

# Konstrukční návrh nástroje pro výrobu plastového dílu

Bc. Ondřej Bernátek

---

Diplomová práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Ondřej Bernátek
Osobní číslo:	T18301
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce technologických zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukční návrh nástroje pro výrobu plastového dílu

### Zásady pro vypracování

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

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

**Seznam doporučené literatury:**

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

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce podává potřebný teoretický základ týkající se konstrukce vstřikovací formy s hlavním cílem rozvinout ho následně v části praktické.

Teoretická část práce zahrnuje literární studii s tématy jako polymerní materiály, technologie vstřikování, vstřikovací stroj nebo konstrukce vstřikovací formy.

Praktická část diplomové práce je zaměřena na tvorbu 3D modelu plastového dílu, konstrukci vstřikovací formy pro výrobu tohoto plastového dílu, který slouží jako kryt palivového systému a provedení analýzy vstřikování ověřující celý konstrukční návrh. Pro konstrukci byl využit program CATIA V5R19 a pro analýzy Autodesk Moldflow Synergy 2016. Data z počítačových programů jsou doplněna o výkresy sestavy vstřikovací formy a kusovník.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, polymery, analýza vstřikování

## **ABSTRACT**

This master thesis provides the necessary theoretical basis about design of injection mold with the main aim to develop it in the practical part.

The theoretical part of the thesis includes a literary study with topics such as polymer materials, injection molding technology, injection molding machine or design of injection mold.

The practical part of the thesis is focused on the creation a 3D design of plastic part, design of injection mold for the production of this plastic part, which is used as a cover for the fuel system and implementation of injection analysis verifying the entire design. The software CATIA V5R19 was used for the design and software Autodesk Moldflow Synergy 2016 for the analysis. The data from this computer programs are supplemented by drawings of the injection mold assembly and bill of material.

Keywords: Injection Molding, Injection Mold, Polymers, Flow Analysis

Děkuji vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborný přístup, vedení a ochotu při vypracování diplomové práce. Rád bych také poděkoval svým rodičům a kamarádům za trpělivost, pomoc a podporu při mém studiu.

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

Současně 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 POLYMERŇÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>12</b>
1.1    ROZDĚLENÍ POLYMERŇÍCH MATERIÁLŮ .....	12
1.2    REOLOGIE POLYMERŇÍCH TAVENIN .....	13
1.3    ADITIVA DO POLYMERŮ.....	15
<b>2    TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1    VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
2.2    PRŮBĚH TLAKŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ .....	18
2.3    PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ .....	20
2.4    VADY VÝROBKŮ.....	21
<b>3    VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>22</b>
3.1    VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	23
3.1.1    Šnek.....	23
3.2    UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	25
3.3    ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA .....	27
<b>4    KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>29</b>
4.1    VTOKOVÝ SYSTÉM .....	31
4.1.1    Studený vtokový systém .....	31
4.1.2    Vyhříváný vtokový systém (VVS).....	37
4.2    TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	39
4.2.1    Zásady konstrukce temperačního systému.....	39
4.2.2    Součásti používané v temperačním systému.....	40
4.3    VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	41
4.3.1    Mechanické vyhazování.....	41
4.3.2    Vzduchové vyhazování .....	42
4.3.3    Hydraulické vyhazování.....	42
4.3.4    Boční posuvné čelisti forem.....	42
4.4    ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	43
4.5    MATERIÁLY FOREM.....	44
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>46</b>
<b>5    CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>47</b>
<b>6    VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>48</b>
6.1    MATERIÁL VSTŘIKOVANĚHO VÝROBKU .....	49
<b>7    VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>51</b>

<b>8</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>52</b>
8.1	ZPŮSOB ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	53
8.2	HLAVNÍ PODSESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	54
8.3	TVAROVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	56
8.4	NÁVRH VTOKOVÉHO SYSTÉMU.....	57
8.5	VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ SYSTÉM.....	59
8.6	VYHOZENÍ VÝROBKU .....	60
8.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	61
8.8	OSTATNÍ PRVKY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	64
<b>9</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>65</b>
9.1	TVORBA A ANALÝZA SÍTĚ.....	65
9.2	NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK A TEMPERAČNÍCH OKRUHŮ .....	67
9.2.1	Procesní podmínky pro chlazení .....	67
9.2.2	Kritéria pro vyhození .....	67
9.2.3	Plnění a dotlak.....	68
9.2.4	Nastavení hodnot dotlaku v závislosti na čase .....	68
9.2.5	Pokročilá nastavení .....	69
9.2.6	Nastavení výpočtů smrštění .....	69
9.2.7	Chladicí okruhy .....	70
9.3	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU .....	70
9.3.1	Čas plnění (Fill time) .....	70
9.3.2	Tlak ve vtokovém ústí (Pressure at injection location XY Plot).....	71
9.3.3	Smykové napětí na stěně (shear stress at wall) .....	71
9.3.4	Frakce zatuhlých vrstev (Frozen layer fraction) .....	73
9.3.5	Uzavírací síla (Clamp force) .....	73
9.3.6	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	74
9.3.7	Studené spoje (Weld lines).....	76
9.4	VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE .....	76
9.4.1	Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature).....	77
9.4.2	Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure) .....	77
9.4.3	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency) .....	78
9.4.4	Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number).....	79
9.4.5	Průtok temperačního kanálu (Circuit flow rate).....	79
9.5	VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE .....	80
9.5.1	Celková deformace od všech efektů (All effects deflection) .....	80
9.5.2	Deformace vlivem chlazení (Differential cooling deflection) .....	81
9.5.3	Deformace vlivem smrštění materiálu (Differential shrinkage deflection) .....	82
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>



<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>89</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>90</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>93</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

Celý moderní průmysl se opírá o zpracování plastů a elastomerů. Polymery jsou všude kolem nás. Byly používány již v pravěku ve formě přírodního kaučuku. Do Evropy přivezl první kaučuk Kryštof Kolumbus. Větší pozornosti se plastům dostává až během první poloviny 20. století, od kdy jsou známy polymerní materiály jako PVC, PS nebo PA66. Do první poloviny 20. století lze datovat také začátky technologie vstřikování. Je to poměrně nová technologie ve srovnání například s technologiemi hutnického průmyslu. K většímu rozšíření technologie vstřikování dochází však až v druhé polovině 20. století. Dnes se stalo vstřikování jednou z nejrozšířenějších technologií produkce polymerních výrobků.

Jednou z příčin je nahrazování výrobků z oceli, dřeva, skla, nebo dalších materiálů výrobky z polymerů. Dále mezi přednosti polymerních materiálů patří jejich nízká hmotnost, dobrá mechanická pevnost a dobrá fyzikální a chemická odolnost. Polymery jsou oproti kovům znatelně lehčí a díky svým vlastnostem pronikly do mnohých odvětví, jako je spotřební průmysl, elektrotechnický průmysl, stavebnictví, ale především automobilový průmysl.

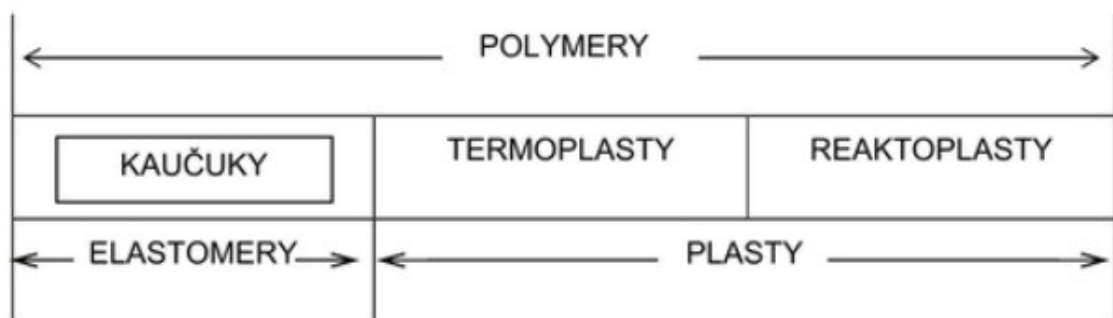
Vstřikování polymerů je poměrně složitý výrobní proces. Počáteční náklady na výrobu jsou dosti značné. Kromě nákladů na konstrukci formy, která je hlavním nástrojem, to je koupě vstřikovacího stroje a periferních zařízení. Samotná výroba je však při velkých sériích velmi levná a rychlá. Smyslem této metody je převést materiál ve formě granulátu do podoby taveniny, následného vstříknutí do tvarové dutiny, chlazení, odformování a vyhození výrobku z formy.

Při konstrukci vstřikovací formy se uplatňuje velké množství CAD a CAE systémů. Umožňují snadnější, rychlejší a efektivnější návrh vstřikovacích forem. Tomu napomáhá i možnost použití normalizovaných součástí dodávaných specializovanými výrobci. S použitím těchto možností se pak stává konstrukce vstřikovacích forem dokonalejší a kvalitnější.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky, jejichž obrovské molekuly s vysokou molekulovou hmotností (obvykle nazývané makromolekuly) obsahují většinou atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Uplatňují se zde kovalentní vazby. Podle etymologie slova polymer může být makromolekula také považována za sled velkého počtu (poly) opakujících se jednotek (merů). Polymery známe převážně v tuhém stavu ve formě výrobků, ale v určitém stádiu zpracování se vyskytují ve stavu taveniny, tedy v podstatě kapalném stavu, který umožňuje za zvýšené teploty a tlaku vytvarovat budoucí výrobek do nejrůznějších tvarů, podle následného využití. Polymery dělíme na plasty a elastomery. Plasty dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty. Nejpočetnější skupinou elastomerů jsou pak kaučuky. [1], [2]



Obrázek 1: Rozdělení polymerních materiálů [2]

### 1.1 Rozdělení polymerních materiálů

Základní klasifikaci polymerů provádíme z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty. Vlastnosti těchto základních skupin, na které jsou polymerní materiály rozděleny jsou:

**Elastomery** – polymery, které jsou schopny rychle obnovit původní tvar a rozměry, které měly před tím, než došlo k jejich deformaci malým napětím. I když jejich základní chemická struktura je podobná plastům, historický vývoj, rozdíly ve zpracování a deformační chování odlišily tuto skupinu od plastů.

**Plasty** – polymery, které po zániku deformujícího napětí zůstávají deformovány a jejich deformace je nevratná. Jsou používány jako syntetický strojírenský materiál, který nahrazuje a doplňuje konvenční materiály, jako je kov, dřevo, kámen, sklo a keramika. Dále je můžeme rozčlenit na termoplasty a reaktoplasty. U termoplastů je změna z plastického do tuhého

stavu vratná, opakovatelná, lze je tedy opakovaně roztavit a ochlazením zpět převést do tuhého stavu. Reaktoplasty, někdy též označovány jako termosety zahříváním přecházejí do netavitelného a nerozpustného stavu a tato změna je nevratná. [3], [4]

## 1.2 Reologie polymerních tavenin

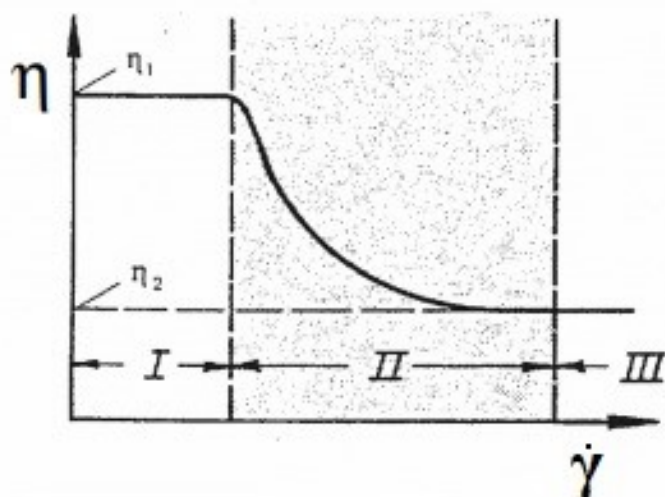
Viskoelastické reologické chování je značně odlišné od toku nízkomolekulárních kapalin, které mají tzv. newtonské chování. To znamená, že polymerní taveniny se chovají viskózně (jako kapalina) a zároveň ještě elasticky (jako pružná látka). Polymerní taveniny tedy řadíme mezi látky neneutonské, pseudoplastické. Takové chování se popisuje pomocí empirického vztahu, tzv. mocninového zákona.

Při toku polymerní taveniny během zpracování dochází k jejímu smykovému namáhání. Polymerní taveniny jsou charakterizovány viskozitou, což je míra odporu kapaliny proti aplikované smykové síle. U polymerních tavenin a roztoků polymerů viskozita klesá s rostoucí smykovou rychlostí a naopak – viskozita roste s klesající smykovou rychlostí. Smyková viskozita je definována následovně:

$$\eta = \frac{\tau_{x,y}}{\dot{\gamma}}, [Pa \cdot s] \quad (1)$$

Kde:  $\tau_x$  je smykové napětí [Pa] a  $\dot{\gamma}$  je smyková rychlost [ $s^{-1}$ ].

V oblasti tzv. newtonského plata (1. newtonské plató) viskozita není závislá na rychlosti smykové deformace ( $\eta$  je konstantní), tavenina se v této oblasti chová jako newtonská látka. Děje se tak v oblasti malých smykových rychlostí. Dochází jen k pomalému pohybu makromolekul. [5], [6], [7]



Obrázek 2: Závislost viskozity na smykové rychlosti [8]

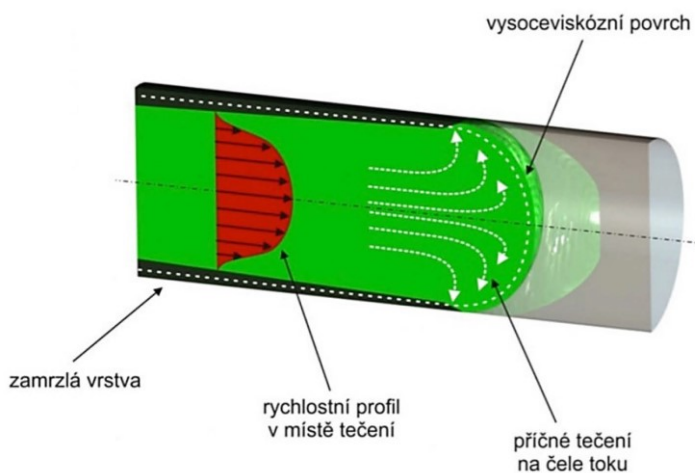
Na předchozím obrázku (Obrázek 2) je znázorněna závislost viskozity na smykové rychlosti u polymerní taveniny. Oblast newtonského plata (1. newtonské plató) je vymezena polem číslo  $I$ .

Při toku polymerní taveniny je tedy zapotřebí hnací síly. Potřebná míra této síly je určena především velikostí makromolekul, zvláště molekulovou hmotnost. [7], [8]

Tabulka 1: Charakteristické hodnoty newtonských viskozit [7]

Látka	Viskozita $\eta$ [Pa.s]
vzduch	$10^{-5}$
voda	$10^{-3}$
strojní olej	$10^{-2}$
ricinový olej	$10^0-10^1$
med	$10^1$
polymerní tavenina	$10^3$
sklo (tavenina)	$10^{12}$
sklo	$10^{18}$

Při vstřikovacím procesu je teplota stěny tokového kanálu nižší než teplota polymerní taveniny. Proto při toku vstřikovaného materiálu dochází k časově neustálenému toku. Materiál u stěny, která je oproti němu studená tuhne v narůstající vrstvě. V prostoru mezi tuhnoucí vrstvou směrem ke středu však materiál nadále teče. Rychlost na povrchu chladnoucí vrstvy není rovna nule. V tomto případě se jedná o fontánový tok, který je nejvhodnější způsob toku při plnění tvarových dutin forem polymerní taveninou. [6]



Obrázek 3: Fontánový tok polymerní taveniny [9]

### 1.3 Aditiva do polymerů

Pro zlepšení zpracovatelnosti polymerů se běžně přidávají do polymerů aditiva. Mají pozitivní vliv především na zvýšení stability taveniny po dobu její prodlevy v plastikačním válci, zajišťují dobrou zatékavost, plastikaci v plastikační komoře bez možných vad, nelepivost taveniny, bezproblémové vyhození výrobků z formy a dosažení jemné a rovnoměrné krystalické struktury pomocí nukleačních činidel u částečně krystalických polymerů.

- Stabilizátory – zvyšují odolnost materiálu k termooxidačnímu nebo atmosférickému stárnutí. Jsou to termooxidační stabilizátory a UV stabilizátory.
- Plastifikátory (změkčovadla) – nejčastěji se používají jako příměs do měkčeného PVC. Mají podíl především na snížení tuhosti a tvrdosti, zvýšení ohebnosti, elasticity, tažnosti a houževnatosti výstřiku při teplotě okolního prostředí.
- Polymerní modifikátory – vytvářejí polymerní směsi, slitiny, které mají podíl na zlepšení vlastností oproti původnímu polymeru. K tomu dochází po smíchání, sloučení se základním polymerem.
- Koncentráty lubrikantů – působí snížení viskozity polymerních tavenin, zvýšení jejich tekutosti, zlepšení odformovatelnosti výrobků, zvýšení lesku.
- Nukleační činidla – Mají podíl na modifikaci rychlosti krystalizace, pokud je doba krystalizace kratší, je kratší i doba výrobního cyklu.
- Antistatika – elektricky nevodivý charakter, který můžeme pozorovat u většiny termoplastů má při tření za důsledek vznik elektrostatického náboje, který je potřeba snížit.
- Retardéry hoření – způsobují zmenšení hořlavosti až samozhášivost. Mají ovšem zpravidla negativní vliv na zpracovatelské vlastnosti. Účinek retardérů hoření se projevuje až při větších koncentracích – asi od 5 %.
- Nadouvadla – Tyto látky po zahřátí uvolňují páry, které vytvářejí různé dutinky. Při jejich použití dostáváme lehčí výrobky se zmenšenou měrnou hmotností.
- Barviva, pigmenty, optická zjasňovadla, barevné koncentráty – podle původu je lze rozdělit na anorganická, organická a bronzy, což jsou kovové prášky.

- Plniva – jsou-li přidány do polymerního materiálu, hovoříme dále o kompozitech, které mají podíl na vzniku synergického efektu, což je jev, kdy se pozitivní vlastnosti dvou nebo více odlišných materiálů sečtou takovým způsobem, že výsledné vlastnosti mají vyšší účinek, než kdybychom složky těchto vlastností sčítali odděleně. Plniva se dělí na částicová plniva, vyztužující plniva, nanoplňniva a kompozitní slitiny, směsi, blendy. [6], [10]



Obrázek 4: Barviva do polymerů

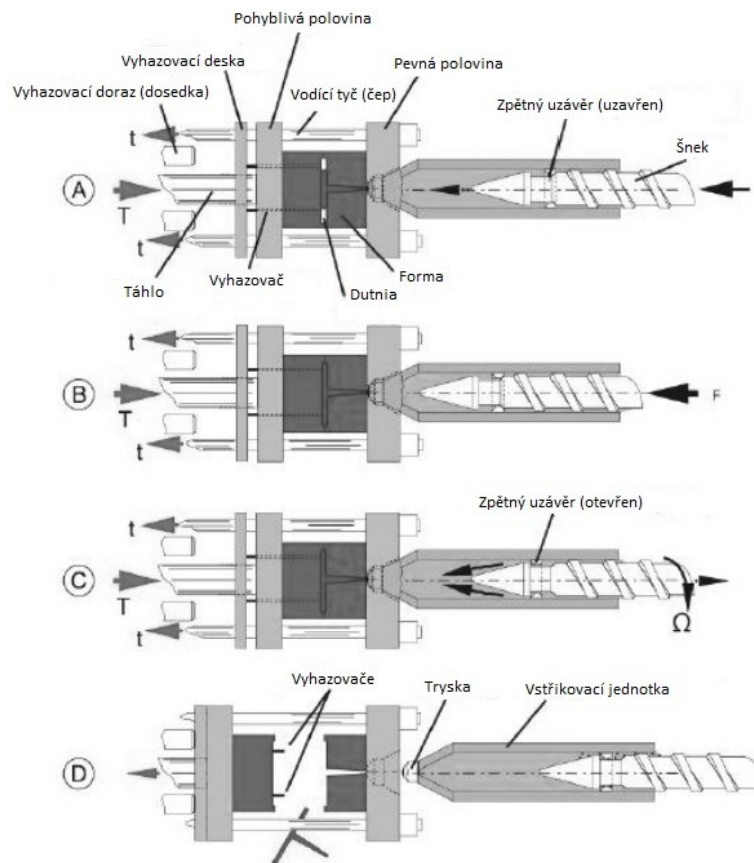


## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je klíčovou technologií pro výrobu plastových dílů, především pro plastové výrobky z termoplastů. Samotné provozování technologie vstřikování vyžaduje spoustu zařízení. Je potřeba vhodný vstřikovací stroj s řídicí jednotkou, řádně upnutou vstřikovací formu s tvarovou dutinou, nebo více dutinami, které definují geometrii součásti, temperační zařízení, které zajišťuje stálou teplotu formy a další vybavení a periferní zařízení které umožňují kompletní zajištění vstřikovacího procesu. [11]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Děje během výroby plastové součásti vstřikováním jsou znázorněny na následujícím obrázku (Obrázek 5). Cyklus začíná uzavřením formy. Následuje vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy. Jakmile je dutina zaplněna, udržuje se forma pod tlakem, což se nazývá dotlakovou fází, která slouží ke kompenzaci smrštění materiálu. V dalším kroku dochází k odjezdu plastikační jednotky a následnému chystání další dávky – plastikace. Jakmile je výrobek dostatečně ochlazen, forma se otevře a výrobek je pomocí vyhazovačů vyhozen z formy. [12]

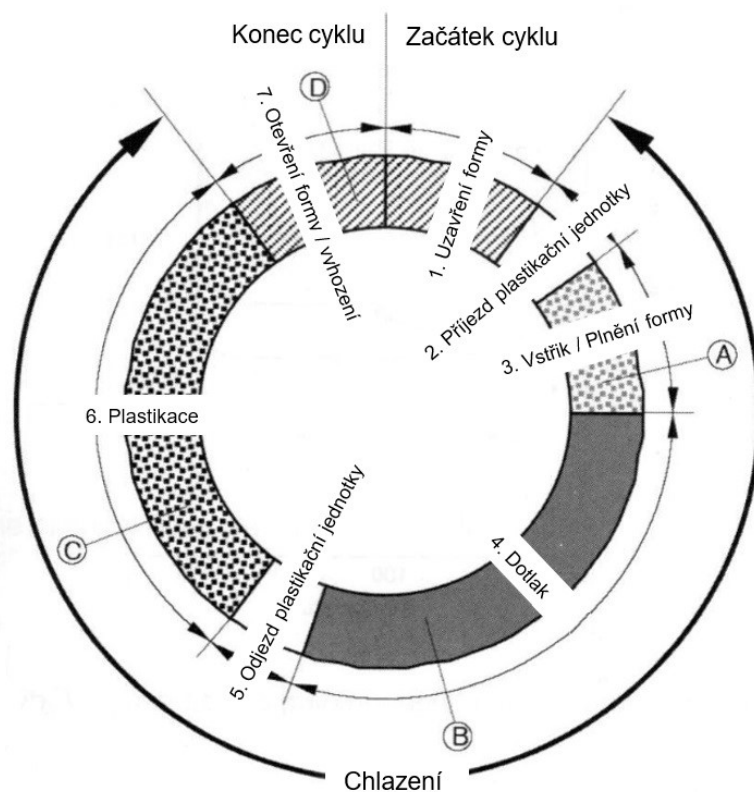


Obrázek 5: Děje během vstřikovacího cyklu [12]

Protože se jedná o cyklický proces, lze celý cyklus přehledně popsat pomocí schématu na následujícím obrázku (Obrázek 6). Obrázek ukazuje, že celému cyklu dominuje chlazení součásti uvnitř dutiny formy. Otevření formy, vyhození výrobku na konci vstřikovacího cyklu a následné uzavření formy na začátku vstřikovacího cyklu může trvat od zlomku sekundy až po dobu několika sekund. Celkový čas vstřikovacího cyklu se vypočítá následovně:

$$t_{\text{cyklu}} = t_{\text{uzavření}} + t_{\text{chlazení}} + t_{\text{otevření/vyhození}} \quad (2)$$

Čas chlazení však v naprosté většině případů zůstává dominantním časem a poskytuje nám již orientační údaj ohledně celkového času vstřikovacího cyklu. [12]

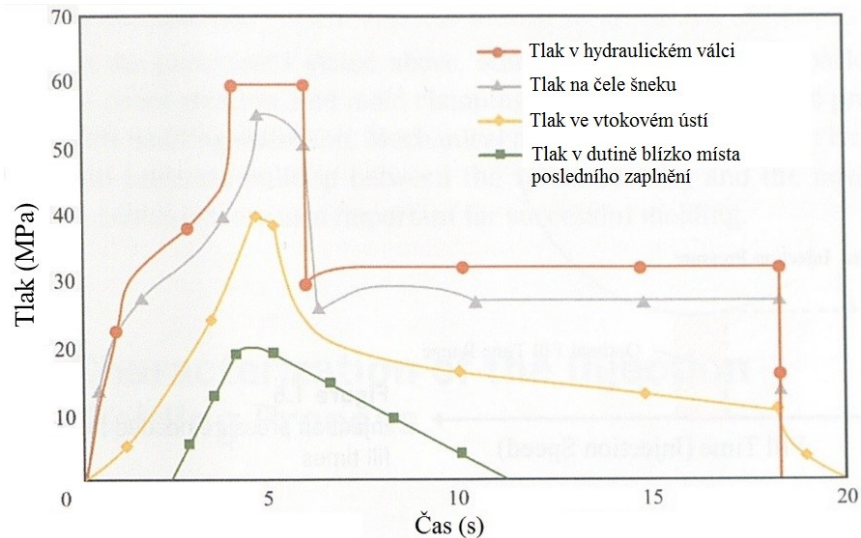


Obrázek 6: Průběh vstřikovacího cyklu [12]

## 2.2 Průběh tlaků při vstřikování

Vstřikovací cyklus můžeme zkoumat i z hlediska velikosti tlaků působících v různých segmentech výrobního zařízení. Můžeme tedy pozorovat závislost tlaku na čase vstřikovacího cyklu. Můžeme sledovat tlak v hydraulickém válci (u hydraulické uzavírací jednotky), tlak na čele šneku, tlak ve vtokovém ústí, nebo tlak v dutině formy blízko místa,

které je zaplněno jako poslední. Závislost právě těchto čtyř stavů na době vstřikovacího cyklu můžeme pozorovat na následujícím obrázku (Obrázek 7). [11]



Obrázek 7: Průběh vstřikovacího tlaku v různých místech – částech vstřikovacího stroje a dutiny formy [11]

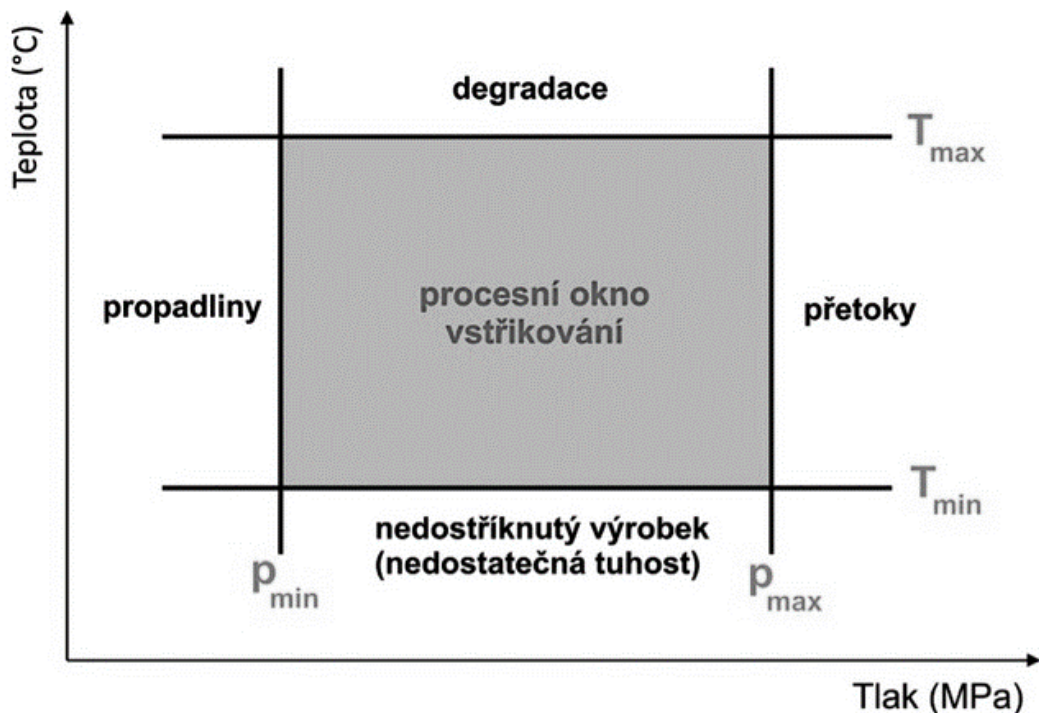
Můžeme zde vidět zpoždění tlaku mezi hydraulickým válcem a tlakem ve vstřikovací jednotce (na čele šneku). Tohle zpoždění je žádoucí a závisí primárně na nastavení ventilů hydraulického válce. Jinak je profil průběhu v podstatě podobný. Tvarové rozdíly v průbězích jsou způsobeny rozdílným třením mezi šnekem, materiálem a válcem a na druhé straně mezi hydraulickým válcem a pístem. Tlakové ztráty se pohybují v rozmezí přibližně 3 až 10 % a čím vyšší je tlak, tím nižší je ztráta. Tlak na čele šneku obvykle není dostupný z dat vstřikovacího stroje, pokud není čelo šneku opatřeno tlakovým čidlem, ale tyto hodnoty jsou často predikovány v simulačních programech (CAE). Síla aplikovaná na šneku je obvykle 10 – 14krát větší než síla v hydraulickém válci. Tento poměr vychází z plochy průřezu hydraulického válce k průřezu šneku. Při zkoumání tlaků v dutině formy nacházíme malou souvislost s tlakovým profilem na čele šneku. Je to způsobené tím, že tlaková ztráta závisí hlavně na geometrii dutiny a na charakteristikách proudění, když tavenina protéká relativně tenkostěnnou dutinou.

Tlak na čele šneku dosahuje svých maximálních hodnot během přepínání z plnění na dotlak. Poté, co tavenina ztuhne a není již možné působit dotlakem, tlak rychle klesá. Velikost a doba působení dotlaku silně ovlivňují rozměrovou přesnost vzhledové vlastnosti výrobku. [11]

### 2.3 Parametry vstřikování

K nejdůležitějším parametrům vstřikovacího procesu patří teplota a tlak. Z těchto parametrů, které je třeba regulovat, se sestavuje zpracovatelské okno následujícím způsobem:

- Z materiálových hodnot pro konkrétní vstřikovaný polymer je stanovena maximální teplota taveniny, při níž ještě nedochází k degradaci materiálu. Tato teplota se označí jako  $T_{\max}$ .
- Dále je zjištěna teplota, při které ještě tavenina je schopna vyplnit dokonale celou dutinu vstřikovací formy. Tato teplota se označí jako  $T_{\min}$ .
- Když je známo teplotní rozmezí  $T_{\max} - T_{\min}$ , určí se minimální tlaky, při kterých ještě dojde k dokonalému vyplnění celé dutiny formy taveninou.
- Podobným způsobem jsou určeny i maximální tlaky. Zohledňují se navíc ještě maximální tuhost formy, uzavírací sílu vstřikovacího stroje a hybnost taveniny, což je součin vstřikovací rychlosti a vstřikovacího tlaku. [10]



Obrázek 8: Procesní okno vstřikování

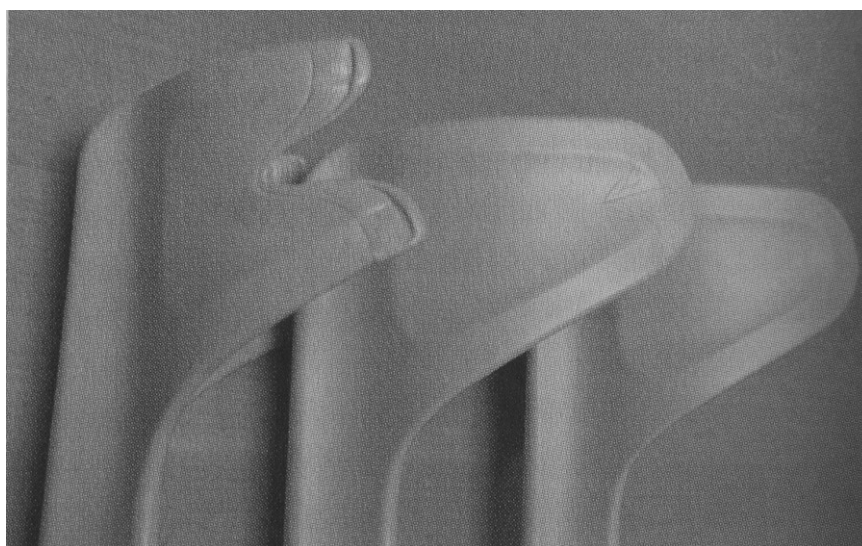
## 2.4 Vady výrobků

Při výrobě vstřikovaných výrobků z termoplastů se sledem různých okolností často v praxi stává, že se vyskytnou různé vady na těchto výrobcích. Hlavní a logickou příčinou je, že vstřikování je cyklický proces, a tudíž nelze zaručit shodný průběh výroby ve všech vstřikovacích cyklech. Technologické parametry se můžou určitým způsobem lišit. Dalšími příčinami vadných výrobků může být například špatný výběr materiálu, chybná konstrukce výrobku, nedostatky v konstrukci formy nebo špatně zvolený vstřikovací stroj. [6]

Zřejmé vady výrobků lze rozčlenit například následovně:

- vady, které jsou přijatelné a nemají zásadní vliv na funkčnost výrobku. (nevyhovující lesk),
- vady, které jsou přijatelné s určitými omezeními, tedy pokud nejsou překročeny určité hranice, za kterými již výrobek neplní spolehlivě svou funkci. (studený spoj),
- vady, které jsou opravitelné a nemají vliv na funkčnost výrobku, stav, ve kterém jsou výrobky produkovány, se po drobných úpravách téměř podobá požadovanému stavu. (přetoky v dělicí rovině),
- vady, které jsou nepřijatelné a nelze je žádnou opravou za žádných podmínek odstranit. (deformace tvaru).

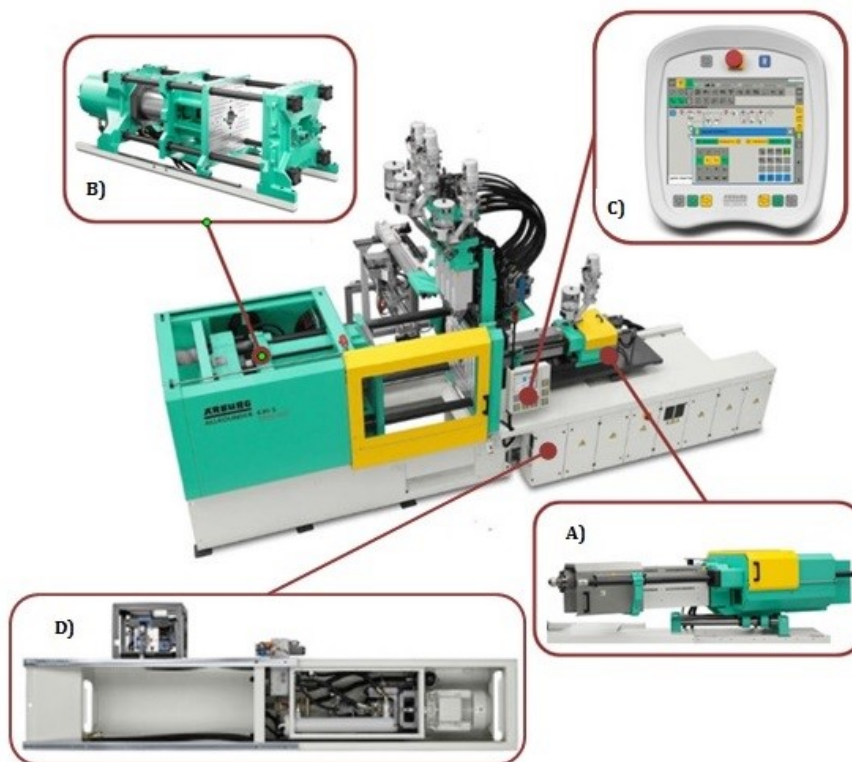
Mezi nejčastější vady výrobků konkrétně patří: nedotečený výrobek, přetoky, deformace výrobku, stříbření, spálená místa, studené spoje, tokové čáry, nehomogenita nadmolekulární struktury a další. [6]



Obrázek 9: Mechanismus tvorby studeného spoje [6]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj může být definován jako stroj, který cyklicky produkuje výrobky různých tvarů, vyrobených většinou z makromolekulárních materiálů. Vstřikování se provádí vedením polymerní taveniny ze stroje pomocí vtokového systému do dutiny formy. Vstřikovaná tavenina je pod tlakem. V průmyslu je možno pozorovat zajímavý paradox. Zatímco průmysl vstřikování plastů se celosvětově rozšiřuje, počet výrobců strojů postupně klesá. Důvod je poměrně jednoduchý. Úspěch v tomto odvětví je založen především na spolehlivosti, rychlosti, přesnosti, dobrém zákaznickém servisu a špičkové technologii. Výrobci strojů, kteří nesplňují tyto požadavky, nemohou na trhu zaujmout přední příčky a prosadit se. Jen málo firem na světě, má skutečně potřebné technologické znalosti ke konstrukci těchto strojů. Jednou z hlavních výhod plastů je i to, že mohou být snadno tvarovány i při nižších teplotách, než jsou teploty používané pro kovy a jiné tradiční materiály. V důsledku toho jsou vstřikovací stroje a jejich periferní zařízení závislé především jen na elektrické energii, která je skoro všude dostupná a snadno aplikovatelná připojením stroje do elektrické sítě. [13]

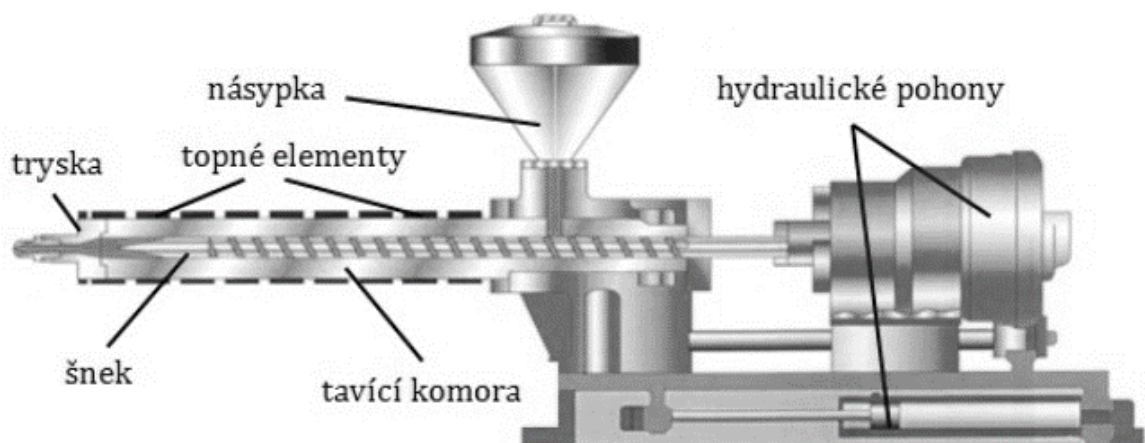


Obrázek 10: Vstřikovací stroj [14]

Horizontální vstřikovací stroj se zvýrazněnou (A) vstřikovací jednotkou, (B) uzavírací jednotkou, (C) komunikačním rozhraním řídicího a kontrolního systému a (D) rám stroje s hydraulickým pohonem.

### 3.1 Vstřikovací jednotka

Hlavní funkcí vstřikovací jednotky je převedení tuhého polymeru do stavu polymerní taveniny a následného přesunu taveniny do tvarové dutiny formy. Nejčastěji se vyskytují vstřikovací jednotky se šnekem, který rotuje kolem své osy a pohybuje se vpřed a vzad. Vstřikovací jednotka se obvykle skládá z násypky, tavicí komory, šneku, trysky, topných elementů a hydraulického pohonu. Kromě rotace šneku kolem své osy a axiálního pohybu vpřed a vzad musí být ještě zajištěn přísun trysky vstřikovací jednotky ke vtokové vložce formy tak, aby přítlak na vtokovou vložku byl dostatečný. Pohyby jednotlivých částí musí být precizní a zajistit velmi přesnou pozici, včetně pohybů šneku. To zajistí přesný průběh fáze vstřiku i dotlaku. [14]

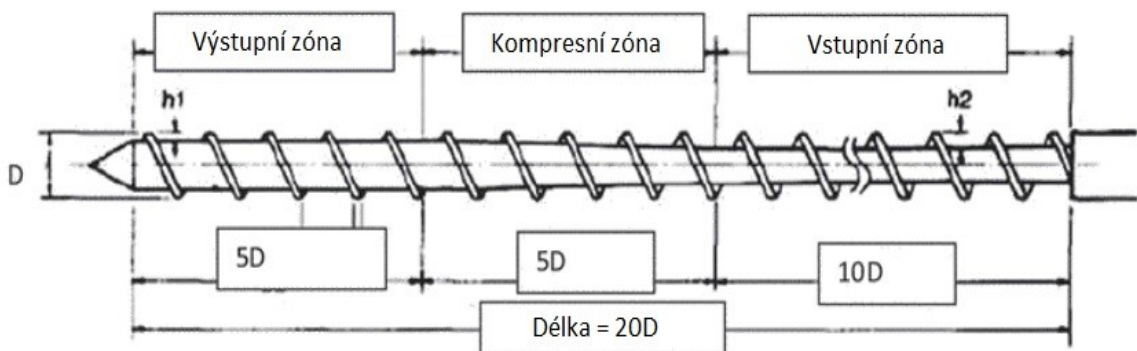


Obrázek 11: Vstřikovací jednotka [14]

#### 3.1.1 Šnek

Šnek je hlavním pracovním členem. Na následujícím obrázku (Obrázek 12) můžeme vidět, že profil (průřez) standardního šneku se v jednotlivých zónách liší. Standardní šnek má vstupní zónu, která se nachází v prostoru pod násypkou, na ni navazuje kompresní zóna, kde je materiál postupně stlačován a výstupní zónu, která se nachází blízko špičky šneku. Ve vstupní zóně je hloubka závitů šroubovice největší, naopak ve výstupní zóně je hloubka závitů šroubovice nejmenší. Hlavní rozměry šneku se udávají v poměru  $L/D$ . Je to poměr délky šneku k průměru šneku. Obvyklý poměr  $L/D$  bývá kolem 18 až 20. Pokud je poměr

výrazně vyšší než 20, je cesta materiálu příliš dlouhá, což znamená sice větší homogenitu, ale také delší zdržnou dobu s možnou degradací atd. Pokud je poměr výrazně nižší než 20, je zde riziko nedostatečné homogenity. Pro amorfnní materiály a materiály, které jsou citlivé na teplotu, se doporučuje nižší kompresní poměr (nižší komprese). Naopak u semikrystalických polymerů se používají vyšší kompresní poměry, např. PVC:  $K = 1,6:1$ , POM:  $K = 2,6:1$ . Pro srovnávání kapacity mezi stroji slouží veličina, které se říká plastifikační kapacita. Jedná se o kapacitu zhomogenizovaného a vytlačeného materiálu v kg/h, kdyby stroj fungoval jako extrudér. Je to jeden z parametrů, podle kterého lze posuzovat výkonnost vstříkovacího stroje. [15]



Obrázek 12: Zóny šneku s návrhem hlavních rozměrů [15]

- Vstupní zóna – je umístěna na zadním konci šneku poblíž násypky. Do vstupní zóny se dostává materiál v podobě granulátu. Hlavním cílem je efektivní doprava granulátu do kompresní zóny. Pro zajištění dopředného pohybu jsou zapotřebí správné koeficienty tření mezi šroubem a granulátem a povrchem tavící komory a granulátem.
- Kompresní zóna – snižováním dostupného objemu pomocí postupně se snižující hloubky závitů se materiál zahřívá (kromě působení ohřevu z topných elementů) třením a smykem. Toto teplo napomáhá roztavení materiálu. Vzduch, který se nachází v mezerách mezi granulátem, uniká přes vstupní zónu ze vstříkovacího stroje ven. Jeho přítomnost ve výstupní zóně by byla nepřijatelná.
- Výstupní zóna – tavenina se zde mísí a homogenizuje. Intenzivní promíchání zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty taveniny. Ta se potom hromadí v prostoru mezi tryskou a čelem šneku, před následným vstříknutím. [15]



## Standardní šnek pro zpracování termoplastů

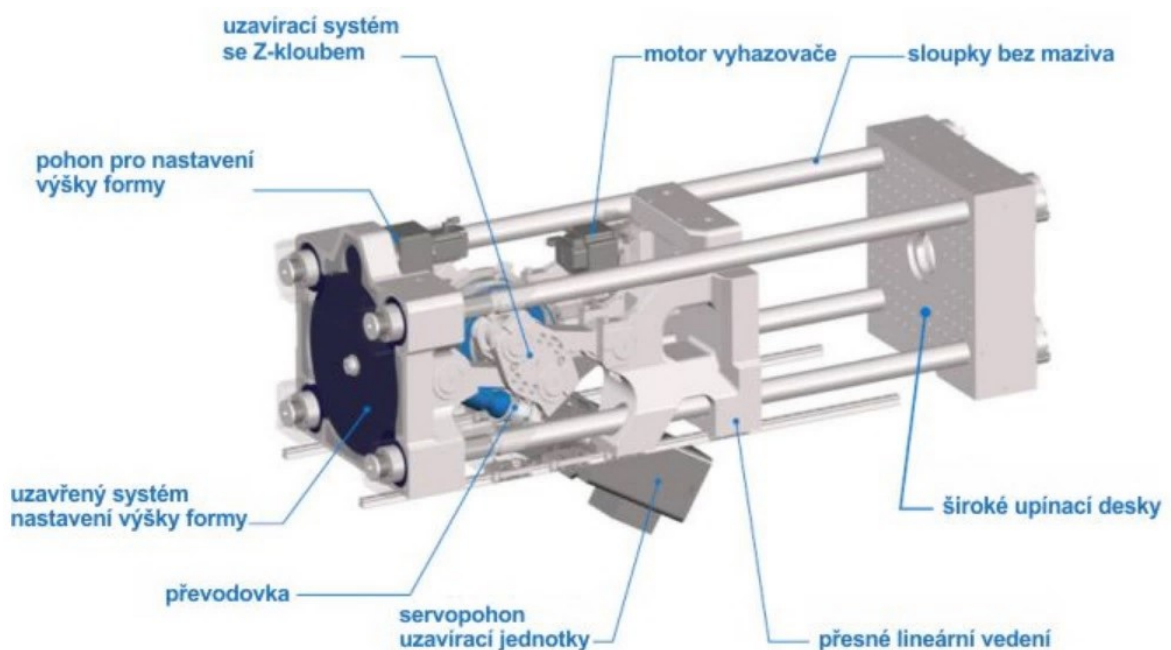


Typická délka (L/D)	20:1
Kompresní poměr	2:1
Materiály	Široké použití pro amorfnní a semikrystalické materiály

Obrázek 13: Typ šneku a zakončení [14]

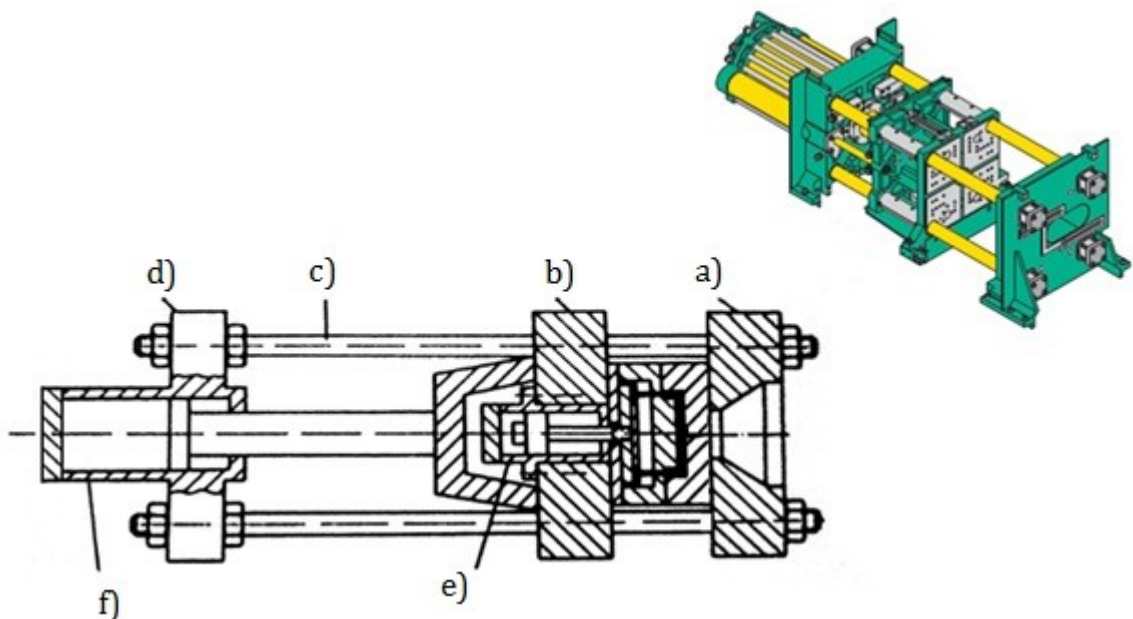
## 3.2 Uzavírací jednotka

Hlavním význam uzavírací jednotky je v tom, že udržuje formu uzavřenou tak, aby se neotevřela vstřikovacím tlakem během plnění a dotlaku v dutině formy. Zajišťuje však také upnutí a plynulé pohyby vstřikovací formy. Tvoří ji několik samostatných prvků a mechanismů. Obvykle se skládá z vodících sloupků, pevné a pohyblivé upínací desky s potřebným upínacím systémem a mechanismu, který vytváří sílu potřebnou pro otevírání, uzavírání a uzamčení formy. Pokud zkoumáme způsob, jakým je vytvořena uzamykací síla, tak zjistíme, že mechanicky, hydraulicky, nebo kombinací obou systémů. Když se zaměříme na samotný posuv pohyblivé desky, může být zajištěn elektricky, hydraulicky, nebo kombinací těchto systémů s mechanikou. Jedná se pak tedy o systémy hydraulicko-mechanické nebo elektro-mechanické. [14], [15]



Obrázek 14: Elektro-mechanická uzavírací jednotka společnosti KraussMaffei [16]

Mechanické uzavírací systémy jsou často tužší než hydraulické uzavírací systémy. Hydraulický uzavírací systém totiž vyvíjí tlak spíše v blízkosti středu desky. Vše se ale hlavně odvíjí od vlastního technického provedení. Lze například použít více menších hydraulických válců. Hydraulický systém vyžaduje silnější pumpy a větší válce, než hydraulicko-mechanický systém. Je to podmíněno potřebou větších sil v hydraulickém systému. Z toho také vyplývá, že u hydraulického systému je potřeba mnohem více oleje, často přečerpávaného z olejových nádrží. Výhodou hydraulických systémů jsou velké rychlosti posuvu v celém rozsahu pístu a lepší opakovatelnost pohybů. [14], [15]



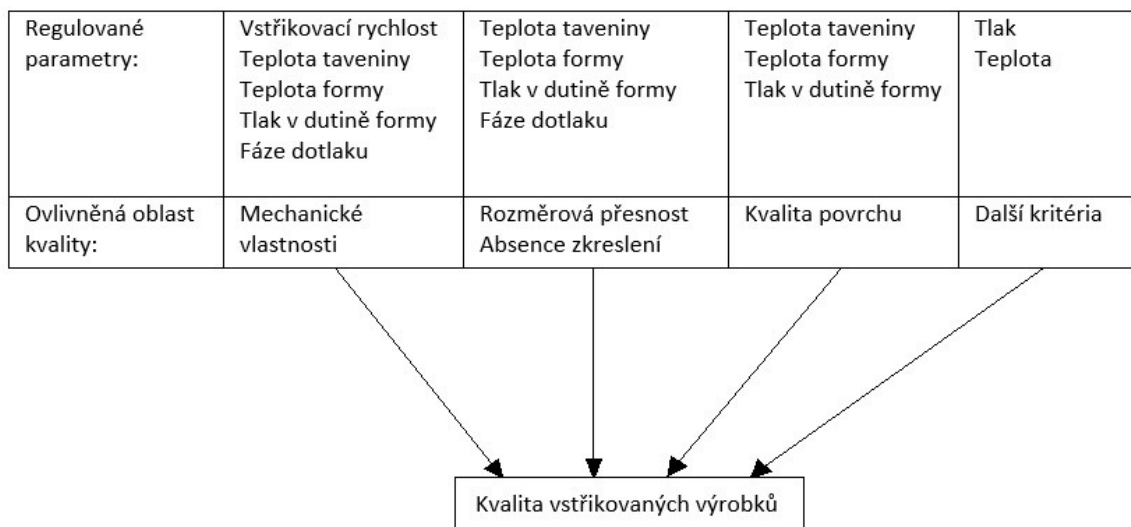
Obrázek 15: Hydraulická uzavírací jednotka [14]

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

Vyhození výrobku z formy je zajišťováno také uzavírací jednotkou. V dnešní době je realizováno především pomocí hydraulického systému. Činnost takového vyhazovacího systému je zcela nezávislá na ostatních pohybech uzavírací jednotky (viz. Obrázek 15e). Tento způsob má mnoho předností. Odformování lze provést v jakémkoliv okamžiku, dráha i rychlost vyhazovačů je libovolně definovatelná. Rovněž lze pohyb vyhazovačů v rámci jednoho vstřikovacího cyklu vícekrát zopakovat. [14]

### 3.3 Řídící a kontrolní jednotka

Klíčovým členem kontrolního a řídicího systému je regulátor, který přijímá aktuální hodnoty sledovaných parametrů, které zjišťuje přímo ze stroje a srovnává je s hodnotami nastavenými. Pokud se vyskytne nějaká odchylka, tak systém usiluje o dorovnání aktuální hodnoty na požadovanou. Během výrobního procesu se tedy data týkající se kvality nejen shromažďují a zaznamenávají, ale v mnoha případech dále zpracovávají v řídicích systémech. Například v hydraulickém systému se reguluje průtok oleje pomocí škrťacího ventilu, kontrolují se teploty oleje, tlak oleje, a hlavně uzavírací síly, což potom zajišťuje, že jsou dodržovány potřebné velikosti parametrů ve správný čas během sledu cyklu i na několik dalších po sobě jdoucích cyklů. V dnešní době se u moderních strojů všechna data týkající se výroby zaznamenávají a ukládají. To se také provádí za účelem zdokumentování kvality výroby. Správný výběr a správná instalace záznamových zařízení je velmi důležitá. V důsledku toho je hlavním cílem kontrolního systému sledovat výrobní proces a nepřímo zajistit, aby konečný produkt splňoval specifikace kvality. [13], [14]



Obrázek 16: Vliv regulovatelných parametrů výrobního procesu na kvalitu vstřikovaných výrobků [13]

V rámci kontrolní a řídicí jednotky je zahrnuto i komunikační rozhraní, kde se jednotlivé parametry nastavují a kde je možno sledovat aktuální hodnoty jednotlivých parametrů. Ovládání je zajištěno pomocí dotykového displeje, případně tlačítkové klávesnice nebo myši. V rámci komunikačního rozhraní jsou většinou také porty pro připojení paměťových médií, které lze využít jak na ukládání dat z výrobního procesu, tak pro načtení výrobních

programů, které již obsahují nastavení jednotlivých kroků nezbytných pro řízení výrobního procesu. Dále zde můžeme najít kontrolky, kterými jsou signalizovány poruchy, ke kterým během výroby došlo. Dále bývají stroje opatřeny i signalizačním „semaforovým“ zařízením, které informuje o probíhajících úkonech stroje. [13], [14]



Obrázek 17: Komunikační rozhraní vstřikovacího stroje Selogica společnosti Arburg

## 4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj upevněný na vstřikovacím stroji, který se používá pro výrobu různých součástí a předmětů z polymerního materiálu. Primárně forma zajišťuje dopravu roztaveného polymeru do dutiny formy a její správné naplnění, aby vznikl výstřik odpovídající tvaru dutiny formy. Kromě toho musí vstřikovací forma zabezpečit bezchybné, rychlé a pokud možno v co nejkratší periodě opakující se vyjmutí dílu.

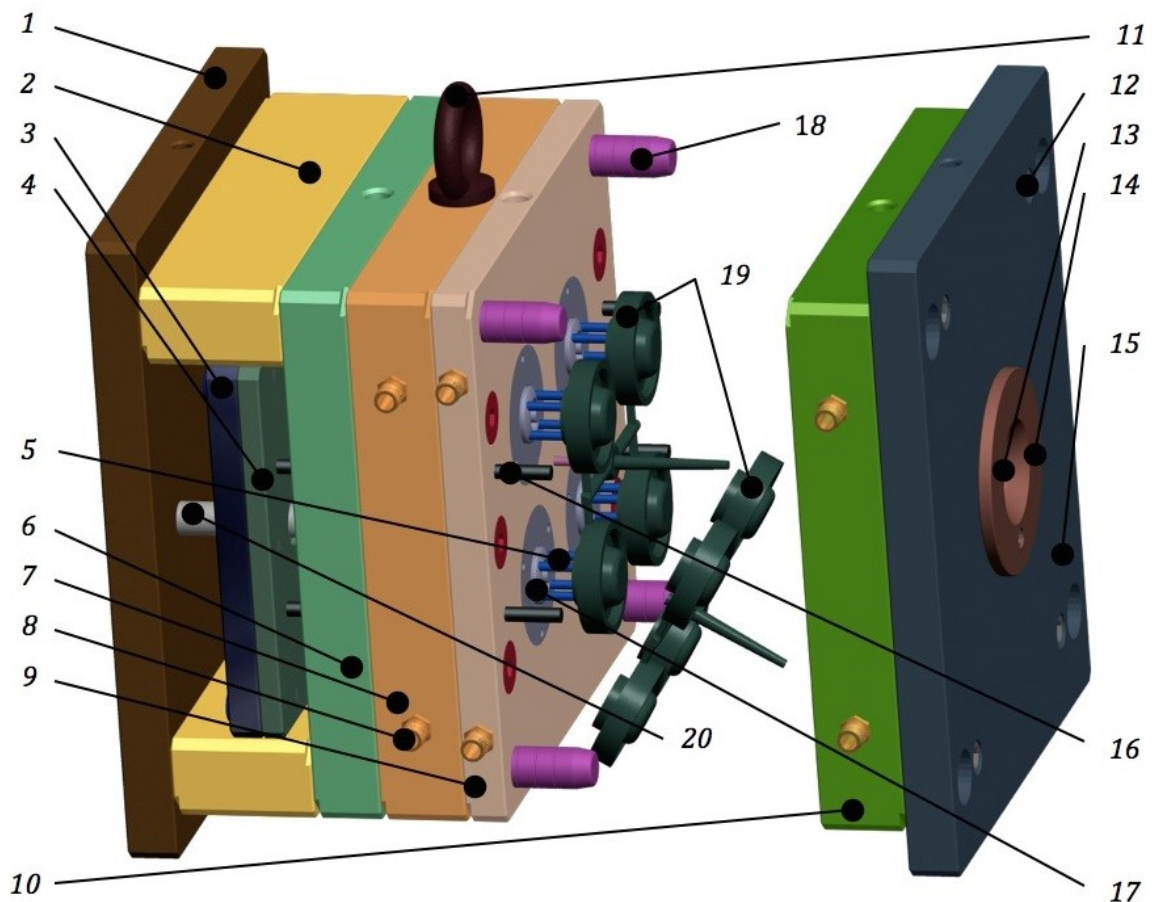
U formy je vyžadováno:

- dodržet vysokou přesnost a požadovanou jakost všech funkčních ploch vyrobené dutiny formy a dalších funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jak jednotlivých částí formy, tak i celků, aby odolávaly potřebným tlakům,
- správná funkce formy, patřičný vtokový systém, náležité vyhazování, efektivní odvzdušnění, temperování apod.,
- co nejvyšší životnost zaručenou konstrukcí, materiálem a výrobou.



Obrázek 18: Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [17]

Vstřikovací formy, které se používají v dnešní době, bývají nástroji poměrně komplikovanými. Každé zvýšené kritérium na přesnost a jakost forem se promítne ve zvýšené pracnosti při konstrukci i v následné výrobě. Samotná konstrukční stavba tohoto zařízení bývá ve většině případů obdobná. Firmy, které se specializují na výrobu a prodej normálních vstřikovacích forem často nabízí stavebnicové systémy komponentů. Jsou to například firmy HASCO nebo Meusburger. [17], [18].



Obrázek 19: Vstřikovací forma v otevřené pozici [17]

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěrná deska, 3 – vyhazovací deska opěrná, 4 – vyhazovací deska kotevní, 5 – vyhazovače, 6 – opěrná deska, 7 – mezideska, 8 – přípojka chlazení, 9 – kotevní deska tvárniku, 10 – kotevní deska tvárnice, 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 kolíky, 17 – tvarová vložka, 18 – vodící čep, 19 – vstřikovaný výrobek, 20 – podpěrný válec

Na předchozím obrázku (Obrázek 19) je možno vidět vstřikovací formu v otevřené pozici s vysunutými vyhazovači. Nejprve byla do uzavřené formy vstříknuta polymerní tavenina, která ve formě ztuhla. Po otevření formy v dělicí rovině je výrobek připraven k vyhození z formy. Aby k tomu došlo, musí být forma dostatečně otevřená, aby při vysunutí vyhazovačů došlo k bezpečnému vysunutí vstřikovaného dílu z tvarové vložky, na které je vstřikovaný díl pomocí třech sil přichycen. Vstřikovací forma na obrázku (Obrázek 19) je čtyřnásobná, za dobu jednoho vstřikovacího cyklu se tedy vyrobí čtyři díly. Vícenásobné

formy jsou používány velmi často a přispívají k levnější výrobě vstřikovaných dílů. Rozhodnutí ohledně násobnosti formy je velmi podstatné a je třeba ho učinit ještě před zahájením samotné konstrukce formy. Násobnost formy je ovlivněna především velikostí a vstřikovací kapacitou vstřikovacího stroje a plánovaným ročním množstvím vyráběných dílů. [17]

## 4.1 Vtokový systém

Vtokový systém je soustava kanálů a ústí vtoku, zajišťující správné naplnění dutiny formy, dále musí splňovat možnost jeho snadného a správného oddělení od výstřiku a vyhození z formy. Je třeba uvažovat, zda bude vtokový systém studený nebo horký a rozmístění daného počtu tvarových dutin. Důležitými kritérii, které je třeba zvážit při konstrukci vtokového systému jsou místa, kde se budou tvořit studené spoje, orientaci makromolekul a plniv, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, vzhled povrchu atd. Přičemž nejvíce návrh vtokového systému závisí na tvaru daného výrobku a násobnosti formy. Další požadavky, které jsou na vtokový systém kladeny zahrnují co nejkratší dráhu k dutině formy, aby nedocházelo k značným teplotním a tlakovým ztrátám a zaplnění všech dutin současně při stejných výrobních podmínkách. [9]

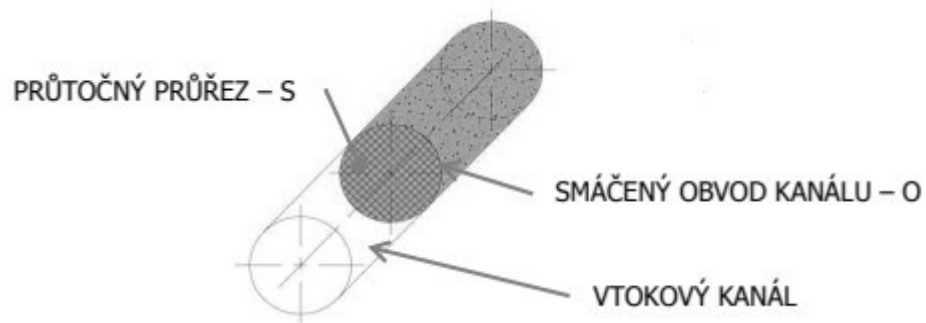
### 4.1.1 Studený vtokový systém

Při vstříknutí polymerní taveniny do formy se studeným vtokovým systémem začne tavenina ihned na stěnách vtokového systému tuhnut. Ztuhlá vrstva na povrchu tvoří tepelnou izolaci tavenině a ta proudí horkým jádrem. Tímto způsobem se zaplní celá dutina. Ve chvíli, kdy je dutina formy zaplněna náhle vzroste odpor a poklesne průtok. Odvod tepla do stěn formy zajistí pozvolné tuhnutí taveniny ve formě. Vtokové ústí může být ve formě řešeno různými způsoby. To se odvíjí především od tvaru vstřikovaného výrobku a konstrukce formy. Poté, co je dutina zaplněna, nastává dotlak. [18], [19]

Pro zajištění co nejmenších ztrát lepla a tlaku má význam tvar průřezu vtokového kanálu ve formě. Smáčivost vtokového kanálu je vyjádřena pomocí tzv. smáčivého čísla  $a_s$ , které je určeno poměrem průtočného průřezu a smáčeného obvodu kanálu.

$$a_s = \frac{S}{O}, [m] \quad (3)$$

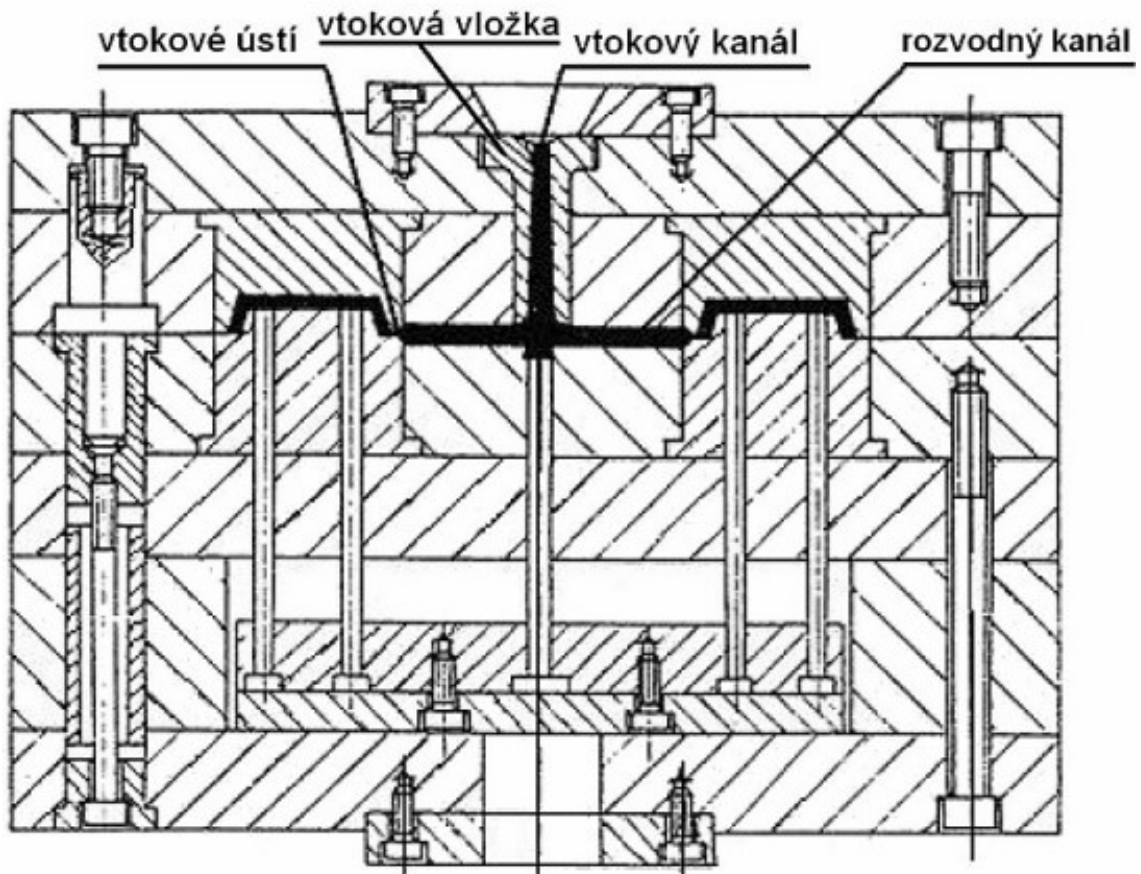
Nejpříhodnější je kanál kruhový, u kterého smáčivé číslo vychází tedy nejvyšší. Pokud jde však o výrobu formy, není zrovna nejlepším – je poměrně náročný na přesnost výroby jednotlivých polovin kruhového průřezu. [19]



Obrázek 20: Znáornění kruhového kanálu – smáčený obvod [19]

Pokud máme zvolený tvar, rozměry vtoku a umístění vtokového ústí ve formě, je třeba mít na zřeteli, že tyto prvky značně ovlivňují:

- výsledné rozměry, vzhled i vlastnosti výrobku,
- spotřebu materiálu plastu,
- pracnost při začištění výrobku,
- energetickou stránku výroby.



Obrázek 21: Studený vtokový systém formy [18]



Běžný vtokový systém začíná v ose pevné upínací desky. Tam je umístěna vtoková vložka, ve které je vtokový kanál, který vede taveninu většinou do dělicí roviny, kde na ni dále navazuje rozvodný kanál a poslední částí těsně před dutinou formy je vtokové ústí. [17]

### ***Vtoková vložka***

Vtokové vložky se obvykle nakupují u dodavatelů normalizovaných součástí. Jsou navrženy tak, aby se daly v případě potřeby snadno vyměnit. Vtokové vložky jsou navrženy tak, aby odolávaly opakovaným nárazům od vstříkovací trysky a rozhraní mezi vtokovou vložkou a tryskou se nesmí deformovat, protože by mohlo dojít k problémům s únikem taveniny nebo vyhozením. Vtoková vložka musí také zajišťovat snadné odformování. To je zajištěno především postupným zužováním od místa, kde vtokový kanál navazuje rozvodný kanál po místo, kde dosedá tryska. [20]

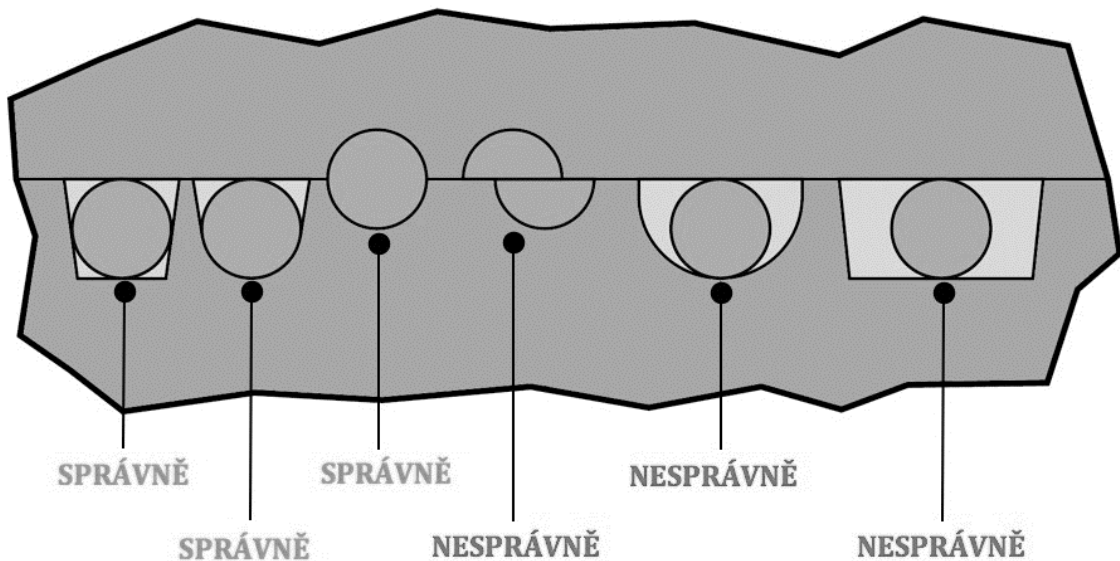


Obrázek 22: Vtoková vložka od společnosti Meusburger [21]

### ***Rozvodný kanál***

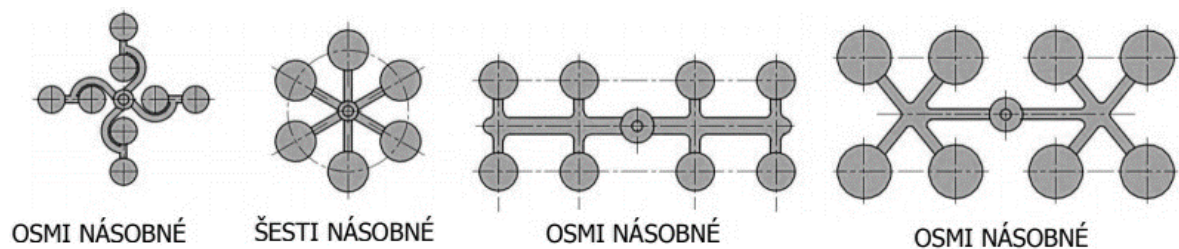
Studený rozvodný kanál je jednou z nejvlivnějších součástí úspěšné výroby technologií vstříkování. Bývá často ale hrubě nepochopen a jeho význam bývá podceňován. Nejvhodnější je kruhový tvar průřezu rozvodného kanálu, stejně jak u ostatních částí vtokového systému. Je však výrobně nákladnější na přesnost, aby obě poloviny formy, ve kterých je kanál vytvořen, na sebe přesně pasovaly. Mezi alternativní tvary rozvodných kanálů patří lichoběžníkové, parabolické nebo půlkruhové. Tyto tvary jsou mnohem snadnější na obrábění, neboť není třeba brát ohled na sladění polovin rozvodného kanálu. Tyto tvary jsou však méně účinné, protože mají za následek vyšší pokles tlaku na objem kanálu než u kanálu kruhového průřezu. Bylo dokázáno, že vtokové kanály se stejnými průřezy, ale s rostoucími obvody mohou zvýšit tlak během vstříkování i o více než 33 %. Dále lze pomocí softwaru zjistit, zda je kanál dostatečně velký, aby zajistil dokonalé

vyplnění formy taveninou a dostatečně kompenzoval tok při fázi dotlaku. Za zjištěním optimální velikosti rozvodného kanálu je i další z důvodů. Neměl by být příliš velký, abychom nedostávali nadměrné množství vtokových zbytků, a tím plýtvali materiálem. Orientačně se dá říct, že průměr rozvodného kanálu by měl být přibližně 1,5 krát vyšší než tloušťka v nejsilnější oblasti součásti. To zároveň předpokládá, že v této oblasti se většinou nachází i vtokové ústí. [20]



Obrázek 23: Správná a nesprávná řešení rozvodných kanálů [17]

Dále je při konstrukci rozvodného kanálu třeba dodržet stejnou délku dráhy toku ke všem tvarovým dutinám, aby bylo zajištěno rovnoměrné plnění všech tvarových dutin. Pokud by tato zásada nebyla dodržena, bylo by třeba provést korekce vtokových ústí tak, aby vtoková ústí v místech, do kterých má tavenina delší dráhu toku, byla širší než v místech, do kterých má tavenina kratší dráhu toku. Také se nedoporučuje plnit jednu tvarovou dutinu více vtoky. To může zapříčinit, že na výrobku vznikne větší množství studených spojů a v nežádoucích místech, přičemž použitím jednoho vtoku tento problém minimalizujeme. [18]



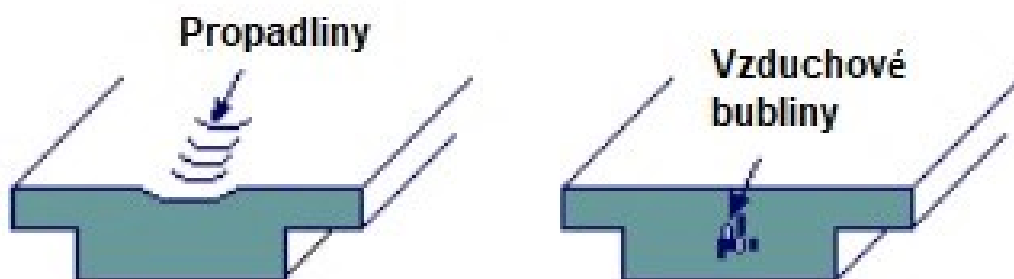
Obrázek 24: Příklady rozmístění rozvodných kanálů [19]

Při konstrukci rozvodných kanálů také mnoho konstruktérů mění průměr rozvodného kanálu po jeho délce. V tomto případě by měl být rozvodný kanál dimenzován od místa vtokového kanálu. Nejmenší průměr rozvodného kanálu pak bude u vtokového ústí a dimenzování se provádí s ohledem na plnění a dotlak. [20]

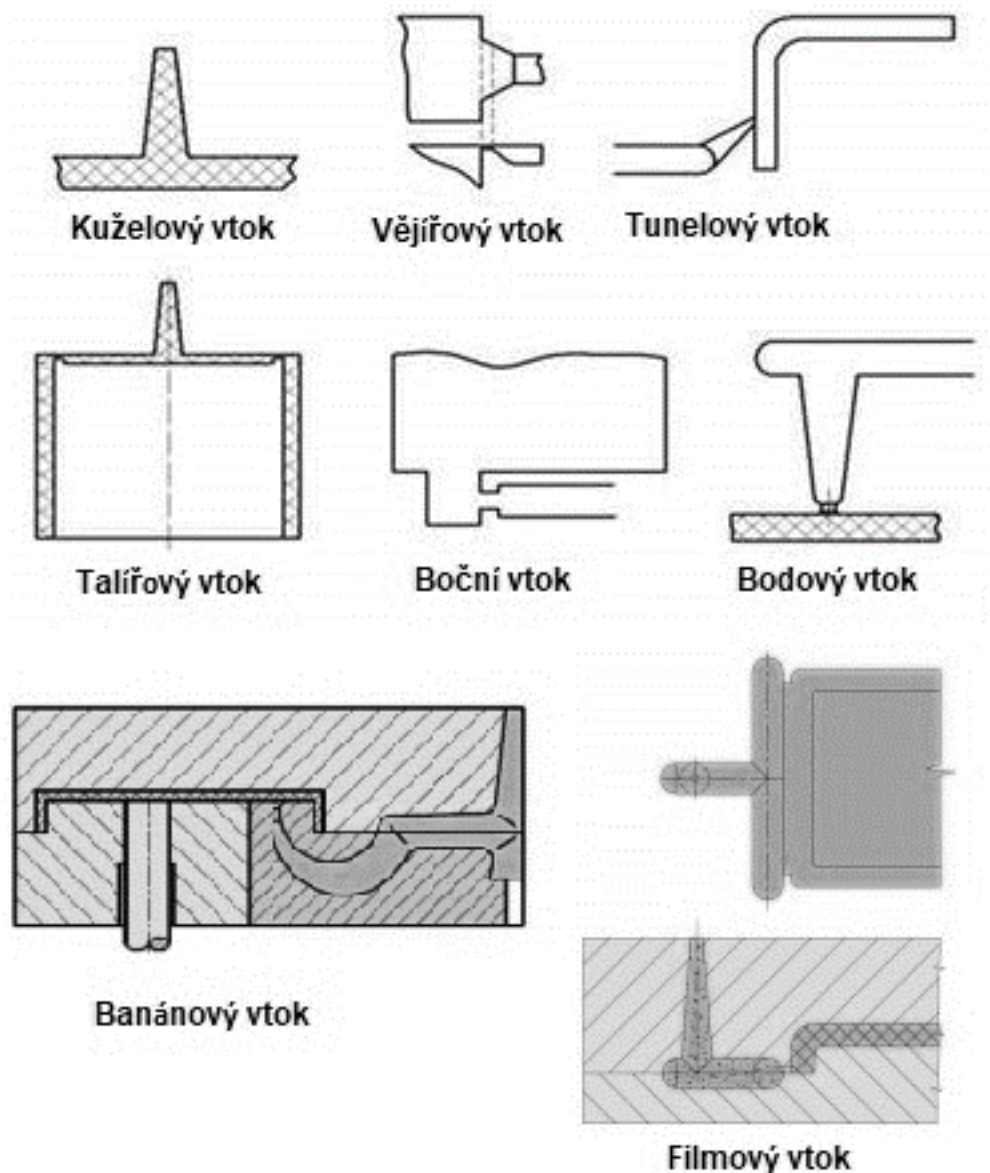
### ***Vtokové ústí***

Vtokové ústí je zúžené místo, přes které se přivádí polymerní tavenina do dutiny formy. Jen ve výjimečných případech je použit plný vtok, který se nezužuje. Aby bylo dosaženo toho, že stopa na vstříkovaném dílu bude co nejmenší, vtokové ústí by mělo být co nejužší. Vtokové ústí by mělo být navrženo tak, aby umožňovalo snadné vyjmutí součásti. Příliš malé vtokové ústí by však mohlo omezit správné působení dotlaku, způsobit příliš velké namáhání vstříkovaného materiálu, nebo vytvořit volný tok taveniny do dutiny formy – jetting. Obvykle se doporučuje, aby průměr vtokového ústí byl 40-70 % tloušťky stěny v části, ke které je vtokové ústí přivedeno. Délka vtokového ústí by měla být co nejkratší z důvodu, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám tlaku. Kratší vtokové ústí bude mít také tendenci zlepšovat působení dotlaku. [18], [19], [20]

Vtokové ústí by mělo být umístěno v místě, které nenarušuje vzhled součásti a také v oblasti s největší tloušťkou stěny, aby tavenina mohla proudit z oblastí s největší tloušťkou do oblastí s nejmenší tloušťkou, což zajišťuje zachování dobrých cest pro proudění materiálu a působení dotlaku. Vyústění do tenkého úseku součásti by mohlo způsobit předčasné zmrazení tenké vrstvy, což by mohlo bránit působení dotlaku. To mívá obvykle za následek zdeformování, propadliny nebo vzduchové bubliny. Aby nedocházelo k uzavírání vzduchu, je třeba, aby poslední oblast, která má být naplněna, umožňovala uniknutí vzduchu. [20]



Obrázek 25: Vady na výstřiku při chybně umístěném vtokovém ústí [22]



Obrázek 26: Základní typy vtokových ústí [19], [23]

Na předchozím obrázku (Obrázek 26) je možno vidět základní typy vtokových ústí. Kuželový vtok, který je bez zúžení vtokového ústí a používá se především u jednonásobných forem, vějířový vtok, tunelový vtok, který může být umístěn jak v pevné, tak v pohyblivé části formy, talířový vtok, který se používá u rotačních součástí a rovnoměrně plní dutinu formy. Dále pak boční vtok, což je také typ se zúženým vtokovým ústím, ležícím v dělicí rovině, bodový vtok, vhodný především pro tenkostěnné výrobky, jehož průměr je většinou 1 mm, banánový vtok, který umožňuje umístění na nepohledové straně výrobku, ale je výrobně náročný a filmový vtok, který se používá především k plnění kruhových a trubicových dutin formy. [18], [19]

#### 4.1.2 Vyhřívaný vtokový systém (VVS)

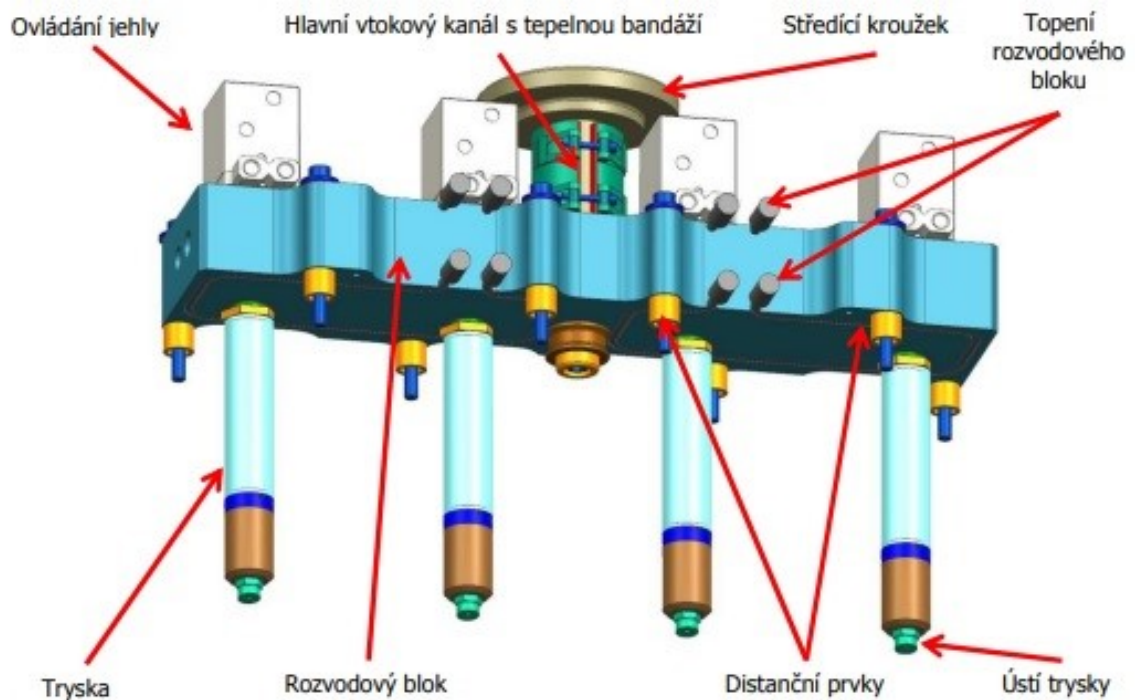
Pojem horký vtok označuje sestavu vyhřívaných komponent, pomocí kterých je vstřikovaný polymer udržován při konstantní teplotě až po dutinu formy. Tato sestava obvykle obsahuje hlavní vtok, rozvodnou desku, trysky a ovládací jehly. Horký vtok zaručuje konstantní viskozitu v celém průřezu a délce vtokového systému, a to od začátku hlavního vtokového kanálu, až po trysku, která ústí do dutiny formy. Dalšími výhodami použití vyhřívaného vtokového systému jsou:

- snížení spotřeby plastu – vstřikování bez vtokových zbytků,
- zkrácení výrobního cyklu,
- snížení nákladů na dokončovací práce a odstranění vtokových zbytků,
- není třeba uvažovat regeneraci zbytků vtoků a přístroje na jejich zpracování,
- umožňuje lepší automatizaci výroby.

To, že tavenina zůstává stále v celé oblasti vtoku v plastickém stavu umožňuje, že bodové vtokové ústí může být jen velmi malého průřezu, a přesto je možné docílit rychlého plnění a pracovat s dostatečným dotlakem. U všech vyústění VVS se doporučuje v tomto místě provést na výrobku zahloubení, které zesílí stěnu výrobku v tomto místě a zajistí, aby případný, většinou však nepatrný vtokový zbytek nepřesahoval nad jeho úroveň. Tato sestava nabízí možnost regulace teploty a snadnou montáž či demontáž za účelem vyčištění a opětovné nasazení do výroby. [18], [19]

Ačkoliv existuje spousta výhod, které znamenaly značné rozšíření VVS, existuje i spousta problémů, na které je třeba upozornit. Mnoho chyb je způsobeno neodborným zacházením s těmito systémy, kdy s nimi manipuluje nedostatečně proškolená obsluha. Některé materiály, které jsou více citlivé na teplotu jsou v těchto systémech obtížně zpracovatelné, nebo v závislosti na zvolený systém je nelze použít u těchto vyhřívaných systémů. Dále také chlazení dutin ve stacionární polovině, kde se nachází horký blok je složitější. Vstřikovací stroj i desky s dutinami musí být dobře odizolovány od VVS. Kromě toho je vtokové ústí velmi citlivé na chlazení, což může velmi ovlivnit tok materiálu. Dále je třeba uvažovat o tom, že ovládání vstřiku a následného dotlaku, může být daleko složitější než u výstřiků se studenými vtokovými systémy. Důvodem je stlačitelnost taveniny v příliš objemném vtokovém kanále. Toto je jen několik důležitých problémů z mnoha dalších, které mohou

nastat. Není snad ani potřebné zmiňovat ekonomickou stránku celé věci, kdy je zřejmé, že formy s VVS budou podstatně dražší než ty se studeným vtokem. [20]



Obrázek 27: Komponenty horkého rozvodného bloku [19]

Horký rozvodný blok, který bývá opatřen vyhřívanými tryskami se používá převážně u vstřikovacích forem s více tvarovými dutinami. U jednonásobných forem se často používá jen samotná tryska. Tryska má samostatný topný článek i s regulací. Vyhřívání trysek je umožněno buď jako vnitřní, nebo jako vnější. Vyhřívání trysek s vnějším vytápěním udržují a dodávají teplo pomocí topných těles umístěných z vnější strany vtokového kanálu, který je určený k přivádění taveniny. Trysky, které jsou opatřeny vnitřním vytápěním, používají torpédové topné těleso, které se nachází uvnitř kanálu, který je určený k přivodu taveniny. U vnitřně vytápěných trysek se může stát, že se na povrchu studené stěny bude tvořit nepatrná zamrzající vrstva, která se však později začne zvětšovat, může začít degradovat a uvolňovat se do dutiny formy. To může způsobit vzhledové i funkční vady na výstřiku. Podobný problém se může vyskytnout ve všech rozvodech, které obsahují ostré rohy či slepá místa. Z výše uvedených důvodů není vhodné, aby horké vtoky s vnitřním vytápěním byly používány pro vstřikování transparentních plastů nebo plastů, které jsou více teplotně citlivé či dílů u kterých jsou vysoké požadavky na kvalitu povrchu. [18]

## 4.2 Temperační systém

Kromě všech svých ostatních funkcí, forma také funguje jako tepelný výměník. Navržený systém chlazení je třeba zhodnotit především z pohledu účinnosti chlazení, které je výrazně ovlivněno průtokem chladicího média uvnitř kanálů. Průtok by měl být dostatečný na to, aby ve chladícím médiu vznikalo turbulentní proudění. Turbulentní proudění je mnohem účinnější při odvodu tepla, ve srovnání s laminárním prouděním. Dále je třeba zohlednit dobu chlazení, která by měla být co nejkratší. To je ovšem v rozporu s tím, že pokud necháme teplotu formy vyšší, má to pozitivní vliv na snížení zbytkového napětí a lepší kvalitu povrchu. Ekonomická stránka vstřikovacího procesu však upřednostňuje nižší teploty formy během vstřikování. Nevhodné jsou také příliš dlouhé chladicí okruhy či okruhy s malými průřezy, které zvyšují tlaky a tím snižují průtok, což snižuje účinnost chlazení. [24]

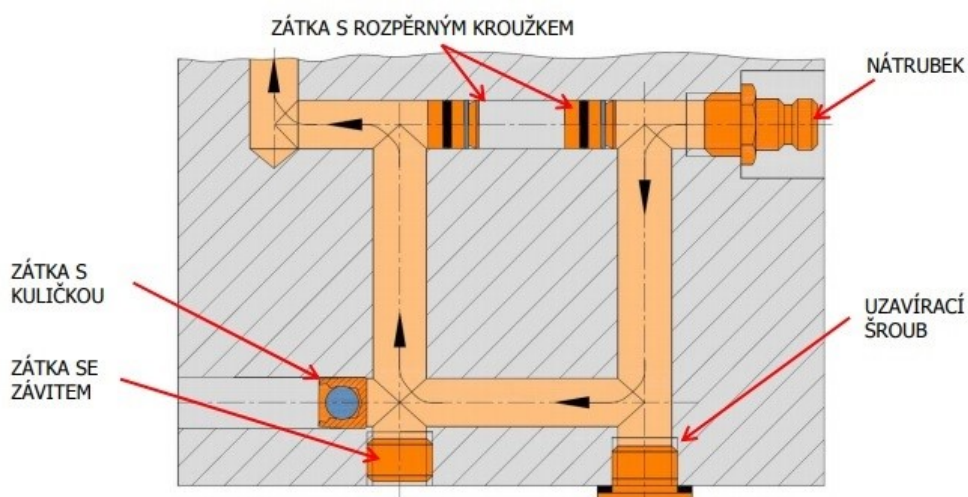
Kromě aktivní temperace, která má dominantní vliv a byla popsána výše, se používají také pasivní prostředky temperace, kde se využívá kombinace tepelně vodivých a izolačních materiálů. Používají se pro špatně dostupná místa s malou plochou odvodu tepla a jsou propojeny s aktivním chlazením. Mezi pasivní izolační prostředky patří i izolační desky. [19]

### 4.2.1 Zásady konstrukce temperačního systému

- V temperačním okruhu by se neměly nacházet mrtvá místa, kde médium neproudí a zvyšuje se riziko zanesení nečistotami, vodním kamenem atd.
- Pokud mají temperační kanály průměr menší než 6 mm, je nutné používat upravenou vodu či odpovídající temperační médium, aby se kanály rychle nezanášely vodním kamenem.
- Použitím většího počtu temperačních kanálů s menším průměrem je zajištěno vyváženější chlazení výstřiku.
- Kanály neumísťovat do blízkosti hran výstřiků, kdy hrozí prasknutí stěny formy a proudění temperačního média do dutiny formy.
- Účinek temperace zintenzivnit v oblasti vtokové vložky a ústí vtoku
- Dráha toku polymerní taveniny by měla vést od nejteplejšího místa ve formě, po místo, které je nejchladnější.
- Navrhovat především kruhové kanály, která jsou méně náročné na výrobu. [17], [25]

#### 4.2.2 Součásti používané v temperačním systému

Pro přívod temperačního média do formy se používají hadice z PVC, pryže, nebo s kovovým opletem. Vstup média do temperačních kanálů z hadic je zajištěn pomocí rychlospojek, nátrubků a přípojek. Upevnění hadice na koncovky je zajištěno pomocí různých spon. Jakmile temperační médium vteče do temperačního okruhu, musí být usměřováno, aby proudilo do všech míst po předem určené dráze kanálem. Průchozí kanály musí být zaslepeny pomocí zásepek nebo uzavíracích šroubů. Dalšími prvky, které napomáhají usměrnit proud v temperačních kanálech jsou například zátky s kuličkou, nebo zátky s rozpěrným kroužkem. Přepážky, fontánky a spirálová jádra slouží k temperaci slepých kanálů. [19]



Obrázek 28: Temperační okruh s vrtanými kanály [19]



Obrázek 29: Temperační normálie: spojovací prostředky, zátky, uzavírací šrouby a spirálová přepážka [19]



### 4.3 Vyhazovací systém

Při navrhování plastového dílu, který má být vyroben vstřikováním je důležité, aby byl navržen s ohledem na to, jak má být z formy vyhozen. Základní úvahy zahrnují linie, kterými prochází dělicí rovina a úkosy, nutné pro odformování součásti. [24]

#### 4.3.1 Mechanické vyhazování

Základní systém je většinou tvořen válcovými vyhazovači, které mají vyústění na vnitřní straně vstřikovaného výrobku. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce, která zároveň může bránit jejich pootočení a opírají se o vyhazovací desku opěrnou. Celý tento systém je připojen k vyhazovacímu zařízení vstřikovacího stroje. Po otevření formy je vyhazovací mechanismus vysunut do určité polohy a tím dojde také k vysunutí výrobku do místa, kde mu už nic nebrání v tom, aby samovolně, pouze působením gravitace vypadl z otevřené vstřikovací formy. Setrvání výrobku na tvárníku před samotným vyhozením je zajištěno vlivem smrštění materiálu. Tento základní systém řadíme do mechanického vyhazování. Stejně tak do mechanického vyhazování řadíme vyhození pomocí stírací desky a vyhození pomocí šikmých vyhazovačů. V případě stírací desky dochází ke stahování vstřikovaného výrobku z tvárníku po celém obvodu. Na výrobku nejsou patrné stopy po vyhození a tento systém je vhodný použít, pokud dosedá výrobek na stírací desku rovnou plochou, nebo jde jen o mírně zakřivenou plochu. Vyhazování pomocí šikmých vyhazovacích kolíků slouží k odformování nepříliš hlubokých vnitřních nebo vnějších zápichů. Vyhazovače pomocí šikmého pohybu uvolní požadovanou část. Na vyhazovačích můžou být připevněny i čelisti, které ve výsledku plní podobnou funkci jako právě vyhazovače se zápichy. [17], [25], [26]

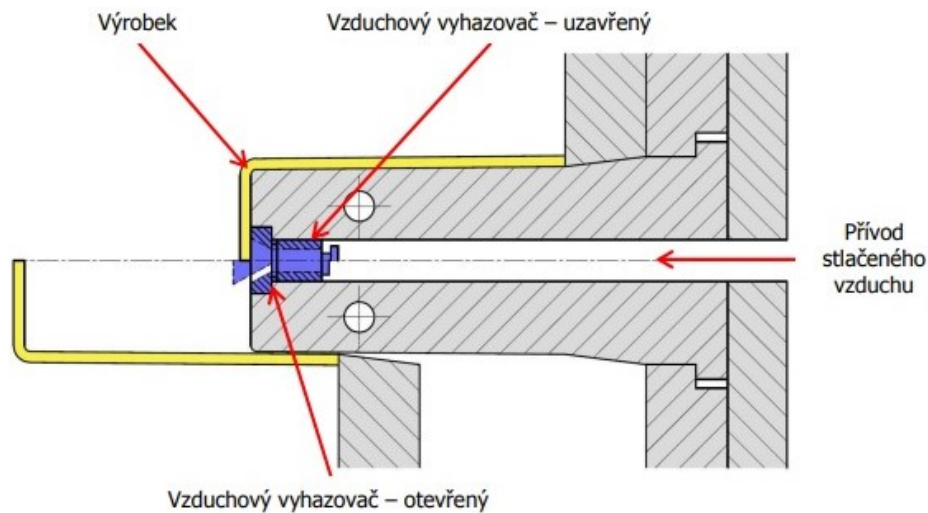


Obrázek 30: Vyhazovací kolíky [27]

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

### 4.3.2 Vzduchové vyhazování

Tento systém se často používá pro vstřikování výrobků, které jsou větších rozměrů, mají tenké stěny a při vyhazování je třeba je zavzdušnit, aby nedocházelo k deformování. I když se tento způsob používá méně často než mechanické vyhazování, pro některé výrobky je jeho použití velmi vhodné. Jedná se například o různé kbelíky a podobné nádoby, kde je použití tohoto systému velmi výhodné. Vyhazování se realizuje tak, že stlačený vzduch se vhání mezi výstřik a tvárník. Tím pádem se může výstřik rovnoměrně oddělit od tvárníku beze stop po vyhazování. [26]



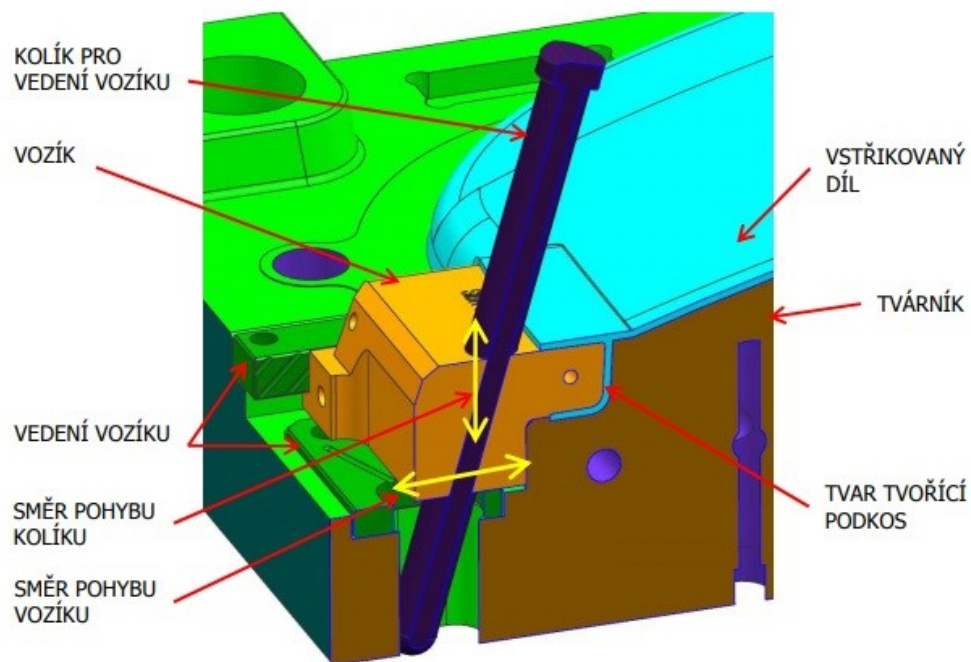
Obrázek 31: Činnost vzduchového vyhazovače [19]

### 4.3.3 Hydraulické vyhazování

Využívají se převážně k ovládní mechanických vyhazovačů, což umožňuje velkou flexibilitu pohybu. Hydraulické systémy zabudované přímo ve formě se prakticky nevyskytují. Používají se však často k ovládní bočních posuvných čelistí, jako jedna z více variant bočního odformování. Systém se jako celek upevní do vstřikovací formy a tam plní funkci, ke které je ve formě určen. [26]

### 4.3.4 Boční posuvné čelisti forem

I když se přímo nepodílí na vyhození výrobku z formy, v mnoha případech plní zčásti velmi podobné funkce, jako třeba šikmé vyhazovače. Oproti šikmým vyhazovačům se používají pro větší výstupky nebo zahloubení. Mohou být ovládní pomocí mechanických, pneumatických, nebo hydraulických systémů. Čelisti, které jsou ovládní mechanicky bývají umístěny většinou na pohyblivé polovině formy a šikmé kolíky na pevné straně. Posuvné čelisti dělíme na vnitřní a vnější s pohybem nejčastěji kolmo k ose formy. [26]



Obrázek 32: Odformování podkosu pomocí boční posuvné čelisti [19]

#### 4.4 Odvzdušnění forem

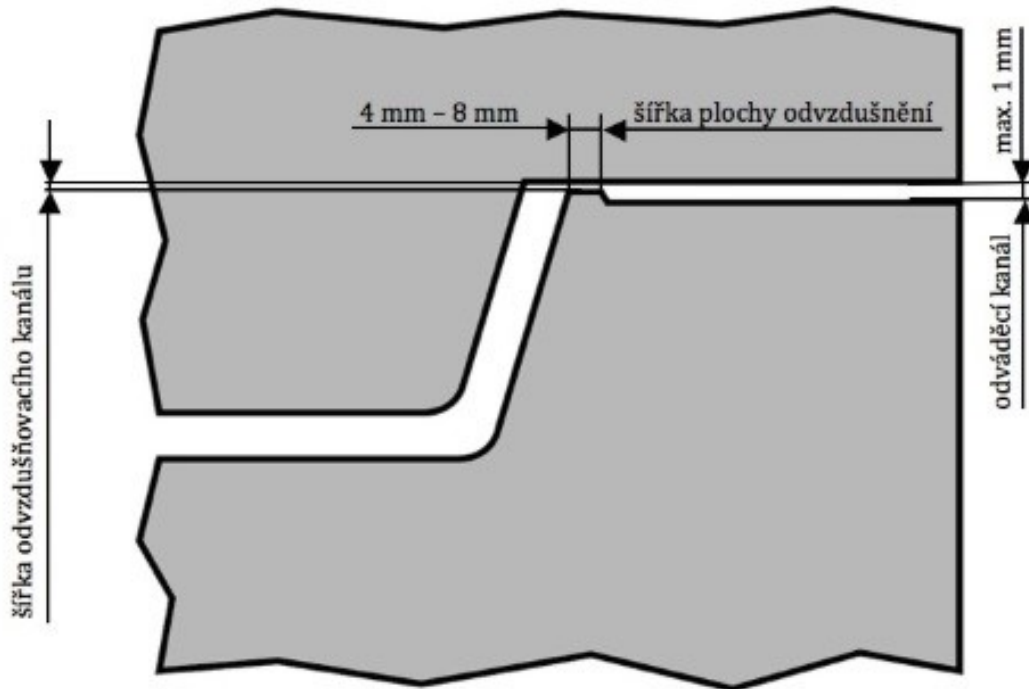
Na začátku vstřikovacího cyklu je dutina vstřikovací formy plná vzduchem. Když vstřikujeme taveninu do formy, tavenina první plní místa, kde je nejnižší odpor proti toku této taveniny. Při plnění je vzduch tlačěn na čele polymerní taveniny dále do útrob dutiny formy, a pokud může vzduch nakonec bez problému uniknout, jsou považována taková plnění za vyhovující. Pokud odvzdušnění není vyhovující, může se uzavíraný vzduch z důvodu velmi rychlého stlačení nadměrně ohřát, až může dojít k jeho expanzi, což má obvykle za následek vznik Dieselova efektu. Na výstřiku se tak vyskytne minimálně vzhledová vada v podobě lesklého místa, kdy ještě nedošlo k Dieselovu efektu, v horším případě spálené místo. Doporučený průměr odvzdušňovacího kanálu se pro většinu polymerů pohybuje v řádu setin milimetru. [6]

Odvzdušnění lze provést těmito způsoby:

- vůlí v hlavní dělicí rovině nebo ve vedlejších dělicích rovinách,
- vůlí mezi pevnými tvarovými částmi formy,
- vůlí mezi pohyblivými částmi formy,
- pomocí odvzdušňovacích kanálů,
- speciálními prostředky vloženými ve formě.

Hlavní zásady pro konstrukci účinného odvodušnění jsou:

- vždy musí být provedeno v místě, kde se uzavírá vzduch,
- velikost kanálů odvodušnění nesmí mít za následek vznik přetoků. [6]



Obrázek 33: Odvodušňovací kanál [17]

#### 4.5 Materiály forem

Správná volba materiálů formy je jednou z hlavních podmínek správné funkce a požadované životnosti formy. Pro konstrukci formy máme celou řadu železných i neželezných materiálů, které můžeme při jejich konstrukci uplatnit. Je třeba také mít na zřeteli, že cena za materiály, použité při konstrukci vstřikovací formy se do celkových výdajů promítne cca z 10 až 15 %.

Základní vlastnosti, kterými by měly oceli na výrobu vstřikovacích forem disponovat jsou:

- z pohledu výrobce forem: obrobiteľnosť, leštiteľnosť, leptateľnosť, svaiteľnosť, vhodnosť pro povlakování, rozměrová stálost, malé objemové změny po zušlechťení,
- z pohledu pozorovatele formy: mechanicko-technologické vlastnosti (povrchová tvrdost, jádrová houževnatost, odolnost při míjivém tlaku), užitné vlastnosti (odolnost vůči opotřebení, odolnost proti korozi, tepelná vodivost). [6]

OZNAČENÍ MATERIÁLU	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI	DOPORUČENÉ POUŽITÍ
1.0577	ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ OCEL dobrá svařitelnost, nekalená	obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti
1.1730	NÁSTROJOVÁ OCEL desková ocel	netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěry
1.2083	PROKALITELNÁ OCEL částečná korozivzdornost, legovaná vhodná k leštění	vložky dutiny forem, tvarové desky
1.2085	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná dobrá obrobiteľnosť, legovaná	korozně odolné díly forem - vložky apod.
1.2162	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná	desky forem
1.2210	ZA STUDENA OBRÁBĚNÁ OCEL odolnost proti optřebení	jádrové kolíky, malé soustružené díly
1.2311	NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená vhodná pro nitridování a leštění	desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly
1.2312	NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená dobrá obrobiteľnosť, legovaná	desky a díly vysoce mechanicky namáhané
1.2316	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná vhodná pro leštění	díly forem pro korozivní polymery
1.2738	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená ocel s rovnoměrnými mech. vlastnostmi	velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky či přístrojové desky
1.7131	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná	vodící elementy a jádra
1.2379	OCEL K PROKALENÍ rozměrová stálost vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení dobrá obrobiteľnosť	desky forem, vložky

Obrázek 34: Přehled používaných materiálů vstřikovacích forem [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

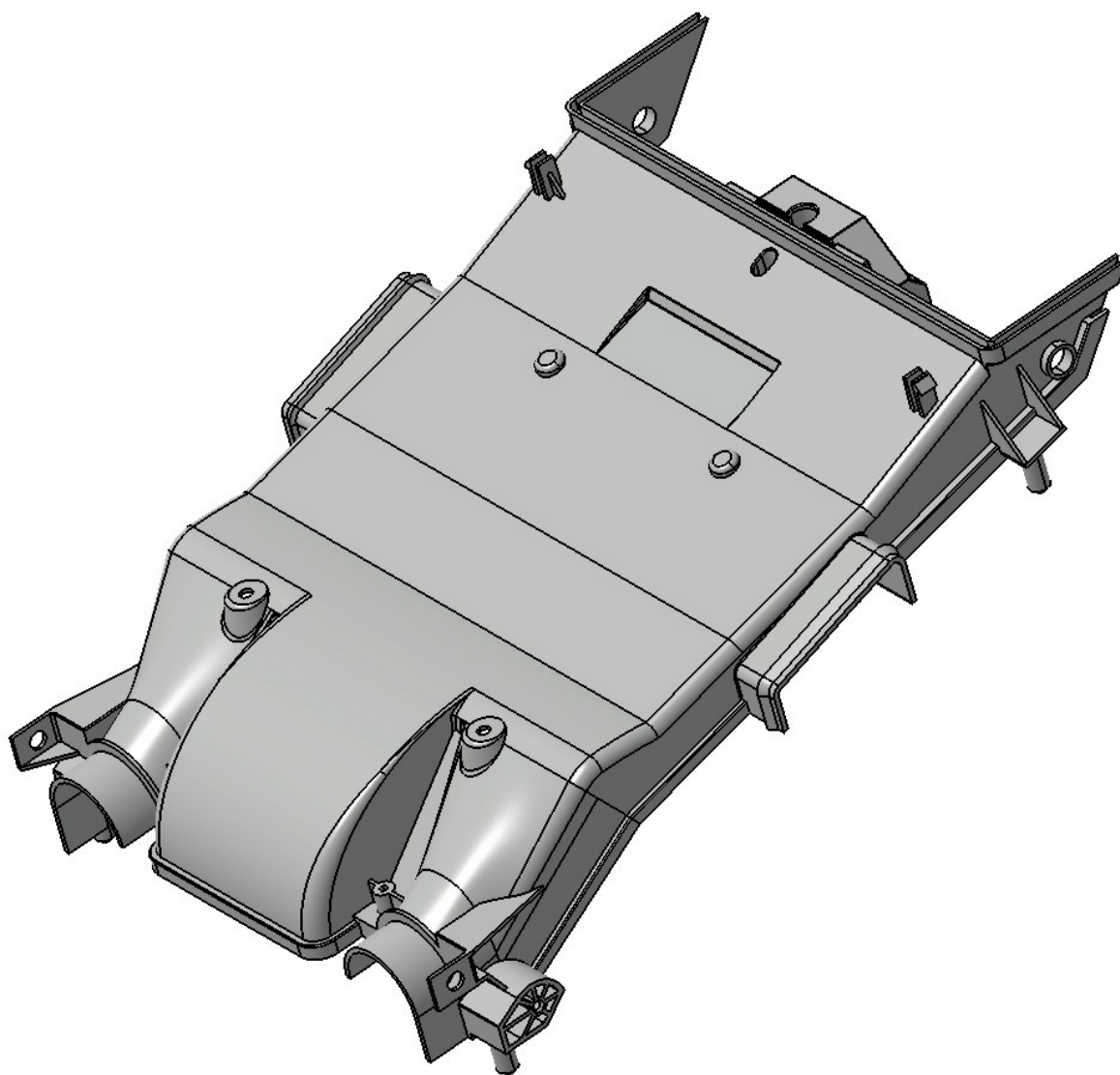
- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Provést konstrukci zadaného plastového dílu.
- Navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- Nakreslit 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
- Ověřit návrh pomocí analýz.

Literární studie, která tvoří první část diplomové práce zahrnuje témata jako polymerní materiály, přibližuje technologii vstřikování, vstřikovací stroj a rozebírá konstrukci vstřikovací formy.

Praktická část diplomové práce obsahuje úkony spojené s návrhem vstřikovací formy. Cílem je vytvořit 3D model výrobku podle zadané předlohy, následně provést samotný návrh vstřikovací formy, vytvoření výkresu sestavy vstřikovací formy a kusovníku a v neposlední řadě ověření celého návrhu pomocí analýzy vstřikování. Pro konstrukci vstřikovací formy je zvolen program CATIA V5R19 a pro analýzy vstřikování program Autodesk Moldflow Synergy 2016. Značná část konstrukce se zakládá na použití a úpravě normovaných dílů od společností HASCO a Meusburger.

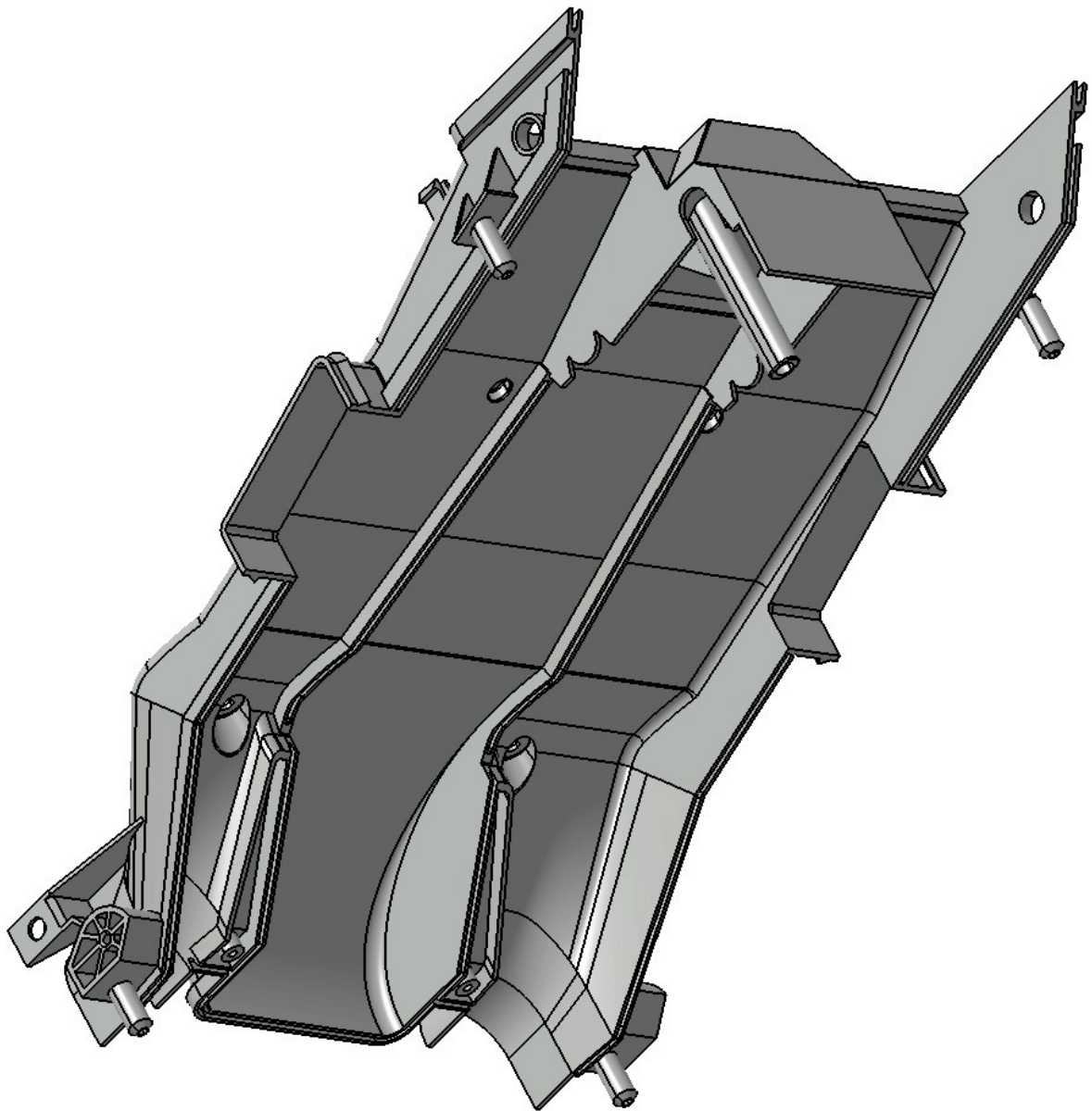
## 6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný výrobek je díl z osobního automobilu. Tento díl slouží jako kryt palivového systému. Výrobek má hlavní rozměry 355 x 275 x 90 mm. Hmotnost výrobku činí 223 g.



Obrázek 35: Model výrobku – lícová strana





Obrázek 36: Model výrobku – rubová strana

## 6.1 Materiál vstříkovaného výrobku

Materiál pro vstříkovaní výrobku je HCPP, jehož obchodní název zní YUHW A POLYPRO CB5230. Jedná se o vysoce krystalický polypropylen. Výrobce tohoto materiálu je společnost YUHW A Korea Petrochemical Ind. Co., Ltd. Materiálový list tohoto polymeru se nachází v příloze. Ve srovnání se základním PP vykazuje tento materiál vyšší tuhost a vynikající chemickou i tepelnou odolnost, což ho předurčuje pro zvolenou aplikaci.

Tabulka 2: Základní vlastnosti materiálu YUHW A POLYPRO CB5230

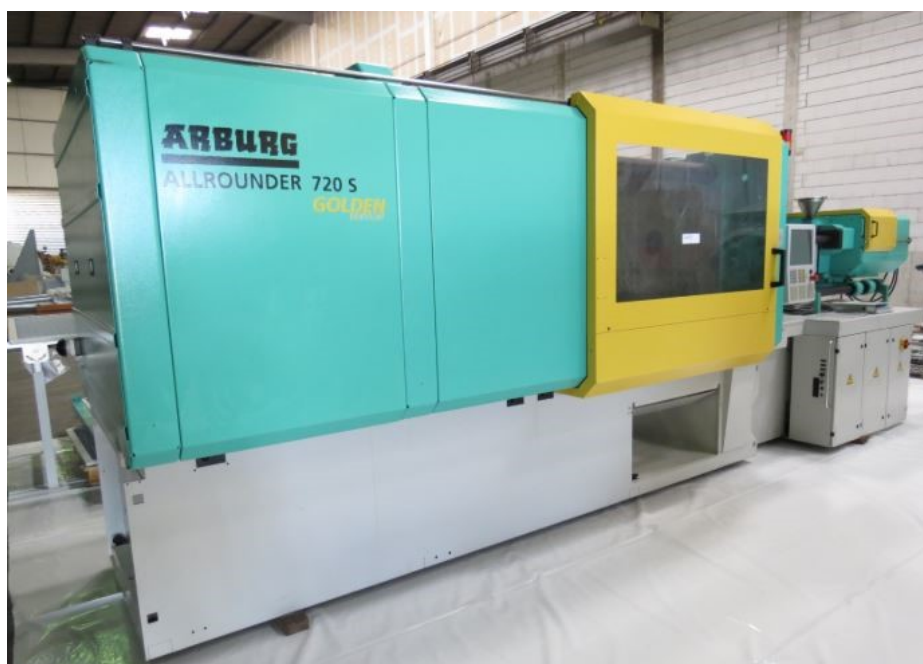
<b>Vlastnost</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
Doporučená teplota formy	40	°C
Doporučený rozsah teploty taveniny	190-260	°C
Doporučená teplota při vyhazování	119	°C
Maximální smykové napětí	0,25	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100000	s <sup>-1</sup>
Hustota	910	kg/m <sup>3</sup>
Index toku taveniny	30	g/10 min
Modul pružnosti v tahu	2860	MPa
Modul pružnosti ve smyku	1036	MPa
Maximální smrštění ve směru toku	1,499	%

## 7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací stroj byl zvolen na základě výsledků předběžné analýzy a současně s ohledem na technické parametry vstřikovací formy. Jedná se hydraulický vstřikovací stroj od výrobce Arburg, typ ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION 3000-1300 (55 mm). Parametry, podle kterých byl vstřikovací stroj volen jsou uvedeny v následující tabulce. Hodnoty uzavírací síly, objemu výstřiku a vstřikovacího tlaku zahrnují i bezpečnostní rezervu. Další parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v příloze.

Tabulka 3: Parametry zvoleného vstřikovacího stroje

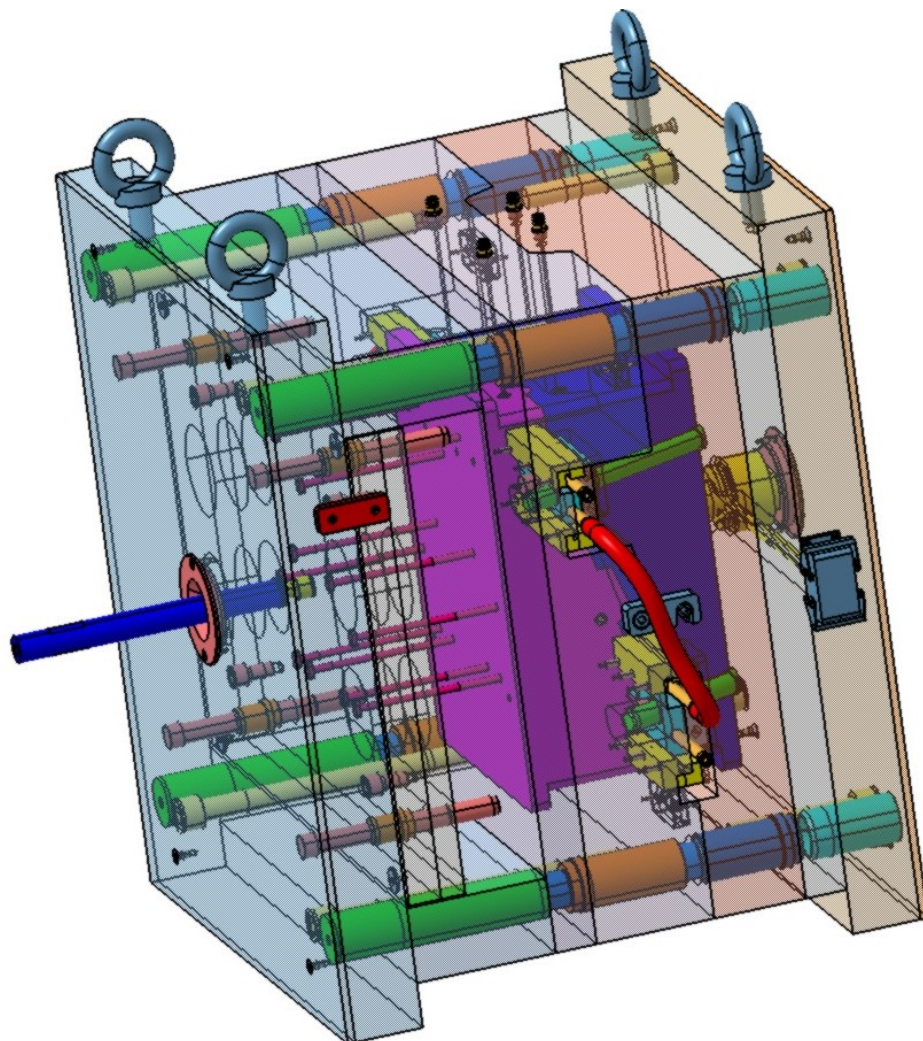
Parametr	Požadované hodnoty	Hodnoty stroje
Vzdálenost mezi vodícími sloupky:	796 x 696 mm	720 x 720 mm
Uzavírací síla:	1100 kN	3000 kN
Celkový objem výstřiku:	312 cm <sup>3</sup>	558 cm <sup>3</sup>
Vstřikovací tlak:	17 MPa	238 MPa
Průměr středícího kroužku:	160 mm	160 mm
Minimální výška formy:	652,2 mm	400 mm
Maximální výška formy:	652,2 mm	850 mm



Obrázek 37: Fotografie zvoleného vstřikovacího stroje [28]

## 8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

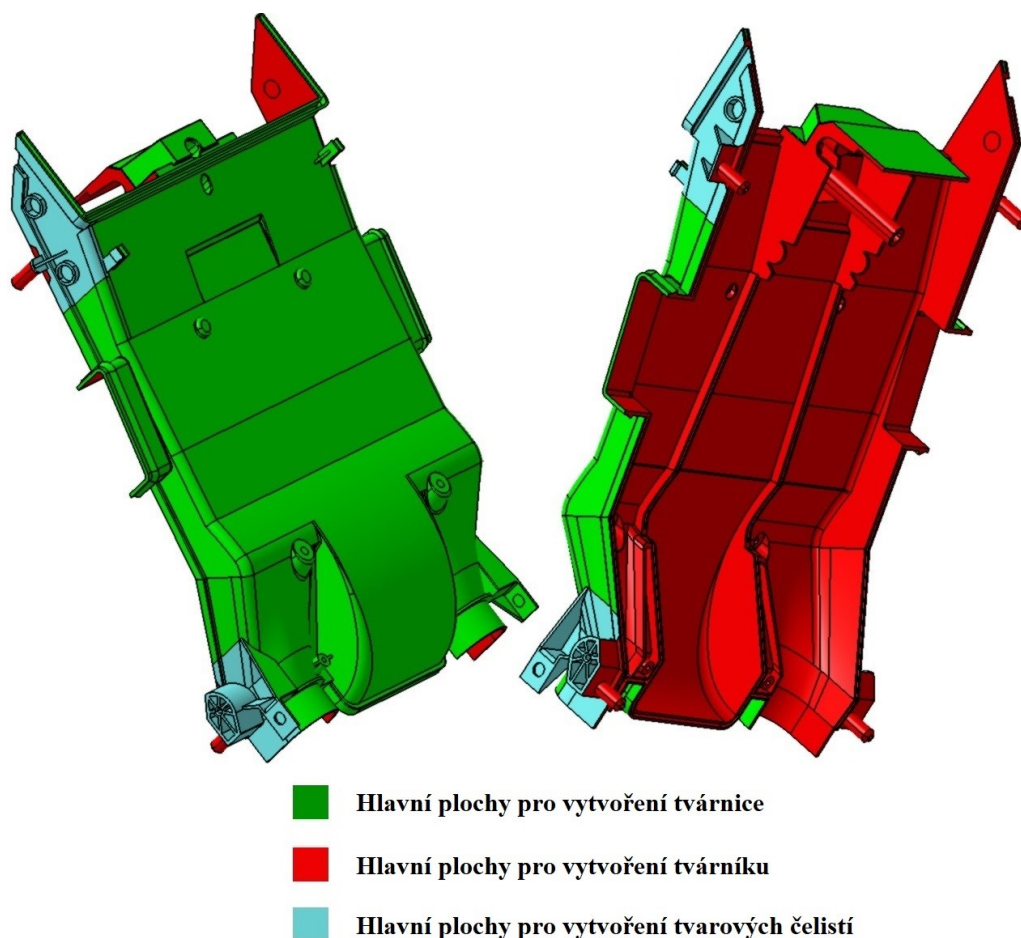
Jedním z nejvýznamnějších bodů zadání diplomové práce je navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy. Vzhledem k značným rozměrům výrobku byla zvolena konstrukce jednonásobné formy. Výrobek nebylo možno odformovat v jedné, hlavní dělicí rovině, ale bylo třeba stanovit i umístění vedlejších dělicích rovin. V programu CATIA V5R19 byly v modulu Core & Cavity Design z modelu součásti vytvořeny, plochy pro oříznutí tvárníku, tvárnice a tvarových čelistí. Nejprve však bylo ještě třeba uvažovat smrštění materiálu během chladnutí a zvětšit tak dutinu formy o tuto hodnotu. Při dalším postupu se osvědčil stavebnicový systém desek formy, nacházející se v modulu Mold Tooling Design. Byly zvoleny normalizované desky od výrobce HASCO. Kromě normálií od tohoto výrobce forma zahrnuje i velké množství komponent od společnosti Meusburger. Použitím normálií se usnadní konstrukce i výroba formy. Nelze opomenout i příznivý vliv použití normálií na koncovou cenu vstřikovací formy. Celková velikost formy je 796 x 696 x 652,2 mm.



Obrázek 38: Celkový pohled na sestavu navržené vstřikovací formy

## 8.1 Způsob zaformování výrobku

Důležitým krokem při konstrukci formy je správné rozhodnutí ohledně umístění a počtu dělicích rovin. Geometrie dělicích rovin by měla být, pokud možno, co nejjednodušší z důvodů výroby a slícování. Násobnost formy, typ vtokového systému, který je požadován jako vyhřívaný a analýzy vhodnosti umístění vtoku rozhodují o umístění tvárníku a tvárnice v kotevních deskách. Z tohoto rozmístění je již možno usuzovat přibližnou velikost formy a polohu vodících a středících prvků.



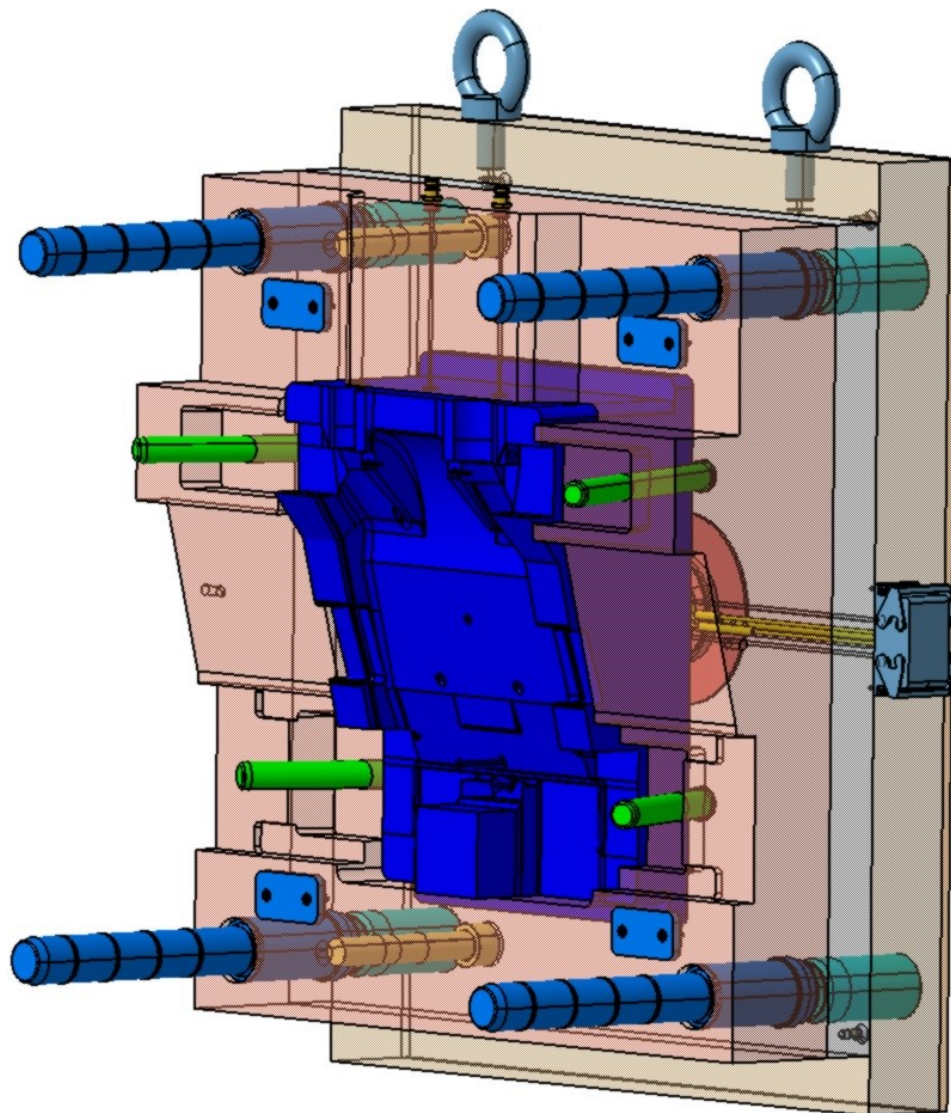
Obrázek 39: Hlavní plochy pro vytvoření tvarových částí vstřikovací formy

Na výše uvedeném obrázku (Obrázek 39), je možno vidět návrh rozčlenění povrchu výrobku na jednotlivé tvarové části, které jsou barevně rozlišeny. Tyto plochy jsou klíčem pro vytvoření dělicích rovin pro vznik tvárníku, tvárnice a čtyř tvarových čelistí, které zajišťují boční odformování. Členitost výrobku vypovídá o tom, že hlavní dělicí rovina nebude jen jednoduchá plocha, ale jedná se o plochu zalomenou v různých místech výrobku. Tato skutečnost se společně s požadavky na umístění tvarových čelistí promítne i ve tvaru kotevní desky tvárníku a tvárnice.

## 8.2 Hlavní podsestavy vstříkovací formy

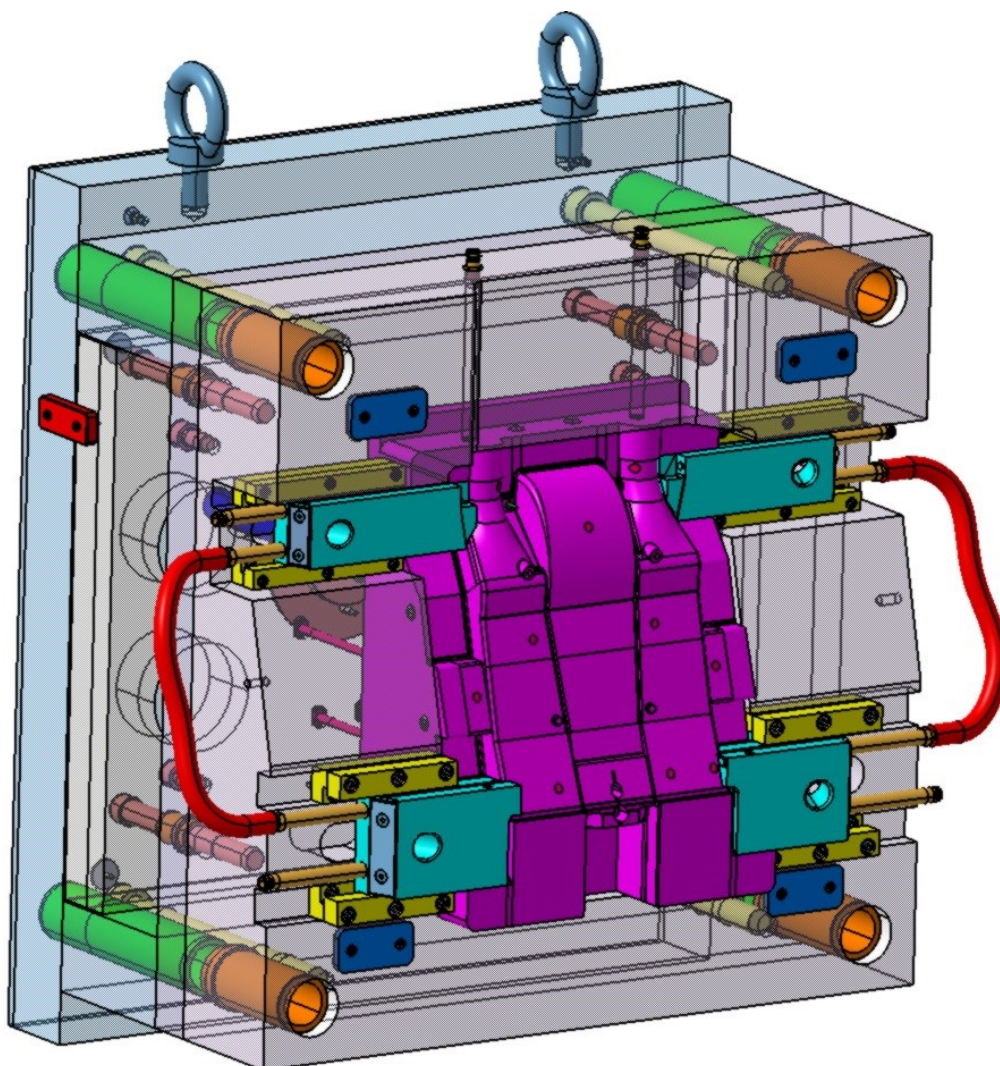
Sestavu vstříkovací formy je možno rozčlenit na pravou část formy (vstříkovací) a levou část formy (pohyblivou), ve které se nachází i vyhazovací systém.

Pravá část vstříkovací formy se skládá ze čtyř desek: Izolační desky, pravé upínací desky, mezidesky a pravé kotevní desky, ve které je uložena tvárnice. Izolační deska brání přenosu tepla mezi formou a vstříkovacím strojem. Upínací deska slouží k upnutí pomocí upínek ke vstříkovacímu stroji. Pevná část vstříkovací formy je vystředěna do přesné polohy ve vstříkovacím stroji pomocí středícího kroužku. V kotevní desce jsou kromě tvárnice umístěny i vodící čepy, šikmé čepy a opěrky dělicí roviny. Jsou zde také vyhloubeny vybrání, která slouží jako závěrné klíny pro posuvné čelisti. V této části vstříkovací formy je rovněž zabudována horká tryska s kabeláží a elektrickou zásuvkou.



Obrázek 40: Pevná strana vstříkovací formy

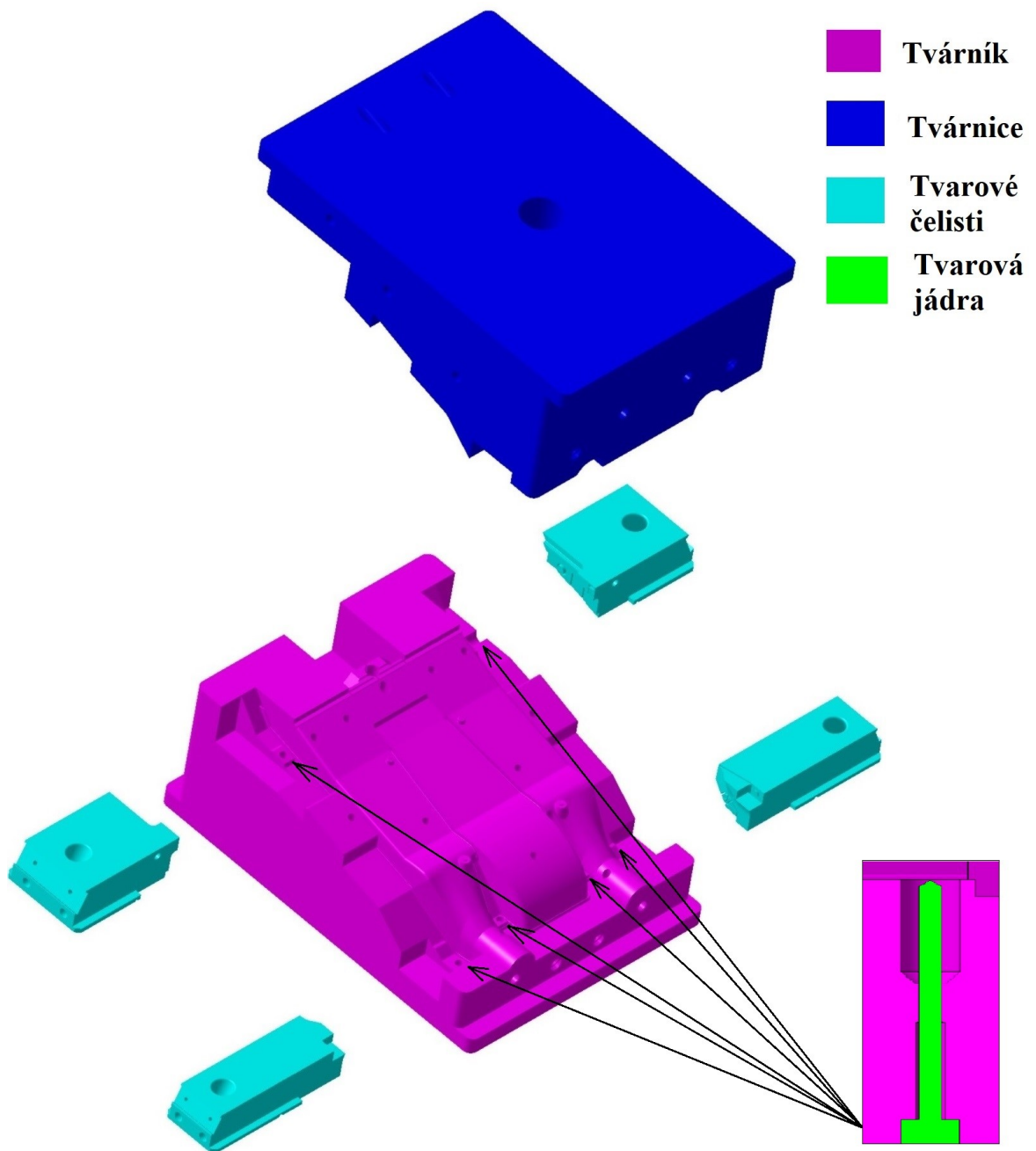
Levá část vstřikovací formy je též tvořena systémem na sebe navazujících normalizovaných desek a ostatních elementů, které jsou nezbytné pro správnou funkci celého zařízení. Kotevní deska tvárníku umožňuje upevnění posuvných vodičích jednotek pro vedení čtyř tvarových čelistí, jejichž otevřená poloha je zajištěna pomocí zařízení umožňujících aretaci posuvného pohybu. K přesnému dosednutí tvarových čelistí v uzavřené poloze slouží přitlačné desky, která jsou k čelistem upevněny šrouby. K dosednutí dělicí roviny slouží opět opěrky dělicí roviny. Kotevní deska tvárníku a opěrná deska jsou navzájem vystředěny pomocí vodičích pouzder, jejichž hlavním účelem je vedení vodičích čepů nacházejících se v pravé části formy. O opěrnou desku se rovněž opírá šest tvarových jader, která nahrazují nejtáhlejší části dutiny formy a při případném poškození umožňují snadnou výměnu. Rozpěrné desky vymezují prostor pro umístění vyhadzovacího paketu a prochází jimi také středící trubky. Dále nemůže chybět ani upínací deska, na kterou těsně přiléhá levá izolační deska a středící kroužek, který vymezuje polohu této části formy vůči vstřikovacímu stroji.



Obrázek 41: Levá strana vstřikovací formy

### 8.3 Tvarové části vstříkovací formy

V souladu s návrhem dělicích rovin byly vytvořeny tvarové části vstříkovací formy. Tvarové části tvoří dohromady negativ vstříkovaného výrobku. Tvarové části jsou tvořeny tvárníkem, tvárnice, čtyřmi tvarovými čelistmi a šesti tvarovými jádry. Poté, co se dutina formy otevře zůstává výrobek na tvárníku, ve kterém jsou otvory pro vyhazovače, které umožní vyhodit výstřik ze vstříkovací formy. Všechny tvarové části jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343 a zpracovány kalením na tvrdost 55 HRC.



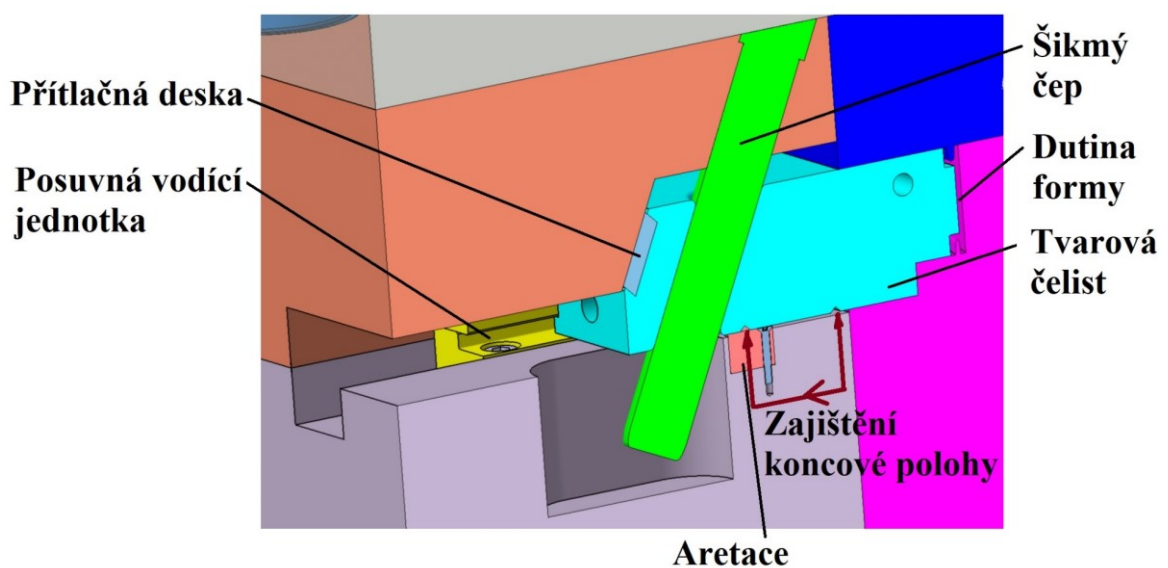
Obrázek 42: Zobrazení tvarových částí



Posuv čelistí je ovládán pomocí šikmých čepů, které se nachází v pravé polovině formy. Existují i další možnosti ovládání tvarových čelistí, jako například použití hydraulických tahačů. Použití šikmých čepů se však jeví jako spolehlivá a cenově přívětivá varianta odformování.

Při konstrukci tohoto systému bylo třeba správně vypočítat potřebnou délku a sklon čepu tak, aby došlo k úplnému odformování částí, jejichž tvar udávají právě čelisti. Delší čep má celkovou délku 255 mm, sklon, pod kterým je uložen činí  $24^\circ$  a při úplném vysunutí čepu z čelisti se tvarová čelist posune o 33,3 mm. Celková délka kratšího čepu je 160 mm, sklon je taktéž  $24^\circ$  a při úplném vysunutí čepu z čelisti se tvarová čelist posune o 37,7 mm.

Poté, co je čelist při otevření formy posunuta po posuvných vodících jednotkách do své koncové polohy, je v této poloze zajištěna pomocí aretace posuvného pohybu. Tato normálie byla vybrána z katalogu společnosti Meusburger (E3046). V části vstřikovacího cyklu, kdy je forma uzavřená a dochází k příslušným dějům v dutině formy, tvarová čelist je opřena přítlačnou deskou o vyhloubený závěrný klín, který se nachází v pravé části formy. Přítlačná deska je připevněna na konce tvarových čelistí pomocí šroubů.



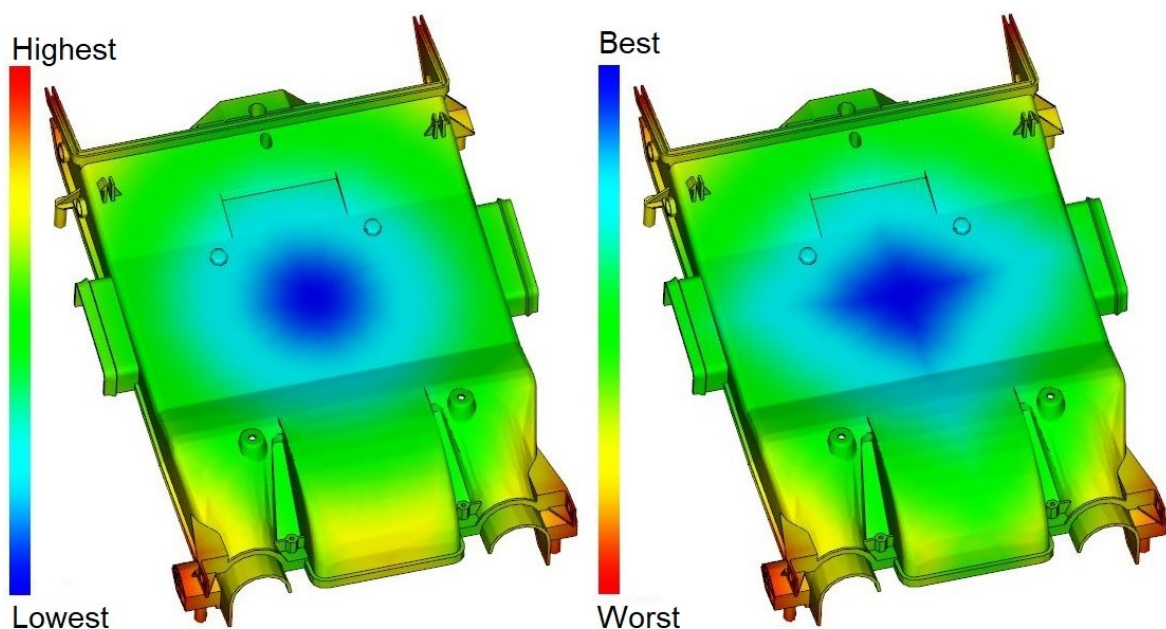
Obrázek 43: Způsob odformování tvarových čelistí

#### 8.4 Návrh vtokového systému

Vtokový systém ve formě slouží k dopravě polymerní taveniny z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny vstřikovací formy. Při návrhu vtokového systému u jednonásobné formy je možno uvažovat z praktického hlediska dvě možnosti konstrukce vtokového systému. Taveninu lze vést buď prostřednictvím studeného vtokového systému, nebo horkého

vtokového systému. Pro daný výrobek byl podle pokynů vedoucího práce zvolen horký vtokový systém. Zakomponovaná vyhřívaná tryska zajistí výrobní proces bez vtokového zbytku, zkrátí čas vstřikovacího cyklu a v neposlední řadě zajistí vyvážený teplotní profil v rámci celého vtokového systému.

Při hledání vhodného umístění vtoku byl brán zřetel jak na konstrukci výrobku, tak na analýzu vhodnosti umístění vtoku, která byla provedena v programu Moldflow. Výsledky, které byly získány provedením analýzy a konstrukční možnosti, které poskytuje tvar a zaformování výrobku jsou v naprosté shodě a lze tedy umístit ústí horké trysky do místa, které analýza vyhodnotila jako nejvhodnější. Toto místo je v analýzách znázorněno tmavě modrou barvou.



Obrázek 44: Analýza indikátoru odporu toku (vlevo) a vhodnosti umístění vtoku

Vyhřívaný vtokový systém byl vybrán z katalogu normálií společnosti Meusburger. Obchodní označení tohoto produktu je: E4000/47x160, E400RG/47/M/3-4. Způsob upevnění trysky v místech k tomu uzpůsobených i požadavek mezery mezi tryskou a deskami formy byl zkonstruován dle pokynů výrobce trysky. V tvárnici je tryska usazena do vybrání, které je negativem špičky trysky, následuje mezera ve tvaru dutého válce, která je vyplněna pouze vzduchem, dále je tryska vystředěna až v pravé upínací desce, kde je zároveň válcovým kolíkem zajištěna proti pootočení, a nakonec je zajištěna pomocí středícího kroužku, který tak zabrání axiálnímu pohybu.

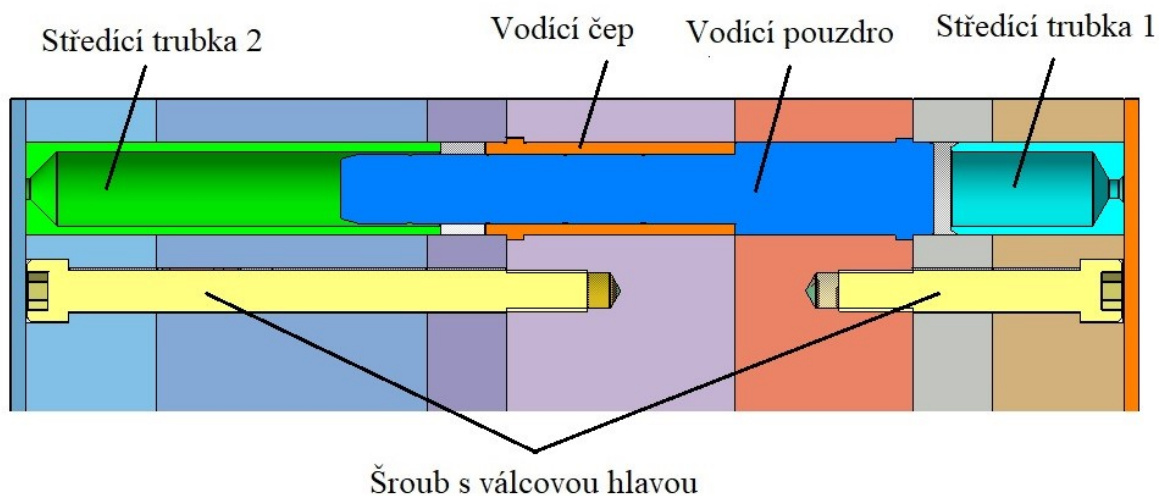


Obrázek 45: Znárodnění vyhříváného vtokového systému

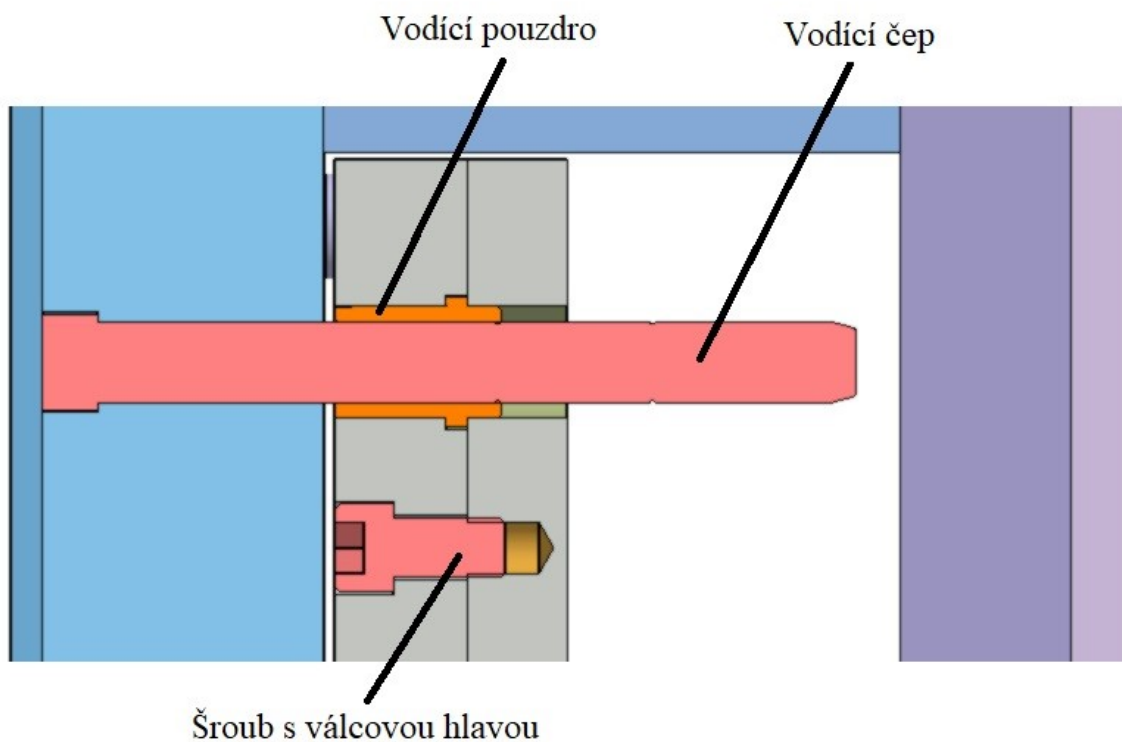
## 8.5 Vodící a středící systém

Hlavní funkcí těchto prvků je vedení pohybu jednotlivých částí vstřikovací formy vůči sobě, a zároveň vystředění všech desek vůči ostatním deskám. Jednotlivé poloviny vstřikovací formy a desky vyhazovacího paketu jsou spojeny pomocí šroubů s válcovou hlavou.

Vodící elementy, které zajišťují vedení polovin vůči sobě byly vybrány z katalogu normalizovaných součástí společnosti Meusburger. Do celkové koncepce formy zapadly lépe než normálie od společnosti HASCO, které naopak zajišťují správné vedení vyhazovacího paketu.



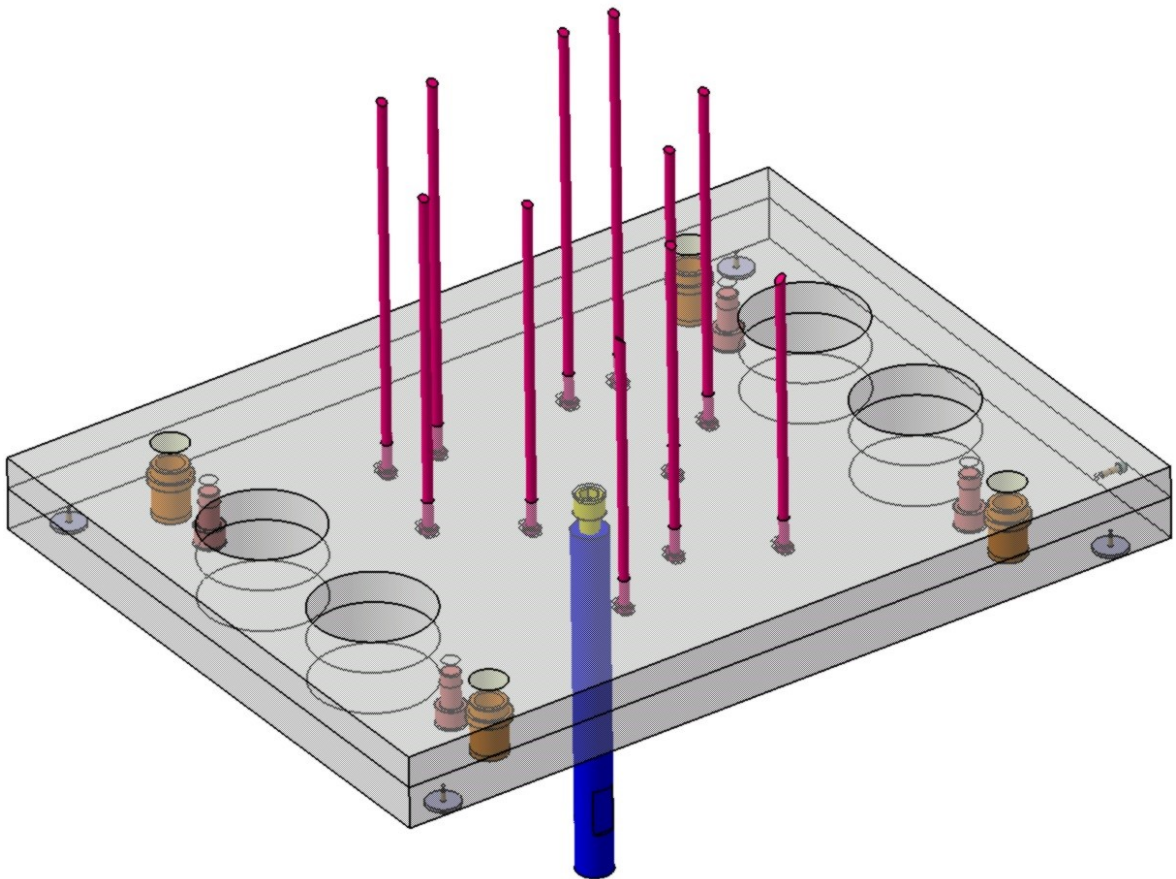
Obrázek 46: Vodící a středící elementy formy



Obrázek 47: Vodící a středící systém vyhadzovacího systému

## 8.6 Vyhození výrobku

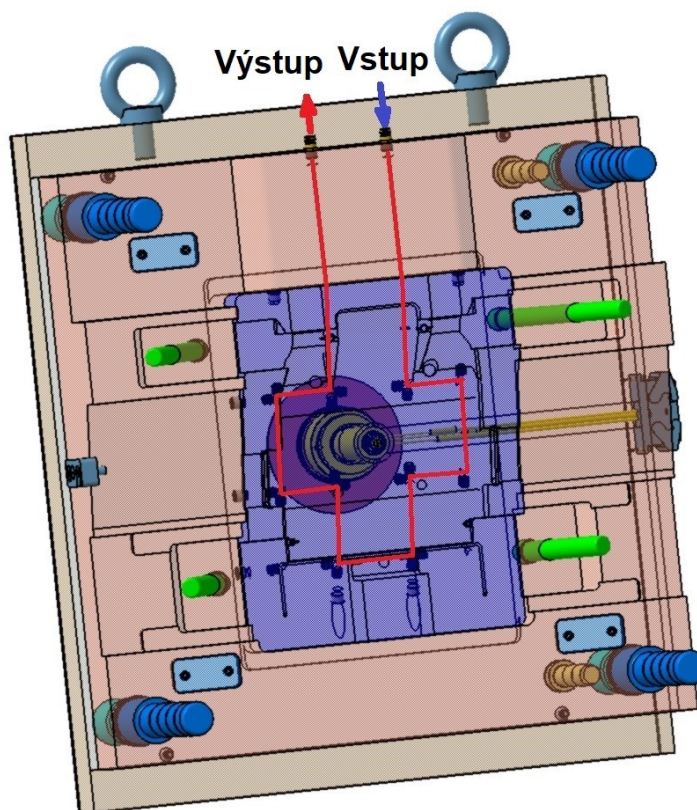
Bezpečné vyhození výrobku z formy zajišťuje vyhadzovací systém. Vyhození výrobku, který zůstane přichycen na tvárníku může nastat poté, co je dostatečně otevřena vstříkovací forma a jsou vysunuty všechny tvarové čelisti. K vyhození výrobku z formy slouží jedenáct válcových vyhadzovačů, které jsou ukotveny ve vyhadzovací kotevní desce a opírají se o opěrnou vyhadzovací desku. Protože jejich ukončení kopíruje tvar výrobku a záleží na tom, aby byly ustaveny stále ve stejné poloze a nemohly se potočit, je jejich ukotvovací část vytvořena do tvaru písmene D. Společně s patřičným otvorem v kotevní vyhadzovací desce tento systém brání pootočení válcového vyhadzovače během činnosti a zároveň není možno při montáži vyhadzovacího systému celý válcový vyhadzovač pootočit o 180° do nepatřičné polohy. Vyhadzovače byly vybrány z normálií od společnosti HASCO a jejich průměr je 8 mm. Jejich lícování je zajištěno především v koncové části před vyústěním do dutiny formy, v dalších komponentech procházejí otvorem o průměru 9 mm, což je žádoucí z hlediska výrobního i finančního. Opěrná vyhadzovací deska je opatřena dosedkami a je k ní pomocí šroubu s válcovou hlavou přichyceno táhlo vyhadzovacího paketu. V deskách vyhadzovacího systému jsou vytvořeny díry pro jejich odlehčení.



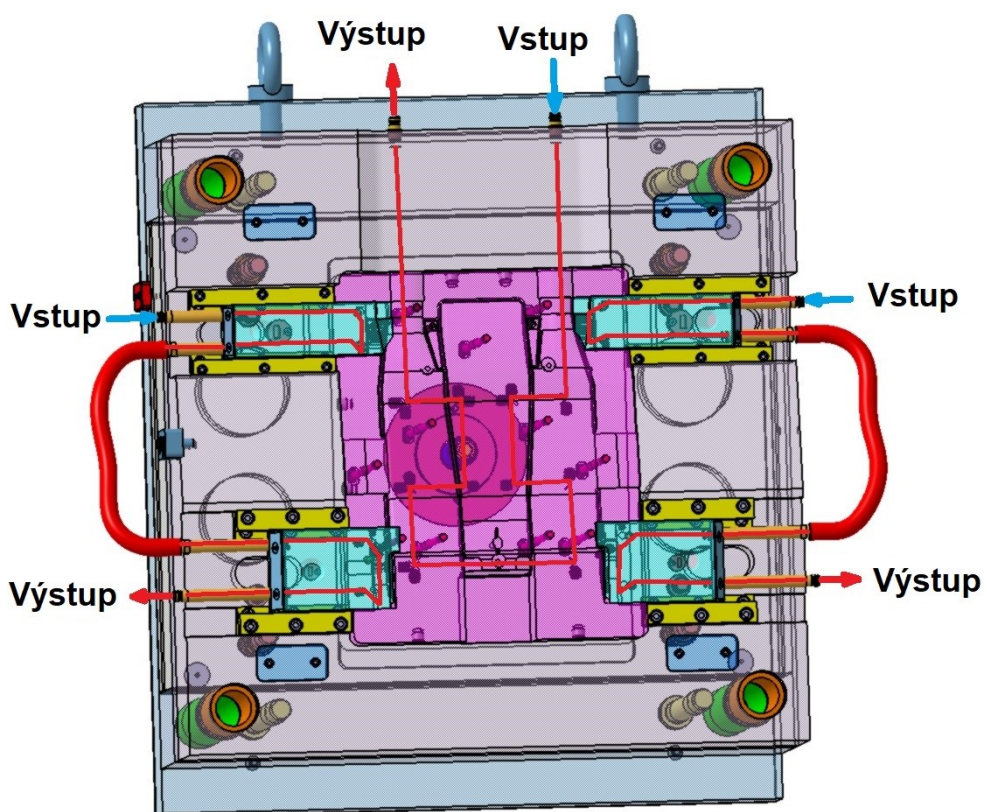
Obrázek 48: Uspořádání vyhazovacího systému

## 8.7 Temperační systém

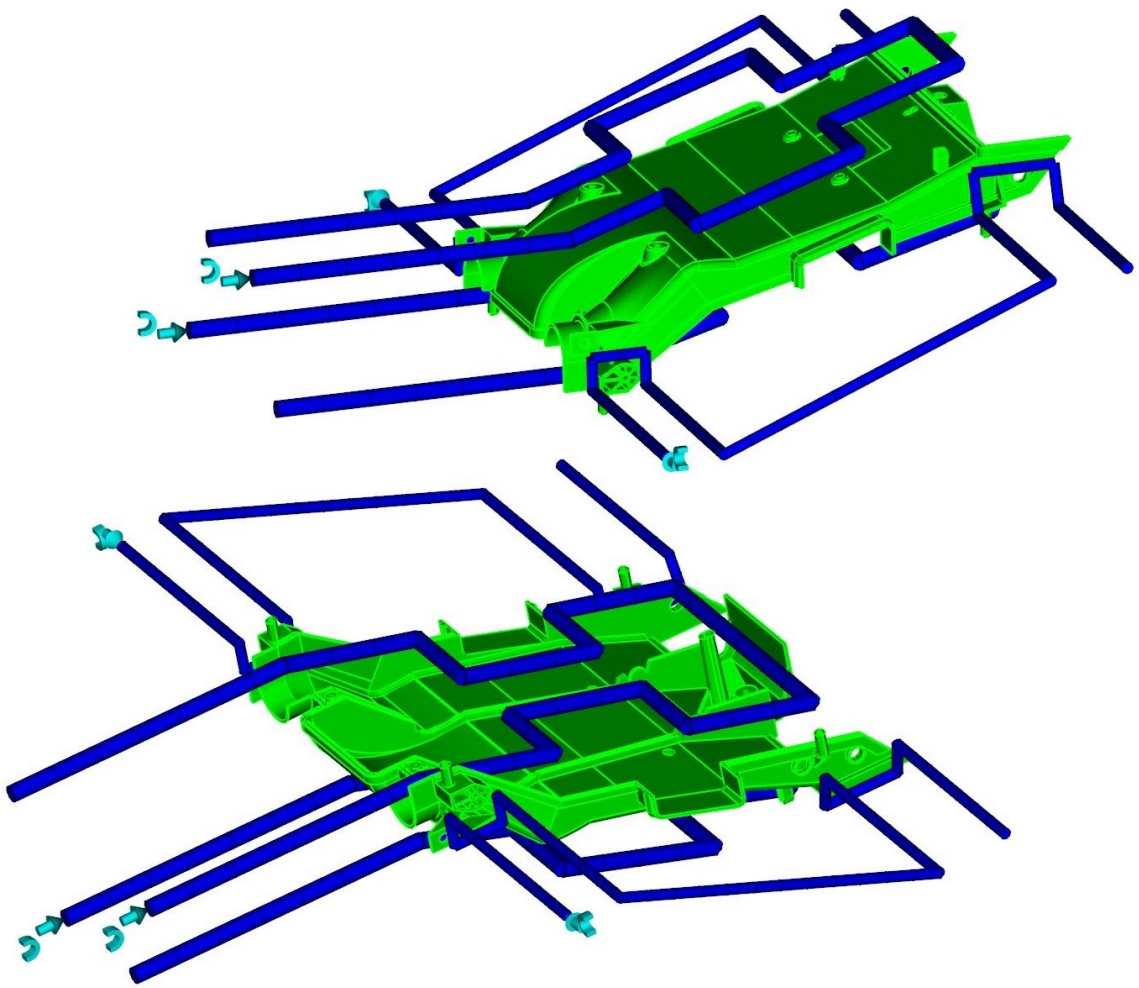
Temperační systém slouží k udržování co možno nejvyváženějšího teplotního pole dutiny formy. Častý a ekonomicky výhodný způsob výroby temperačních okruhů je pomocí vrtaných kanálů. To znamená, že požadovaná dráha temperačního média je vytyčena použitím ucpávek. Pro konstrukci všech okruhů byl využit právě tento způsob. Výhodou tohoto systému je, že v případě potřeby se dají ucpávky přeskládat a průběh temperačních okruhů změnit. Jistou variabilitu ve vytyčení temperační cesty by mohl poskytnout i případ této konkrétní formy. Temperační systém je tvořen čtyřmi okruhy, okruhem pro tvárník, okruhem pro tvárnici a dvěma okruhy pro tvarové čelisti. Výrobek má poměrně tenkou stěnu v porovnání s hlavními rozměry výrobku. Za účelem dosažení dostatečného a zároveň rovnoměrného chlazení byl navržen systém, kdy se mřížka temperačních kanálů pro tvárník a tvárnici jakoby navzájem doplňuje. Temperační kanály pro tvárník a tvárnici mají průměr 12 mm. Tvarové čelisti, které jsou v poměru k tvárníku a tvárnici značně menších rozměrů, neposkytují dostatek prostoru pro kanály tak značného průměru a průměr temperačních kanálů je zde 8 mm.



Obrázek 49: Temperace pevné poloviny formy

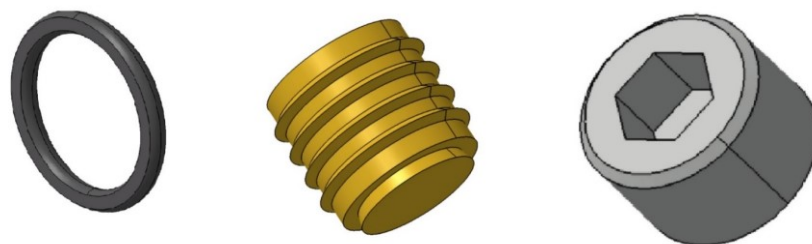


Obrázek 50: Temperace pohyblivé poloviny formy



Obrázek 51: Náhled na průběh teploty v programu Moldflow (lícová strana nahoře, rubová strana dole)

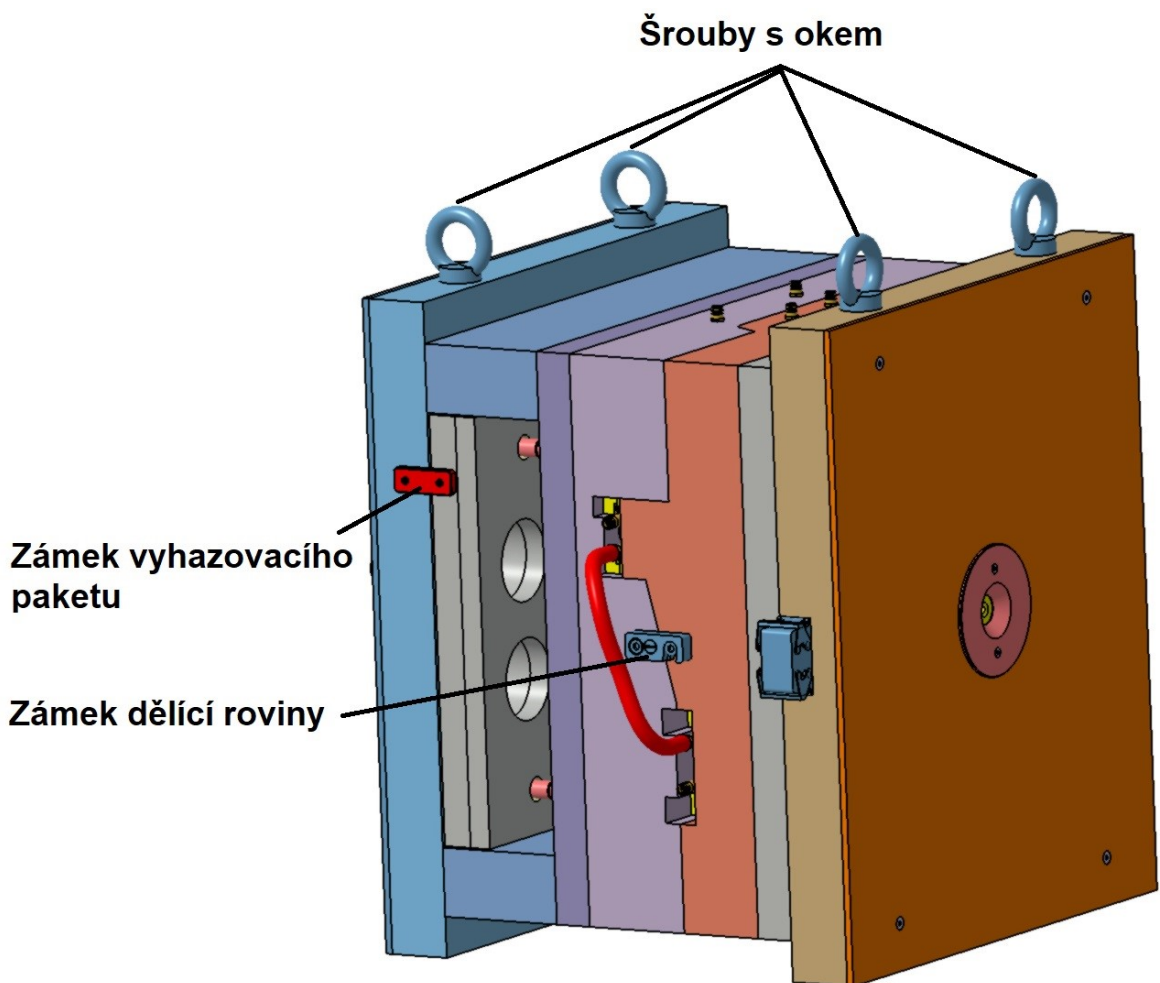
Otvory pro vrtání jsou dále zakryty uzavíracími šrouby. Pro přechody mezi tvarovými a kotevními prvky byly k utěsnění použity O-kroužky. Přípojky jsou vybrány z katalogu společnosti Meusburger a jsou již se zabudovaným těsnícím prostředkem. Pro temperaci tvarových čelistí byly využity přípojky a nátrubky s prodloužením. Použitý O-kroužek, ucpávka a uzavírací šroub je možno vidět na následujícím obrázku (Obrázek 52).



Obrázek 52: Normálie temperačního systému

## 8.8 Ostatní prvky vstříkovací formy

Mezi ostatní prvky vstříkovací formy patří především transportní prvky, jako jsou čtyři šrouby s okem, sloužící pro manipulaci s formou, dále pak zámky dělicí roviny, které zabraňují pootvření formy během její přepravy a manipulace s ní. Dále byl navržen zámek vyhadzovacího paketu, který brání jeho pohybu během přepravy a manipulace a mohl by tak znehodnotit dutinu formy, nebo samotné vyhadzovače. Při uvádění vstříkovací formy do činnosti je potřeba zámky odstranit, nebo odpojit takovým způsobem, aby nebránily provozu formy. Šrouby s okem a zámky dělicí roviny jsou od firmy HASCO.



Obrázek 53: Ostatní prvky vstříkovací formy



## 9 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

Součástí zadání diplomové práce je i ověření návrhu vstřikovací formy pomocí analýz. Tyto analýzy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Kromě analýzy vhodnosti umístění vtoku, která byla uvedena již v předchozí kapitole, byly provedeny i analýzy plnění a dotlaku, analýza temperace a analýza smrštění a deformace.

### 9.1 Tvorba a analýza sítě

Model výrobku byl v programu vysítován pomocí 2,5D sítě (Dual Domain Mesh). Tato síť je tvořena trojúhelníkovými elementy se třemi uzly. Po vysítování výrobku je třeba kvalitu sítě překontrolovat.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           533662
  Connected nodes    266817
  Connectivity regions 2

  Invisible triangles 533662

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
  Surface Area:      2744.85 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         268.105 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    28.86     1.55     1.15

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges      800493
  Non-manifold edges  0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 21
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage      82.6%
  Reciprocal percentage 70.8%

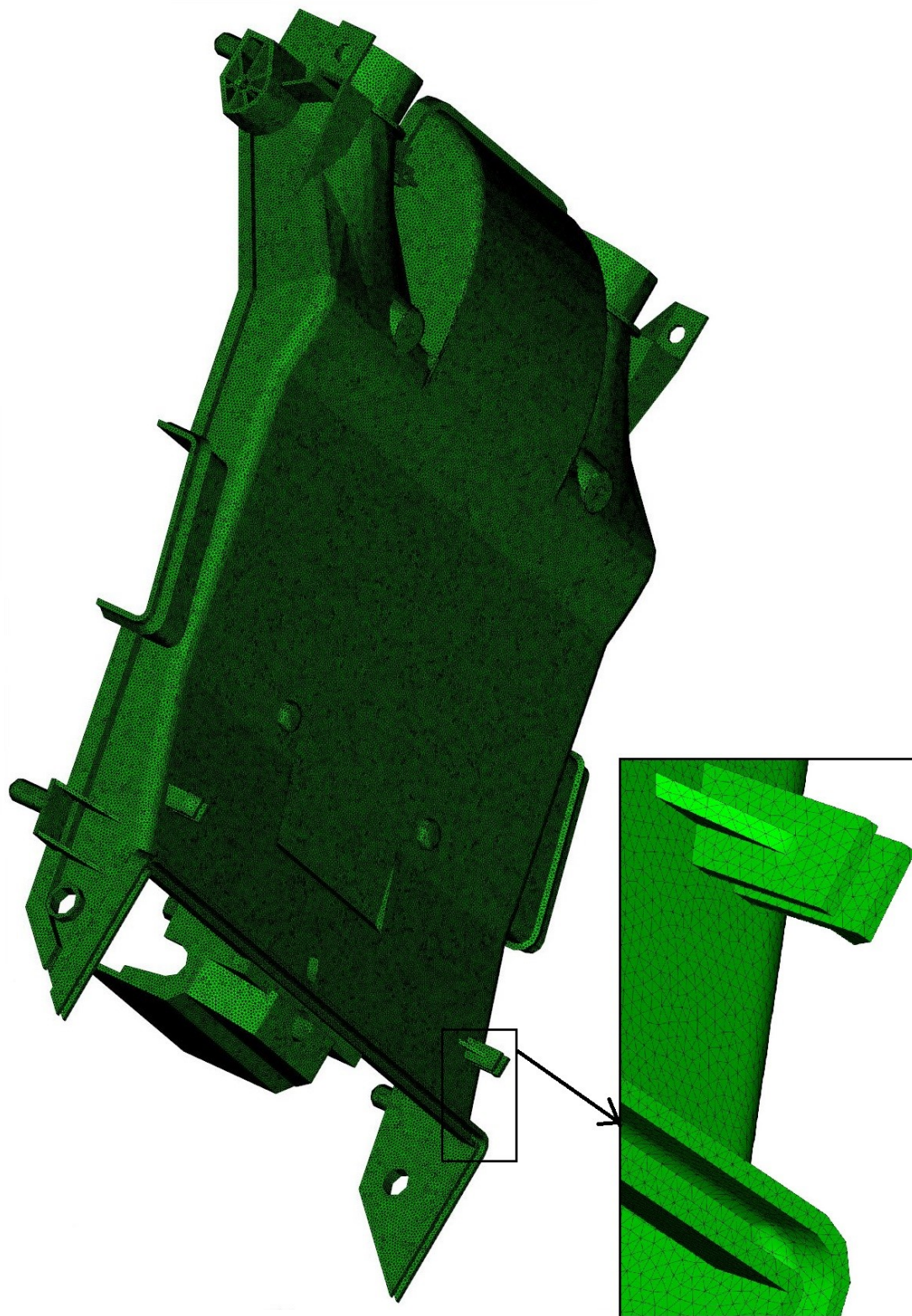
```

Obrázek 54: Statistika sítě modelu výrobku

Důležité parametry:

- Aspect ratio – rovnostrannost trojúhelníků
- Free edges – volné hrany – vždy musí být rovno nule
- Non-manifold edges – počet nepropojených hran – vždy musí být rovno nule

- Elements not oriented – elementy bez orientace – vždy musí být rovno nule
- Fully overlapping elements – překrývající se elementy – vždy musí být rovno nule
- Match percentage – procentuální kvalita sítě



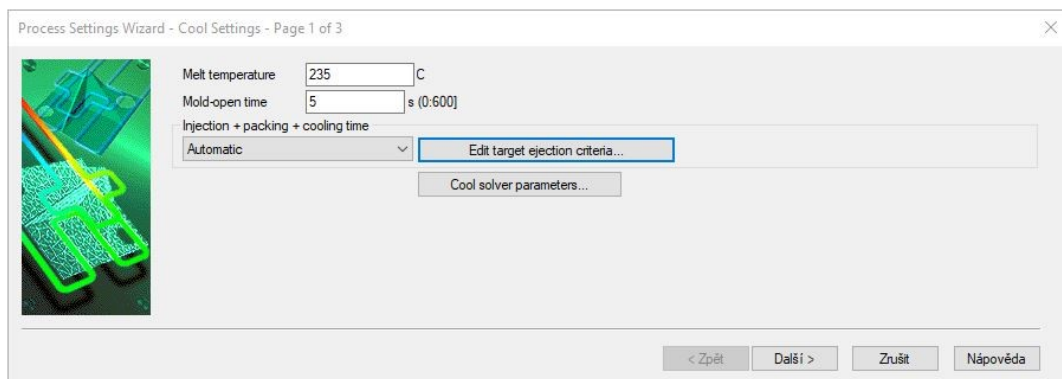
Obrázek 55: Síť vytvořená na modelu a detailní pohled na síť

## 9.2 Nastavení procesních podmínek a temperačních okruhů

Volba procesních parametrů a okrajových podmínek byla nastavena na základě údajů z databáze programu pro daný materiál a na základě výsledků předběžné analýzy. V nastavení se zadávají především parametry jako čas plnění, fáze dotlaku, nastavení teploty taveniny a vyhazovací teploty, výběr vhodného vstřikovacího stroje a nastavení chladících okruhů.

### 9.2.1 Procesní podmínky pro chlazení

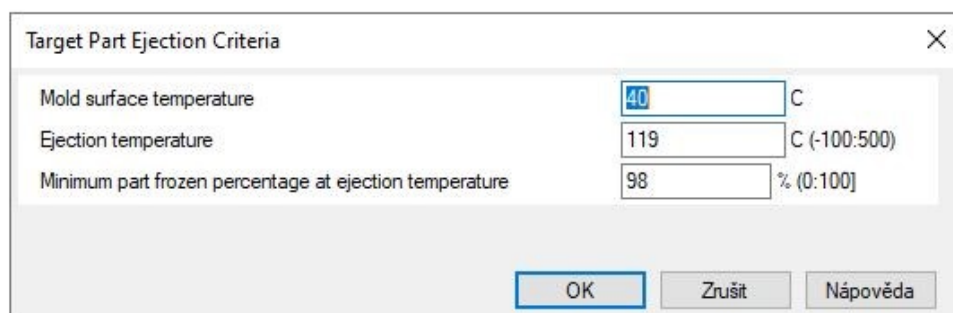
Nejprve jsou nastaveny podmínky pro chlazení – teplota taveniny, která byla nastavena na 235 °C a čas otevřené formy na 5 s. Čas vstřikování, dotlaku a chlazení je ponechán automatické volbě programu.



Obrázek 56: Nastavení procesních podmínek pro chlazení

### 9.2.2 Kritéria pro vyhození

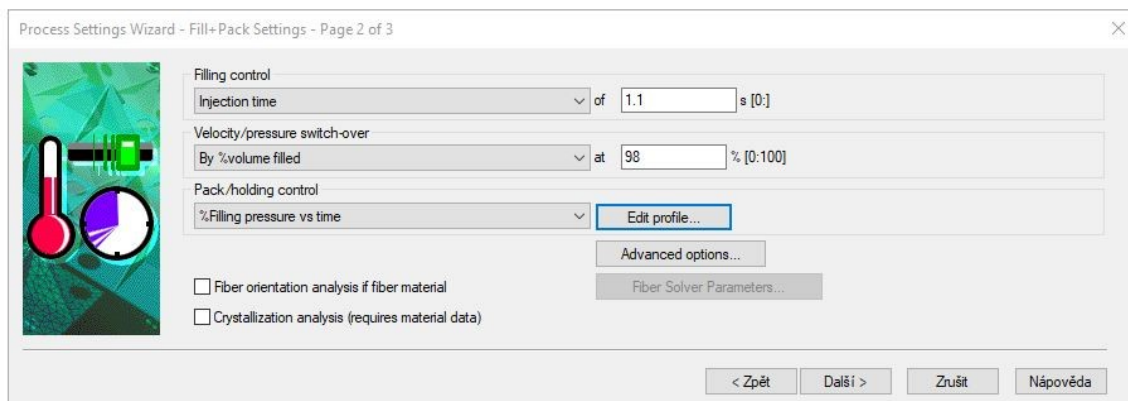
V nastavení podmínek pro vyhazování jde o nastavení teploty povrchu formy, o zvolení teploty vyhazování, která je převzata z doporučených parametrů materiálu a o nastavení procenta zatuhlých vrstev materiálu na vyhazovací teplotu. Bylo zvoleno 98 % ztuhlého materiálu na vyhazovací teplotu.



Obrázek 57: Kritéria vyhazování

### 9.2.3 Plnění a dotlak

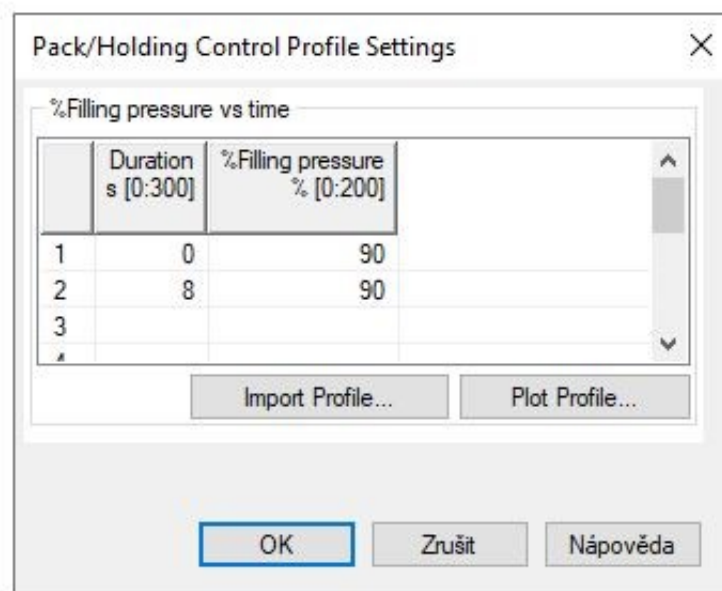
V dalším kroku byla nastavena kontrola plnění dle vstřikovacího času 1,1 s. Bod přepnutí z fáze plnění na dotlak je definován při 98 % objemového zaplnění dutiny formy.



Obrázek 58: Nastavení dotlaku a plnění

### 9.2.4 Nastavení hodnot dotlaku v závislosti na čase

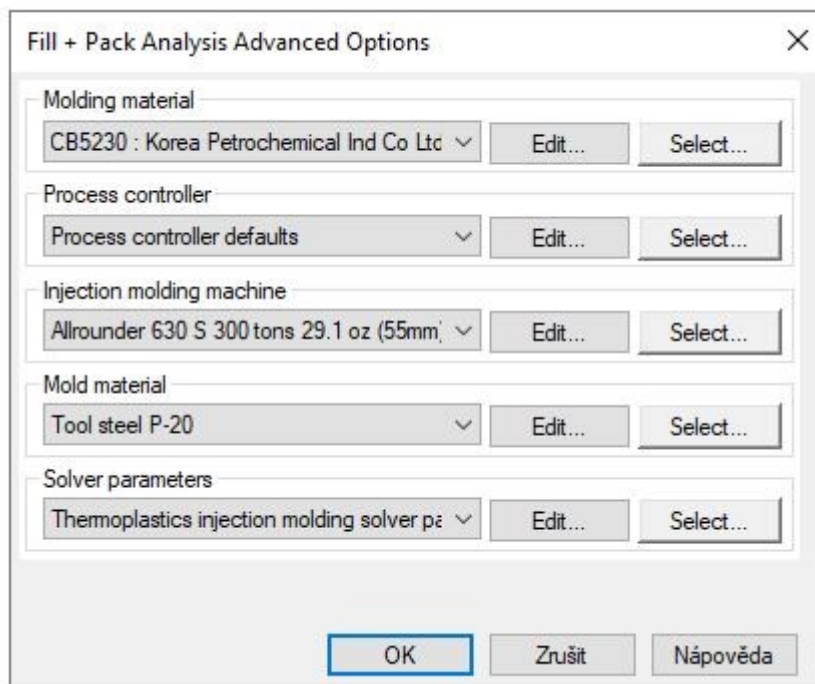
V tabulce byla nastavena kontrola fáze dotlaku podle relativního plnicího tlaku. V čase 0 s na 90 % plnicího tlaku a v čase 8 s rovněž na 90 %.



Obrázek 59: Další nastavení dotlaku

### 9.2.5 Pokročilá nastavení

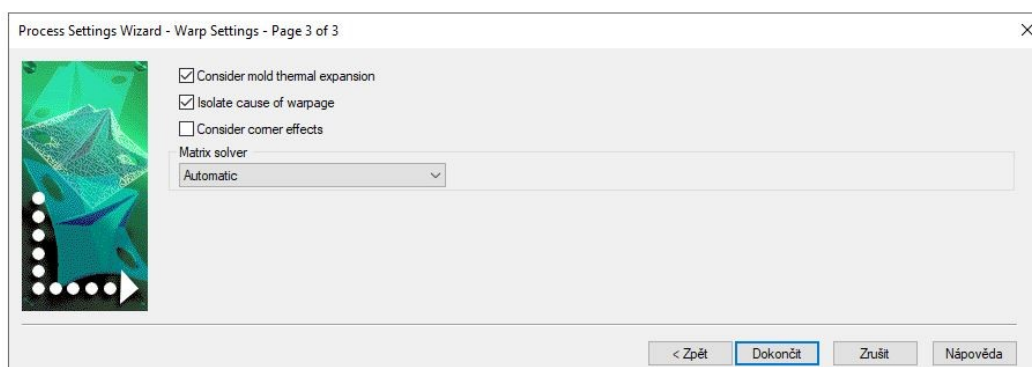
Další nastavení zahrnují volbu vstřikovaného materiálu, výběr vhodného vstřikovacího stroje nebo materiálu vstřikovací formy. Dále zůstávají nespecifikované parametry jako defaultní.



Obrázek 60: Pokročilá nastavení analýzy

### 9.2.6 Nastavení výpočtů smrštění

V nastavení smrštění bylo zvoleno, že bude uvažována teplotní roztažnost formy a také budou izolovány příčiny deformací.



Obrázek 61: Nastavení výpočtů smrštění

### 9.2.7 Chladicí okruhy

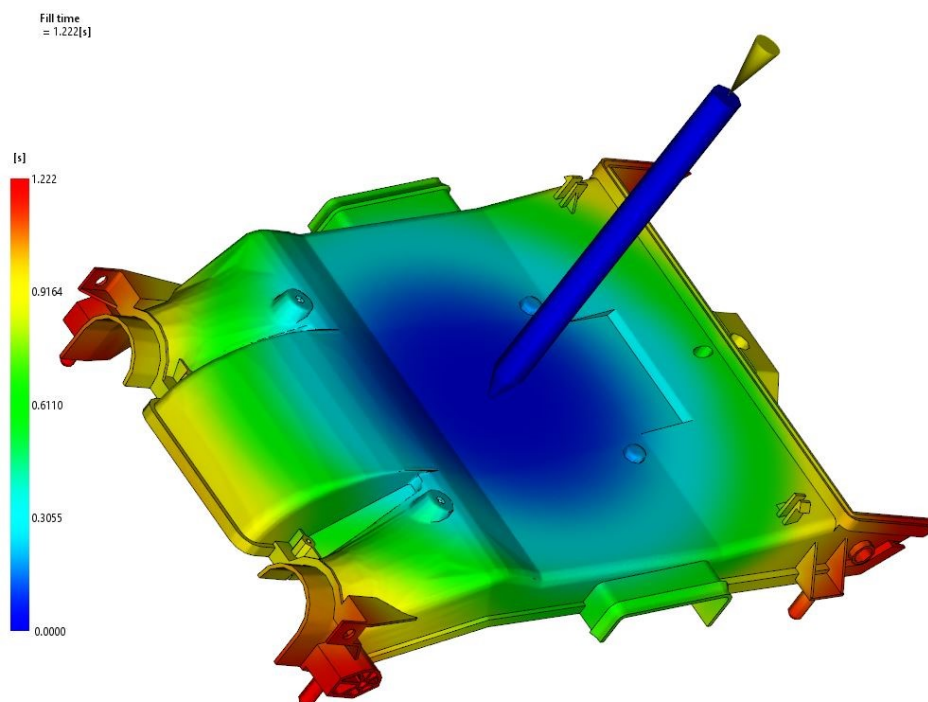
Pro všechny čtyři okruhy temperačního systému byly zvoleny totožné parametry. Byla zadána požadovaná hodnota Reynoldsova čísla na 13000, která zaručeně spadá do oblasti turbulentního proudění, dále teplota temperačního média na vstupu, což je 30 °C. Jako temperační médium byla zvolena voda s etylenglykolem v poměru 50/50. Přítomnost etylenglykolu snižuje usazování vodního kamene i korozi.

## 9.3 Výsledky analýzy plnění a dotlaku

Tato podkapitola uvádí sedm vybraných výsledků z oblasti plnění a dotlaku. Jsou to: Čas plnění, Tlak ve vtokovém ústí, smykové napětí na stěně, frakce zatuhlých vrstev, velikost uzavírací síly, lokace vzduchových kapes a zobrazení studených spojů.

### 9.3.1 Čas plnění (Fill time)

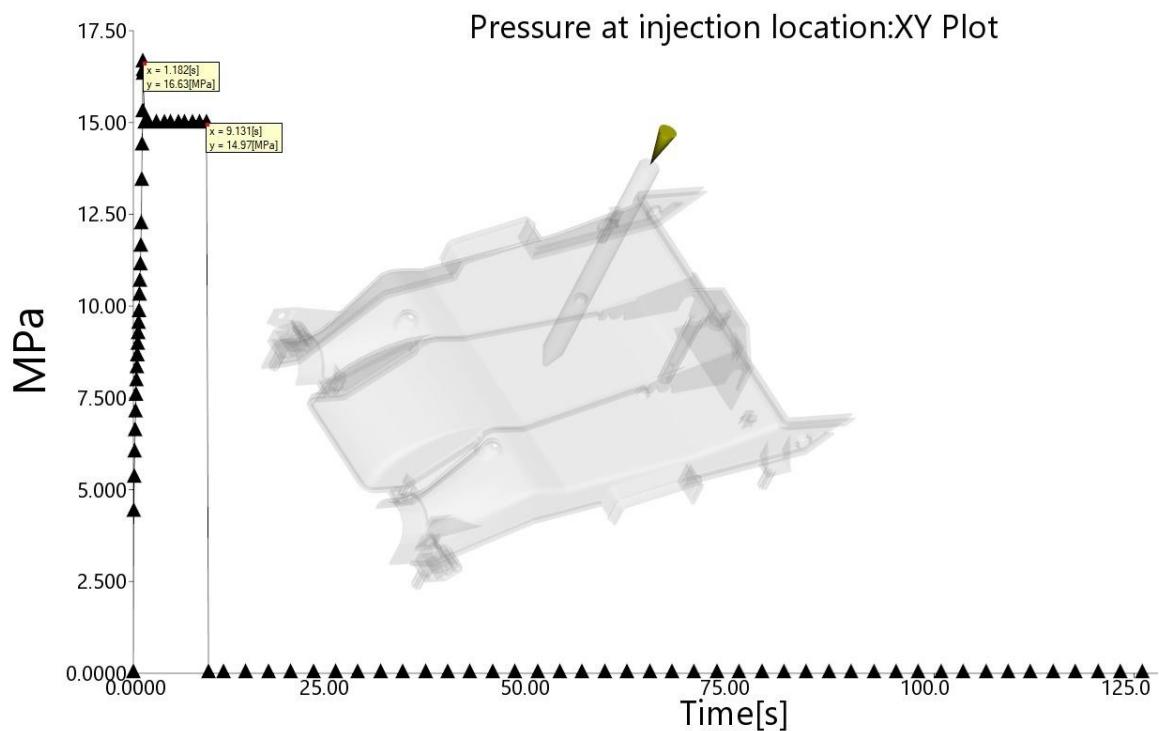
Analýza graficky znázorňuje dobu, která je potřebná pro zaplnění dutiny formy. Dle stavu, kdy je výrobek dotečen je možno usoudit, že samotná analýza byla pravděpodobně dobře nastavena. Výsledkem je především znázorněno, nakolik je plnění dutiny vstříkovaným materiálem vyváženo tzn. že tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku ve stejný čas. Čas plnění analýza vypočetla na 1,222 s. Z analýzy lze také říct, že umístění vtokového ústí bylo vzhledem k rovnoměrnému plnění vhodné.



Obrázek 62: Analýza času plnění

### 9.3.2 Tlak ve vtokovém ústí (Pressure at injection location XY Plot)

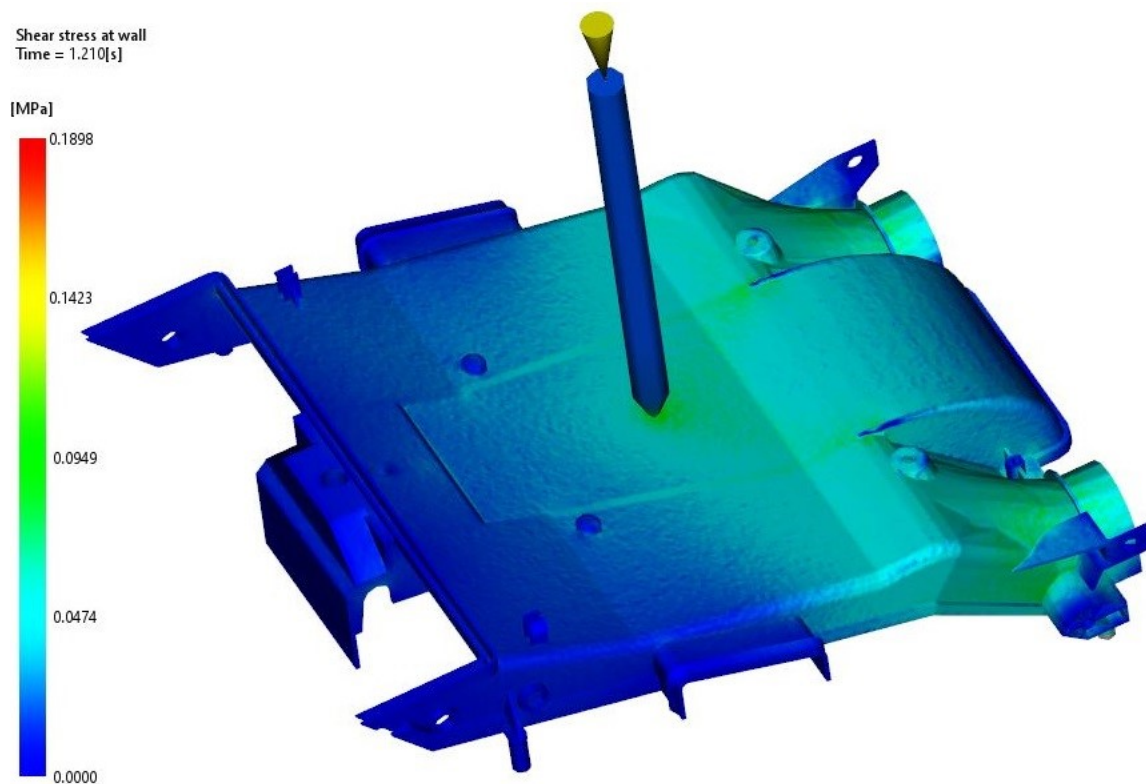
V analýze je znázorněn graf závislosti tlaku ve vtokovém ústí na čase vstřikovacího cyklu. Dle nastavení procesních podmínek po dosažení 98 % zaplnění dutiny formy bylo přepnuto na dotlak, dle analýzy došlo k přepnutí na dotlak v čase 1,222 sekundy, kdy hodnota tlaku činila přibližně 17 MPa. Po ukončení fáze dotlaku, jeho hodnota činila nějakých 15 MPa. Dále tlak klesl na nulu a probíhalo už jen chlazení bez tlakového působení.



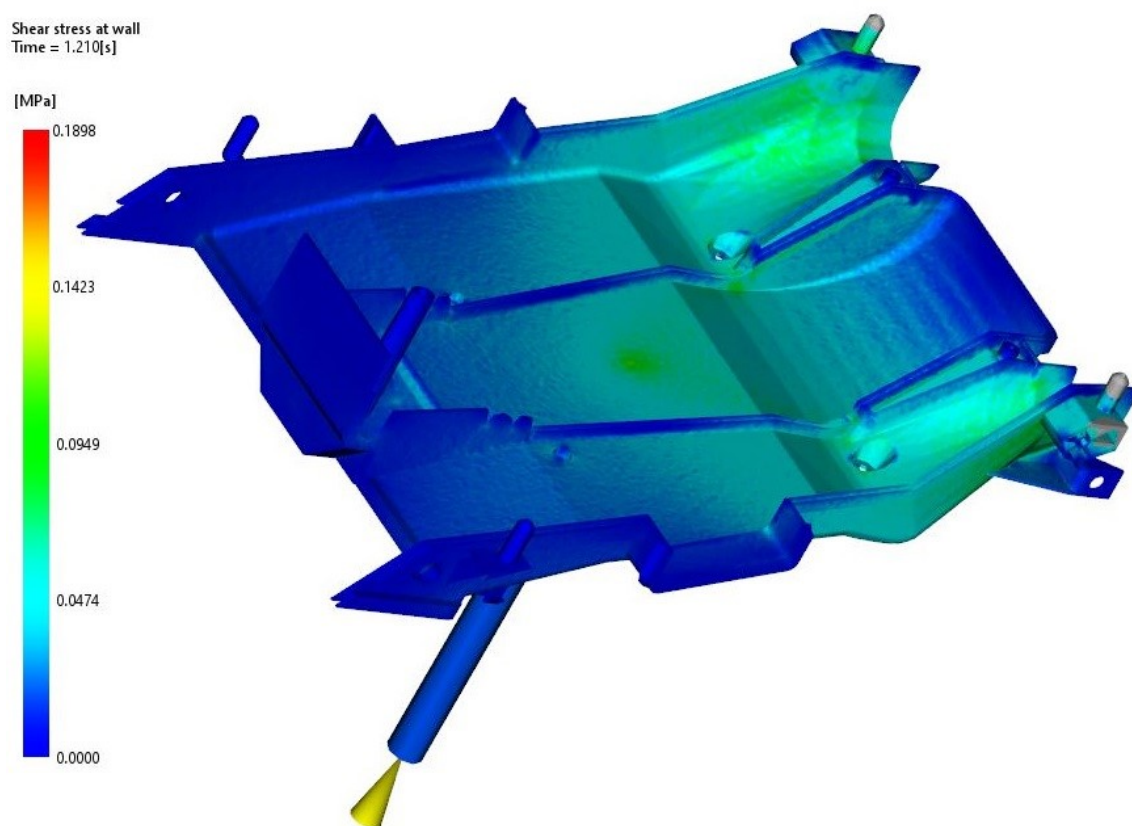
Obrázek 63: Analýza tlaku ve vtokovém ústí

### 9.3.3 Smykové napětí na stěně (shear stress at wall)

Maximální dovolená hodnota smykového napětí na stěně pro daný materiál nebyla překročena. Tato hodnota v materiálové databázi programu Moldflow činí 0,25 MPa. Z analýzy je patrné, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo především v oblasti vtokového ústí. Nejvyšší hodnota smykového napětí na stěně výrobku činí 0,19 MPa. Pokud by byla dovolená hodnota překročena, mohlo by to vést k degradaci materiálu.



Obrázek 64: Analýza smykového napětí na stěně – líc výrobku

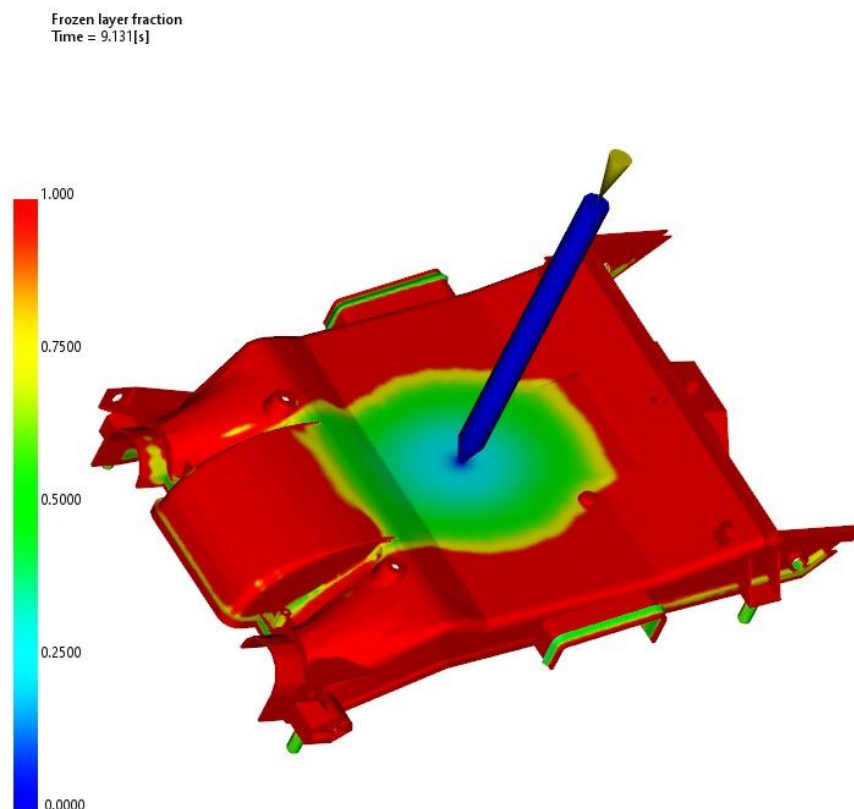


Obrázek 65: Analýza smykového napětí na stěně – rub výrobku



### 9.3.4 Frakce zatuhlých vrstev (Frozen layer fraction)

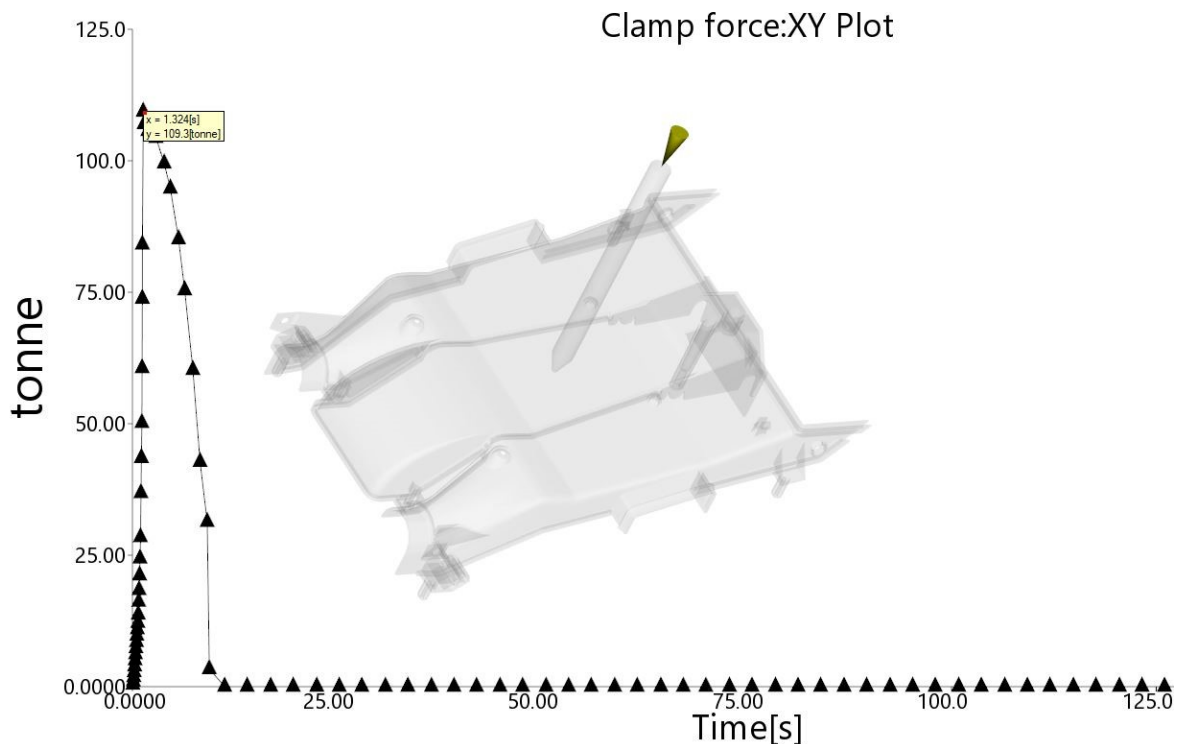
Tento výsledek vyjadřuje zlomek tloušťky zatuhlých vrstev na daném místě výrobku v určitém čase. Zde byl zvolen čas 9,13 s, kdy dochází k ukončení fáze dotlaku. Místa, která jsou označena červenou barvou a nabývají hodnoty 1 znázorňují zcela zatuhnutá místa. Naopak modrá barva, kterou je znázorněna především horká tryska označuje místo, které je celé ve formě taveniny. U použitého horkého vtokového systému je počítáno s použitím uzavíratelné trysky, která se po ukončení fáze dotlaku uzavře.



Obrázek 66: Zobrazení výsledku frakce zatuhlých vrstev

### 9.3.5 Uzavírací síla (Clamp force)

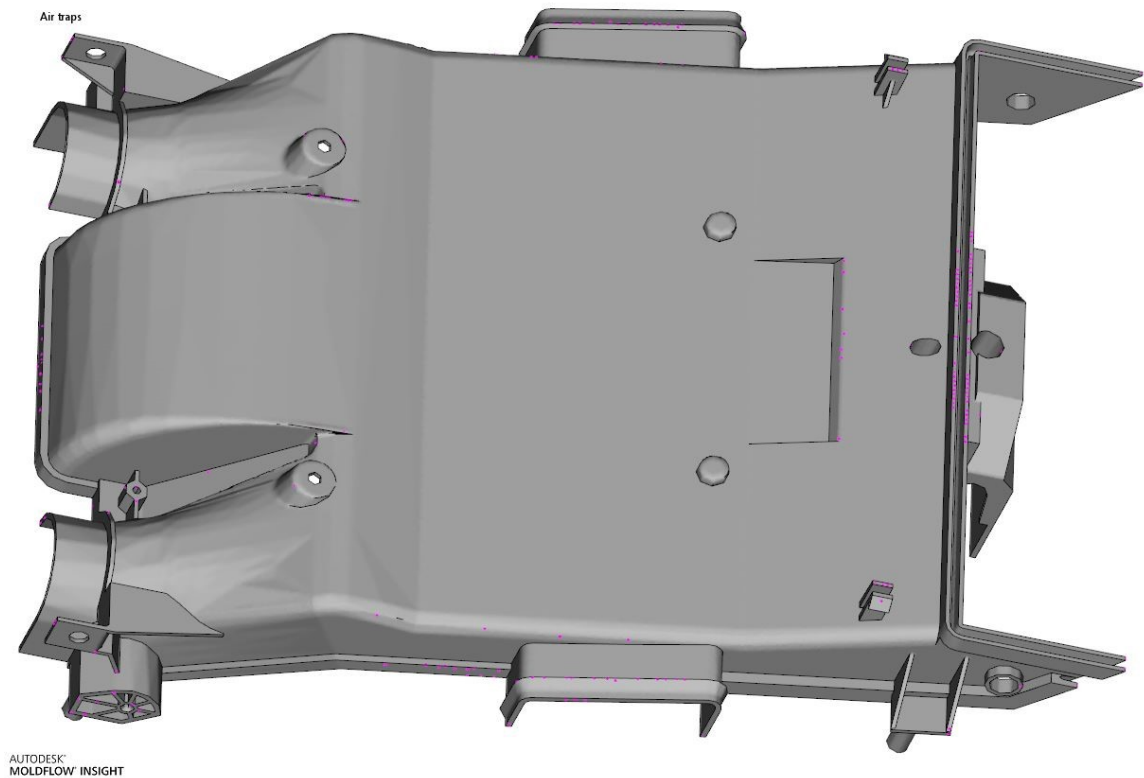
Velikost uzavírací síly je jedním z hlavních parametrů pro volbu vstřikovacího stroje. Nejvyšší hodnoty uzavírací síly je dosaženo na konci fáze plnění. Tato hodnota uzavírací síly v analýze vychází 1100 kN (110 t), přičemž maximální uzavírací síla, kterou je vstřikovací stroj schopen vyvinout činí 3000 kN. Vstřikovací stroj byl volen na základě výsledků z předběžné analýzy. Zvolený vstřikovací stroj vyhovuje, protože dle výsledků analýzy nebude maximální možná uzavírací síla stroje překročena.



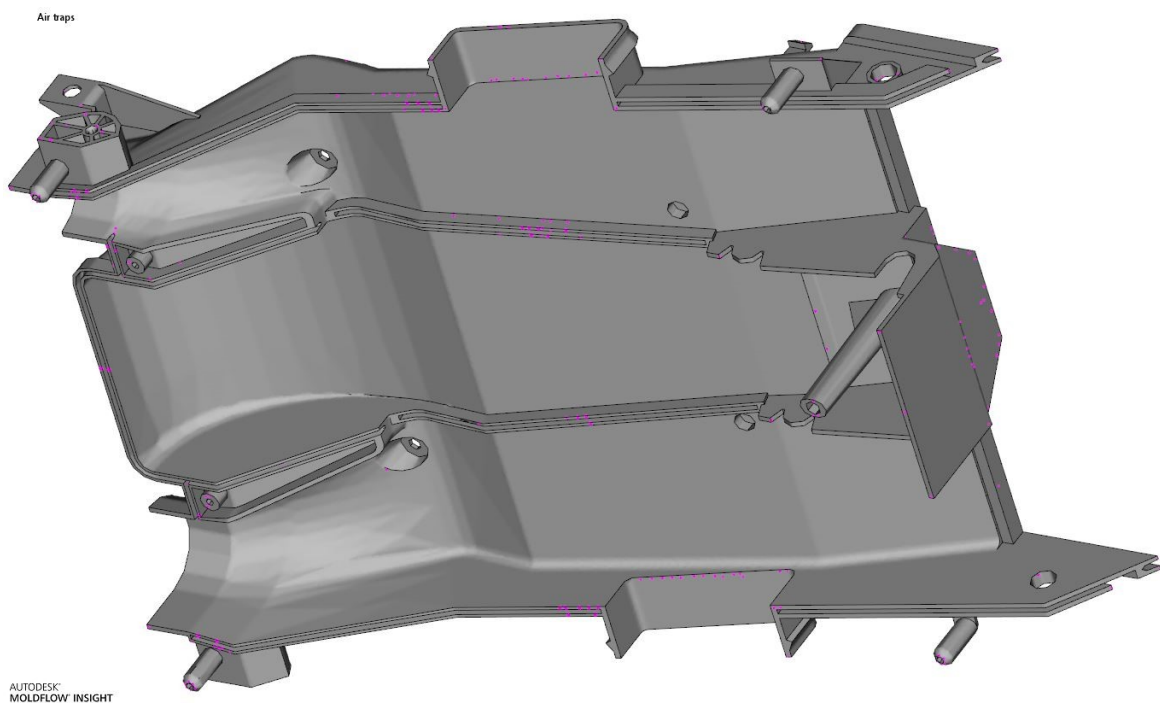
Obrázek 67: Průběh uzavírací síly

### 9.3.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Výsledkem této analýzy je predikce míst s největší pravděpodobností výskytu vzduchových kapes, ve kterých se uzavírá vzduch. Může nastat tzv. „dieselův“ efekt, kdy vzduch dále nemá kde unikát a začne se vlivem jeho stlačování zvyšovat jeho teplota, která může nabývat až takových hodnot, kdy dochází ke spálení materiálu v daném místě. V těchto kritických místech se zavádí odvzdušňovací kanály. Částečného zabránění vzniku vzduchových kapes je možno dosáhnout snížením vstřikovacího tlaku, protože materiál poteče pomaleji a vzduch bude mít více času pro únik dělicí rovinou nebo v místech vyústění vyhazovačů. Zmenšení vstřikovacího tlaku ale zvyšuje čas vstřikovacího cyklu a neekonomicky se projevuje do počtu vyrobených kusů. Proto je třeba nalézt kompromis mezi počtem odvzdušňovacích kanálů a časem vstřikovacího cyklu. Převážnou část vzduchových kapes lze zanedbat, protože se většinou objeví v místě dělicí roviny. Právě dělicí rovina slouží často jako hlavní odvzdušňovací kanál a stlačený vzduch unikne netěsnostmi v dělicí rovině pryč z dutiny vstřikovací formy.



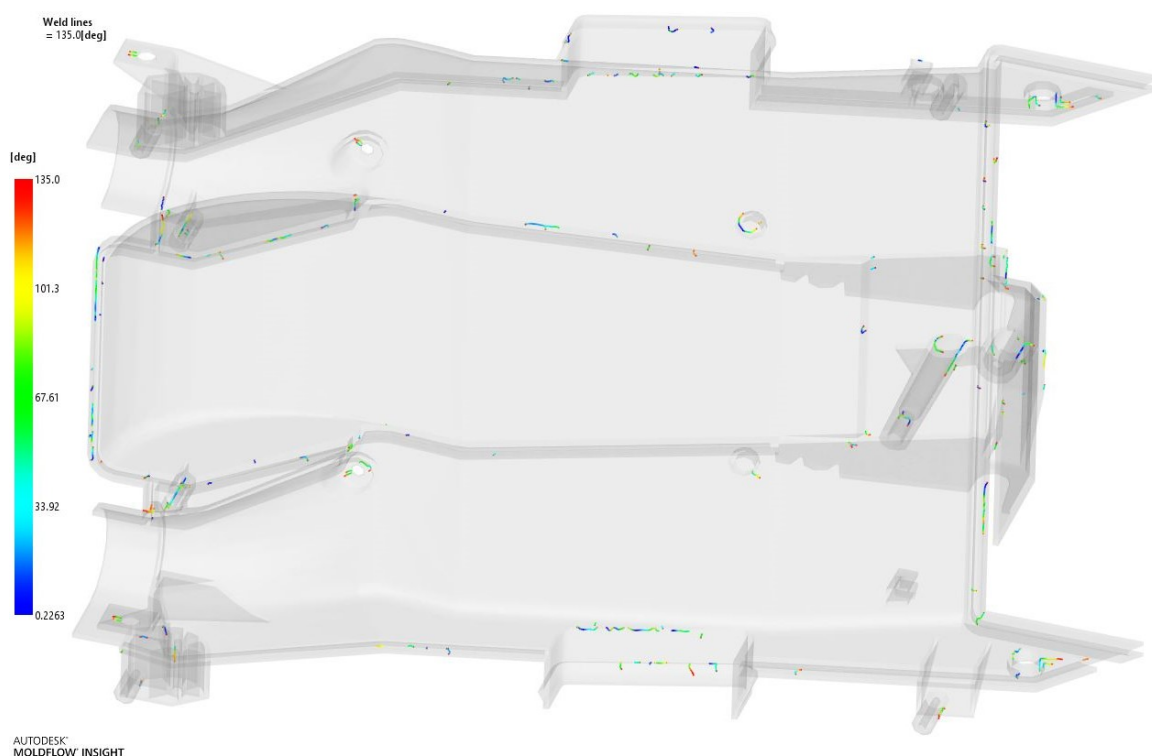
Obrázek 68: Výskyt vzduchových kapes – rub výrobku



Obrázek 69: Výskyt vzduchových kapes – líc výrobku

### 9.3.7 Studené spoje (Weld lines)

Studený spoj vzniká v místě spojení dvou čel taveniny. V místě výskytu studeného spoje pak dochází ke snížení mechanických vlastností výrobku, který může v těchto místech například prasknout. Studený spoj může být doprovázen i vzhledovými vadami výrobku. Parametry studených spojů je možno změnit např. zvýšením teploty taveniny a formy.



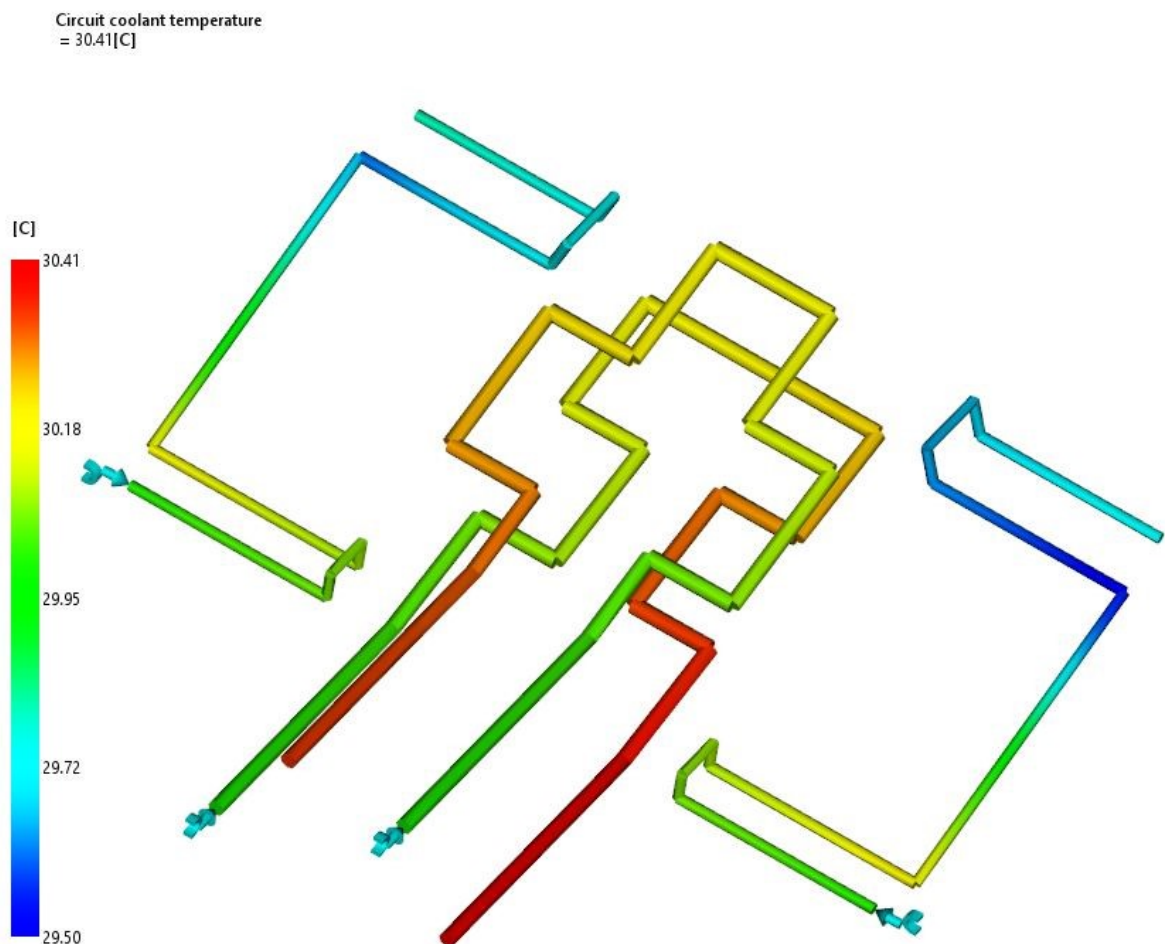
Obrázek 70: Analýza studených spojů

## 9.4 Výsledky analýzy teploty

Tato podkapitola uvádí pět vybraných výsledků pro změny, které nastávají v temperačních okruzích. Teplota formy se skládá ze čtyř okruhů. Okruh pro tvárník, pro tvárnici a dva okruhy pro tvarové čelisti. Všechny temperační kanály byly do prostředí programu Moldflow vloženy ve formátu \*.igs a kopírují trajektorie reálných temperačních kanálů vytvořených při konstrukčním návrhu vstřikovací formy. V této kapitole jsou uvedeny výsledky pro analýzu teploty v temperačních okruzích, tlak v temperačních okruzích, účinnost odvodu tepla temperací, hodnotu Reynoldsova čísla v temperačních kanálech a průtoky v temperačních kanálech.

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

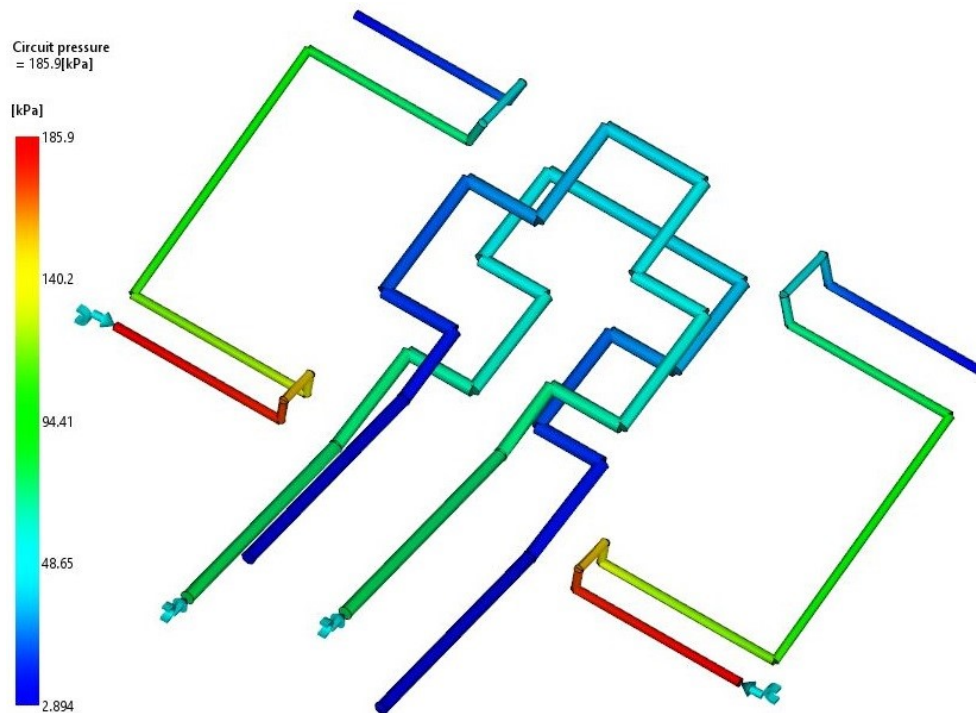
Analýza teploty v temperačním okruhu znázorňuje pozvolné změny v teplotě temperačního média po délce temperačních kanálů. Na vstupu je zpravidla teplota nejnižší a po průchodu blokem formy se temperační médium ohřívá a odvádí teplo z formy. Podle podmínky teplotního spádu by spád teplot na vstupu a výstupu temperačního média neměl přesáhnout rozdíl o hodnotu 3-5 °C. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu se u jednotlivých okruhů pohybuje kolem 0,5 °C. Podmínka je tedy splněna.



Obrázek 71: Analýza teploty v temperaci

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

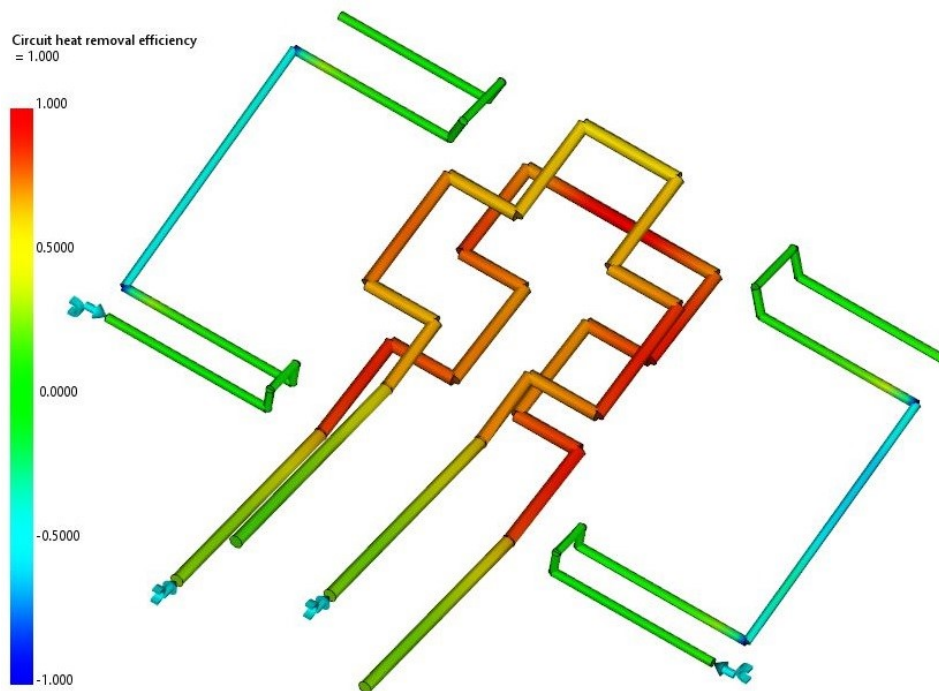
O průběhu tlaku lze obecně říct, že má klesající tendenci. Na vstupu je vyšší než na výstupu. Tlak temperačního média není v žádném místě nulový, což by bylo špatně, protože by nedocházelo k pohybu temperačního média – tzv. mrtvá místa. Z výše uvedeného lze konstatovat že temperační systém vyhovuje.



Obrázek 72: Analýza tlaku v temperaci

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

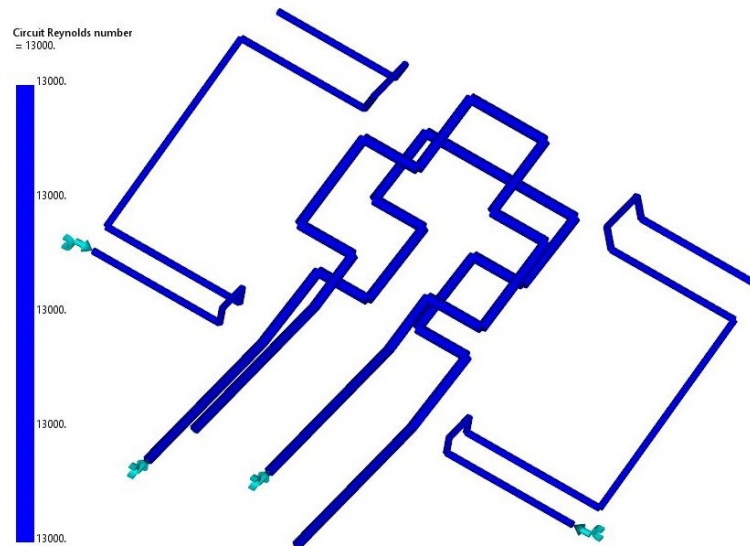
Analýza zobrazuje, jakou účinnost odvodu tepla mají vytvořené temperační kanály. Největší účinnost odvodu tepla je možno pozorovat v místech, kde se temperační kanály nachází nejbližší dutině formy.



Obrázek 73: Analýza účinnosti odvodu tepla z temperačních okruhů

#### 9.4.4 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

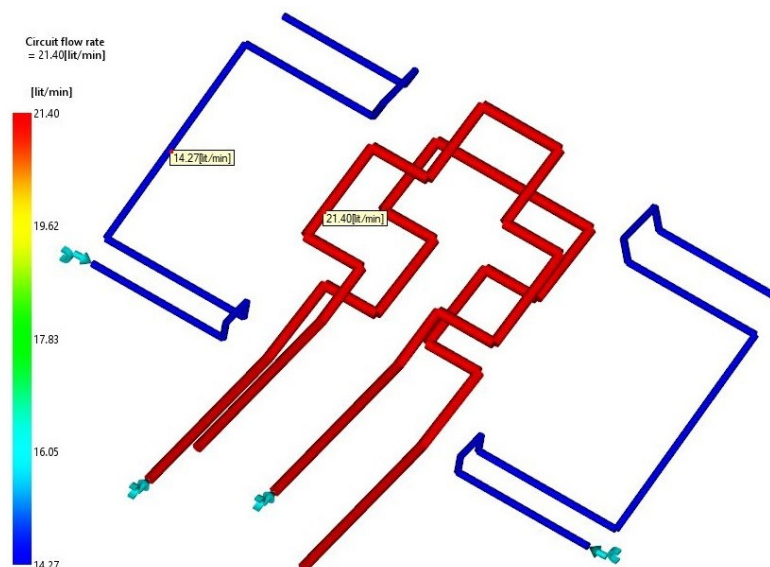
Pokud je Reynoldsovo číslo  $Re > 10000$ , vyniká turbulentní proudění, které je vhodné pro odvod tepla. Z výsledků analýzy je zřejmé, že velikost Reynoldsova čísla je ve všech místech 13000. Podmínka turbulentního proudění je tedy splněna.



Obrázek 74: Reynoldsovo číslo v temperaci

#### 9.4.5 Průtok temperačního kanálu (Circuit flow rate)

Průtok v temperačním kanálu by měl být po celém jeho průběhu stejný. Hodnota průtoku je u kanálů s větším průměrem 21,40 l/min a u kanálů s menším průměrem 14,27 l/min. V rámci jednoho kanálu je průtok vždy konstantní a tím je podmínka vyváženého průtoku splněna.



Obrázek 75: Průtok v temperaci

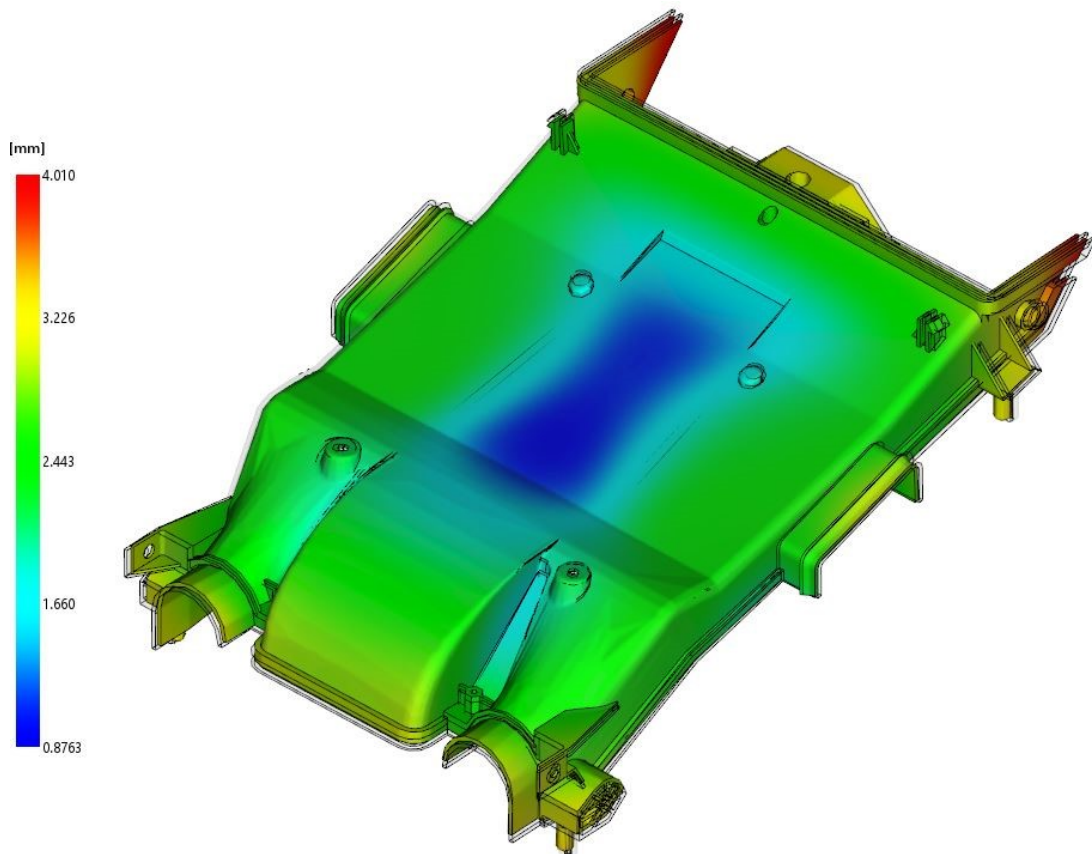
## 9.5 Výsledky analýzy smrštění a deformace

V této kapitole jsou uvedeny tři výsledky pro oblast smrštění a deformace. Jedná se o výsledky celkové deformace od všech efektů, deformaci vlivem chlazení a deformaci vlivem smrštění materiálu. Z analýz lze zjistit, jak se ve výsledku změní tvar a rozměry oproti dutině vstřikovací formy.

### 9.5.1 Celková deformace od všech efektů (All effects deflection)

Výsledek udává číselné znázornění celkové deformace vzniklé na vstříknutém výrobku. Jedná se o celkovou deformaci vzniklou působením všech jevů. Místa označená červenou barvou mají největší míru deformace, což jsou přibližně 4 mm a místa označená barvou modrou mají deformaci nejmenší, kolem 1 mm. Vzniku deformací se dá předejít delší dobou chlazení, popřípadě změnou materiálu. Je tedy žádoucí brát ohled na deformaci již při konstrukci výrobku.

Důvodem vzniklé deformace, pokud se jeví jako nadměrná, může být příliš intenzivní chlazení. Pro opravu se dá využít například větší vzdálenosti temperačních kanálů od sebe v kritické oblasti vysoké deformace. Další problém deformace může být příliš vysoká teplota formy, nebo špatné nastavení dotlakové fáze.

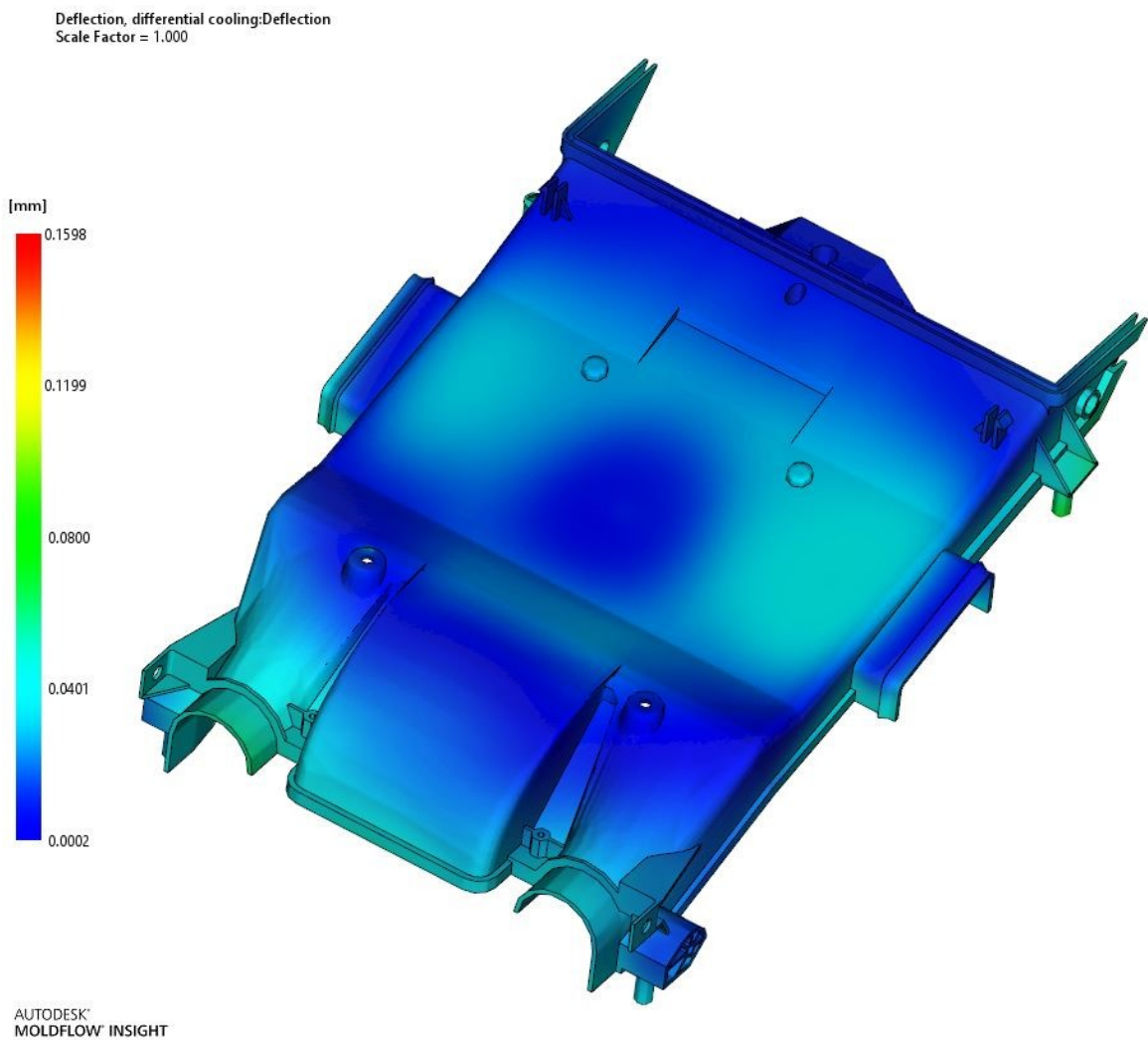


Obrázek 76: Analýza celkové deformace od všech efektů.



### 9.5.2 Deformace vlivem chlazení (Differential cooling deflection)

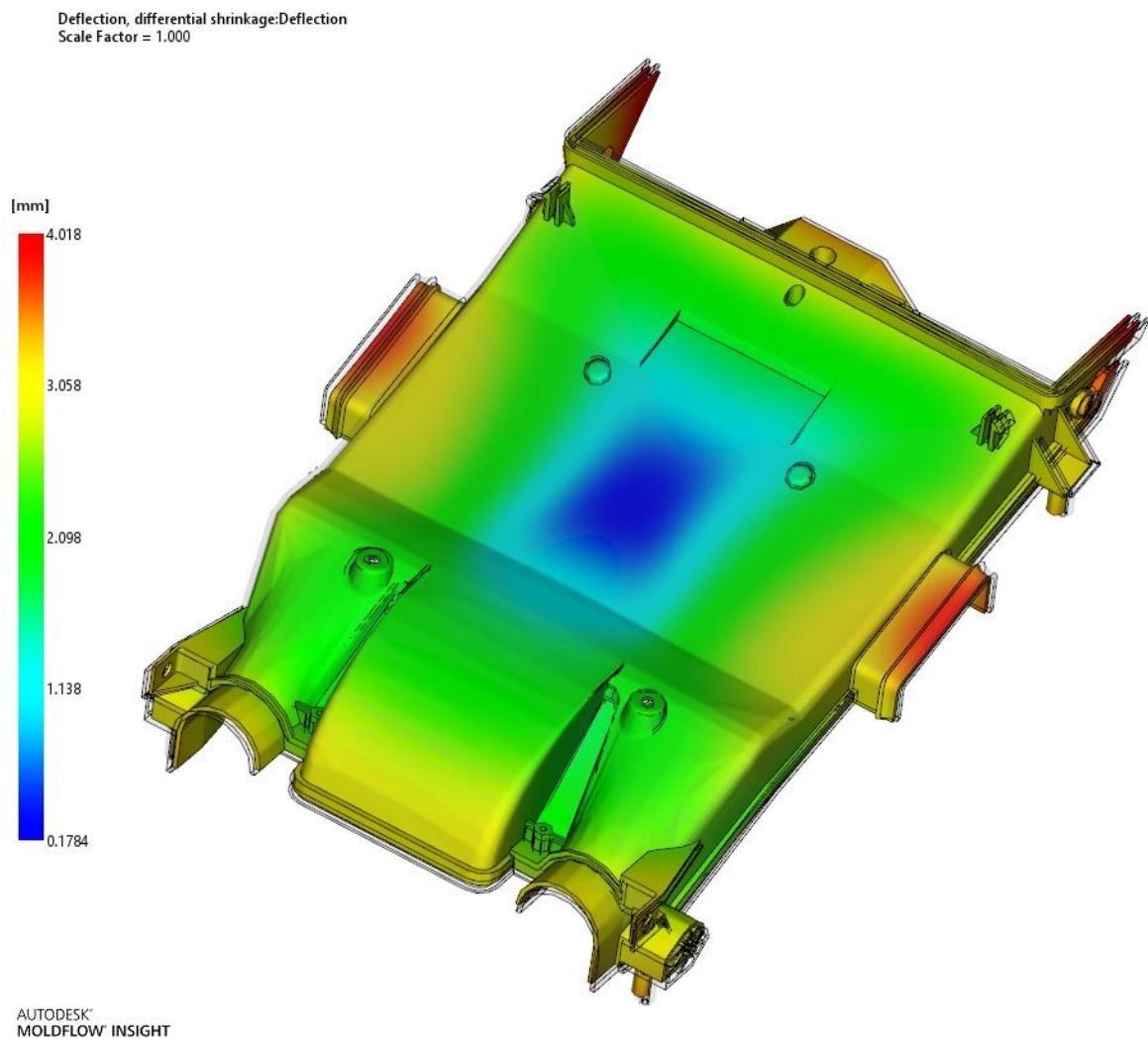
Výsledek znázorňuje velikost deformace způsobené chlazením. Na základě získaných hodnot lze usoudit, že vliv temperačního systému na hodnotu deformace je velmi nízký, a tedy lze výsledek chápat tak, že z hlediska konstrukce je temperační systém pro daný výrobek, vzhledem k deformaci od chlazení, navržen správně. Jak je možno pozorovat z výsledku, tak deformace vyvolaná účinkem teploty je více či méně zanedbatelná, a její maximální hodnota činí přibližně 0,16 mm.



Obrázek 77: Analýza deformace vlivem chlazení

### 9.5.3 Deformace vlivem smrštění materiálu (Differential shrinkage deflection)

Výsledek udává číselné znázornění deformace způsobené vlivem smrštění materiálu. Deformacím vzniklým vlivem smrštění materiálu se nedá úplně zabránit. Materiál se při přeměně z taveniny do tuhého stavu bude deformovat vždy. Tyto deformace se dají částečně eliminovat zvýšením dotlaku, popřípadě úpravou temperace formy.



Obrázek 78: Analýza deformace vlivem smrštění materiálu

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části diplomové práce bylo provést konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu. Díl slouží jako kryt pro palivový systém v osobním automobilu. V praktické části jsou uvedeny hlavní údaje k zadanému dílu, materiálu na jeho výrobu, volbě vstřikovacího stroje a zejména je zde popsána konstrukce vstřikovací formy a postup nastavení a vyhodnocení analýzy vstřikování.

Nejprve byl vytvořen 3D model výrobku v programu CATIA V5R19. Následně byla provedena analýza vhodnosti umístění vtoku v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Součástí požadavků na vstřikovací formu bylo navrhnout formu s horkým vtokovým systémem. Po zvážení konstrukčních možností i výsledků analýzy je vtokový systém umístěn do místa, které analýza označila jako nejvhodnější, protože i z hlediska konstrukce se toto umístění ve střední části výrobku jevílo jako velmi vhodné. Forma je koncipována jako jednonásobná a materiál výrobku je vysoce krystalický polypropylen (HCPP), jehož obchodní název zní YUHWA POLYPRO CB5230.

Další postup zahrnoval konstrukci vstřikovací formy. Pro konstrukci vstřikovací formy byl rovněž použit program CATIA V5R19. Nejprve byly vytvořeny tvarové části formy, definující její tvarovou dutinu, kterou bylo nutno zvětšit o 1,5 %, což je hodnota smrštění vstřikovaného materiálu. Mezi tvarové části patří tvárník, tvárnice, čtyři tvarové čelisti a šest malých tvarových jader. Pohyb tvarových čelistí je realizován pomocí šikmých čepů, které jsou ukotveny v pevné části formy. Dráha tvarových čelistí je dále řízena pomocí posuvných vodičích jednotek a v otevřené poloze jsou čelisti zajištěny aretačními mechanismy.

Vtokový systém je řešen jako horký a je tvořen vyhřívanou tryskou s vodičí a zásuvkou. Použitá vyhřívaná tryska je vybrána od výrobce Meusburger a byla převzata z katalogu na webových stránkách výrobce.

Aby bylo teplotní pole vstřikovací formy co nejvyváženější, byl navržen temperační systém, který má na tento požadavek zásadní vliv. Je tvořen pomocí vrtaných kanálů použitím ucpávek, uzavíracích šroubů a nástrčných přípojek. Dutinou formy jsou takto vedeny celkem čtyři temperační okruhy. Temperace tvárníku a tvárnice je řešena kruhovými kanály o průměru 12 mm a tvarové čelisti jsou temperovány kanály o průměru 8 mm.

Vyhození výrobku je realizováno pomocí jedenácti válcových vyhazovačů se zajištěním proti pootočení. Vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacím paketu, jehož pohyb je umožněn pomocí táhla.

Únik vzduchu z dutiny vstřikovací formy je předpokládán dělicí rovinou, vůlemi mezi tvarovými částmi formy a rovněž vůlí mezi vyházovači a tvárníkem. Dále je třeba zmínit, že bylo použito velké množství vodících, středících, spojovacích a dalších prvků, které celý stavebnicový systém desek a částí formy uvádí v kompletní funkční celek.

V programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 byly provedeny, stejně jako analýza pro nejvhodnější umístění vtoku, i další analýzy. Tyto analýzy se vztahovaly k fázi plnění a dotlaku, k teplotě vstřikovací formy a k smrštění a deformaci výrobku. Výsledky analýz doplňují celý návrh o údaje, které svědčí o tom, že koncepce vstřikovací formy je funkční, protože nebyly překročeny maximální materiálové parametry, temperační systém účinně ochlazuje dutinu formy, dutina formy je zaplněná celá vstřikovaným polymerem, i v nejdlehlších místech a maximální velikost uzavírací síly, která je 1100 kN (110 t) a maximální vstřikovací tlak, který činí 17 MPa nepřekračují limity zvoleného vstřikovacího stroje.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh nástroje pro výrobu plastového dílu. Konkrétněji tedy návrh vstřikovací formy pro plastový díl, který slouží jako kryt palivového systému.

Teoretická část, která tvoří první část diplomové práce, zahrnuje témata jako polymerní materiály, jejich reologické chování a aditiva do polymerů, přibližuje technologii vstřikování, vstřikovací cyklus, parametry vstřikování, nebo vady vstřikovaných výrobků, popisuje vstřikovací stroj, funkční jednotky vstřikovacího stroje, včetně řídicího a kontrolního systému a rozebírá konstrukci vstřikovací formy, její důležité části včetně popisu odvodu vzduchu a materiálů forem.

Praktická část přibližuje postup konstrukce vstřikovací formy na daný výrobek, která byla provedena v programu CATIA V5R19. Dále jsou v práci zahrnuty výsledky analýzy navržené vstřikovací formy, které jsou rovněž okomentovány a diskutovány.

Na začátku praktické části byl vytvořen model výrobku, který byl následně zvětšen o smrštění materiálu 1,5 % pro účel vytvoření dutiny formy. Jako vstřikovaný materiál byl zvolen vysoce krystalický polypropylen (HCPP), který vykazuje vyšší tuhost než základní polypropylen a vynikající chemickou i tepelnou odolnost, což jsou vlastnosti potřebné pro danou aplikaci.

Dále byla vytvořena samotná vstřikovací forma. Forma je navržena jako jednonásobná. Vtokový systém navržené vstřikovací formy je horký a dutina vstřikovací formy je tvořena tvárníkem, tvárnici, tvarovými čelistmi a tvarovými jádry. Temperační systém je vytvořen prostřednictvím vrtaných kanálů, které se nachází jak v tvárníku a tvárnici, tak i v tvarových čelistech. Vyhazovací systém tvoří válcové vyhazovače, které jsou ukotveny ve vyhazovacím paketu. Výsledky a postup konstrukce formy jsou zrekapitulovány v sekci diskuze výsledků.

Ověření návrhu vstřikovací formy proběhlo v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 a vybrané výsledky jsou uvedeny v rámci praktické části. Rovněž jsou dosažené výsledky okomentovány a jejich funkčnost je shrnuta v sekci diskuze výsledků.

Na závěr byly vytvořeny výkresy sestavy vstřikovací formy a kusovník, které se nachází v příloze.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HALARY, Jean Louis, Françoise LAUPRÊTRE a Lucien MONNERIE. *Polymer Materials: Macroscopic Properties and Molecular Interpretations*. Hoboken: John Wiley, 2011, 403 s. ISBN 9780470616192.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [3] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymeric Materials: Structure, Properties, Applications*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 15-699-0310-7.
- [5] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-731-8039-1.
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [7] ZATLOUKAL, Martin. *Přednášky: T7AR*.
- [8] *Základy reologie a reometrie kapalin* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2014/C5160/um/2457585/2457594/Reologie\\_a\\_reometrie\\_kapalin.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2014/C5160/um/2457585/2457594/Reologie_a_reometrie_kapalin.pdf)
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Brno: Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG. *Advanced injection molding technologies*. Cincinnati, OH: Hanser Publications, [2019]. ISBN 978-1-56990-603-3.
- [12] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection Molding Handbook*. 2nd ed., Updated 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2008. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [13] JOHANNABER, Friedrich. *Injection Molding Machines: a User's Guide*. 4th ed. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, c2008. ISBN 15-699-0418-9.

- [14] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 1. Brno: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-19]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [15] VALERO, José. *Plastics Injection Molding – Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices* [online]. Hanser Publishers, 2020 [cit. 2020-02-21]. ISBN-978-1-5231-2723-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIMSMRB7/plastics-injection-molding/plastics-injection-molding>
- [16] KUBOUŠEK Group [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/en/kraussmaffei-division/injection-molding-machines/series-ex/clamping-unit.html>
- [17] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Brno: Code Creator, 2016 [cit. 2020-03-02]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [18] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vydání. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [19] HYNEK, Martin. *Plastové díly* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-verfin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05/)
- [20] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007. ISBN 978-1-56990-421-3.
- [21] *Meusburger* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem/e-dily>
- [22] *Sink Marks and Voids* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: [http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg\\_doc/develop/trouble/sinkmark/f5000001.htm](http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg_doc/develop/trouble/sinkmark/f5000001.htm)
- [23] *Different Types of Gates of an Injection Molding Mould* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <http://www.mouldplastic.org/gates-types-of-an-injection-mold.html>
- [24] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN. *Successful Injection Molding: Process, Design, and Simulation*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2002. ISBN 1-56990-291-7.

- [25] STANĚK, Michal. *Přednášky T5KF*
- [26] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. II. díl – Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [27] *Vyhazovače a tvarová jádra* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem/e-dily/vyhazovaci-a-tvarova-jadra>
- [28] *Machines* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.schulz-partner-international.de/en/machines.html?order=new&item=4641&action=details>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	dvojměrný prostor
3D	trojměrný prostor
CAD	počítačem podporované konstruování
CAE	počítačem podporované analýzy
D	průměr
HCPP	vysoce krystalický polypropylen
HRC	tvrdost dle Rockwella
kN	kilonewton
L	délka
l/min	litřů za minutu
mm	milimetr
MPa	megapascal
Pa	pascal
PA66	polyamid 66
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
s	sekunda
t	tuna
VVS	vyhříváný vtokový systém

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Rozdělení polymerních materiálů [2].....	12
Obrázek 2: Závislost viskozity na smykové rychlosti [8].....	13
Obrázek 3: Fontánový tok polymerní taveniny [9].....	14
Obrázek 4: Barviva do polymerů.....	16
Obrázek 5: Děje během vstřikovacího cyklu [12] .....	17
Obrázek 6: Průběh vstřikovacího cyklu [12] .....	18
Obrázek 7: Průběh vstřikovacího tlaku v různých místech – částech vstřikovacího stroje a dutiny formy [11].....	19
Obrázek 8: Procesní okno vstřikování .....	20
Obrázek 9: Mechanismus tvorby studeného spoje [6].....	21
Obrázek 10: Vstřikovací stroj [14] .....	22
Obrázek 11: Vstřikovací jednotka [14].....	23
Obrázek 12: Zóny šneku s návrhem hlavních rozměrů [15].....	24
Obrázek 13: Typ šneku a zakončení [14] .....	25
Obrázek 14: Elektro-mechanická uzavírací jednotka společnosti KraussMaffei [16].....	25
Obrázek 15: Hydraulická uzavírací jednotka [14] .....	26
Obrázek 16: Vliv regulovatelných parametrů výrobního procesu na kvalitu vstřikovaných výrobků [13] .....	27
Obrázek 17: Komunikační rozhraní vstřikovacího stroje Selogica společnosti Arburg.....	28
Obrázek 18: Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [17] .....	29
Obrázek 19: Vstřikovací forma v otevřené pozici [17] .....	30
Obrázek 20: Znárodnění kruhového kanálu – smáčený obvod [19] .....	32
Obrázek 21: Studený vtokový systém formy [18] .....	32
Obrázek 22: Vtoková vložka od společnosti Meusburger [21] .....	33
Obrázek 23: Správná a nesprávná řešení rozvodných kanálů [17].....	34
Obrázek 24: Příklady rozmístění rozvodných kanálů [19] .....	34
Obrázek 25: Vady na výstřiku při chybně umístěném vtokovém ústí [22] .....	35
Obrázek 26: Základní typy vtokových ústí [19], [23] .....	36
Obrázek 27: Komponenty horkého rozvodného bloku [19] .....	38
Obrázek 28: Temperační okruh s vrtanými kanály [19] .....	40
Obrázek 29: Temperační normálie: spojovací prostředky, zátky, uzavírací šrouby a spirálová přepážka [19] .....	40
Obrázek 30: Vyhazovací kolíky [27].....	41
Obrázek 31: Činnost vzduchového vyhazovače [19] .....	42
Obrázek 32: Odformování podkosu pomocí boční posuvné čelisti [19] .....	43

Obrázek 33: Odvzdušňovací kanál [17].....	44
Obrázek 34: Přehled používaných materiálů vstřikovacích forem [17] .....	45
Obrázek 35: Model výrobku – lícová strana.....	48
Obrázek 36: Model výrobku – rubová strana .....	49
Obrázek 37: Fotografie zvoleného vstřikovacího stroje [28] .....	51
Obrázek 38: Celkový pohled na sestavu navržené vstřikovací formy .....	52
Obrázek 39: Hlavní plochy pro vytvoření tvarových částí vstřikovací formy .....	53
Obrázek 40: Pevná strana vstřikovací formy .....	54
Obrázek 41: Levá strana vstřikovací formy.....	55
Obrázek 42: Zobrazení tvarových částí .....	56
Obrázek 43: Způsob odformování tvarových čelistí.....	57
Obrázek 44: Analýza indikátoru odporu toku (vlevo) a vhodnosti umístění vtoku.....	58
Obrázek 45: Znázornění vyhřívaného vtokového systému.....	59
Obrázek 46: Vodící a středící elementy formy .....	59
Obrázek 47: Vodící a středící systém vyhazovacího systému .....	60
Obrázek 48: Uspořádání vyhazovacího systému .....	61
Obrázek 49: Temperace pevné poloviny formy .....	62
Obrázek 50: Temperace pohyblivé poloviny formy .....	62
Obrázek 51: Náhled na průběh temperace v programu Moldflow .....	63
Obrázek 52: Normálie temperačního systému .....	63
Obrázek 53: Ostatní prvky vstřikovací formy .....	64
Obrázek 54: Statistika sítě modelu výrobku .....	65
Obrázek 55: Síť vytvořená na modelu a detailní pohled na síť .....	66
Obrázek 56: Nastavení procesních podmínek pro chlazení.....	67
Obrázek 57: Kritéria vyhazování .....	67
Obrázek 58: Nastavení dotlaku a plnění .....	68
Obrázek 59: Další nastavení dotlaku .....	68
Obrázek 60: Pokročilá nastavení analýzy .....	69
Obrázek 61: Nastavení výpočtů smrštění .....	69
Obrázek 62: Analýza času plnění .....	70
Obrázek 63: Analýza tlaku ve vtokovém ústí.....	71
Obrázek 64: Analýza smykového napětí na stěně – líc výrobku.....	72
Obrázek 65: Analýza smykového napětí na stěně – rub výrobku.....	72
Obrázek 66: Zobrazení výsledku frakce zatuhlých vrstev .....	73
Obrázek 67: Průběh uzavírací síly .....	74

---

Obrázek 68: Výskyt vzduchových kapes – rub výrobku .....	75
Obrázek 69: Výskyt vzduchových kapes – líc výrobku .....	75
Obrázek 70: Analýza studených spojů.....	76
Obrázek 71: Analýza teploty v temperaci.....	77
Obrázek 72: Analýza tlaku v temperaci.....	78
Obrázek 73: Analýza účinnosti odvodu tepla z temperačních okruhů .....	78
Obrázek 74: Reynoldsovo číslo v temperaci .....	79
Obrázek 75: Průtok v temperaci .....	79
Obrázek 76: Analýza celkové deformace od všech efektů. ....	80
Obrázek 77: Analýza deformace vlivem chlazení .....	81
Obrázek 78: Analýza deformace vlivem smrštění materiálu.....	82

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Charakteristické hodnoty newtonských viskozit [7] .....	14
Tabulka 2: Základní vlastnosti materiálu YUHW A POLYPRO CB5230.....	50
Tabulka 3: Parametry zvoleného vstřikovacího stroje.....	51

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list vstříkovaného materiálu YUHW A POLYPRO CB5230

Příloha P II: Technické parametry vstříkovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace:

- Sestava formy 1/2
- Sestava formy 2/2
- Kusovník

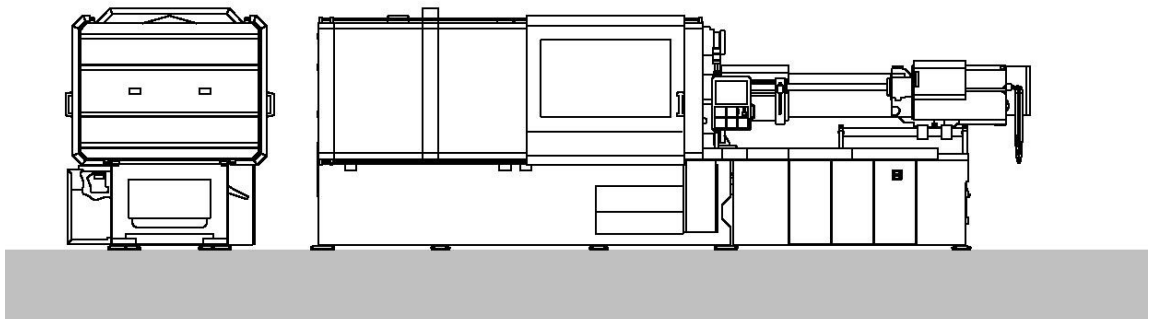
# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU YUHWA POLYPRO CB5230

YUHWA POLYPRO CB5230		Korea Petrochemical Ind. Co., Ltd	
PP			
<b>Processing/Physical Characteristics</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
<b>ASTM Data</b>			
Melt Flow Index, MFI	30	g/10min	ASTM D 1238
Mold Shrinkage, MD	0.016	mm/mm	ASTM D 955
<b>Mechanical properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
<b>ASTM Data</b>			
Tensile Strength at Yield	32.4	MPa	ASTM D 638
Elongation at Break	200	%	ASTM D 638
Flexural Modulus	1766	MPa	ASTM D 790
Rockwell Hardness	R 102	-	ASTM D 785
Izod Impact notched, 1/8 in	69	J/m	ASTM D 256
Izod Impact notched, Low-Temperature	25	J/m	ASTM D 256
Temperature	-20	°C	-
<b>Thermal properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
<b>ASTM Data</b>			
UL 94 Flame rating	HB	-	UL 94
Melting Temperature	169	°C	ASTM D 3418
Vicat Temperature	153	°C	ASTM D 1525
<b>Other properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
Density	910	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 792

Characteristics	
<b>Processing</b>	<b>Certifications</b>
Injection Molding	Food contact, Food approval FDA 21 CFR
<b>Special Characteristics</b>	<b>Applications</b>
High impact or impact modified, Heat stabilized or stable to heat	Automotive, Electrical and Electrical
<b>Features</b>	<b>Regional Availability</b>
Copolymer	Asia Pacific

# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Facts and figures



## ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION

Tie bar distance: 720 x 720 mm

Clamping force: 3000 kN

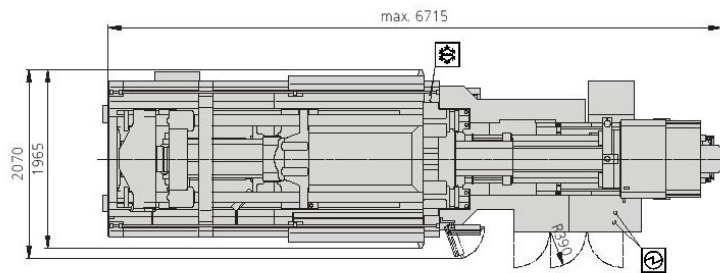
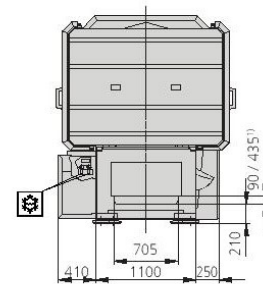
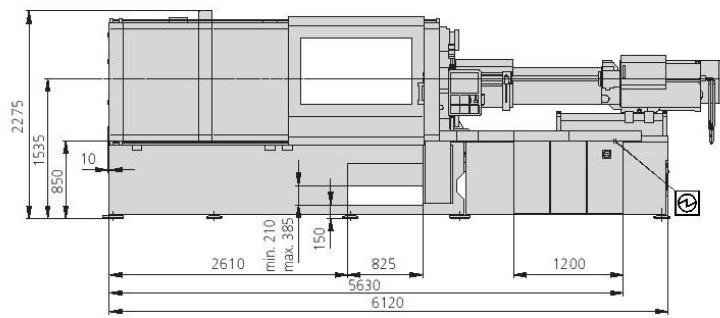
Injection unit (according to EUROMAP): 1300

**ARBURG**



# 720 S GOLDEN EDITION |

# Machine dimensions



Electrical connection



Cooling water connections

Cooling water supply line DN 25  
 max. 30°C min. Δ 1,5 bar  
 Cooling water return line DN 25

1) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

<b>Machine model</b>		<b>720 S GOLDEN EDITION</b>
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		3000-1300
<b>Clamping unit</b>		
Clamping force	max. kN	3000
Closing force	max. kN	110
Opening force / increased	max. kN	70 / 800
Opening stroke	max. mm	850
Mould height	min. mm	400
Daylight	mm	1250
Distance between tie bars	mm	720 x 720
Platen size (hor. x vert.)	mm	1040 x 1040
Weight of mov. mould half	max. kg	3200
Ejector force	max. kN	76
Ejector stroke	max. mm	250
<b>Hydraulics, drive, general</b>		
Drive power of the hydraulic pump	kW	37
Dry cycle time for opening stroke	s-mm	3,5-504
Total connected load <sup>2)</sup>	kW	63
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow		
<b>Control cabinet</b>		
Safety standard according to		DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A
<b>Injection unit</b>		
		1300
Screw diameter	mm	55 / 60 / 70
Effective screw length	L/D	22 / 20 / 17
Screw stroke	max. mm	235
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	558 / 664 / 904
Shot weight	max. g PS	510 / 607 / 826
Material throughput <sup>3)</sup>	max. kg/h PS	86 / 96 / 115
	max. kg/h PA 6.6	43 / 48 / 58
Injection pressure <sup>2)</sup>	max. bar	2380 / 2000 / 1470
Injection flow <sup>2)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	238 / 284 / 388
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 190
Circumferential screw speed	max. m/min	40 / 43 / 51
Screw torque	max. Nm	1510 / 1640 / 1920
Nozzle contact force	max. kN	90
Nozzle retraction stroke	max. mm	550
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	21,9 / 7
Installed nozzle heating power	kW	1,0
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>		
Oil capacity	l	390
Net weight	kg	15500
Electrical connection (pre-fused) <sup>2)</sup> motor + heating	A	125
Electrical connection (pre-fused) <sup>2)</sup> motor	A	88
heating	A	33

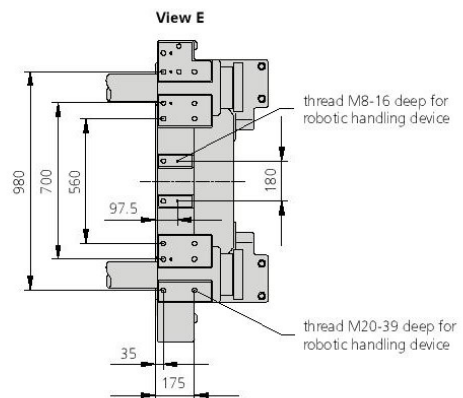
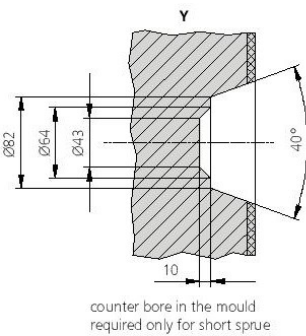
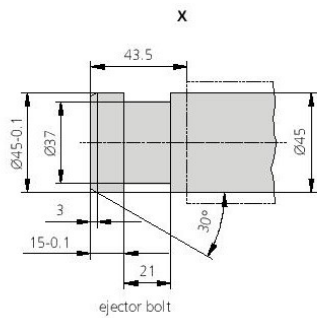
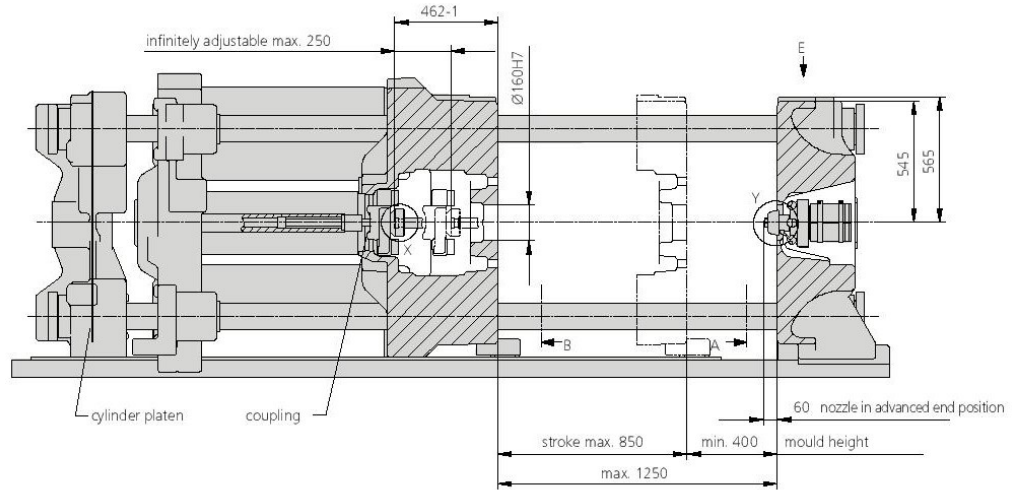
1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

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

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

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

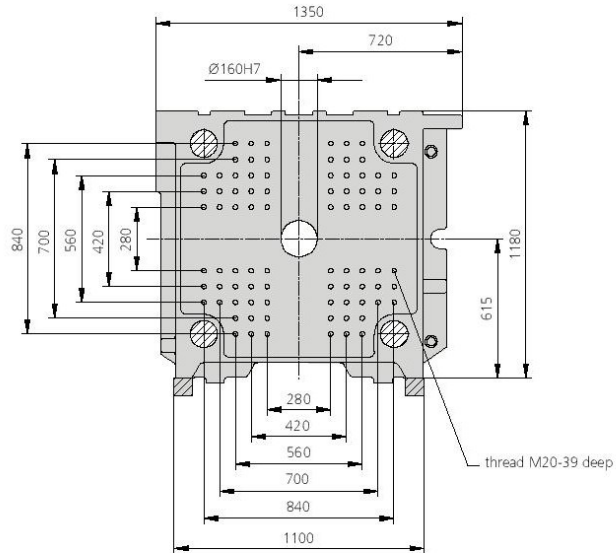
These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



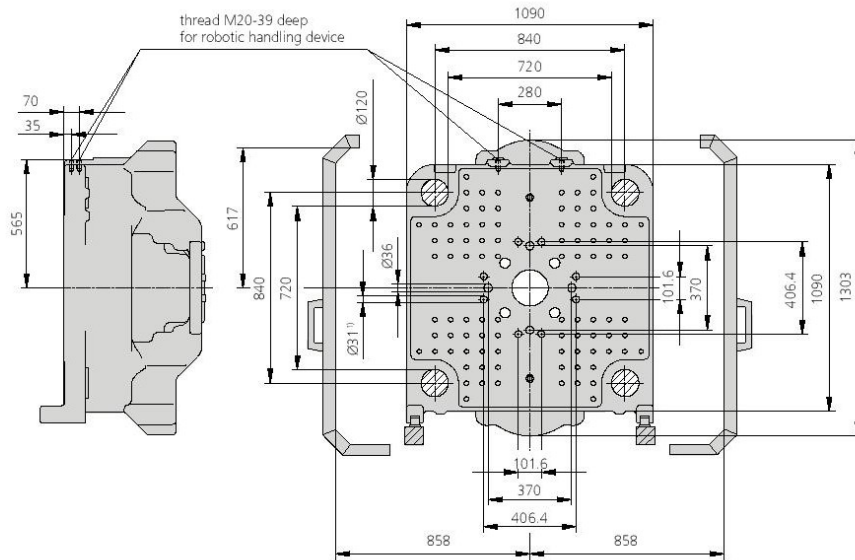
# Mould and platen layout

# 720 S GOLDEN EDITION

Fixed platen  
View A



Movable platen  
View B



1) Prepared for guidance  $\text{Ø}27$

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)				
Injection units according to EUROMAP		1300		
Screw diameter	mm	55	60	70
Polystyrene	PS	510	607	826
Styrene heteropolymerizates	SB	498	593	807
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	488	581	791
Cellulose acetate	CA <sup>1)</sup>	574	683	930
Celluloseacetobutyrate	CAB <sup>1)</sup>	534	635	865
Polymethyl methacrylate	PMMA	527	627	854
Polyphenylene ether, mod.	PPE	473	563	767
Polycarbonate	PC	536	638	868
Polysulphone	PSU	554	659	897
Polyamides	PA 6.6, PA 6 <sup>1)</sup>	507	603	821
	PA 6.10, PA 11 <sup>1)</sup>	473	563	767
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	630	749	1020
Polyethylene terephthalate	PET	607	723	984
Polyethylene	PE-LD	385	458	624
	PE-HD	398	473	644
Polypropylene	PP	406	484	658
Fluoropolymerides	FER, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	816	971	1322
	ETFE	716	852	1160
Polyvinyl chloride	PVC-U	616	734	998
	PVC-P <sup>1)</sup>	569	678	922

1) average value

#### ARBURG GmbH + Co KG

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

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia,

Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

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

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



**ARBURG GmbH + Co KG**

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

