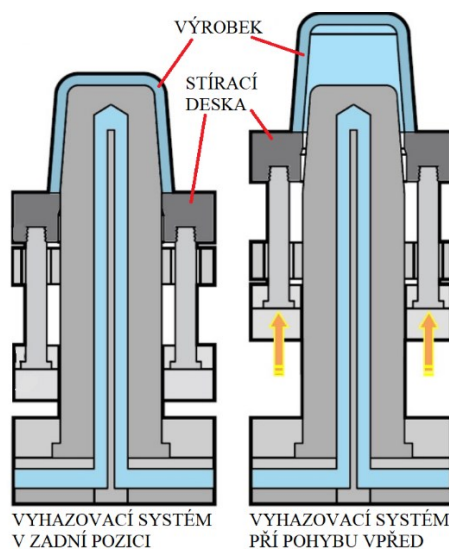


Obr. 28 Vyhazovací kolíky výrobce Meusburger [19]

a) válcový vyhazovač se zajištěním proti pootočení, b) plochý vyhazovač, c) trubkový vyhazovač

### Stírací desky

Vyhazování pomocí stíracích desek se uplatňuje především u vícenásobných forem, rozměrných a tenkostěnných výrobků, při čemž je podmínka umístění dosedací plochy výrobku na stírací desku v dělicí rovině, což není vždy možné. Výhodou je velká styčná plocha, která však na výrobku nezanechává stopy. [22]



Obr. 29 Princip funkce stírací desky [10]



### Šikmé vyhazovače

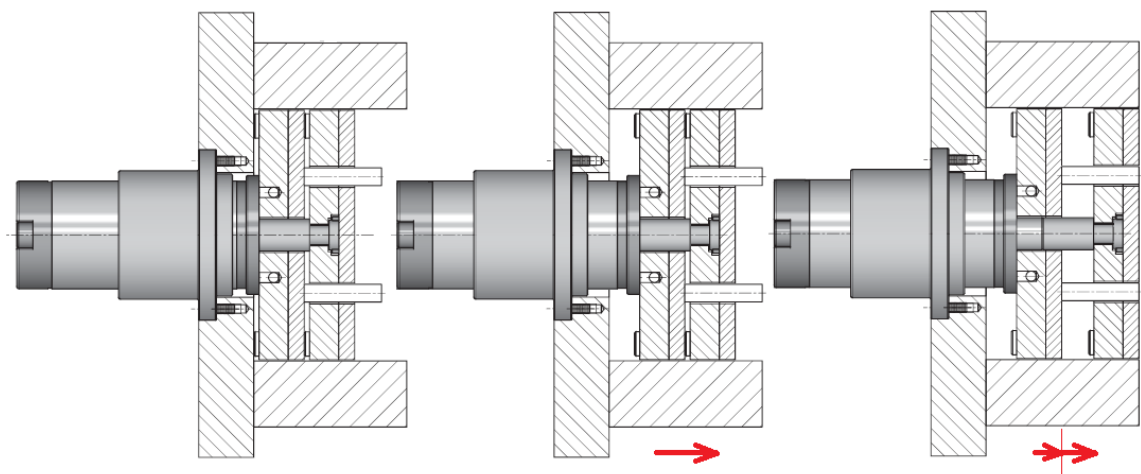
Tyto vyhazovače jsou uloženy pod různými úhly k dělicí rovině a lze nimi tak odformovat výrobky opatřeny mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Vyhazovače mohou být přímo opatřeny tímto zápichem nebo mohou být spojeny s čelistmi. Použitím těchto typů vyhazovačů se odstraní náročné konstrukční řešení pomocí čelistí s klínovým mechanismem. [22]

#### 4.7.2 Pneumatické vyhazování

Uplatňuje se především při konstrukci forem, které slouží k výrobě velký tenkostěnných výrobků, jež mají tvar nádob. Pro odformování těchto výrobků za použití mechanického vyhazování by velmi narůstala velikost formy z důvodu potřeby velkého zdvihu vyhazovače. Tento problém odstraňuje pneumatický způsob vyhazování, kdy je mezi dutinu formy a výrobek přiváděn stlačený vzduch, který zajistí rovnoměrné oddělení výrobku od tvárníku. Na takto vyrobených výrobcích nevznikají stopy po vyhazovačích. V praxi se uplatňuje použití kombinace mechanického a pneumatického vyhazování. [22]

#### 4.7.3 Hydraulické vyhazování

Slouží spíše k ovládnutí mechanických vyhazovačů, přímo zabudované hydraulické jednotky, které pracují jako vyhazovače se již příliš nevyužívají. Pomocí hydraulických jednotek se ovládají vyhazovací kolíky, stírací desky a posuvné čelisti. Výhodou je velká vyhazovací síla při malém zdvihu. [22]



Obr. 30 Dvoustupňové vyhazování (dobíhající) pomocí hydraulického válce [19]

## 4.8 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Dutina formy je před vstřikováním taveniny naplněna vzduchem, přičemž tento vzduch musí při plnění uniknout ven z dutiny formy. Problém odvodu vzduchu je nutné řešit již při konstrukci formy a využívá se k tomu simulačních systémů. V praxi se často řeší odvzdušnění forem až při samotných funkčních zkouškách.

K odvzdušnění musí docházet zejména v místech, kde se uzavírá vzduch, přičemž velikost odvzdušňovacích kanálů nesmí zapříčinit vznik přetoků, tedy polymer nesmí vtéci do těchto mezer.

Způsoby odvzdušnění – místa úniku vzduchu:

- hlavní dělicí rovinou a také vedlejšími dělicími rovinami,
- vřely mezi pohyblivými částmi – vyhazovače,
- vřely mezi tvarovými a pevnými částmi formy – tvarové vložky,
- odvzdušňovací kanály
- dalšími speciálními prostředky. [17]

Tab. 3 Doporučené velikosti odvzdušňovacích kanálů [10]

Polymer	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PC; POM	maximálně 0,05
PS; ABS	maximálně 0,05
PA	0,02 – 0,03
PBT	maximálně 0,03
PA plněný skelnými vlákny	0,04 – 0,05

## 4.9 Materiály vstřikovacích forem

Volba vhodného materiálu jednotlivých částí formy je nedílnou součástí návrhu vstřikovací formy. Volbu materiálu ovlivňuje nejen cena, ale taky se řídí druhem vstřikovaného materiálu (plněné a neplněné polymery), předpokládanou životností apod. Při návrhu formy je důležité navržení vložkových částí v místech pravděpodobnosti velkého opotřebení a v částech formy s požadavky na tvarovou přesnost.

Technologií povlakování lze prodloužit životnost některých dílů formy. Použitím technologie povlakování dochází ke zvýšení odolnosti proti abrazi, zvýšení kluznosti a samomaznosti.

Nejčastějším materiálem používaným při výrobě vstřikovacích forem jsou oceli. Jednotlivé druhy ocelí jsou uvedeny v Tab. 4, kde jsou zároveň uvedeny díly, na které se daný materiál používá. Mezi další materiály patří slitiny mědi a slitiny hliníku. [17]

Tab. 4 Vybrané materiály vstřikovacích forem [10; 17]

Označení materiálu W. Nr.	Vlastnosti	Použití
1.0577	Konstrukční ocel, dobrá svařitelnost, nekalená	Základní díly formy bez požadků na vyšší mechanické vlastnosti
1.1730	Nástrojová ocel	Výroba rámců a málo namáhaných desek forem
1.2083	Prokalitelná a částečně nerezová ocel vhodná k leštění	Tvarové části, pro polymery, které mohou být chemicky agresivní
1.2162	Cementační ocel	Desky forem, tvrdost povrchové vrstvy až 64 HRC
1.2311	Nástrojová ocel legovaná, vhodná pro nitridování	Funkční a tvarové části
1.2343	Prokalitelná nástrojová ocel	Tvarové části
1.2379	Kalitelná ocel, dobrá obrobitelnost a rozměrová stálost	Desky forem, vložky

## 5 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Při výrobě dílů pomocí technologie vstřikování se i přes snahu všech pracovníků celé výroby vyskytují vadné výrobky. Jedna ze základních příčin vzniku vad je podstata samotného vstřikovacího procesu, jež je cyklický tím pádem není možné zajistit shodné podmínky po celou dobu výrobního procesu. Technologický proces však není jedinou příčinou vzniku vadného výrobku. Mezi další příčiny vad může patřit nesprávně zvolený materiál, nedodržování zásad konstrukce výrobku, konstrukční nedostatky při návrhu formy případně nevhodně zvolený vstřikovací stroj. Pozornost by měla být rovněž věnována zacházení s hotovými výrobky a jejich uskladněním.

Za vadný díl lze označit ten, který se odchyluje od schváleného standardu specifikovaného výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými podmínkami zákazníka. Mezi odchylky patří tvarové, rozměrové, hmotnostní a také odchylky jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Některé z nejčastějších vad jsou uvedeny v následujících kapitolách. [17]

### 5.1 Nedotečený výrobek

Polymerní taveniny nevyplní celou dutiny formy a vznikne tak část dutiny, jež je prázdná a tím tedy výrobek není kompletní. K těmto vadám dochází v místech největší vzdálenosti od vtokového ústí, v místech s malým průřezem stěny výrobku nebo v místě kde se setkávají čela taveniny. Příčiny těchto vad jsou nevhodně zvolený materiál výrobku, nedostatečná vstřikovaná dávka, nesprávná konstrukce výrobku, nesprávně zvolené místo vtokového ústí, nízká vstřikovací rychlost, nízká teplota taveniny a formy apod. [17]

### 5.2 Přetoky

Jedná se o opačný problém nedotečeného výrobku. Při této vadě materiál zateče i do míst, k tomu neurčených. Těmito místy jsou špatně slícované spáry (vyhazovače, čelisti, pohyblivá jádra), místa špatně vytvořeného odvodu vzduchu (tavenina zatéká do spár o tloušťce asi 2 mm a více) nebo již opotřebené spáry dělicí roviny. Přetoky vznikají při příliš vysoké hybnosti taveniny, vysoké dotlakové fázi nebo také při vysoké teplotě taveniny a formy. [17]

### 5.3 Deformace výrobku

Rozumí se tím změny výrobku oproti 3D modelu výrobku nebo jeho výkresu. Konkrétní příčiny vzniku deformací daného výrobku se zjišťují z analýzy výrobního procesu. Mezi pří-

činy může patřit nesprávná konstrukce výrobku, nevhodně zvolený materiál, nesprávná konstrukce formy (vtokový systém, vyhazovací a temperační systém), nesprávné nastavení technologických parametrů vstřikování apod. [17]

#### **5.4 Stříbření**

Projevuje se jako stříbřitě bílé nebo matně stříbřité pruhy na povrchu výrobku. Příčinou těchto vad je obsah vlhkosti ve vstřikovaném materiálu. Těmto vadám se předchází sušením materiálu při výrobcem stanovených podmínkách, mezi něž patří teplota a doba sušení. Pokud tato vada přetrvává i po vysušení materiálu je potřeba se věnovat snížení smykového namáhání taveniny při celém procesu vstřikování. [17]

#### **5.5 Spálená místa**

Místa se spálením materiálu se projevují jako černá skvrna nepravidelného tvaru. Ke vzniku spálených míst dochází v místech stlačení vzduchu v tvarové dutině vstřikovací formy, a to v případě, že stlačený vzduch neměl možnost z toho místa uniknout. V případě že je povrch výrobku zasažen stlačeným vzduchem dojde k tzv. Diesel efektu, což se na výrobku projeví lesklou skvrnou nebo zvrásněním v místě, kde byl vzduch uzavřen a těsně před tím, než došlo ke vzplanutí materiálu, vzduch unikl z tvarové dutiny.

Spálená místa vznikají nejčastěji v nejvzdálenějším místě od ústí vtoku, v dělicí rovině nebo v místě styku dvou čel taveniny. Tyto vady lze odstranit odvzdušněním místa, kde tato vada vzniká. [17]

#### **5.6 Studené spoje**

Pokud dojde ke spojení dvou nebo více čel taveniny, která se musela v důsledku překážky v toku (například tvarový prvek na výrobku tvořící jádro) rozdělit, dochází ke vzniku studeného spoje. Studený spoj lze pozorovat jako nepřilíš patrný svar, jež může mít podobou rýhy se zaoblenými okraji nebo se projevuje jako místo vzniku praskliny. V tomto místě se snižuje mechanická pevnost výrobku a jedná se o potenciální místo vzniku trhlin, neboť představuje oblast, kde dochází k vysoké koncentraci pnutí. Studený spoj může rovněž vzniknout v dutině formy s více vtoky. Tento spoj způsobuje rovněž vzhledovou vadu.

Použitím technologie kaskádového vstřikování lze odstranit vznik studených spojů, naopak při standardním procesu vstřikování vzniku studených spojů nelze zabránit, pouze tyto spoje minimalizovat pomocí odvzdušnění a nastavení technologických parametrů. [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle diplomové práce jsou:

- vypracování literární studie na dané téma,
- nakreslení 3D modelu zadaného plastového výrobku,
- provedení 3D návrhu vstřikovací formy,
- nakreslení výkresu sestavy vstřikovací formy,
- ověření návrhu pomocí analýzy.

Teoretická část diplomové práce se zabývá problematikou vstřikovacích forem, vstřikováním polymerů, zároveň i polymerními materiály a vstřikovacími stroji.

V části praktické, je cílem vytvoření 3D modelu zadaného výrobku, pro který je vytvořen model vstřikovací formy. Konstrukční návrh je proveden v programu CATIA V5R19 za použití normálí výrobců HASCO a Meusburger.

Dále obsahuje praktická část analýzu, ve které je proveden výpočet vhodnosti umístění vtoku a výpočet navržených vtokových systémů (vyhřívaný, studený a kombinace). V textu práce jsou popsány jen výsledky použitého vtokového systému při návrhu vstřikovací formy.

Na závěr je vytvořen výkres sestavy formy a ověření této vstřikovací formy pomocí analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

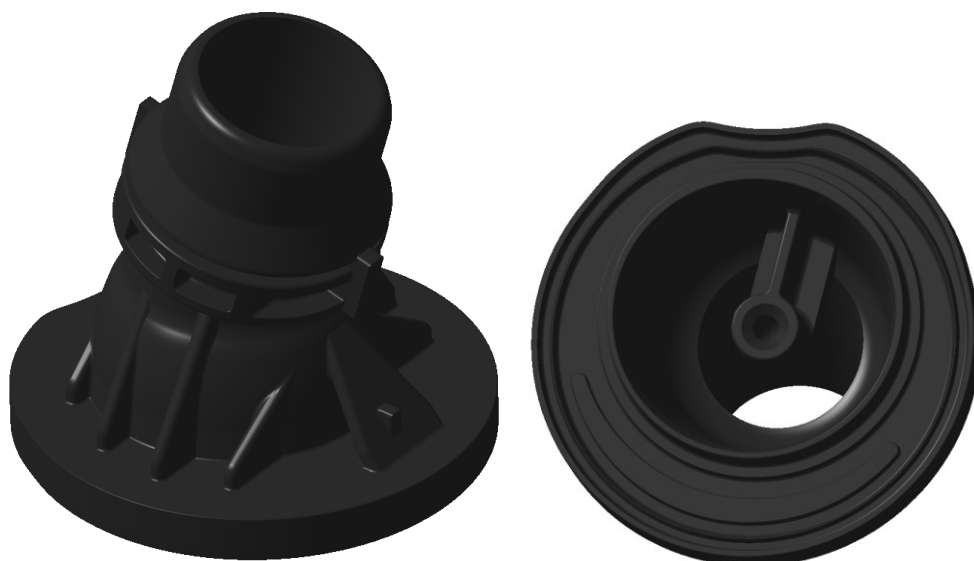
## 7 CHARAKTERISTIKA VÝROBKU

Vstříkovaný výrobek pochází z chladicího systému automobilu, jedná se konkrétně o Housing, tedy pouzdro, kde je umístěn termostat. Tento výrobek je umístěn vně motorového prostoru.



*Obr. 31 Zadaný výrobek*

Hlavní rozměry výrobku jsou  $71 \times 70 \times 69,5$  mm, objem činní  $40,18 \text{ cm}^3$  a hmotnost samotného výrobku je 55 g.



*Obr. 32 Model výrobku*



## 7.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiál výrobku je PA 66 plněný skelnými vlákny s 30% podílem, tedy PA66-GF30. Materiál je od výrobce BASF, konkrétně Ultramid A3WG6. Materiálový list se nachází v příloze.

Tento materiál vyniká vysokou tuhostí a rozměrovou stabilitou, a tudíž je vhodný pro aplikaci v motorovém prostoru, kde bude zároveň vystaven zvýšeným teplotám. [23]

Tab. 5 Vybrané vlastnosti materiálu Ultramid A3WG6 [23]

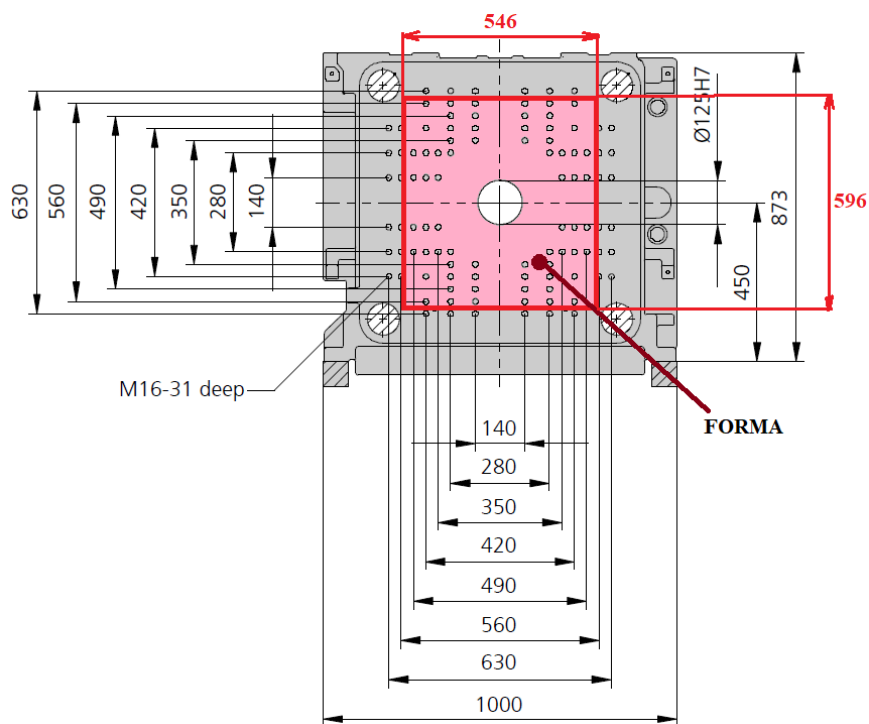
Vlastnost	Metoda testování	Hodnota	Jednotka
Hustota	ISO 1183	1,36	g/cm <sup>3</sup>
Nasákavost, 23 °C	ISO 62	5,2	%
Smrštění podélné	ISO 294-4	0,38	%
Smrštění příčné	ISO 294-4	0,93	%
Procesní smrštění	-	0,49	%
Teplota taveniny	-	280–300	°C
Teplota formy	-	80–90	°C
Vyhazovací teplota	-	220	°C
Teplota degradace	-	300	°C
Modul v tahu	ISO 527-1	10000	MPa
Napětí při přetržení	ISO 527-1	190	MPa
Prodloužení při přetržení	ISO 527-1	3	%
Maximální rychlost smykové deformace	-	60000	1/s
Maximální smykové napětí	-	0,5	MPa

## 8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě předběžné analýzy a zároveň technických parametrů vstřikovací formy byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj výrobce Arburg typ ALLROUNDER 570 C GOLDEN EDITION 2000-800 (45 mm). Parametry, dle nichž byl stroj volen, jsou uvedeny v následující tabulce. Ostatní parametry stroje jsou uvedeny v příloze.

Tab. 6 Parametry vstřikovacího stroje ve srovnání s požadovanými

Parametr	Požadovaná hodnota	Hodnota vstřikovacího stroje	Jednotka
Velikost stroje (vodící sloupy)	596 × 546	570 × 570	mm
Uzavírací síla	271,5	2000	kN
Minimální výška formy	449	300	mm
Maximální výška formy	449	950	mm
Průměr středícího kroužku	125	125	mm
Vstřikovací tlak	25,54	247	MPa
Objem vstřikovací dávky	80,3	318	cm <sup>3</sup>



Obr. 33 Poloha vstřikovací formy při upnutí na stroji

## 9 PŘEDBĚŽNÁ TOKOVÁ ANALÝZA

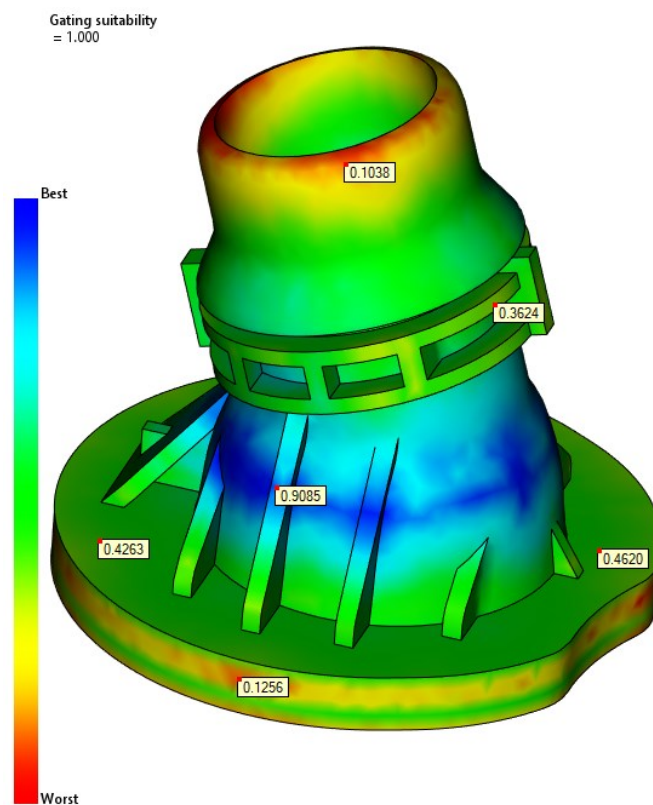
Před začátkem konstrukce byla provedena předběžná toková analýza s použitím materiálu výrobku Ultramid A3WG6, pro zjištění vhodnosti umístění vtoku. Dále analýzy různých typů vtokových systémů.

### 9.1 Výsledky analýzy polohy vtoku

Analýza Gate Location určí přibližně podle tvaru geometrie výrobku, vhodnost umístění vtoku, tak aby došlo k optimálnímu a rovnoměrnému vyplnění dutiny formy. Výsledky vhodnosti umístění vtoku nejsou závazné a záleží rovněž na zkušenostech konstruktéra formy, kam vtok umístí. Nad umístěním vtoku je vhodné myslet již při konstrukci samotného vstřikovaného výrobku.

#### 9.1.1 Analýza vhodnosti umístění vtoku (Gating suitability)

Výsledkem analýzy Gating suitability je grafické vyjádření místa, které se jeví jako nejlepší pro vhodnost umístění vtokového ústí. Optimální místa pro zvolení vtoku jsou znázorněna modrou barvou. Místa, která jsou v umístění vtoku vhodná nejméně, jsou znázorněna barvou červenou.



Obr. 34 Vhodnost polohy vtokového ústí

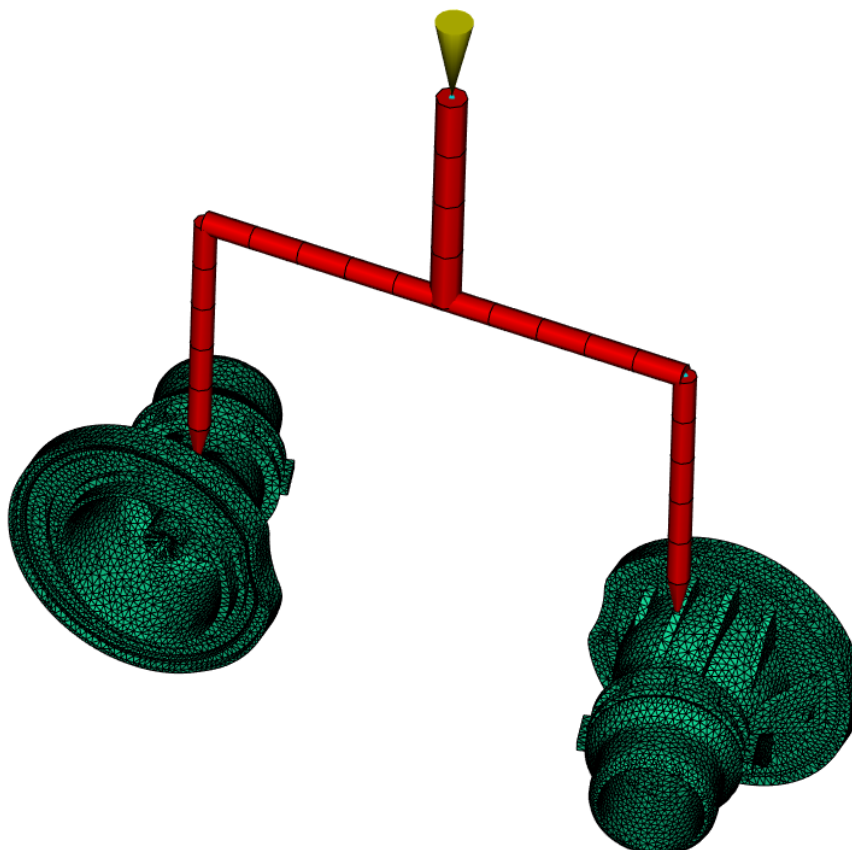
Dle výsledků je patrné, že nejvhodnější místo pro umístění vtokového ústí je ve střední části výrobku v oblasti žeber (znázorněno modře). Naopak nejméně vhodné je umístění ústí do horní a spodní části výrobku (znázorněno červeně).

## 9.2 Analýzy různých typů vtokových systémů

V rámci návrhu byly řešeny tři typy vtokových systémů: vyhřívaný vtokový systém, studený vtokový systém a kombinace vyhřívaného a studeného.

### 9.2.1 Vyhřívaný vtokový systém

První možností, v dnešní době možností často upřednostňovanou, je použití vyhřívaného rozvodného bloku, na němž jsou dvě vyhřívané trysky ústící přímo do dutiny formy. Z hlediska spotřeby vstříkovaného materiálu je tento typ vtokového systému nejvýhodnější. Zápory jsou v celkové vyšší ceně oproti použití studeného vtokového systému a nutnosti prostoru pro umístění vyhřívané trysky na plochu výrobku, což se jeví z hlediska konstrukce výrobku nemožné. Dále brání této konstrukci nedostatečné množství prostoru.



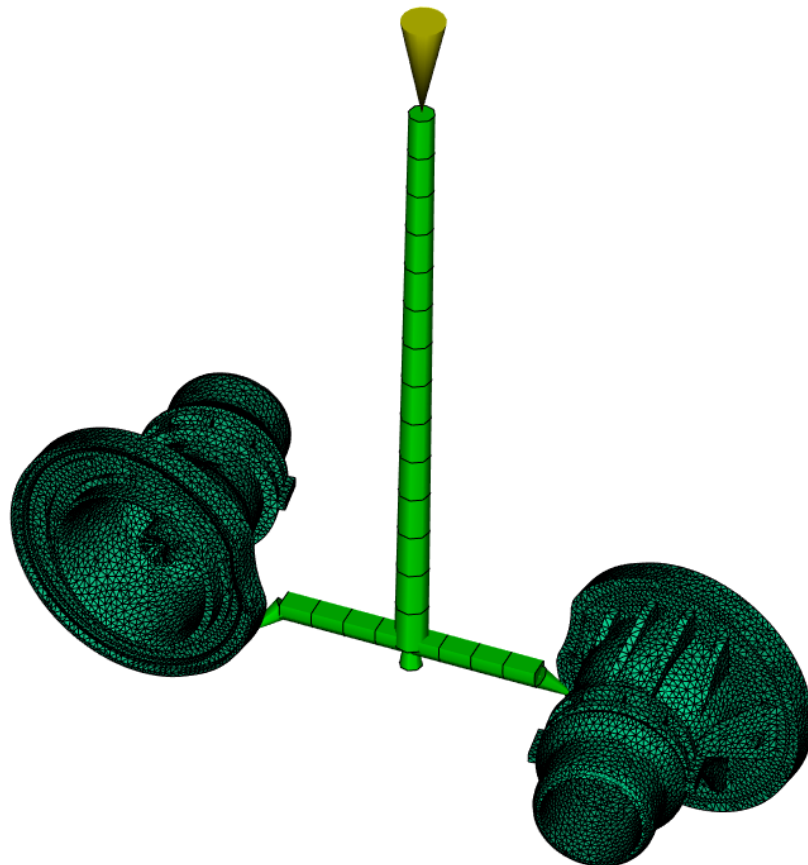
Obr. 35 Vyhřívaný vtokový systém

Z konstrukčních důvodů je proto tento vtokový systém zamítnut.

### 9.2.2 Studený vtokový systém

Další možností je použití studeného vtokového systému, kde by byl materiál studenou vtokovou vložkou a následně studenými rozvodnými kanály přiváděn přes tunelový vtok do každé ze dvou dutin formy. Tunelový vtok byl zvolen, nýbrž nevyžaduje třídeskový systém formy, neboť k oddělení vtokového zbytku dojde automaticky při vyhazování výrobku z formy.

Konstrukčně je možné jej umístit do místa, kde je vhodnost umístění vtoku přibližně 46 %. Nevýhodou je značný vtokový zbytek (odpad), který vznikne při každém cyklu. Nutné je použití přídržovače vtoku.

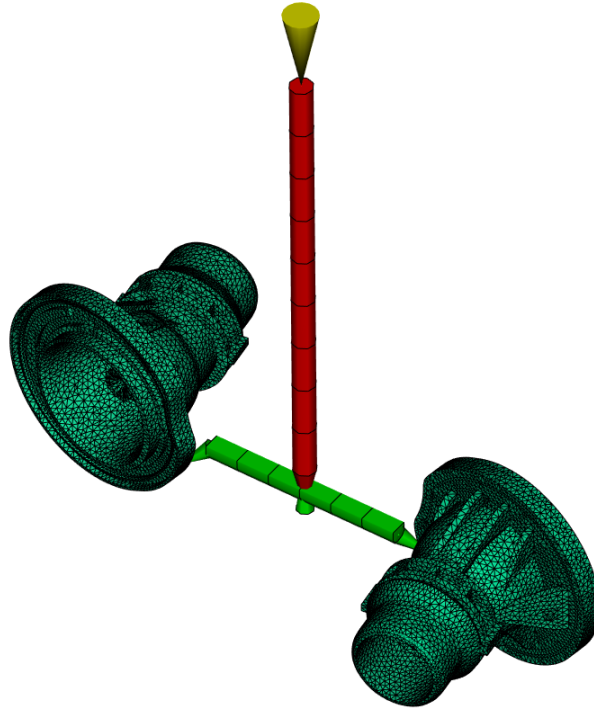


*Obr. 36 Studený vtokový systém*

### 9.2.3 Kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému

Po zhodnocení kladů a záporů předešlých vtokových systémů byl navržen vtokový systém, jenž je kombinací předešlých. Skládá se z vyhřívané trysky, která dovádí materiál do dělicí roviny a studených rozvodných kanálů, jež přes tunelový vtok dovádí taveninu do

dutin formy. Použitím vyhřívané trysky, nevznikne tak značný odpad, jakož by vznikal tokem taveniny z trysky vstříkovacího stroje, přes studenou vtokovou vložku, do dělicí roviny formy. Vznikne tak úspora vstříkovaného materiálu 11,7 g na jeden cyklus stroje.



*Obr. 37 Kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému*

Dle výše uvedeného bylo rozhodnuto, že forma bude navržena s kombinací vyhřívaného a studeného vtokového systému.

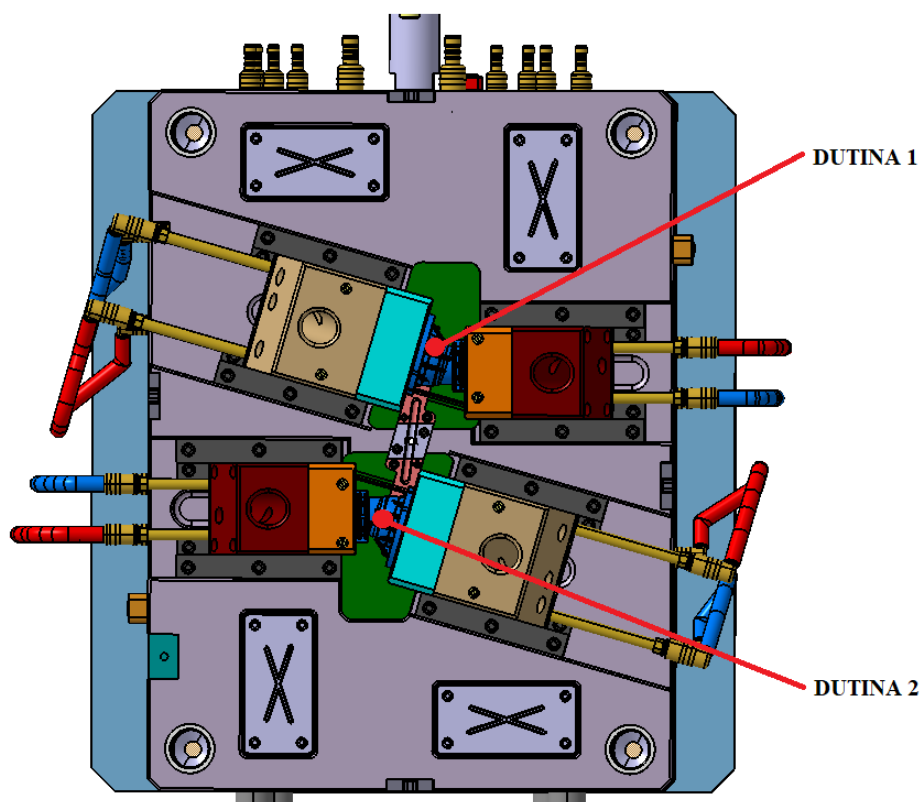
## 10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Jedním z hlavních cílů diplomové práce je konstrukční návrh vstřikovací formy na zadaný výrobek. Při konstrukci formy byly použity stavebnicové systémy nacházející se v programu CATIA V5R19 v modulu Mold Tooling Design od výrobce HASCO. Zároveň byly použity normalizované díly výrobce Meusburger a Hasco stažené z internetových stránek výrobců a vloženy do sestavy pomocí aplikace CADClick, jež umožní rychlé vložení přímo do sestavy ve zvoleném formátu. Díky využití normálií se značně zrychlí konstrukce formy a rovněž i výroba, což v konečném důsledku má pozitivní vliv na koncovou cenu vstřikovací formy.

### 10.1 Volba násobnosti vstřikovací formy

Jedním z počátečních rozhodnutí při konstrukci je násobnost vstřikovací formy. Násobnost ovlivňuje mnoho činitelů, mezi něž patří: požadované množství produkce, kvalita a velikost výrobku, složitost výrobku, velikost vstřikovacích stroje a další.

Dle zadání vedoucího diplomové práce byla navržena konstrukce dvounásobné formy s použitím kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému.



Obr. 38 Dvounásobná forma

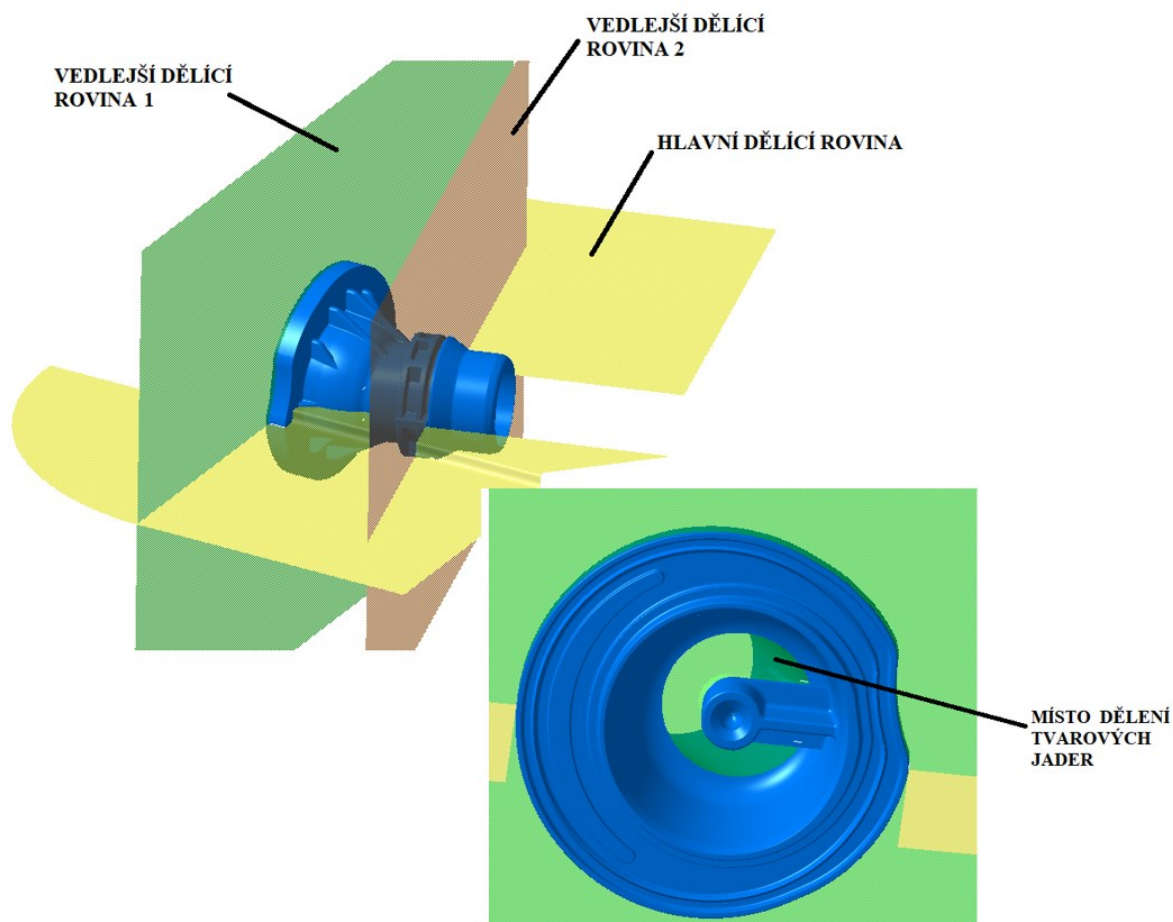


## 10.2 Koncepce zaformování výrobku

Určení dělicích rovin je zásadní při konstrukci vstřikovací formy. Daný výrobek není možné zaformovat pouze jednou dělicí rovinou. Je nutné použít ještě roviny vedlejší, díky kterým, bude možné odformovat vnitřní otvory. Tyto otvory jsou spojeny pod úhlem, a nejsou kolmé na hlavní dělicí rovinu.

Takto zvolené zaformování výrobku již nastiňuje umístění vtokového, temperačního a vy-  
hazovacího systému vstřikovací formy. Je tedy nutné, je při návrhu dělicích rovin zohledňo-  
vat.

Hlavní dělicí rovina se nachází mezi tvárníkem a tvárnicí. Její tvar je upraven kvůli vtokové vložce, přes kterou bude výrobek plněn tunelovým vtokem. Vedlejší dělicí rovinu tvoří tvarové čelisti, v nichž jsou umístěna tvarová jádra, která dávají tvar vnitřním otvorům.



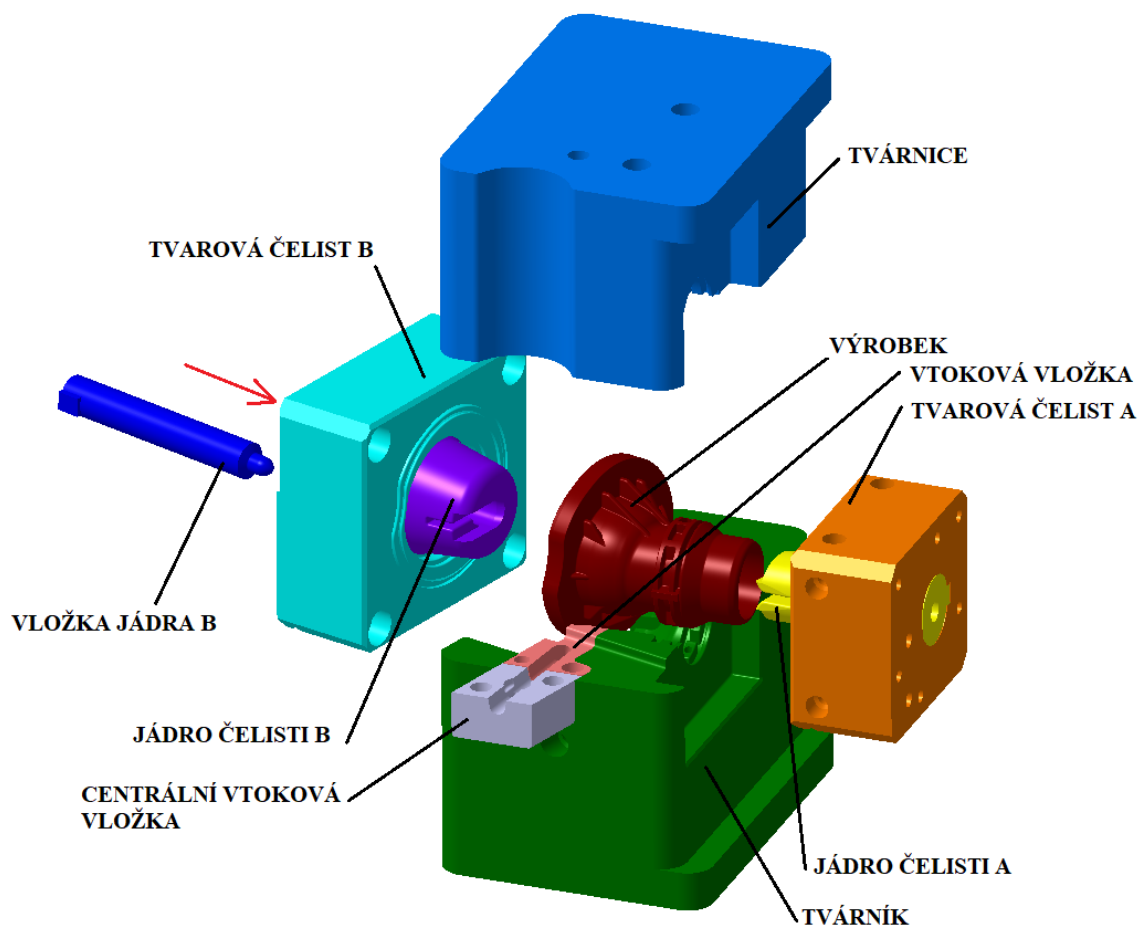
Obr. 39 Polohy dělicích rovin



### 10.3 Tvarové části

Z důvodu vyměnitelnosti a jednodušší výroby byly tvarové části vytvořeny jako vyměnitelné vložky. Tvarová dutiny tvoří negativ vstříkovaného výrobku. Dutina byla zvětšena o smrštění materiálu 0,5 %. Po otevření formy zůstává výrobek na pohyblivé straně formy, ze které je následně vyhozen pomocí vyhazovacího systému.

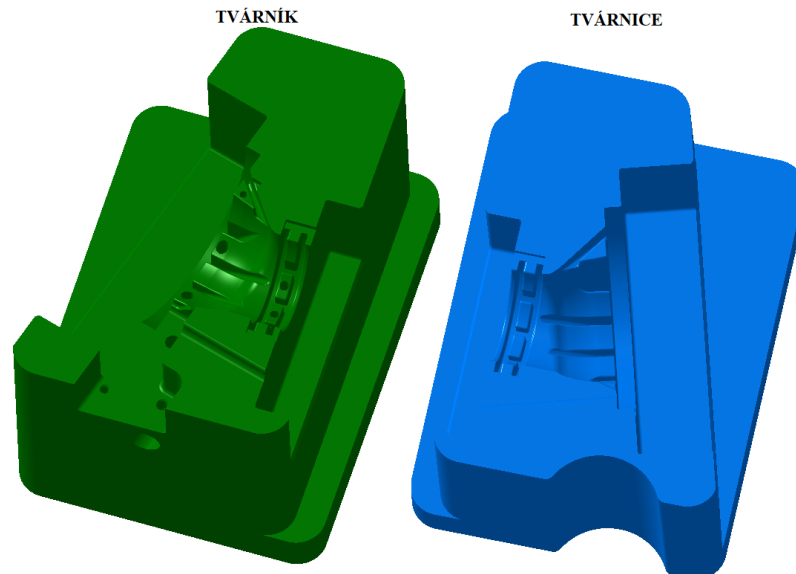
Tvarové části jsou: tvárník a tvárnice, tvarová čelist A a B, jádra čelisti A a B, vložka jádra B, centrální a vtoková vložka. Všechny tvarové části, jelikož přichází ke styku s taveninou, jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343 a tepelně zpracovány na tvrdost 48+2 HRC.



Obr. 40 Tvarové části vstříkovací formy

#### 10.3.1 Tvárník a tvárnice

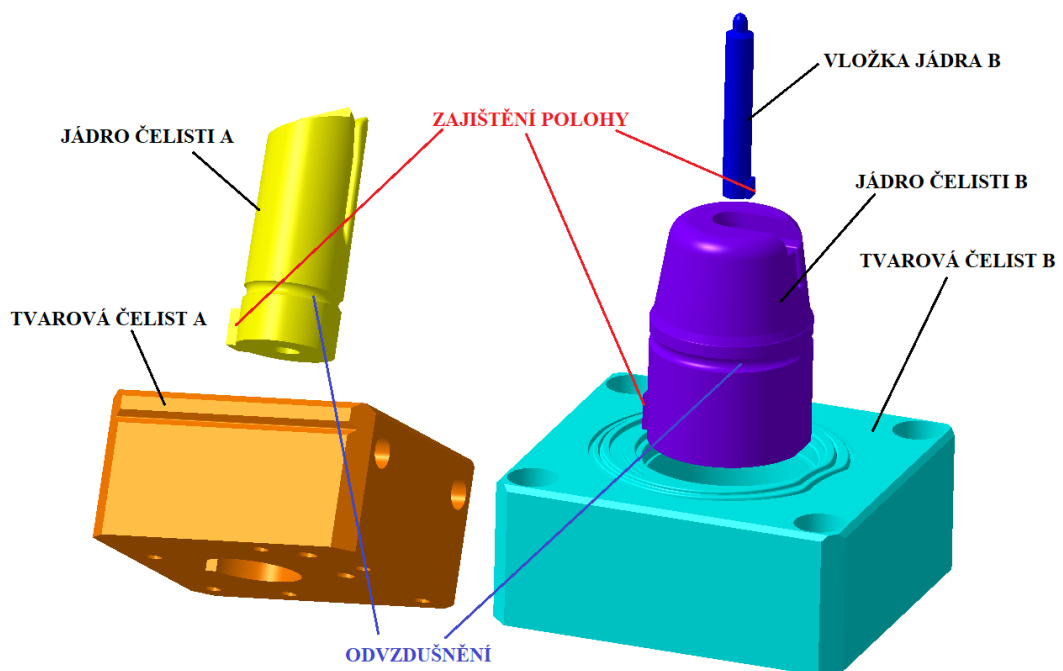
Tvárník a tvárnice jsou vloženy jako samostatné díly do rámu vstříkovací formy. Je možné je v případě poškození jednotlivě vyměnit. Jejich přesnou polohu zajišťuje jejich vnější tvar, jež je totožný, s tvarem v rámu formu. Jsou opřeny o opěrné desky a vkládají se ze zadní strany rámu, který zabrání jejich vypadnutí díky přesahu na tvárníku a tvárnici.



Obr. 41 Tvárník a tvárnice

### 10.3.2 Tvarové čelisti a jádra

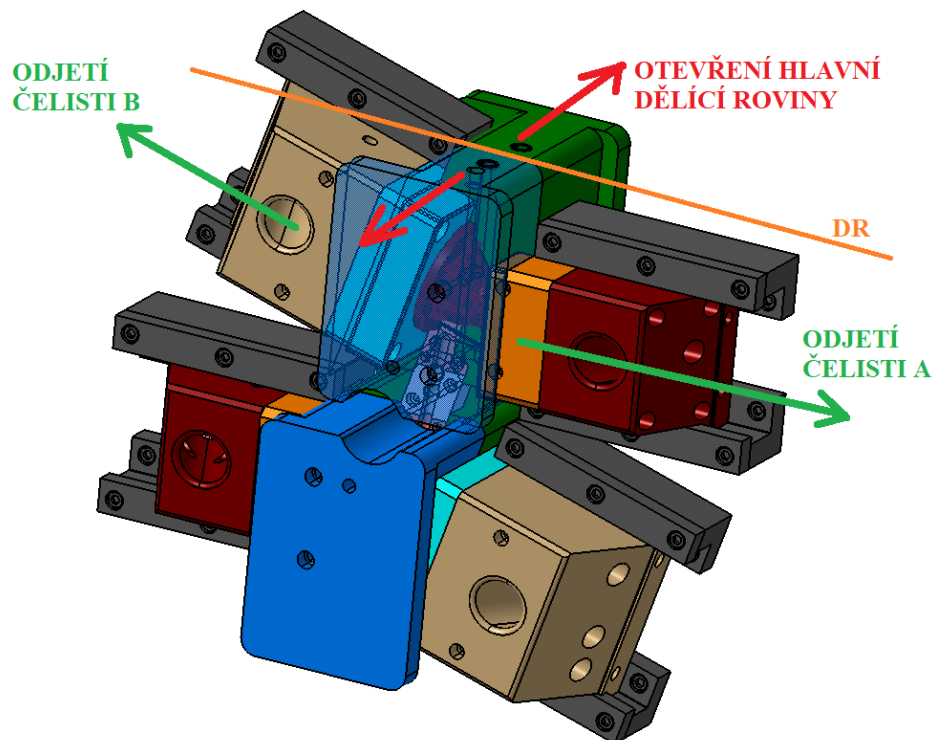
Boční odformování tvoří součásti na Obr. 42. Tyto díly jsou vytvořeny rovněž tak, aby byla možná jejich jednoduchá výměna při poškození. Zajištění polohy je dosaženo výstupky na jádrech, přičemž negativ výstupku se nachází na tvarových čelistech, čímž je dána přesná poloha a také zajištění proti pootočení. Jádra čelisti jsou opatřena drážkami pro odvzdušnění. Další místo pro odvzdušnění lze, v případě potřeby, přidat vyfrézováním drážek na tvarové čelisti po obvodu kontury výrobku.



Obr. 42 Tvarové čelisti a jádra

## 10.4 Způsob odformování výrobku

Jak již bylo zmíněno, výrobek nelze odformovat pomocí jedné dělicí roviny. Vnitřní otvory je nutné odformovat pomocí posuvných tvarových čelistí.

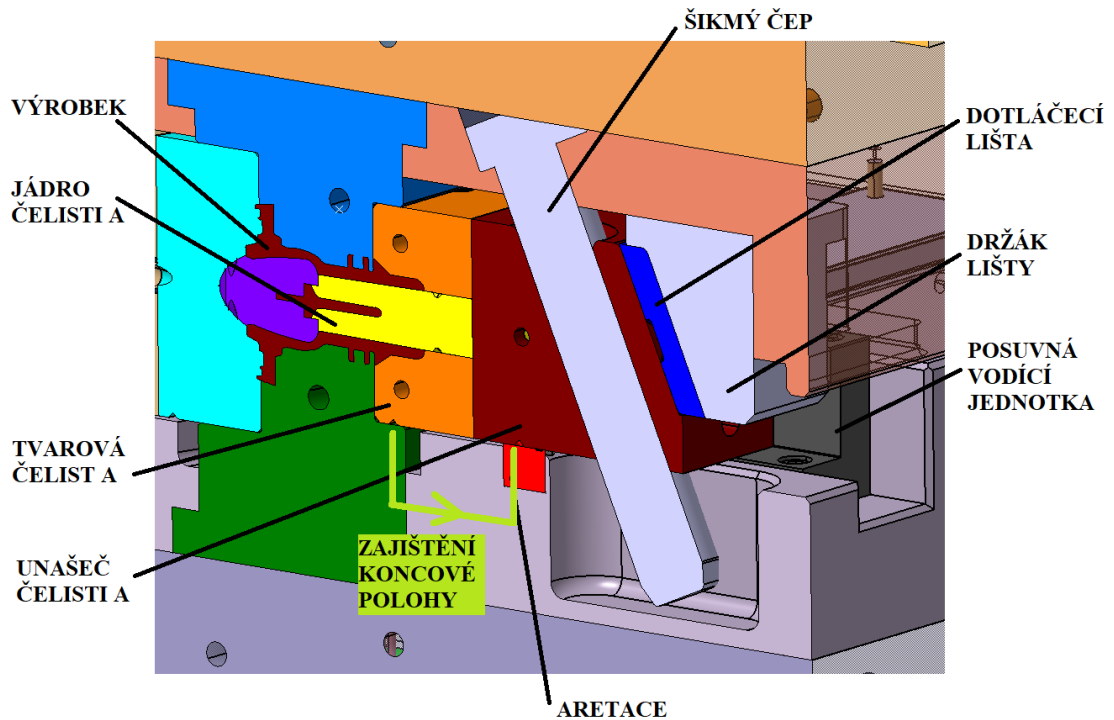


Obr. 43 Odformování výrobku

Ovládání čelistí je zajištěno šikmými čepy, které se nachází na pevné půlce formy. Použití šikmých čepů je z konstrukčního a ekonomického hlediska výhodnější než použití například hydraulických tahačů.

Délka šikmých čepů je vypočtena tak, aby došlo k úplnému vysunutí výsuvného segmentu z výrobku a mohlo tak dojít k vyhození výrobku z formy. Čepy jsou uloženy pod úhlem  $24^\circ$  a  $20^\circ$ . Délka je vypočtena, přičemž délka čepu 1 (pro odjetí čelisti A) je 165 mm a délka čepu 2 (pro odjetí čelisti B) činí 138 mm.

Při otvírání formy současně odjíždí tvarové čelisti, jež jsou spojeny s unašeči, ve kterých je šikmý čep. Tento čep zajistí vedení čelisti a její odjetí do dostatečné vzdálenosti pro odformování výrobku. Unašeč je dále veden posuvnou vodící jednotkou E31300/35/25/140, jež je přišroubována k rámu formy na pohyblivé straně. V koncové poloze, při otevření formy, je čelist zajištěna pomocí aretace E3046/18.

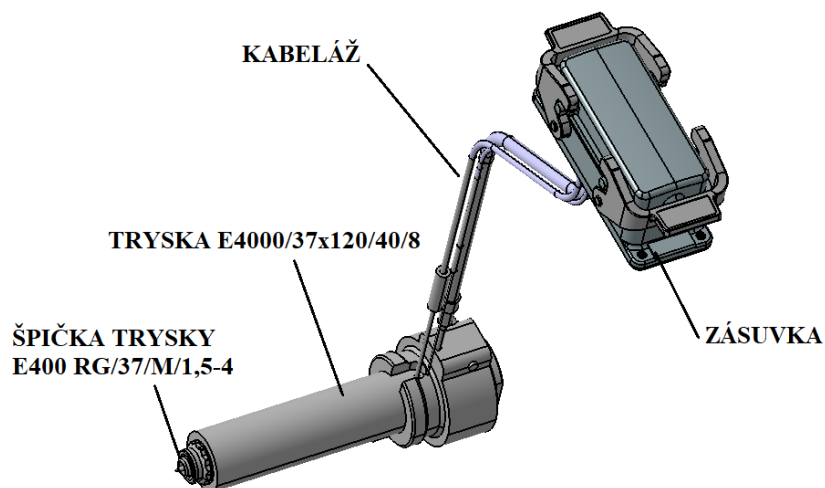


Obr. 44 Odformování čelisti A

Spojení tvarové čelisti a unašeče je řešeno pomocí šroubů a zároveň kolíky pro ustavení přesné polohy. Druhá čelist je řešena obdobným způsobem.

## 10.5 Vtokový systém

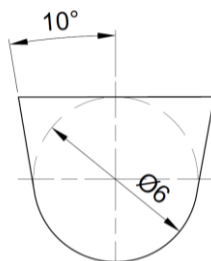
Pro danou vstříkovací formu byl zvolen, dle pokynů vedoucího práce, vtokový systém kombinace vyhřívané trysky a studeného rozvodného kanálu s tunelovým vtokem a přidržovačem vtoku. Vyhřívaná tryska zajistí snížení spotřeby odpadního materiálu, zkrácení výrobního cyklu a rovněž zajistí stálou teplotu taveniny během toku.



Obr. 45 Vyhřívaný vtokový systém

Vyhřívaný vtokový systém byl nakonfigurován na stránkách výrobce Meusburger, pro něhož tyto systémy dodává firma PSG. Označení E4000/37x120/40/8: E400 RG/37/M/1,5-4. Průměr ústí trysky je 3,4 mm. Rozměry byly voleny dle doporučení výrobce.

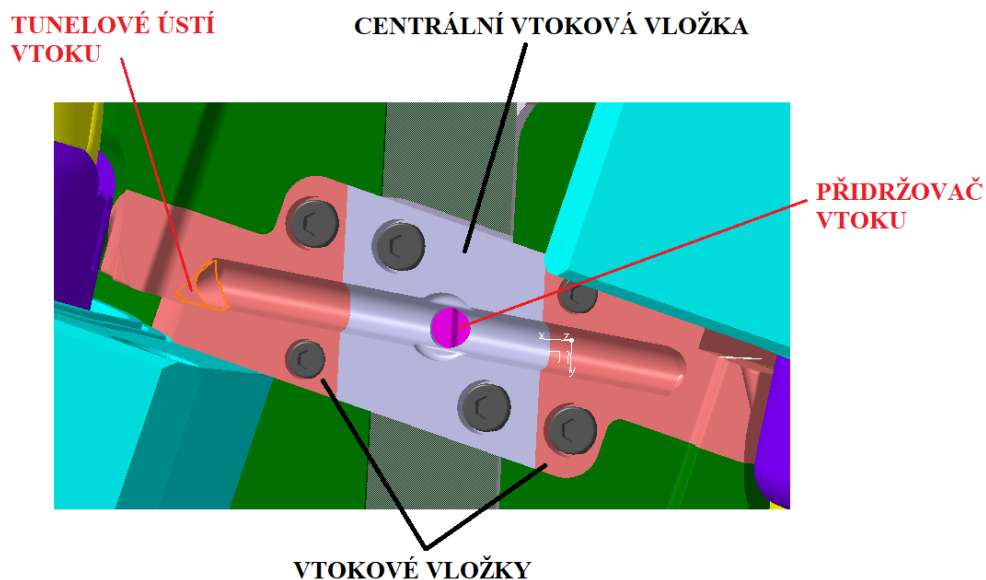
Z vyhřívané trysky vede studený rozvodný kanál s rozměry dle následujícího obrázku.



Obr. 46 Rozměry a průřez rozvodného kanálu

Rozměr kanálu byl určen dle knihy [24], dle vztahu na straně 87, v kapitole Volba rozměrů rozváděcí kanálů. Průměr vtokového ústí je 1,7 mm.

Rozvodný kanál je zakončen tunelovým vtokem do dutiny formy. Výhody tunelového vtoku jsou popsány v teoretické části. Přidržovač vtoku je upraven z vyhadzovače Z40/6x200 na příslušnou délku a vytvarován do tvaru „Z“. Tento přidržovač zajistí přidržení vtoku na pohyblivé půlce formy a následné oddělení při vysunutí vyhazovacího systému.



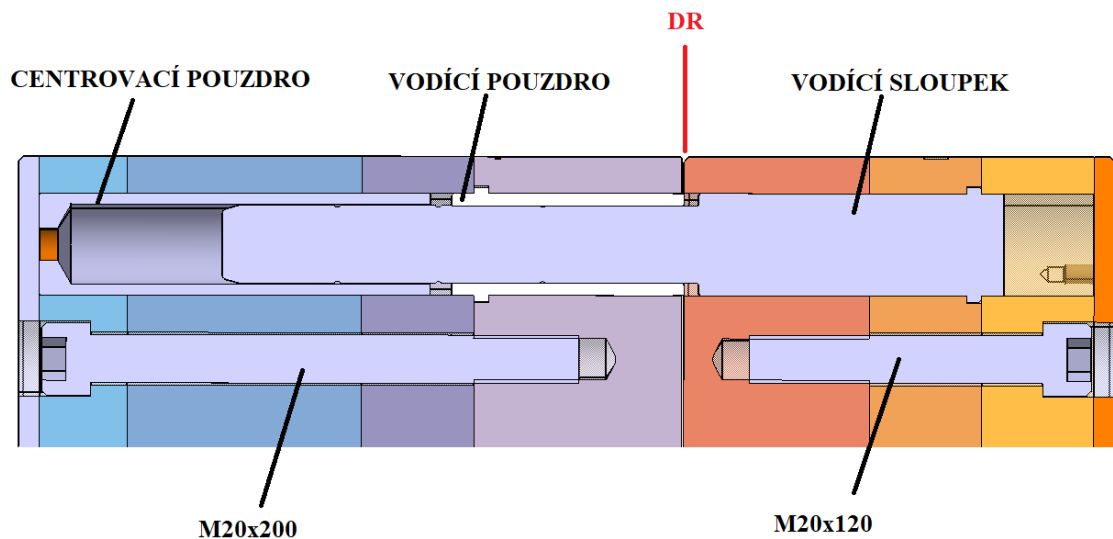
Obr. 47 Vtokové vložky

Vtokové vložky jsou připevněny šrouby a do přesné polohy zajištěny kolíky.

## 10.6 Vodící a středící prvky

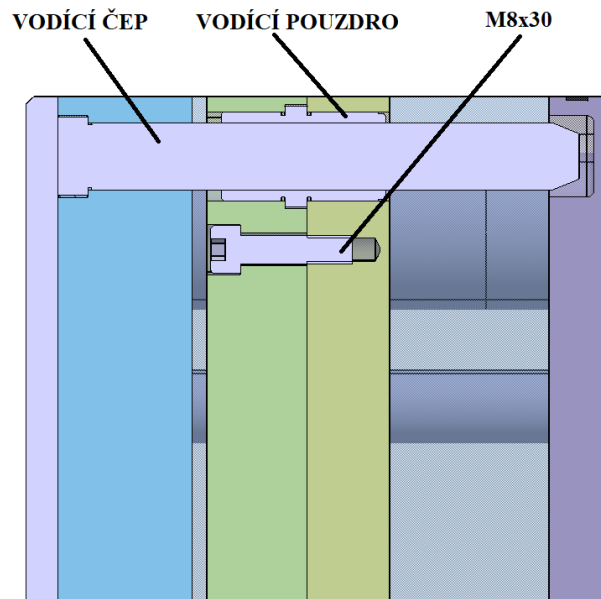
Tyto prvky zajišťují vedení formy při vzájemném zajištění do sebe a vystředění desek vůči sobě. Pro vystředění pevné strany formy byl použit vodící sloupek Z00/116x32x115 a pro sešroubování pevné strany šroub M20x120.

Pomocí centrovacího pouzdra Z20/42x160 a vodícího pouzdra Z10/86/32 je vystředěna pohyblivá strana formy. Desky této strany jsou sešroubovány šroubem M20x200. Tyto normály jsou od výrobce Hasco.



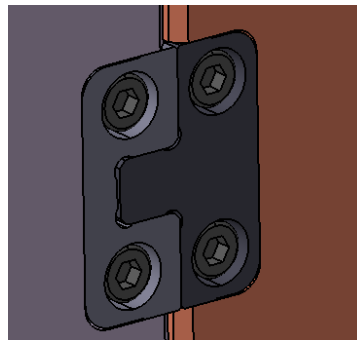
Obr. 48 Vodící elementy formy

Pro zajištění vedení vyhazovacího systému je použit vodící čep E1030/18x140 a vodící pouzdro E1120/18x17/27 od výrobce Meusburger. Vyhazovací a opěrná deska je spojena šroubem M8x30. Rozměry se odvíjí od velikosti desek. Délka vodícího čepu je dostatečná pro vyjetí vyhazovacího paketu do krajní polohy (o 43 mm), čímž je umožněno vyhození výrobku z formy.



Obr. 49 Vodící elementy vyhazovacích desek

Dále pak zajišťuje vystředění formy koncové středění E1308/40, jež je umístěno do dělicí roviny formy celkem na čtyřech místech, které je na Obr. 50.



Obr. 50 Koncové středění E1308/40

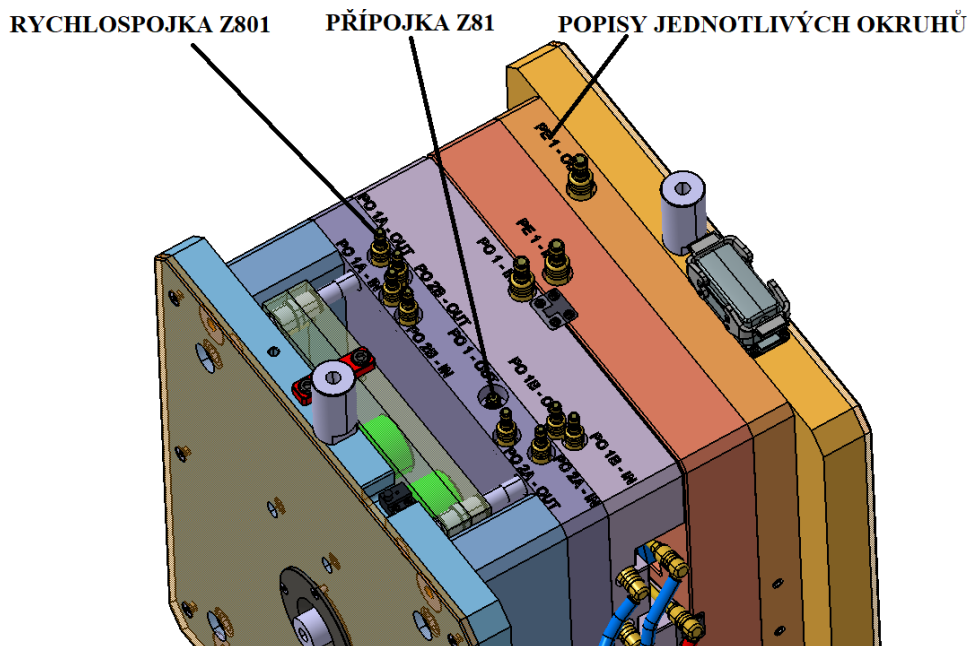
## 10.7 Temperační systém

Temperační systém udržuje konstantní teplotu formy tak, aby nedocházelo ani k přehřátí, ani podchlazení celého systému. Chlazení patří k časově nejnáročnější části vstřikovacího cyklu, proto by mělo být co nejlépe optimalizováno pro dosažení rovnoměrného teplotního pole. Temperační systém formy tvoří šest samostatných okruhů, z nichž jeden je pevné půlce formy a pět na půlce pohyblivé. Jako temperační médium, pro všechny okruhy, je zvolen Etylen glykol/voda - 50/50 %. Teplota temperačního média je 50 °C.

Vstupy pro jednotlivé temperační okruhy jsou popsány IN/OUT (vstup/výstup) pro správné zapojení. Všechny vstupy a výstupy jsou vyvedeny na horní stranu formy. Přípojky Z81 jsou

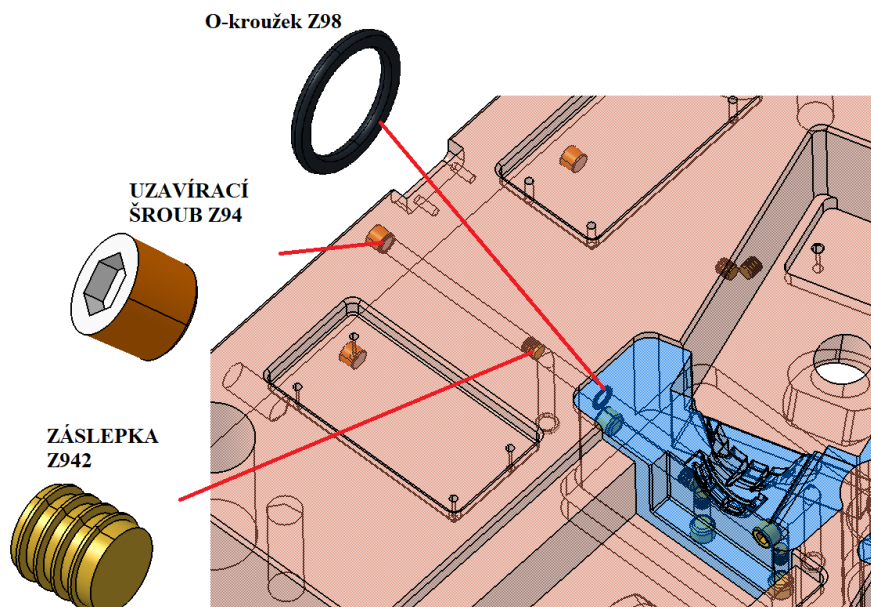


zapuštěny do formy, aby při manipulaci nedošlo k poškození. Na tyto přípojky se nasadí rychlospojka Z801, na níž se nachází hadice vedena k temperačnímu zařízení.



Obr. 51 Připojení temperace

Přechody mezi jednotlivými díly (deska-tvárník) jsou utěsněny O-kroužky Z98. K usměrnění toku slouží záslepky Z942. Ostatní kanály jsou uzavřeny kuželovými uzavíracími šrouby Z94. Rozměry se odvíjejí od konkrétního průměru kanálu.

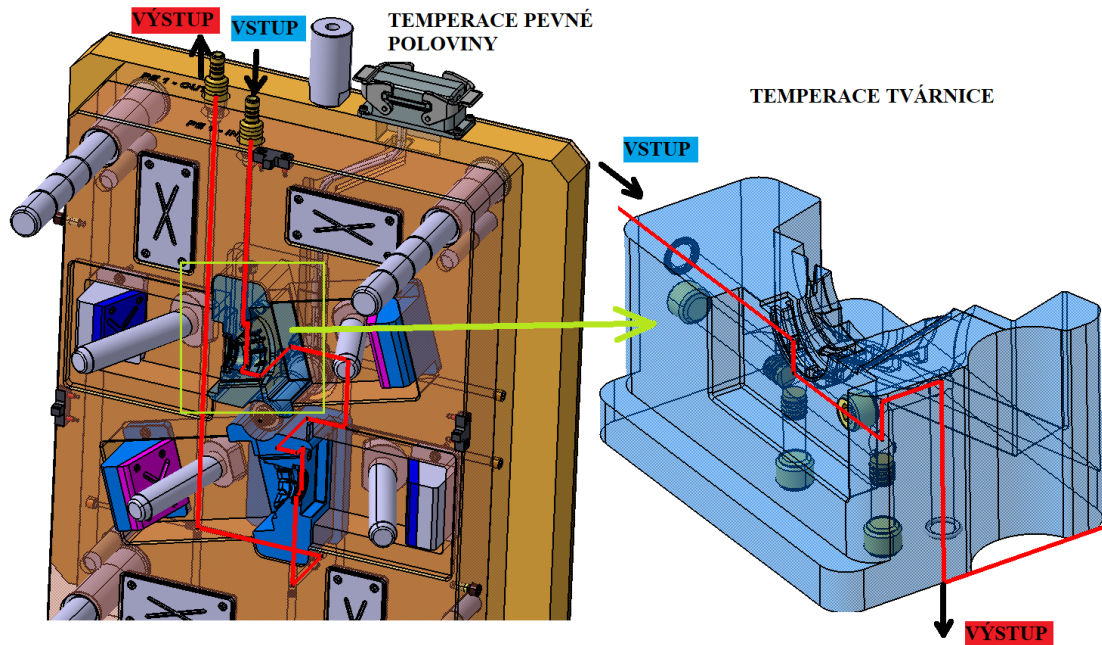


Obr. 52 Použité normálie Hasco při temperaci



### 10.7.1 Temperace pevné poloviny formy

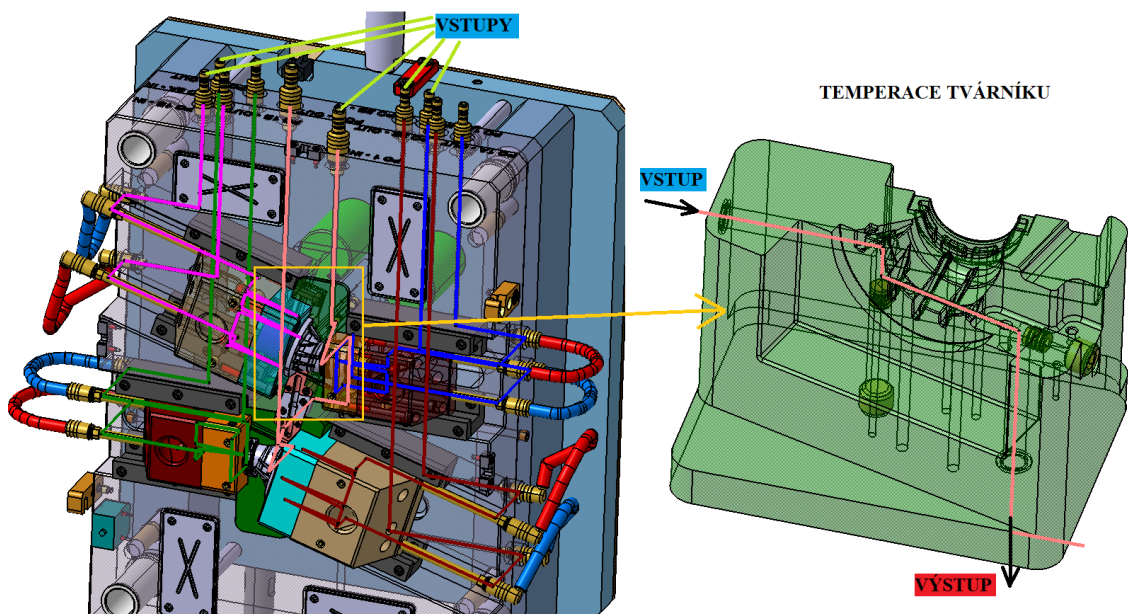
V pevné polovině se nachází jeden temperační okruh, jež vytvořen vrtanými kanály o průměru 8 mm.



Obr. 53 Temperace pevné poloviny formy

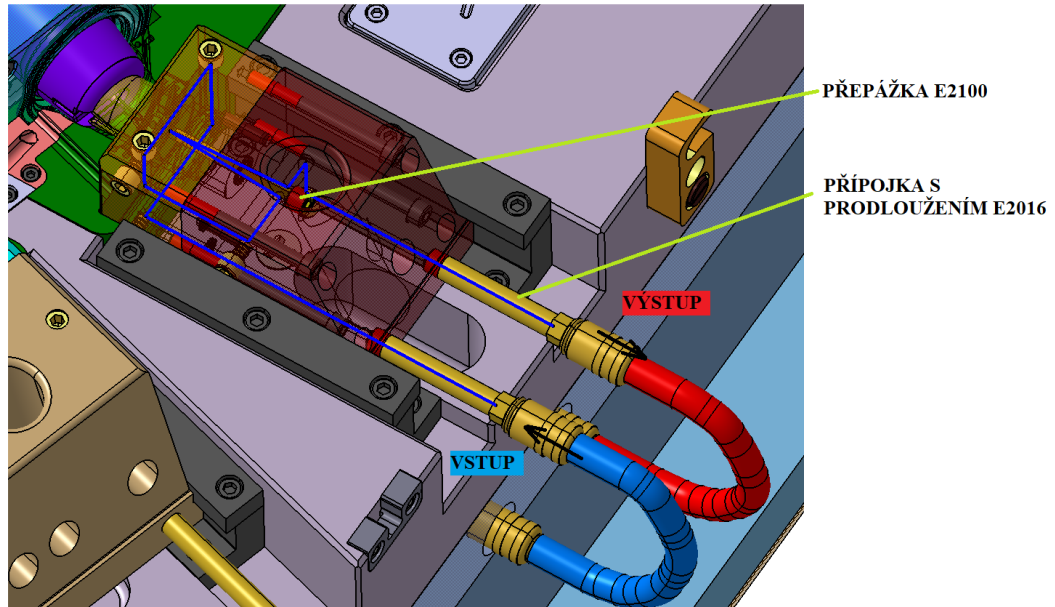
### 10.7.2 Temperace pohyblivé poloviny formy

Temperace obou tvárnků je uskutečněna vrtanými kruhovými kanály o průměru 8 mm. Všechny vstupy a výstupy jsou vyvedeny na horní stranu formy.



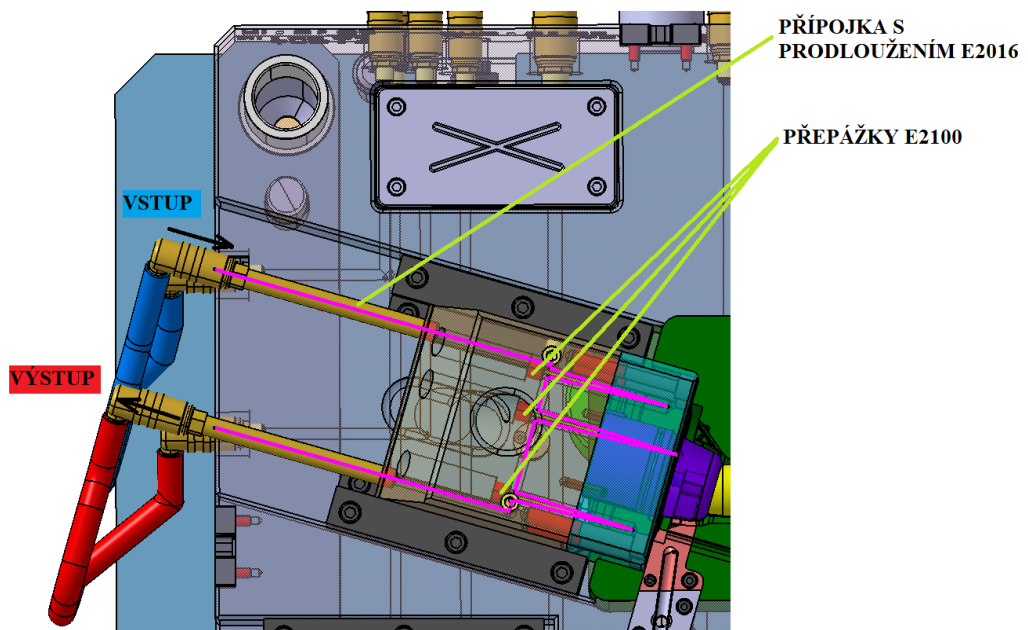
Obr. 54 Temperace pohyblivé poloviny formy

Temperace tvarových čelistí A je řešena přívodem temperačního média v podpěrné desce a spojením s unášedem čelisti pomocí hadice, na které se nachází rychlospojka Z801 a přípojky E2016. Kanály tohoto temperačního okruhu mají průměr 6 mm. Temperace jádra čelisti je provedena přepážkou E2100/10/100 zkrácenou na potřebnou délku.



Obr. 55 Temperace tvarové čelisti A

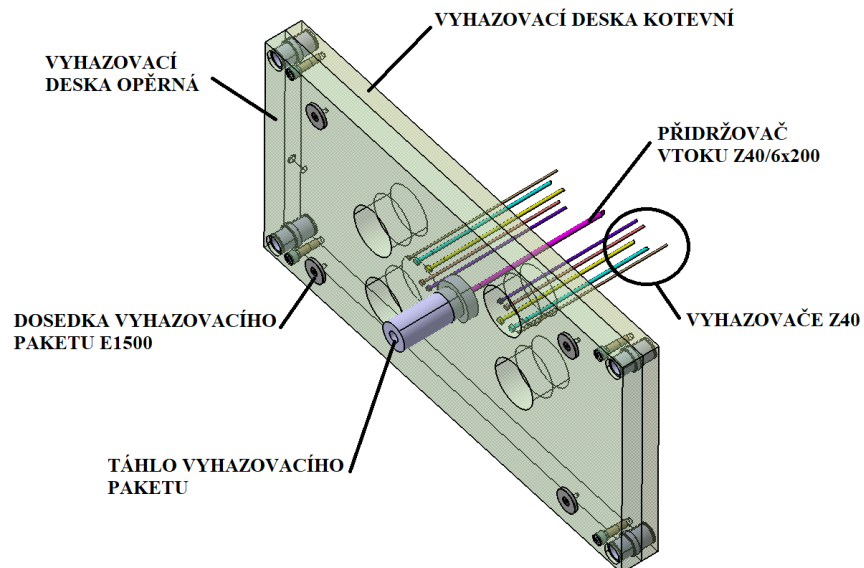
Temperační kanál, pro temperaci tvarové čelisti B, má průměr 6 mm a nachází se zde přepážky E2100/10/100, jež jsou zkráceny na potřebnou délku.



Obr. 56 Temperace tvarové čelisti B

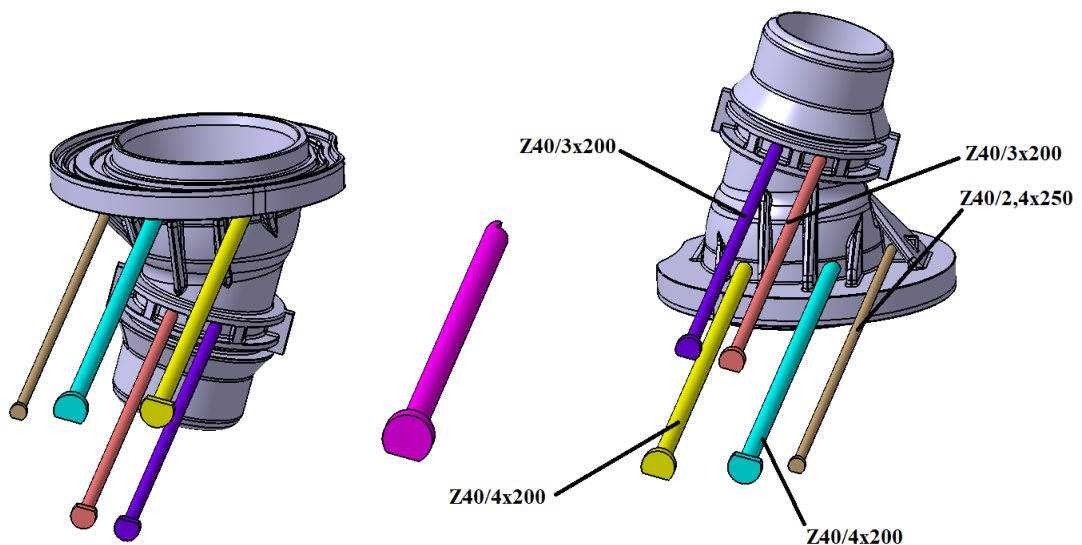
## 10.8 Vyhazovací systém

Pro zajištění vyhození výrobků ze vstřikovací formy slouží vyhazovací systém. Vyhazovače válcového typu jsou uloženy v kotevní desce a jsou tvarově zajištěny proti pootočení. Opřeny jsou o opěrnou vyhazovací desku, které je opatřena dosedkami vyhazovacího paketu E1500. K pohybu vyhazovacího paketu slouží táhlo vyhazovacího paketu. Ve středu se nachází přídržovač vtoku, jenž je upraven z normalizovaného vyhazovače Z40/6x200



Obr. 57 Vyhazovací systém formy

Všechny vyhazovače jsou od výrobce Hasco typ Z40 o různých rozměrech. Vyhazovače jsou tvarově zajištěny proti pootočení, nýbrž je jejich čelní plocha zkrácena a má tvar budoucího výrobku. Rozmístění vyhazovačů je možné vidět na následujícím obrázku.



Obr. 58 Rozmístění vyhazovačů

## 10.9 Odvzdušnění vstřikovací formy

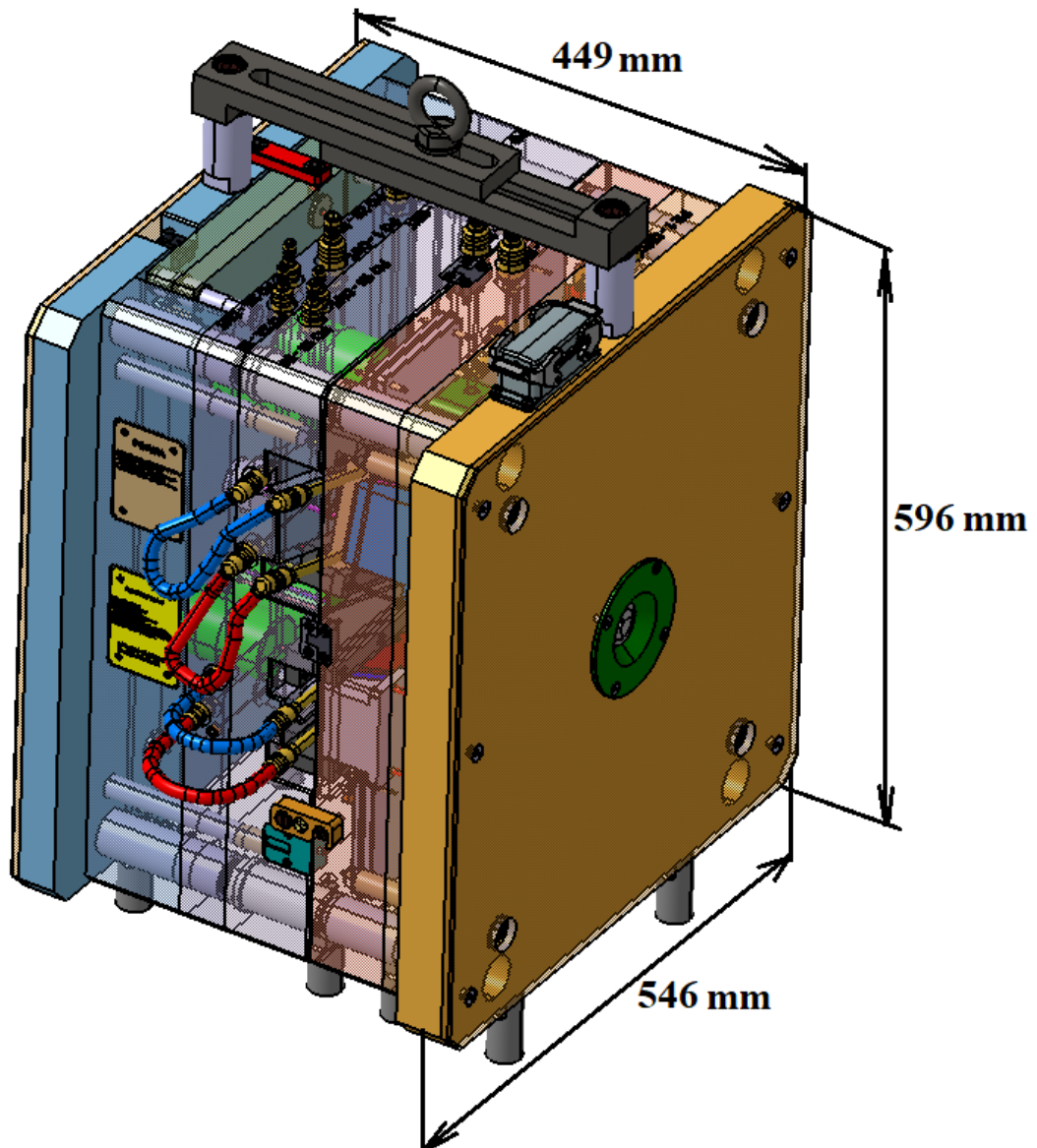
Po uzavření formy zůstane dutina formy naplněna vzduchem, tento vzduch je tedy nutné odvádět z dutiny formy. Pokud by tomu tak nebylo, docházelo by ke stlačování a zahřívání vzduchu, což zapříčinilo různé vady výrobku, mezi které patří spálená místa apod.

Odvzdušnění je předpokládáno únikem přes dělicí rovinu, vůlemi mezi tvarovými částmi formy a také vůlí mezi vyhazovači a tvárníky. Jádra čelistí jsou opatřena, jak již bylo zmíněno, drážkami pro odvzdušnění. Další místo pro odvzdušnění je také možné přidat vyfrézováním drážek na tvarové čelisti po obvodu kontury výrobku, kde je na to připraven prostor. Další odvzdušnění je vhodné dořešit až po uskutečnění zkoušky formy a po srovnání s výsledky z tokových analýz.

## 10.10 Rám vstřikovací formy

Rám formy je vytvořen ze stavebnicového systému výrobce Hasco. Celková sestava formy se skládá ze tří podsestav, konkrétně z pevné a pohyblivé poloviny formy a z vyhazovacího systému. Celkové rozměry formy je možné vidět na Obr. 59. Forma se upevní k vstřikovacímu stroji pomocí upínek k upínacím deskám na pevné a pohyblivé straně. K vystředění formy ve vstřikovacím stroji slouží středící kroužky nacházející se na obou půlkách. Přenosu tepla mezi formou a vstřikovacím strojem brání izolační desky.



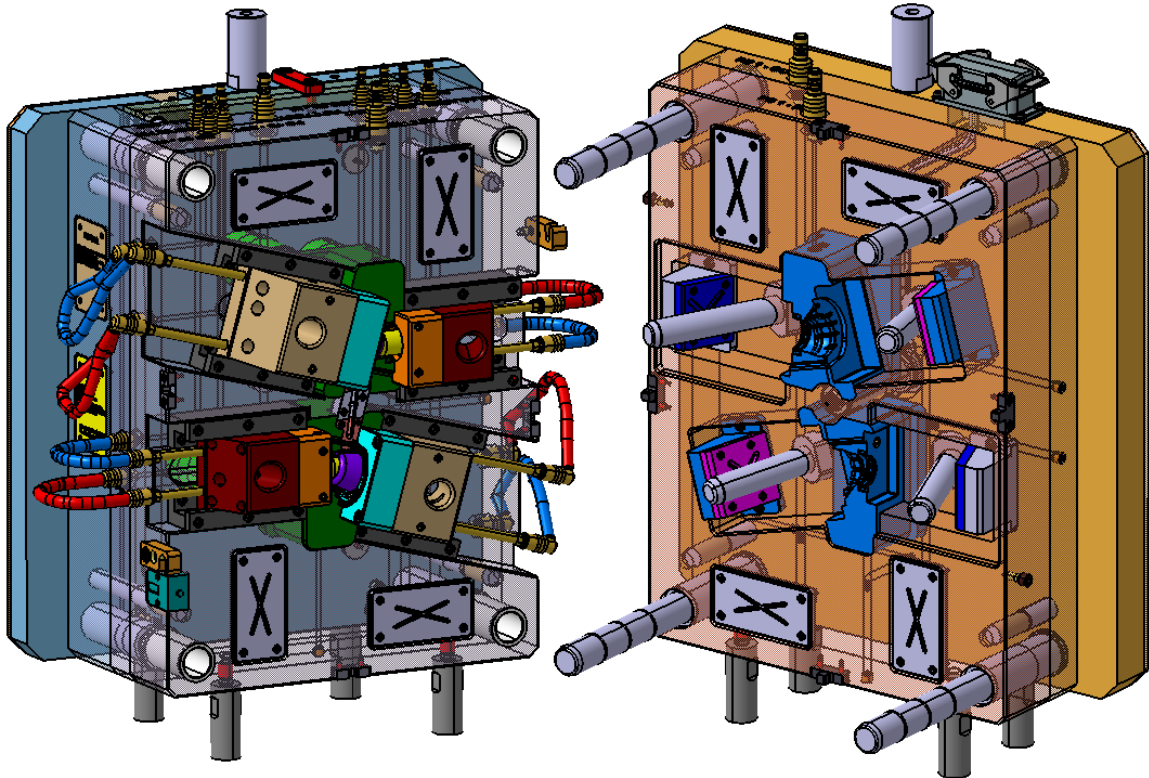


*Obr. 59 Celková sestava vstřikovací formy s hlavními rozměry*

Rozměry desek byly postupně upraveny na konečné rozměry dle potřebného místa k zakomponování všech komponent formy. K manipulaci s formou slouží transportní můstek Z70/3, který se po namontování na stroj odšroubuje.

POHYBLIVÁ POLOVINA (VYHAZOVACÍ)

PEVNÁ POLOVINA (VSTŘIKOVACÍ)

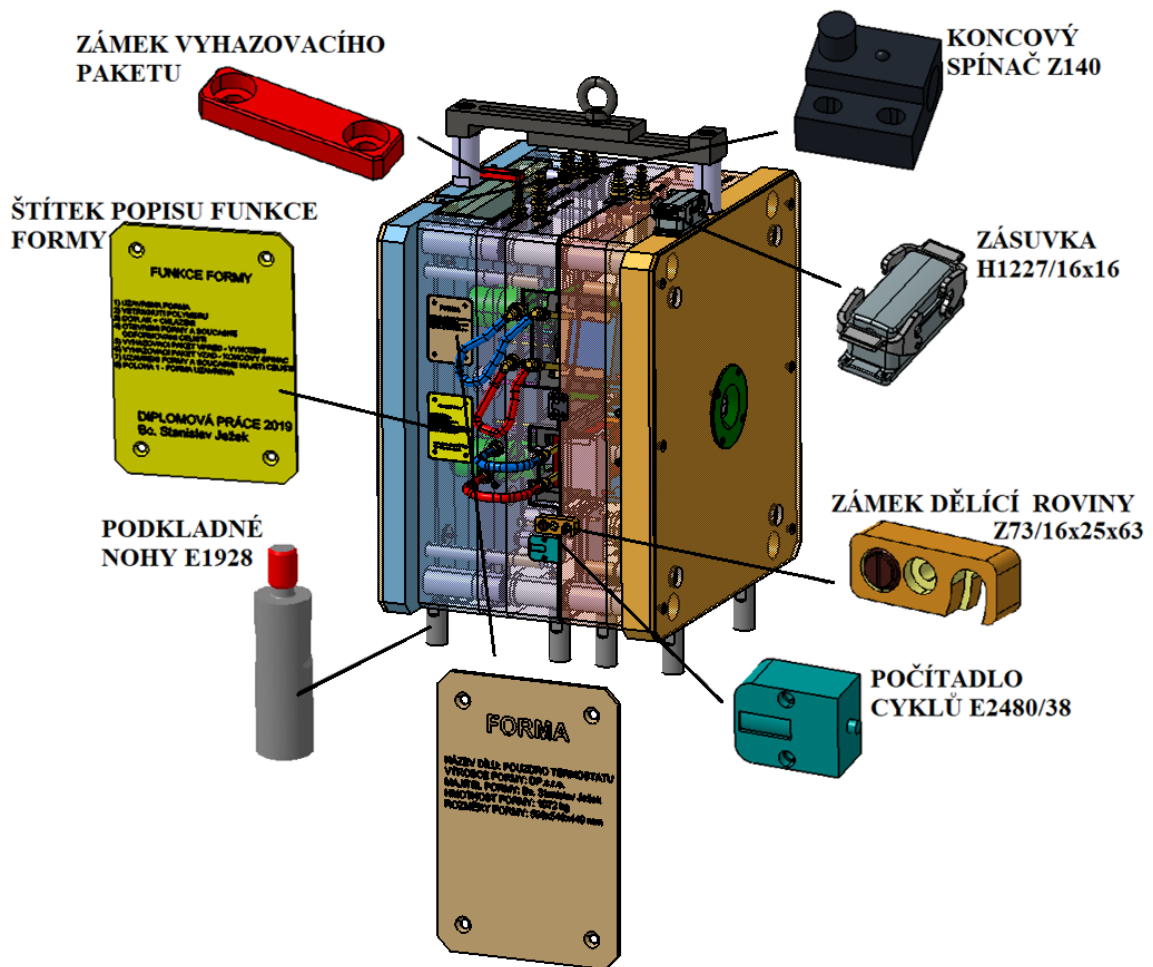


*Obr. 60 Pohled na pohyblivou a pevnou polovinu formy v dělicí rovině*

### 10.11 Ostatní komponenty vstřikovací formy

Forma je osazena dalšími komponenty, které jsou rovněž důležité pro správnou funkci formy. Zámek vyhadzovacího paketu musí být použit při manipulaci s formou, aby nedošlo k posunutí vyhadzovacího paketu při pohybu a tím možnému poškození vyhadzovačů.

Štítek popisu funkce, seznamuje technologa se základním principem formy. Podkladné nohy, slouží k postavení formy na rovnou plochu, v případě že forma nebude upevněna ve vstřikovací stroji, bude s ní prováděna manipulace, údržba apod. Počítadlo cyklů udává skutečným počet cyklů vstřikovací formy, může sloužit jako informace pro provedení údržby a kontroly vstřikovací formy, zejména jejich pohyblivých částí. Zámek dělicí roviny zajišťuje formu v uzavřené poloze při manipulaci s formou. Zásuvka H1227/16x16 je pro připojení vyhřívaného vtokového systému formy. Koncový spínač dává signál vstřikovacímu stroji a kontroluje se tak, že se nachází vyhadzovací systém v zaseté poloze.

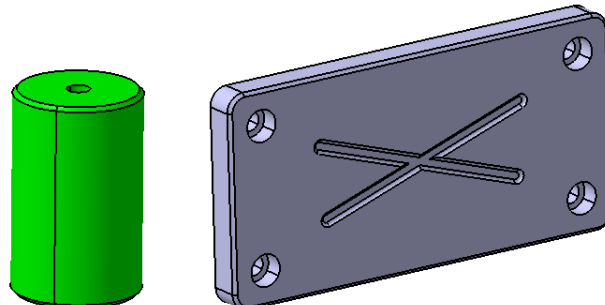


Obr. 61 Doplnkové komponenty vstřikovací formy

Podpěrná deska pohyblivé poloviny formy je podepřena podpěrnými válci, pro zabránění průhybu desky při vstřikování. Dělicí rovina je odlehčena, tak aby při zavírání formy nedocházelo ke styku celých ploch desek formy. Forma při zavírání dosedá plochami dosedacích desek umístěných v dělicí rovině.

PODPĚRNÝ VÁLEC

DOSEDACÍ DESKA DĚLÍCI ROVINY



Obr. 62 Podpěrný válec a dosedací deska

## 11 TOKOVÉ ANALÝZY

Další částí diplomové práce je ověření návrhu vstřikovací formy pomocí analýz. Tokové analýzy jsou provedeny v software Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Před tvorbou analýz byl výrobek zbaven rádiusů větších než  $R = 2$  mm, z důvodu možností chyb při tvorbě sítě. Výrobek byl uložen ve formátu \*.stl a nahrán do výpočetního programu.

### 11.1 Tvorba sítě

Model vložený do programu byl vysítován sítí typu Dual-Domain s délkou strany elementu 2,1 mm. Po sítování byla provedena diagnostika sítě a následně úprava hodnoty Aspect Ratio pod 15, až na dosažení hodnoty 10,28, čím byla zajištěna dostatečná kvalita sítě 86 %.

#### 11.1.1 Analýza sítě

Kvalita sítě ovlivňuje dobu výpočtu a také jeho přesnost, tedy pro dosažení přesných výsledků je nutné mít co nejkvalitnější síť. Pro ověření kvality sítě a případné nalezení chyb je nutné zobrazit statistiku trojúhelníkových elementů sítě (Mesh Statistics). Statistika byla provedena na jeden vložený výrobek. Po vložení modelu byla síť opravena.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles          19646
  Connected nodes   9823
  Connectivity regions 1

  Invisible triangles      0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
  Surface Area:      272.457 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:      40.132 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum      Average      Minimum
  10.28        1.74        1.16

Edge details:
  Free edges          0
  Manifold edges     29469
  Non-manifold edges 0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage     86.1%
  Reciprocal percentage 88.4%

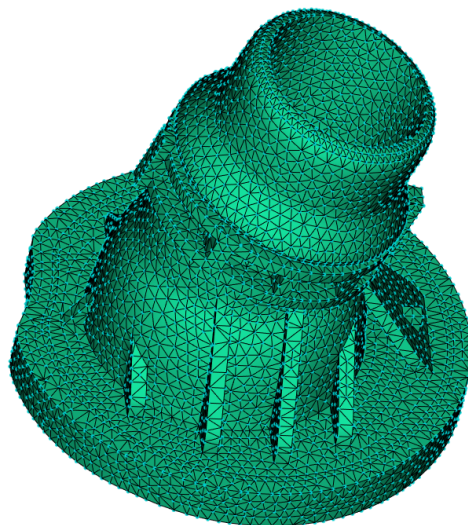
```

Obr. 63 Statistika optimalizované sítě



Parametry:

- Triangles – počet elementů, tedy trojúhelníků,
- Connected nodes – udává počet spojených uzlů,
- Surface Area – plocha objektů,
- Volume – objem,
- Aspect Ratio – rovnostrannost trojúhelníků,
- Free edges – volné hrany – musí se rovnat nule,
- Manifold edges – počet propojených hran,
- Non-manifold edges – počet nepropojených hran – musí se rovnat nule,
- Elements not oriented – neorientované elementy – musí se rovnat nule,
- Element intersections – protínající se elementy – musí se rovnat nule,
- Fully overlapping elements – překrývající se elementy – musí se rovnat nule,
- Match percentage – hodnocení kvality sítě,
- Reciprocal percentage – hodnocení kvality sítě.



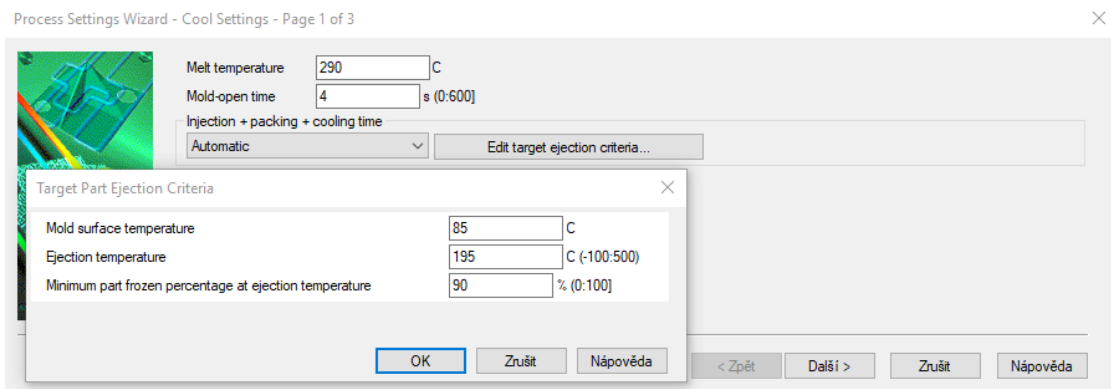
*Obr. 64 Vysíťovaný model výrobku  
s optimalizovanou sítí*

## 11.2 Nastavení procesních podmínek tokové analýzy

Volba výsledných parametrů okrajových podmínek byla uskutečněna dle doporučených parametrů z materiálové databáze programu, aby bylo dosaženo optimálního procesu vstřikování.

Nastavení procesních parametrů bylo provedeno v Process Settings Wizard. V prvním bodě se nastavuje chlazení (Cool Settings):

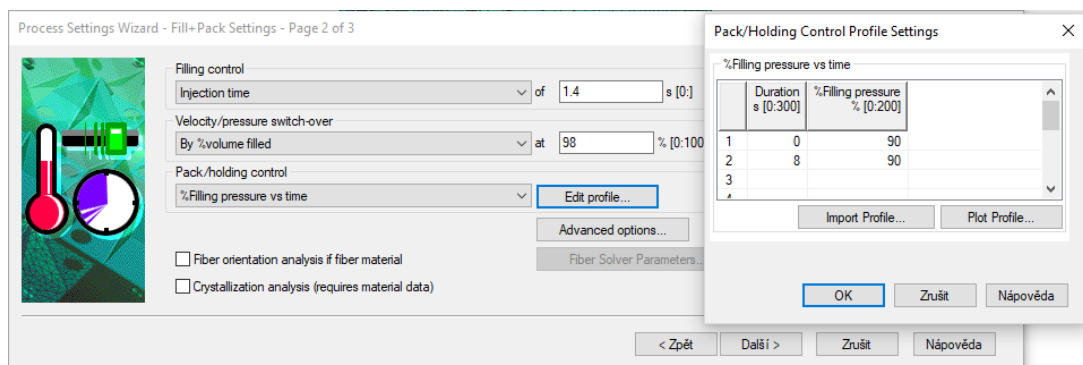
- teplota taveniny: 290 °C,
- doba otevření vstřikovací formy: 4 s,
- čas vstřikování + dotlak + chlazení: Automatic,
- teplota formy: 85 °C,
- vyhazovací teplota: 195 °C,
- minimální procento zamrzlých vrstev: 90 %.



Obr. 65 První krok nastavení procesních podmínek

V druhém bodě se nastavuje plnění a dotlak (Fill + Pack Settings):

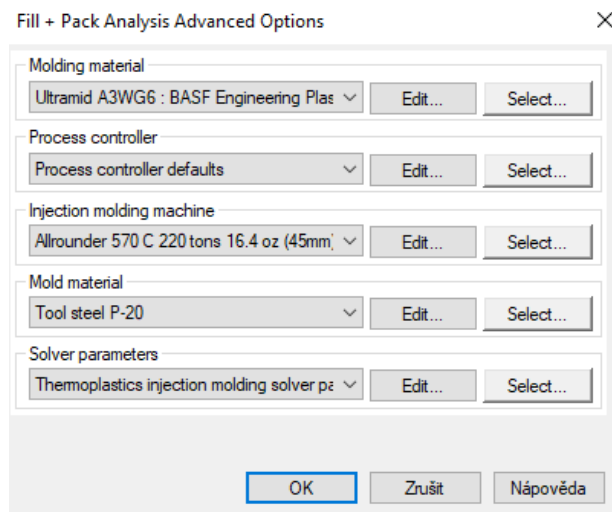
- čas plnění: 1,4 s,
- přepnutí na dotlak: 98 % objemového zaplnění,
- fáze dotlaku: kontrolována podle relativního plnicího tlaku.



Obr. 66 Druhý krok nastavení procesních podmínek

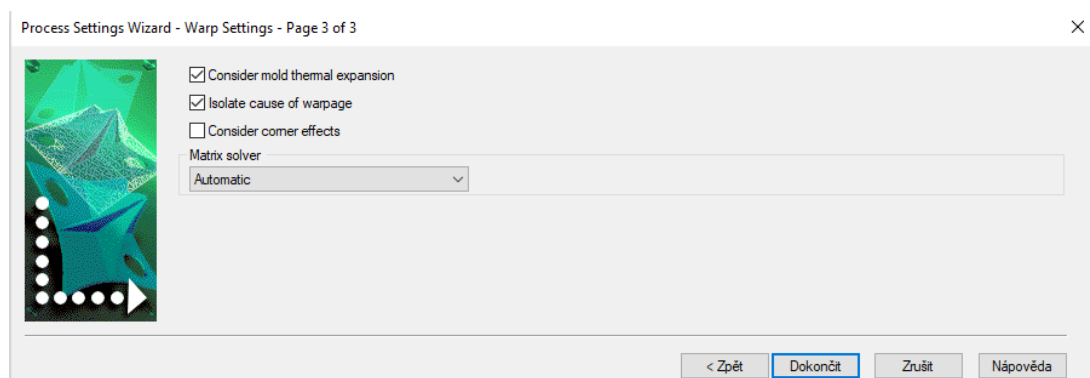
V záložce pokročilá nastavení (Advanced options), byl nastaven vstřikovací stroj, jež je uveden již dříve v kapitole Volba vstřikovacího stroje. Dále se zde nastavuje počet iteračních

kroků a zaškrtnutí položky nesmí být překročena maximální uzavírací síla vstřikovacího stroje.



*Obr. 67 Pokročilá nastavení*

V bodě třetím se nastavuje smrštění (Warp Settings), zda byly zatrženy možnosti sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy a izolovat příčiny deformace.



*Obr. 68 Třetí krok nastavení procesních podmínek*

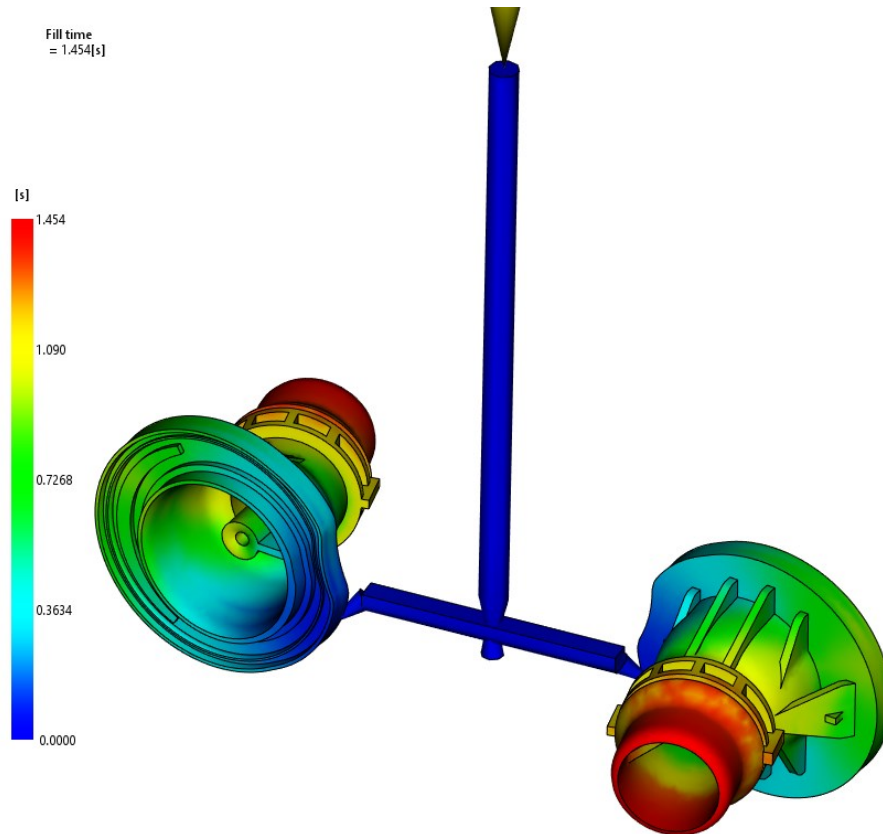
## 11.3 Výsledky analýzy plnění a dotlaku

Výsledky této analýzy, tedy plnění a dotlaku, se nachází pod záložkou tok (Flow) a ukazují průběh plnění dutiny formy a následné působení dotlaku.

### 11.3.1 Čas plnění (Fill time)

Je čas, za který se vyplní dutina, v případě formy jednonásobné, u vícenásobné formy všechny dutiny a zda dojde k jejich zaplnění ve stejný čas (vyváženost vtokového systému).

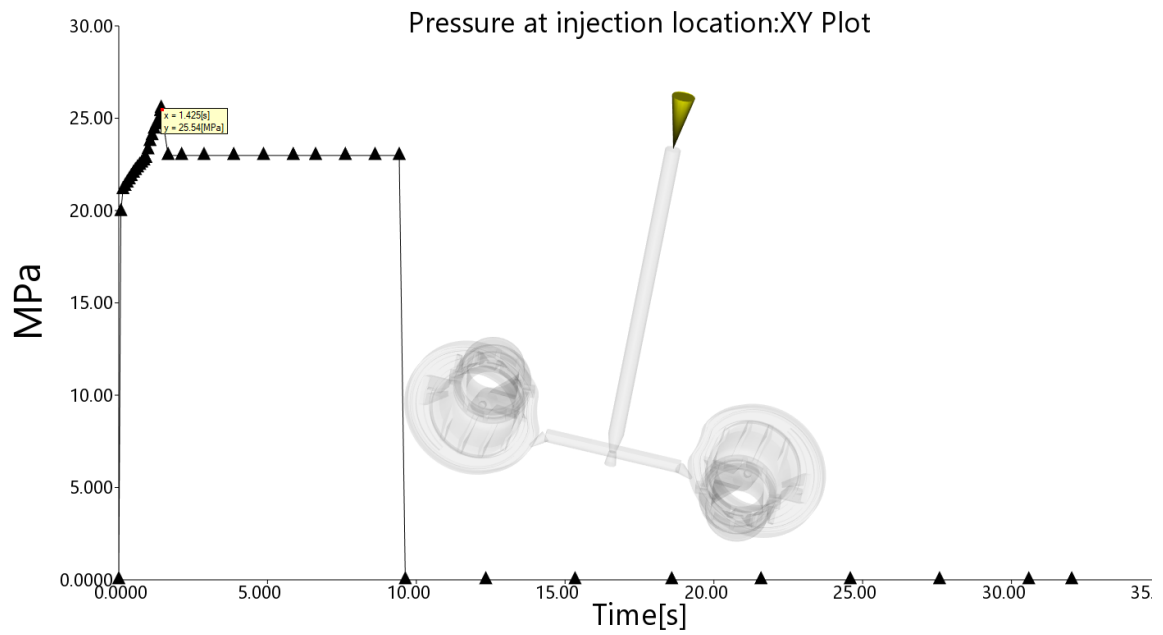
Z výsledku je patrné, že došlo k zaplnění obou dutin formy současně, přičemž čas zaplnění je 1,45 s.



Obr. 69 Čas plnění (Fill time)

### 11.3.2 Průběh tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

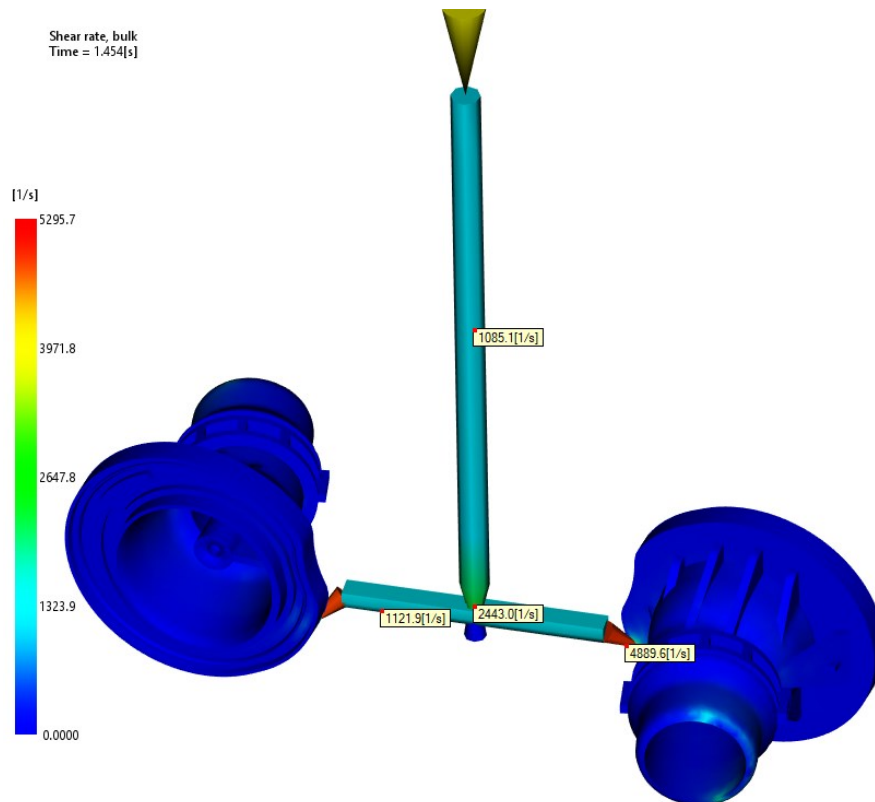
Tento výsledek graficky znázorňuje průběh tlaku ve vtokovém ústí v závislosti na čase. Nejvyšší hodnota tlaku je na konci plnění  $p = 25,54$  MPa. Doba a velikost dotlaku významně ovlivňuje výslednou kvalitu výrobku. Pokud by doba dotlaku byla příliš krátká, mohlo by dojít k propadlinám, také by mohly vzniknout lunkry a nedotečená místa. Výsledná hmotnost výrobku by byla nižší.



Obr. 70 Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

### 11.3.3 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

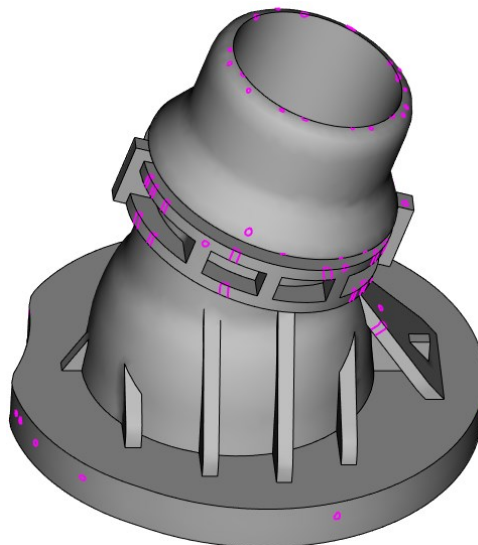
Pokud by došlo k překročení maximální hodnoty rychlosti smykové deformace daného materiálu ( $60000 \text{ s}^{-1}$ ), mohlo by dojít k degradaci materiálu a tím i snížení kvality výrobku. Dle výsledku analýzy je hodnota rychlosti smykové deformace  $5296 \text{ s}^{-1}$ , tedy nedošlo k překročení maximální přípustné hodnoty pro daný materiál.



Obr. 71 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

#### 11.3.4 Vzduchové kapsy (Air traps)

Z výsledku této analýzy, lze zjistit místa ve výrobku, ve kterých se bude uzavírat vzduch a tím pádem zde může docházet ke vzniku Dieselova efektu (prudké stlačení vzduchu, vznik spálenin na výrobku). Na obrázku jsou tato místa znázorněna růžovou barvou.

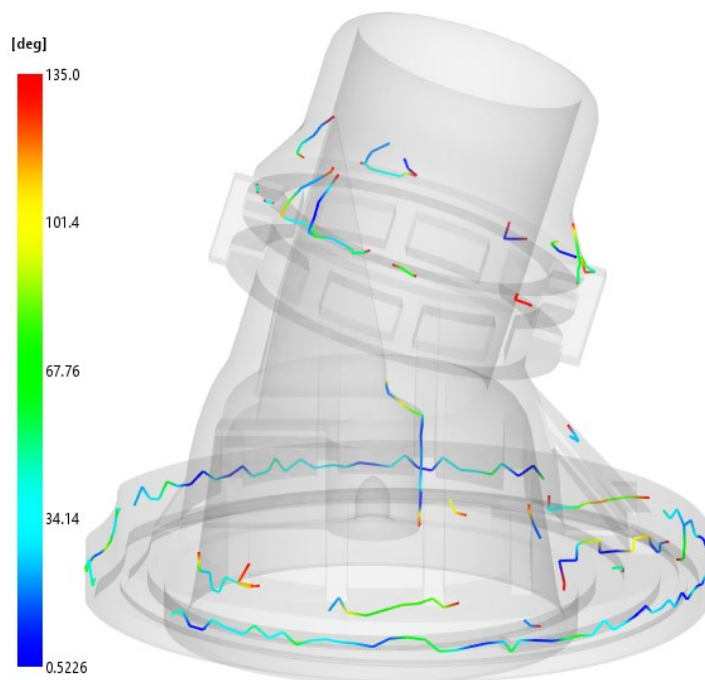


Obr. 72 Vzduchové kapsy (Air traps)

Odvzdušnění na formě je řešeno únikem přes dělicí rovinu, vůlemi mezi tvarovými částmi formy a také vůlí mezi vyhazovači. Jádra čelisti jsou opatřena drážkami pro odvzdušnění. Další řešení odvzdušnění by bylo možné řešit po funkčním testu formy.

### 11.3.5 Studené spoje (Weld lines)

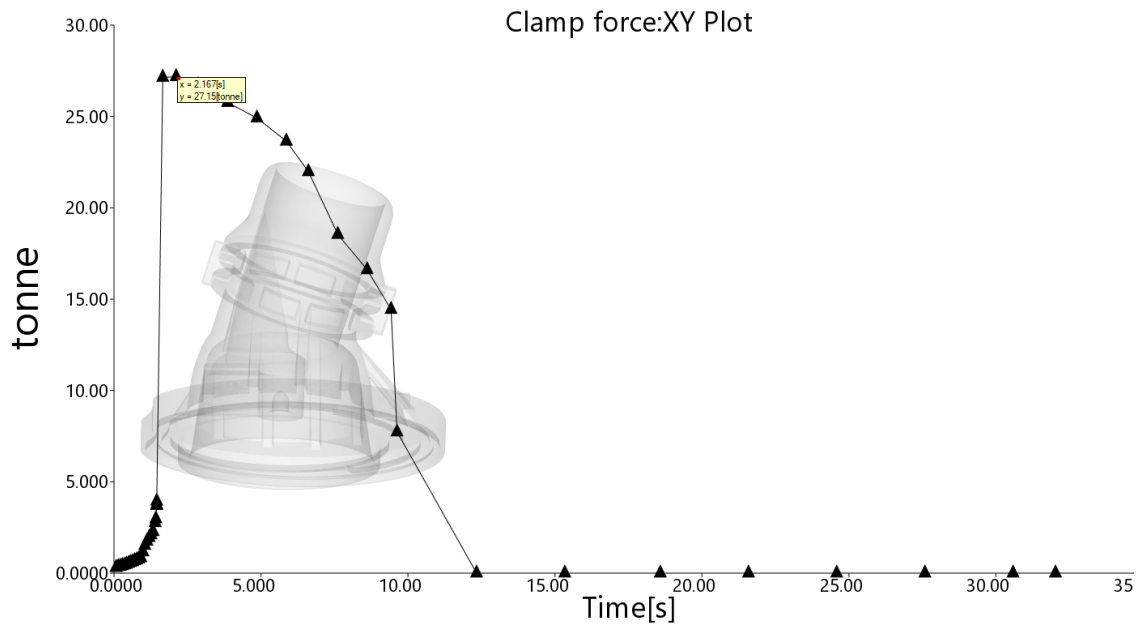
Ke vzniku studených spojů, dojde v místech styku dvou proudů (čel) taveniny. V tomto místě tedy dochází ke snížení mechanických vlastností výrobku (výrobek zde může například praskat). Také se mohou objevovat vzhledové vady na výrobku. Vznik studených spojů lze redukovat zvýšením teploty taveniny a formy.



Obr. 73 Studené spoje (Weld lines)

### 11.3.6 Uzavírací síla (Clamp force)

Velikost uzavírací síly je jedním ze základních parametrů pro volbu vstřikovacího stroje. Zvolený vstřikovací stroj má uzavírací sílu 2000 kN, přičemž maximální uzavírací síla dle výsledku analýzy je 27,15 tun, což je 271,5 kN. Nejvyšší hodnoty se dosahuje na konci fáze vstřikování.



Obr. 74 Průběh uzavírací síly (Clamp force)

## 11.4 Výsledky analýzy smrštění a deformace

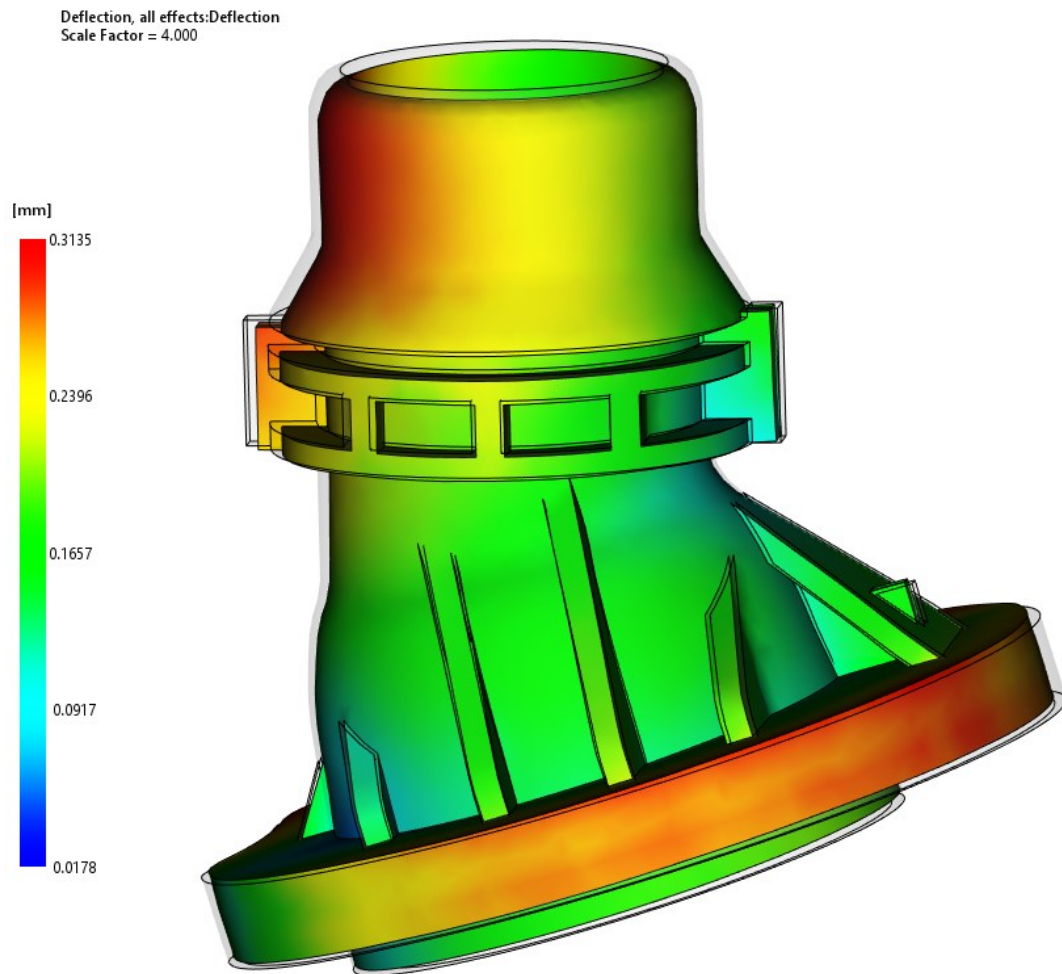
Výsledky této analýzy je možné najít pod záložkou Warp. Z výsledků je možné zjistit, jak se změní tvar a rozměry oproti dutině formy. Dutinu formy je proto nutné zvětšit o hodnotu smrštění výrobku a také upravit její tvar dle předpokládané deformace výrobku. Je na zvážení konstruktéra, aby dle výsledků analýzy a svých zkušeností správně upravil dutinu formy tak, aby výsledný tvar a rozměry výrobku odpovídaly požadavkům.

### 11.4.1 Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection)

Tento výsledek ukazuje, jak se změní tvar výrobku oproti dutině formy. K největším deformacím dochází v místech, jež jsou znázorněna červeně. Pro názornost jsou deformace zvětšeny 4násobně.

Nejvyšší hodnota deformace je 0,31 mm. Důvodem vzniklé deformace výrobku, může být například příliš intenzivní chlazení.





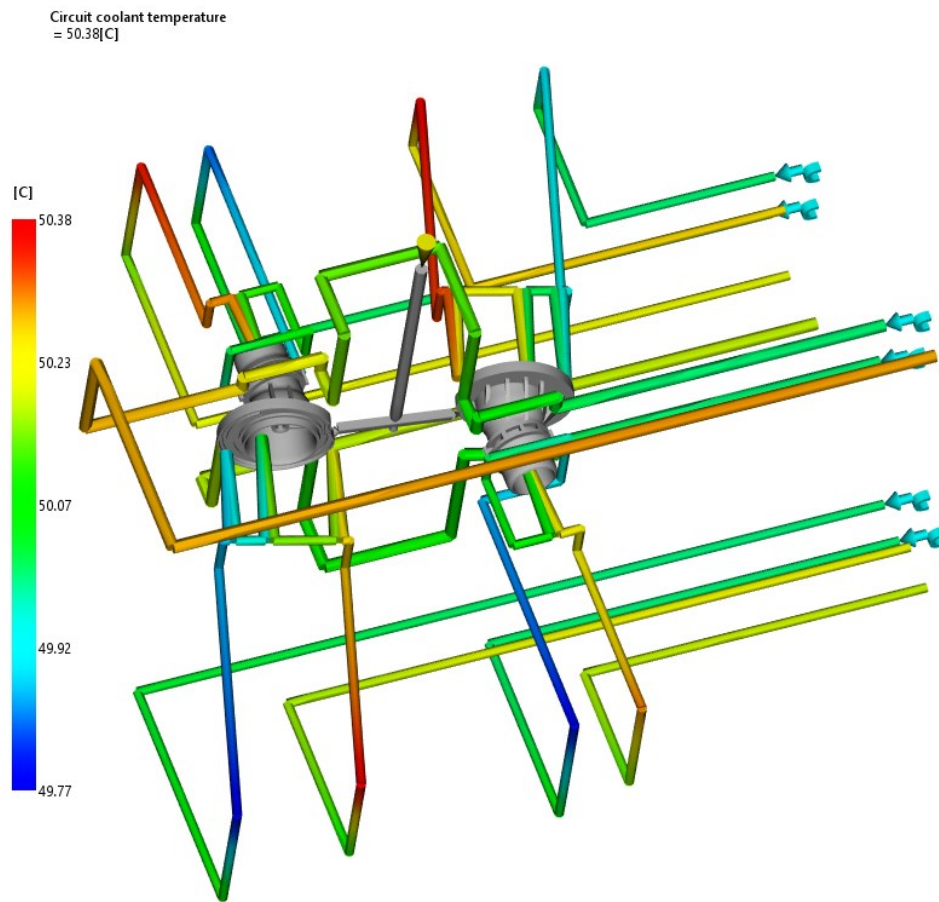
Obr. 75 Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection)

## 11.5 Výsledky analýzy chlazení

Výsledky analýzy temperačního systému je možné nalézt pod záložkou chlazení (Cool). Z těchto výsledků je možné zjistit například teplotní průběh v temperačním systému, teplotní změny ve výrobku a tavenině a mnoho dalších.

### 11.5.1 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

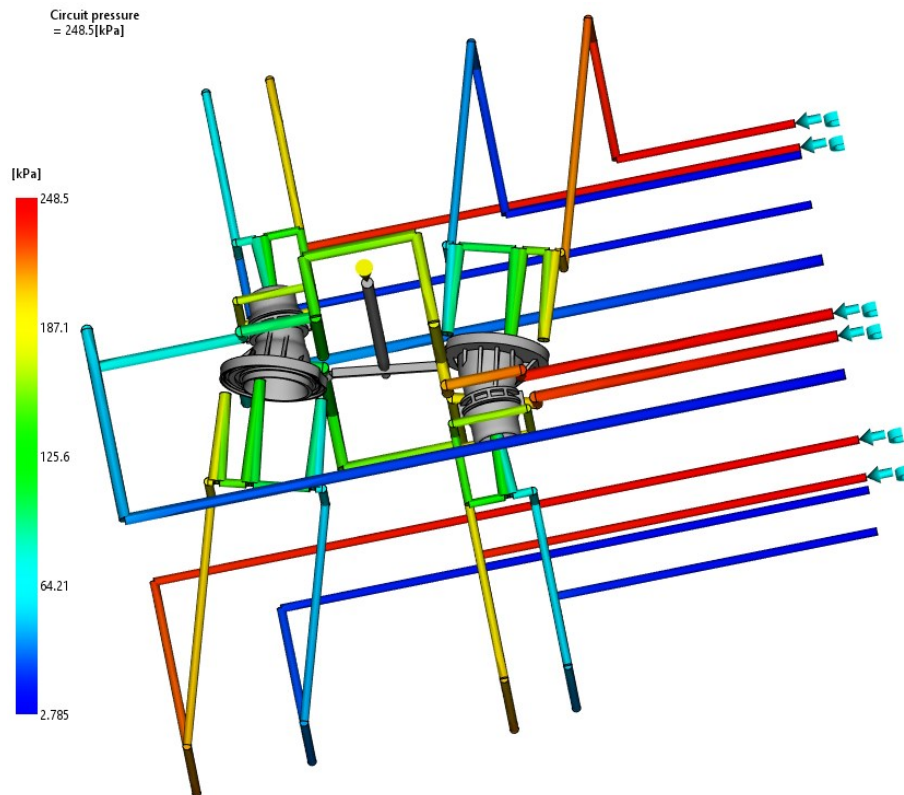
Tento výsledek ukazuje, jak se mění teplota temperačního média v průběhu toku temperačními kanály formy. Teplotní rozdíl na vstupu a výstupu z formy by neměl být vyšší jak 3 °C, přičemž z výsledku analýzy je patrné, že je tato podmínka splněna, neboť teplotní rozdíl je 0,6 °C.



Obr. 76 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

### 11.5.2 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

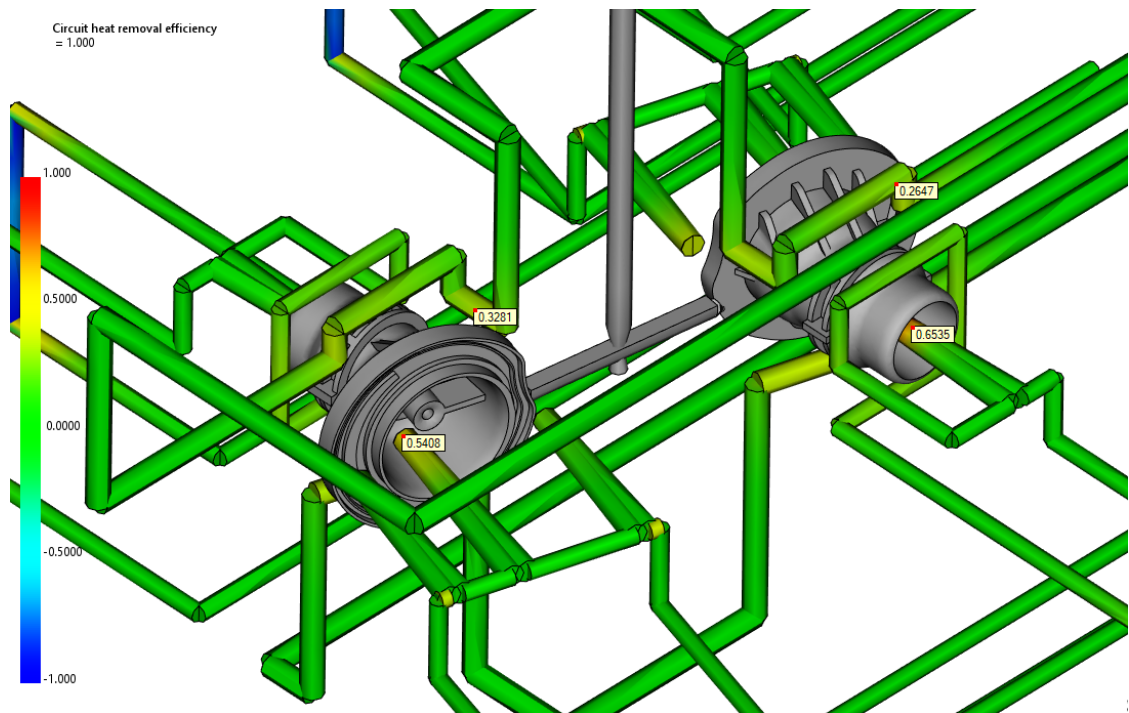
Lze pozorovat, že v temperačních okruzích tlak klesá s délkou kanálu. Nesmí dojít k tomu, že by byl v některém místě vstřikovací formy tlak temperačním okruhu nulový, nýbrž by nedocházelo k pohybu temperačního média a tím pádem k účinné temperaci.



Obr. 77 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

### 11.5.3 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

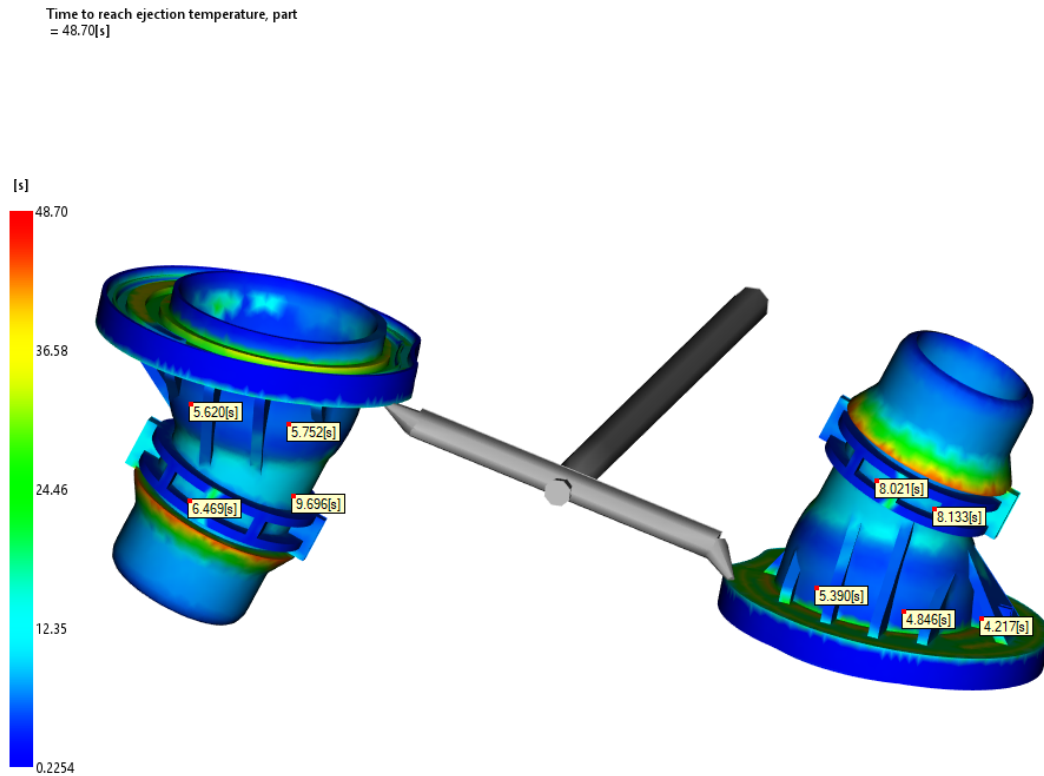
Tento výsledek graficky znázorňuje účinnost odvodu tepla (nejvyšší v místech, jež jsou znázorněny červeně) temperačními okruhy. Z grafického znázornění je patrné, že k největšímu odvodu tepla dochází v místech, kde jsou použity přepážky, které temperují jádra.



Obr. 78 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

#### 11.5.4 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)

Na následujícím obrázku je možné vidět, v kterých místech a za jaký čas je dosaženo vyhazovací teploty daného materiálu. Po dosažení vyhazovací teploty nedojde k deformaci výrobku při vyhození.



Obr. 79 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)

V části výrobku, kde by působily vyhazovače, by potřebný čas na vyhazovací teplotu odpovídal přibližně hodnotě 8 s. Naopak na některých místech výrobku by byl čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty nejvyšší – asi 49 s. Na tato místa by tedy nebylo vhodné umístit vyhazovače.

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh nástroje pro výrobu technického plastového dílu. Jedná se o pouzdro, v němž je umístěn termostat chladícího systému automobilu. Návrh nástroje byl proveden v programu CATIA V5R19. Při návrhu bylo využito normalizovaných součástí výrobců HASCO a Meusburger. Použitím těchto normalizovaných součástí lze zkrátit čas výroby a také finanční náklady.

Po vytvoření 3D modelu výrobku, byla provedena analýza umístění vtoku v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Dle výsledků analýzy byl navržen tři typy vtokového systému. Porovnáním výhod a nevýhod různých typů vtokového systému, byl zejména z konstrukčních důvodů, vybrán systém skládající se z vyhřívané trysky a studeného rozvodného kanálu, nímž je přes tunelový vtok veden materiál do dutiny formy. Vtok je v místě, kde vhodnost umístění, dle výsledků analýzy, přibližně 46 %. Forma je koncipována jako dvou-násobná. Materiál výrobku je Ultramid A3WG6 od výrobce BASF.

V další části byla navržena konstrukce vstřikovací formy. Nejprve byla vytvořena dutina formy zvětšená o smrštění materiálu, jenž činí 0,5 %. Dutina se skládá z těchto tvarových částí: tvárník a tvárnice, tvarová čelist A a B, jádra čelisti A a B, vložka jádra B, centrální a vtoková vložka. Ovládání čelistí je zajištěno šikmými čepy, které se nachází na pevné půlce formy.

Vtokový systém je řešen, jak již bylo zmíněno, použitím vyhřívané trysky a studeného rozvodného kanálu. Vyhřívaný vtokový systém je použit od výrobce Meusburger, jež byl nakonfigurován na stránkách výrobce.

Temperační systém formy tvoří šest samostatných okruhů, z nichž jeden je na pevné půlce formy a pět na půlce pohyblivé. Temperace obou tvárníků a tvárnice je řešena kruhovými kanály o průměru 8 mm. Tvarové čelisti jsou temperovány kanály o průměru 6 mm, přičemž v místech, kde to nebylo konstrukčně možné, byly použity přepážky.

Vyhození výrobků z formy, včetně vtokového zbytku je řešeno válcovými vyhazovači od výrobce Hasco. K pohybu vyhazovacího paketu slouží táhlo vyhazovacího paketu.

Odvzdušnění vstřikovací formy je předpokládáno únikem přes dělicí rovinu, vůlemi mezi tvarovými částmi formy a také vůlí mezi vyhazovači a tvárníky. Dále jsou jádra čelistí opatřena drážkami pro odvzdušnění.

Rám formy je vytvořen ze stavebnicového systému výrobce Hasco. Na závěr byla forma osazena dalšími komponentami, jež jsou rovněž důležité pro správnou funkci formy.

Po návrhu vstřikovací formy byly vytvořeny trajektorie temperačního a vtokového systému a tento návrh byl ověřen pomocí analýzy Moldflow. Z výsledků je patrné, že nebyly překročeny maximální materiálové parametry, temperační systém je účinný, obě dutiny jsou plněny současně a vyhazovací systém je navržen v místech, kde čas na ochlazení na vyhazovací teplotu je přibližně 8 s.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl konstrukční návrh nástroje pro výrobu technického plastového dílu.

Teoretická část práce pojednává o polymerních materiálech, vstřikovacích strojích a samotné technologii vstřikování. Současně je zde popsána problematika konstrukce vstřikovacích forem a vad vstřikovaných výrobků.

V části praktické, je popsán postup návrhu vstřikovací formy v programu CATIA V5R19 na daný výrobek. Dále jsou zde uvedeny a diskutovány výsledky tokové analýzy navržené vstřikovací formy.

V úvodu praktické části diplomové práce byl vytvořen model výrobku, pro který byl následně zvolen materiál PA 66 plněný skelnými vlákny s 30% podílem, s označením Ultramid A3WG6. Tento model výrobku byl zvětšen o smrštění materiálu 0,5 % a použit pro vytvoření dutiny vstřikovací formy.

Po zhodnocení výsledků předběžných analýz byla navržena dvounásobná vstřikovací forma s použitím kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému. Použitím této varianty vtokového systému vznikne úspora vstřikovaného materiálu 11,7 g na jeden cyklus stroje. Aby bylo možné odformování výrobku, bylo nutné, kromě hlavní dělicí roviny, použít taky vedlejších dělicích rovin. Dutina se skládá z několika tvarových částí, které je možné v případě poruchy nebo opotřebení vyměnit. V dalším bodě byl navržen temperační systém vstřikovací formy, jež se skládá z šesti okruhů, které zajišťují teplotu jednotlivých tvarových částí. Na závěr konstrukčního návrhu byl navržen vyhazovací systém dané formy, který je rozmístěn do míst, kde je výrobek v čase otevření formy ochlazen na vyhazovací teplotu.

Návrh formy byl ověřen pomocí tokové analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Z výsledků této analýzy, které jsou uvedeny v praktické části diplomové práce, je patrné, že nebyly překročeny maximální materiálové parametry, temperační systém je účinný, obě dutiny formy jsou plněny současně a vyhazovací systém je rozmístěn do míst, v nichž je možné, vyhodit výrobek z formy bez deformace. Některé výsledky jsou popsány v praktické části, zbylé výsledky se nachází na DVD v příloze diplomové práce. V příloze se rovněž nachází výsledky tokových analýz zbylých dvou navržených vtokových systémů.

Na závěr práce byl vytvořen výkres sestavy navržené vstřikovací formy, jež se nachází v příloze.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2018-11-27]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] ZATLOUKAL, Martin. *Přednášky T7AR*
- [5] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [6] BIRON, Michel. *Thermoplastics and Thermoplastic Composites 3rd Edition*. Oxford United Kingdom, 2018. ISBN 978-0-08-102501-7.
- [7] BIRON, Michel. *Material Selection for Thermoplastic Parts: Practical and Advanced Information for Plastics Engineers*. Amsterdam: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-7020-6284-1.
- [8] GOODSHIP, Vannessa. *ARBURG Practical Guide to Injection Moulding*. Smithers Rapra, 2017, 380 s. ISBN 9781910242957.
- [9] BETÁŠ, Martin. *Návrh výrobního procesu pro díl ze vstřikovací formy*. Brno, 2017, 39 s. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
- [10] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2018-11-27]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [11] LENFELD, Petr. *Technologie zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/uvod.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm)
- [12] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitav [cit. 2018-11-27]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>

- [13] GOODSHIP, Vanessa. *Troubleshooting Injection Moulding*. Shropshire United Kingdom, 2004, 138 s. ISBN 9781859574706.
- [14] STANĚK, Michal. *Přednášky T5KF*
- [15] *Arburg* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.arburg.com>
- [16] STANĚK, Michal. *Vliv technologických parametrů na zatékavost polymerů*. Zlín, 2017. ISBN 978-80-7454-674-7. Habilitační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [17] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [18] HYNEK, Martin. *Plastové díly* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/)
- [19] *Meusburger* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>
- [20] *Hasco* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/>
- [21] GOODSHIP, Vanessa. *Practical guide to injection moulding*. Shawbury: Rapra Technology, 2004. ISBN 978-185-9574-447.
- [22] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: II. díl – vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno. Brno, 1999, 214 s.
- [23] *BASF Plastics portal* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: [https://www.plasticsportal.net/wa/EU/Catalog/ePlastics/info/BASF/product/ultramid\\_a3wg6](https://www.plasticsportal.net/wa/EU/Catalog/ePlastics/info/BASF/product/ultramid_a3wg6)
- [24] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: I. díl – vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno. Brno, 1999, 134 s.
- [25] *Motan Colortronic* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.motan-colortronic.com/en/products/drying/luxor-s.html>
- [26] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Počítačem podporované konstruování
CAE	Počítačem podporované konstruování
CAM	Počítačem podporovaná výroba
DR	Dělicí rovina
HRC	Tvrdost dle Rockwella
IT	Stupeň přesnosti
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PC-HT	Polykarbonát vysoce teplotně odolný
PE	Polyetylen
PET	Polyetylentereftalát
$p_{\max}$	Maximální tlak
$p_{\min}$	Minimální tlak
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
PPA	Polyftalamid
PPO	Polyfenyloxid
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
SVS	Studený vtokový systém
$T_{\max}$	Maximální teplota

$T_{\min}$  Minimální teplota

VVS Vyhřívaný vtokový systém

W. Nr. Číslo materiálu

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů [1]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Fontánový tok</i> .....	13
<i>Obr. 3 Sušárna materiálu [25]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Schéma volby materiálu [6]</i> .....	16
<i>Obr. 5 Časový průběh vstřikovacího cyklu [9]</i> .....	17
<i>Obr. 6 Vstřikovací cyklus [12]</i> .....	18
<i>Obr. 7 Procesní okno vstřikování</i> .....	19
<i>Obr. 8 Vstřikovací stroj [10]</i> .....	20
<i>Obr. 9 Vzdálenost mezi vodícími sloupky</i> .....	21
<i>Obr. 10 Vstřikování do kubické formy [15]</i> .....	22
<i>Obr. 11 Dělení vstřikovacích jednotek</i> .....	22
<i>Obr. 12 Hydraulická uzavírací jednotka [15]</i> .....	23
<i>Obr. 13 Vstřikovací forma v otevřené poloze [10]</i> .....	26
<i>Obr. 14 Měření rozměrů s úkosem [17]</i> .....	28
<i>Obr. 15 Technologické parametry ovlivňující smrštění [10]</i> .....	29
<i>Obr. 16 Hlavní části SVS [18]</i> .....	30
<i>Obr. 17 Průřezy rozvodných kanálů [10]</i> .....	31
<i>Obr. 18 Rozmístění rozvodných kanálů [18]</i> .....	31
<i>Obr. 19 Použití normalizovaných komponent pro banánový vtok [10; 19; 20]</i> .....	33
<i>Obr. 20 Typy vtokových ústí [16; 18]</i> .....	34
<i>Obr. 21 Vyhřívaný vtokový systém [16]</i> .....	35
<i>Obr. 22 Kontrolní jednotka pro regulaci vyhřívaných vtoků od firmy Hasco [20]</i> ....	36
<i>Obr. 23 Základní druhy provedení trysek [10]</i> .....	36
<i>Obr. 24 Velikost a rozmístění kanálů</i> .....	39
<i>Obr. 25 Spojovací prostředky od výrobce Hasco [20]</i> .....	40
<i>Obr. 26 Použití normálií v temperačním okruhu [18]</i> .....	41
<i>Obr. 27 Normálie pro temperaci od výrobce Hasco a ukázka zakomponování [20]</i> .	41
<i>Obr. 28 Vyhazovací kolíky výrobce Meusburger [19]</i> .....	43
<i>Obr. 29 Princip funkce stírací desky [10]</i> .....	43
<i>Obr. 30 Dvoustupňové vyhazování (dobíhající) pomocí hydraulického válce [19]</i> ...	44
<i>Obr. 31 Zadaný výrobek</i> .....	51
<i>Obr. 32 Model výrobku</i> .....	51

<i>Obr. 33</i>	<i>Poloha vstřikovací formy při upnutí na stroji</i>	53
<i>Obr. 34</i>	<i>Vhodnost polohy vtokového ústí</i>	54
<i>Obr. 35</i>	<i>Vyhříváný vtokový systém</i>	55
<i>Obr. 36</i>	<i>Studený vtokový systém</i>	56
<i>Obr. 37</i>	<i>Kombinace vyhříváného a studeného vtokového systému</i>	57
<i>Obr. 38</i>	<i>Dvounásobná forma</i>	58
<i>Obr. 39</i>	<i>Polohy dělicích rovin</i>	59
<i>Obr. 40</i>	<i>Tvarové části vstřikovací formy</i>	60
<i>Obr. 41</i>	<i>Tvárník a tvárnice</i>	61
<i>Obr. 42</i>	<i>Tvarové čelisti a jádra</i>	61
<i>Obr. 43</i>	<i>Odformování výrobku</i>	62
<i>Obr. 44</i>	<i>Odformování čelisti A</i>	63
<i>Obr. 45</i>	<i>Vyhříváný vtokový systém</i>	63
<i>Obr. 46</i>	<i>Rozměry a průřez rozvodného kanálu</i>	64
<i>Obr. 47</i>	<i>Vtokové vložky</i>	64
<i>Obr. 48</i>	<i>Vodící elementy formy</i>	65
<i>Obr. 49</i>	<i>Vodící elementy vyhazovacích desek</i>	66
<i>Obr. 50</i>	<i>Koncové středění E1308/40</i>	66
<i>Obr. 51</i>	<i>Připojení temperace</i>	67
<i>Obr. 52</i>	<i>Použité normálie Hasco při temperaci</i>	67
<i>Obr. 53</i>	<i>Temperace pevné poloviny formy</i>	68
<i>Obr. 54</i>	<i>Temperace pohyblivé poloviny formy</i>	68
<i>Obr. 55</i>	<i>Temperace tvarové čelisti A</i>	69
<i>Obr. 56</i>	<i>Temperace tvarové čelisti B</i>	69
<i>Obr. 57</i>	<i>Vyhazovací systém formy</i>	70
<i>Obr. 58</i>	<i>Rozmístění vyhazovačů</i>	70
<i>Obr. 59</i>	<i>Celková sestava vstřikovací formy s hlavními rozměry</i>	72
<i>Obr. 60</i>	<i>Pohled na pohyblivou a pevnou polovinu formy v dělicí rovině</i>	73
<i>Obr. 61</i>	<i>Doplňkové komponenty vstřikovací formy</i>	74
<i>Obr. 62</i>	<i>Podpěrný válec a dosedací deska</i>	74
<i>Obr. 63</i>	<i>Statistika optimalizované sítě</i>	75
<i>Obr. 64</i>	<i>Vysíťovaný model výrobku s optimalizovanou sítí</i>	76
<i>Obr. 65</i>	<i>První krok nastavení procesních podmínek</i>	77

<i>Obr. 66 Druhý krok nastavení procesních podmínek .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 67 Pokročilá nastavení .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 68 Třetí krok nastavení procesních podmínek.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 69 Čas plnění (Fill time) .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 70 Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location) .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 71 Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 72 Vzduchové kapsy (Air traps).....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 73 Studené spoje (Weld lines) .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 74 Průběh uzavírací síly (Clamp force) .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 75 Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 76 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature) .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 77 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure) .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 78 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency) .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 79 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part) .....</i>	<i>88</i>

**SEZNAM TABULEK**

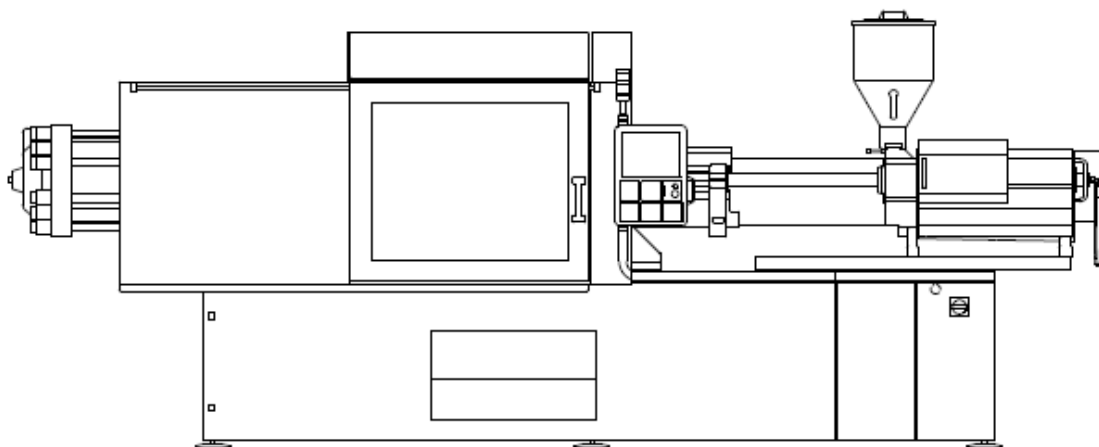
<i>Tab. 1 Příklady volby termoplastů [7]</i> .....	16
<i>Tab. 2 Doporučené rozměry a rozmístění temperačních kanálů [10]</i> .....	39
<i>Tab. 3 Doporučené velikosti odzdušňovacích kanálů [10]</i> .....	45
<i>Tab. 4 Vybrané materiály vstřikovacích forem [10; 17]</i> .....	46
<i>Tab. 5 Vybrané vlastnosti materiálu Ultramid A3WG6 [23]</i> .....	52
<i>Tab. 6 Parametry vstřikovacího stroje ve srovnání s požadovanými</i> .....	53



## SEZNAM PŘÍLOH

- PI Technické parametry vstřikovacího stroje
- PII Materiálový list
- PII Výkresová dokumentace:
- Sestava formy – řezy
  - Sestava formy – pohledy do DR
  - Kusovník
- PIV DVD obsahující:
- Diplomovou práci
  - Model výrobku
  - Model vstřikovací formy
  - Tokové analýzy
  - Výkresovou dokumentaci

## PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE



### **ALLROUNDER 570 C** **GOLDEN EDITION**

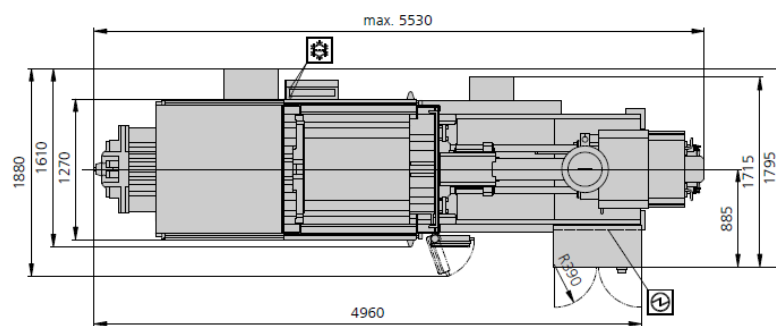
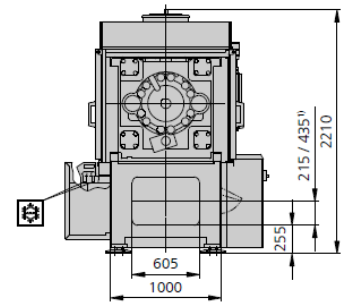
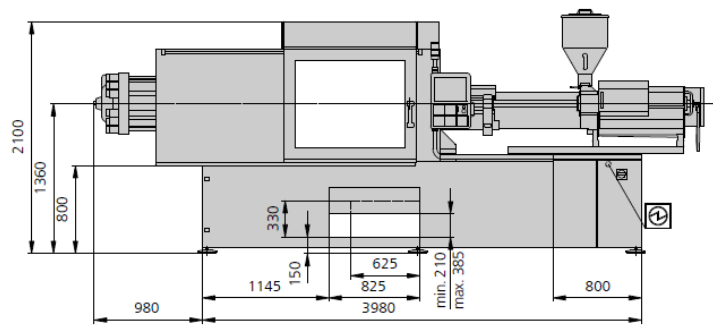
Distance between tie bars: 570 x 570 mm


Clamping force: 2000 kN


Injection unit (acc. to EUROMAP): 800

**ARBURG**

# MACHINE DIMENSIONS | 570 C GOLDEN EDITION



 Electrical connection

 Cooling water connection

## TECHNICAL DATA | 570 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		570 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	2000	
Opening force   stroke	max. kN   mm	520   650	
Mould height, fixed   variable	min. mm	300   —	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	950   —	
Distance between tie bars (w x h)	mm	570 x 570	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	795 x 795	
Weight of movable mould half	max. kg	1500	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	66   225	
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	2,6 - 399	

Injection unit		800		
with screw diameter	mm	45	50	55
Effective screw length	LD	22	20	18
Screw stroke	max. mm	200		
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	318	392	474
Shot weight	max. g PS	291	359	434
Material throughput	max. kg/h PS	46	53	59
	max. kg/h PA6.6	23	27	30
Injection pressure	max. bar	2470	2000	1650
Holding pressure	max. bar	2470	2000	1650
Injection flow 2	max. cm <sup>3</sup> /s	174	214	260
Screw circumferential speed 2	max. m/min	54	60	66
Screw torque	max. Nm	880		
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	70   400		
Heating capacity   zones	kW	19,9   8		
Feed hopper	l	50		

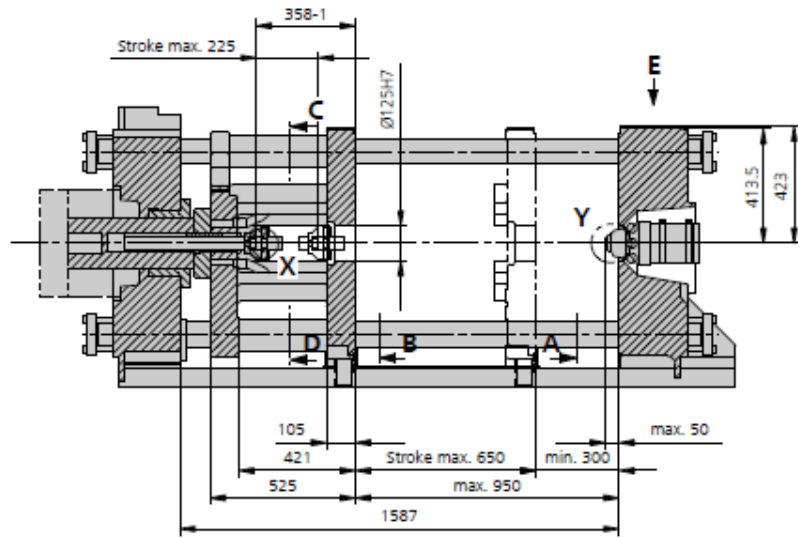
Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		800	
Net weight of machine	kg	7450	
Sound press. level   Insecurity 4	dB(A)	69   3	
Oil filling	l	290	
Drive power 2	max. kW	22	
Electrical connection 3	kW	45	
	Total	100	
	Machine	—	
	Heating	—	
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5   DN 25	

**Machine type**  
with EUROMAP size designation 1  
570 C GOLDEN EDITION 2000-800

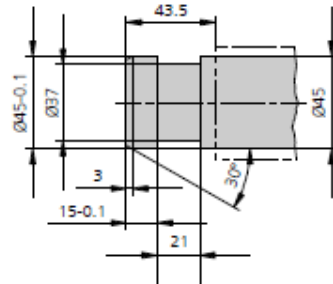
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.

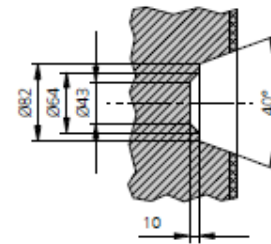
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 C GOLDEN EDITION



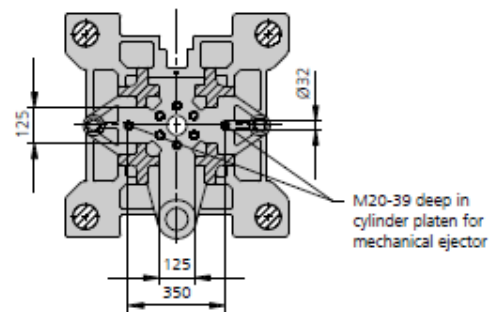
**Ejector bolt | X**



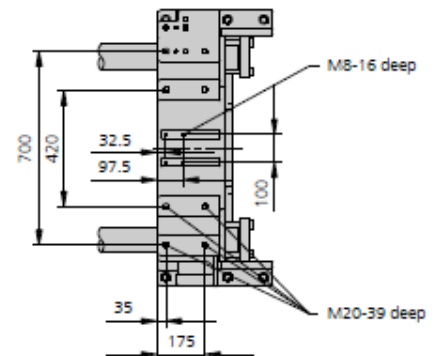
**Bore in mould (if required) | Y**



**C-D view**

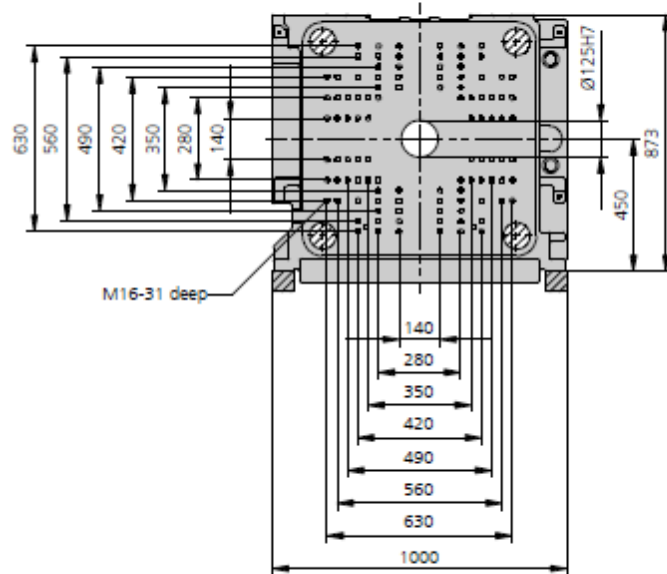


**Robotic system mounting | E**

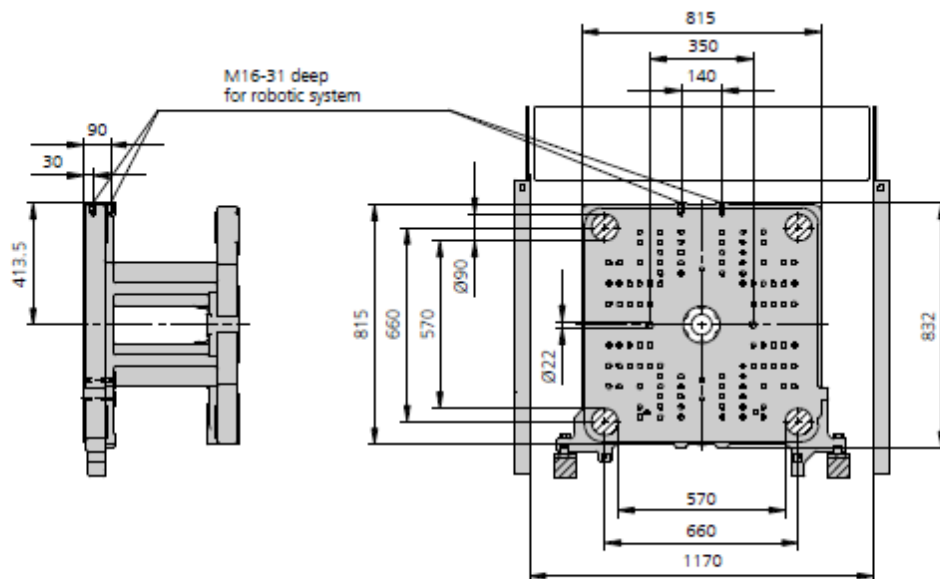


# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 C GOLDEN EDITION

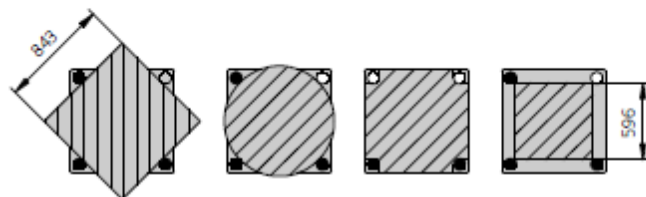
## Fixed mould mounting platen | A



## Moving mould mounting platen | B



## Useful clamping surface when pulling the tie rods



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

Injection units according to EUROMAP		800				
Screw diameter	mm	45	50	55		
Polystyrene	max. g PS	291	359	434		
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424		
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	278	344	416		
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	327	404	488		
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	304	375	454		
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449		
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403		
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456		
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471		
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	289	357	431		
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	270	333	403		
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536		
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517		
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328		
	max. g PE-HD	227	280	339		
Polypropylene	max. g PP	232	286	346		
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	465	574	695		
	max. g ETFE	408	504	609		
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525		
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	324	401	485		

1) average value

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

## PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST

<b>Product Information</b>	<b>Ultramid®</b>	
	<b>A3WG6</b>	
01/2019	<b>PA66-GF30</b>	

### Product description

Glass fibre reinforced and heat aging resistance injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, and different automotive powertrain parts. A3EG6 is the preferred grade for producing electrically insulating parts.

### Physical form and storage

The product is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging. The material is in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7 g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are the special 25 kg bag and the 1000 kg bulk container (octagonal IBC=intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after some of the material has been withdrawn. Ultramid® can be stored for a longer period of time in dry, well vented rooms without any change to properties. After longer storage times (> 3 months for IBC or > 2 years for bags) or if material from previously opened containers is used, drying is recommended to remove absorbed moisture. Containers stored in cold rooms should be allowed to equalise to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

### Product safety

In case processing is done under conditions as recommended (cf. processing data sheet) melts are thermally stable and do not generate hazards by molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers the product decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. Further information is available from the safety data sheet.

### Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.



# Ultramid® A3WG6



## Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C <sup>1)</sup>	Test method	Unit	Values <sup>2)</sup>
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	PA66-GF30
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1360
Viscosity number (0.5% in 98 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ISO 307, 1157, 1628	cm <sup>3</sup> /g	145
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	1.50 - 1.90
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	5.2 - 5.8
<b>Processing</b>			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	260
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	30
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	280 - 300
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained <sup>3)</sup>	-	%	0.49
Moulding shrinkage (parallel)	ISO 2944	%	0.38
Moulding shrinkage (normal)	ISO 2944	%	0.93
<b>Flammability</b>			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60695-11-10	class	HB
Automotive materials (Thickness >= 1mm) <sup>4)</sup>	FMVSS 302	-	+
<b>Mechanical properties</b>			
			<b>dry / cond.</b>
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	10000 / 7200
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	190 / 130
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3 / 5
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	* / 5300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	8600 / 6500
Flexural strength	ISO 178	MPa	280 / 210
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	85 / 100
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	70 / -
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	13 / 22
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	10 / -
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/A	kJ/m <sup>2</sup>	11.5 / 15.5
<b>Thermal properties</b>			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
Max. service temperature (short cycle operation) <sup>5)</sup>	-	°C	240
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 60216	°C	175
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 60216	°C	145
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	30
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	75 - 85
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.35
Specific heat capacity	-	J/(kg*K)	1500
<b>Electrical properties</b>			
			<b>dry / cond.</b>
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 62631-2-1	-	3.5 / 5.6
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 62631-2-1	E-4	140 / 3000
Volume resistivity	IEC 62631-3-1	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 62631-3-2	Ohm	* / 1E10
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	450

### Footnotes

- 1) If product name or properties don't state otherwise.
- 2) The asterisk symbol "\*" signifies inapplicable properties.
- 3) Test box with central gating, dimensions of base (107\*47\*1,5) mm, processing conditions: TM = 290°C, TW = 80°C
- 4) \* = passed
- 5) Empirical values determined on articles repeatedly subjected to the temperature concerned for several hours at a time over a period of several years. Provision Proper design and processing according to our recommendations.

BASF SE

67056 Ludwigshafen, Germany