

Analýza procesu vstřikování u formy pro díl palivového čerpadla motoru automobilu

Bc. Pavel Tomanec

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Tomanec**

Osobní číslo: **T17382**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Analýza procesu vstřikování u formy pro díl palivového čerpadla motoru automobilu**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma.
- 2) Nakreslete model daného dílu ve 3D.
- 3) Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný dílu.
- 4) Provedte analýzu navržené formy pomocí tokových simulací.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2006

ZEMAN, L. Vstřikování plastů, 2. vyd. BEN, 2009

ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. 2007. ISBN 978-80-86604-36-7

Dále dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vojtěch Šenkeřík, PhD.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

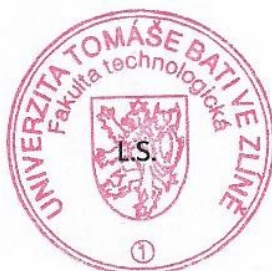
Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 17. ledna 2019

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

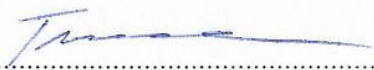
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 10.5.2019



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává v teoretické části o přehledu současného poznání technologie vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. V praktické části se zabývá konkrétní konstrukcí vstřikovací formy pro díl palivového čerpadla automobilu v softwaru Catia. Nakonec jsou vyhodnoceny výsledky simulace vstřikování v softwaru Cadmould a reálného vstřikování následně vyrobené formy.

Klíčová slova: Konstrukce, vstřikovací forma, Cadmould, Catia

ABSTRACT

This diploma thesis deals in the theoretical part with an overview of the current knowledge of injection molding technology and the design of injection molds. The practical part deals with a particular design of the injection mold for a car fuel pump part of the Catia software. Finally, the results of simulation of injection molding in Cadmould software and real injection molding of the subsequently manufactured mold are evaluated.

Keywords: Design, injection mould, Cadmould, Catia

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi Ph.D. za odbornou pomoc a cenné připomínky pro zpracování této diplomové práce.

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

Dále prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 10.5.2019

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ.....	13
1.1 PLASTY	13
1.1.1 Reaktoplasty	13
1.1.2 Termoplasty.....	13
1.2 ELASTOMERY	16
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	17
2.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
2.1.1 Uzavírací jednotka	17
2.1.2 Vstřikovací jednotka	18
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	19
2.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	20
2.3.1 Postup při návrhu vstřikovací formy.....	21
2.3.2 Vtokový systém.....	23
2.3.3 Vyhazovací systém.....	31
2.3.4 Temperace	39
2.3.5 Odvzdušnění dutiny	40
2.4 POŽADAVKY PRO DÍLY VYRÁBĚNÉ TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍM.....	42
2.4.1 Dělicí rovina.....	42
2.4.2 Tloušťka stěn.....	42
2.4.3 Žebra	43
2.4.4 Zaoblení hran	44
2.4.5 Úkosy	44
2.5 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	46
2.5.1 Propady	46
2.5.2 Diesel efekt.....	46
2.5.3 Přetoky	46
2.5.4 Jetting	47
2.5.5 Nedotečení dílu	47
2.5.6 Studený spoj	48
2.5.7 Tvarová deformace.....	49
II PRAKTICKÁ ČÁST	50
3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	51
4 VSTŘIKOVANÝ DÍL.....	52
4.1 MATERIÁL DÍLU	52
5 VSTŘIKOVACÍ STROJ	54
6 POUŽITÝ SOFTWARE.....	55

6.1	CATIA V5	55
6.2	CADMOULD	55
6.3	GOM INSPECT	55
7	KONSTRUKCE FORMY	56
7.1	ÚPRAVA DÍLU	56
7.2	NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY	56
7.3	TVAROVÁ ČÁST FORMY	58
7.3.1	Pohyblivá strana	58
7.3.2	Pevná strana	60
7.4	VTOKOVÝ SYSTÉM	61
7.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	62
7.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	64
7.6.1	Pevná strana	65
7.6.2	Pohyblivá strana	66
7.7	RÁM A OSTATNÍ KOMPONENTY FORMY	67
7.8	PARAMETRY FORMY	69
8	VSTŘIKOVACÍ ANALÝZA.....	71
8.1	PARAMETRY ANALÝZY	71
8.2	ANALÝZA PLNĚNÍ	72
8.2.1	Čas plnění	72
8.2.2	Teplota na čele taveniny	72
8.2.3	Tlaková ztráta při vstřiku	73
8.2.4	Maximální smykové napětí	74
8.2.5	Propady	74
8.2.6	Studené spoje a možné problémy plnění	75
8.2.7	Místa uzavírání vzduchu	76
8.2.8	Zatuhlý materiál na začátku dotlaku	76
8.2.9	Čas vyhození	77
8.3	ANALÝZA CHLAZENÍ	78
8.3.1	Teplota temperace	78
8.3.2	Tlak temperace	78
8.3.3	Reynoldsovo číslo v temperačním kanálu	79
8.3.4	Účinnost chlazení	80
8.4	DEFORMAČNÍ ANALÝZA	81
8.4.1	Celková deformace	81
8.5	POROVNÁNÍ DEFORMACÍ	82
9	KOREKCE FORMY	84
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	87
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92

SEZNAM TABULEK.....	95
SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Polymery se dnes řadí mezi nejpoužívanější materiály na světě. Důvody proč tyto materiály mají tak rozsáhlé použití, jsou například odolnost proti korozi, nízká hmotnost a především nízká cena. Rozsáhlé uplatnění těchto produktů najdeme v automobilovém průmyslu. Většina polymerních produktů do automobilového průmyslu je vyráběna technologií vstřikováním. Jinou technologií by to nebylo možné, protože navržené produkty mají často složitý tvar a přísné rozměrové tolerance.

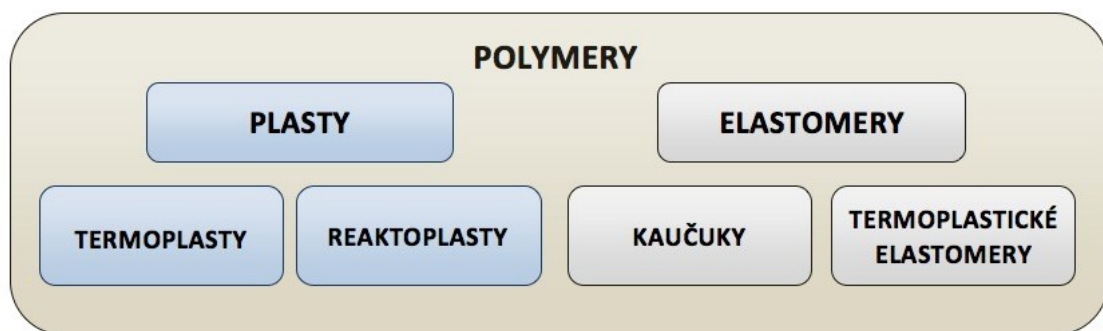
Vstřikování je proces, při kterém je roztavený polymer vstříknut tlakem do dutiny formy, kde dochází k dotlaku, následně je materiál v dutině vstřikovací formy ochlazen na teplotu kdy je polymer dostatečně tuhý a po otevření formy vyhozen. Volba materiálu je velmi důležitá, protože materiál musí mít určitou vyváženost mezi mechanickými vlastnostmi u výsledného dílce, tak i z hlediska vlastností pro technologii vstřikování.

Většina podniků, která vyrábí nástroje vstřikovacích strojů, používají kvůli kompatibilitě dat program CatiaV5 firmy Dassault Systém. Také tato vstřikovací forma byla navržena v softwaru Catia.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ

Polymer je makromolekula skládající se z velkého množství molekul jednoho nebo více druhů atomů. Polymery se liší svojí řetězcovou strukturou molekul. Polymery typicky vznikají polymerizací nebo polykondenzací, tvoří materiálovou základnu v plastikářské a gumárenské technologii. Jako výrobek jsou polymery v tuhém stavu, při zpracování jsou polymery ve stavu kapalném, což umožňuje dodat polymeru tvar. [1]



Obr. 1 Rozdělení polymerů [2]

1.1 Plasty

Plasty jsou polymery, které jsou nejčastěji děleny podle použitého monomeru (tedy i chemického složení jejich polymerního řetězce). Základním dělení plastů je na reaktoplasty a termoplasty. Plasty jsou za běžných podmínek tuhé.

1.1.1 Reaktoplasty

Tyto polymerní materiály nelze opakovaně zpracovávat. Při prvním zpracování jsou reaktoplasty zahřáty, poté přechází do plastického stavu a lze je tvářet jen po určitou dobu, než dojde vlivem chemické reakce k zesíťování. Poté už není možné dále reaktoplasty zpracovávat. Dalším zahřátím reaktoplastu dochází k degradaci. [1,2,3]

1.1.2 Termoplasty

Jsou materiály, které při zahřívání měknou a lze je tvářet. Do pevné podoby je vrácen polymer ochlazením. Při ohřevu nedochází k chemické reakci, a tedy nemění se chemická struktura během zpracování. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Termoplasty jsou houževnatější než reaktoplasty. Termoplasty se dělí na amorfní a semikrystalické. [2,3,4,5]

Amorfní termoplasty

Tyto termoplasty jsou bez použití barviva na první pohled transparentní, dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Makromolekulární řetězce jsou nepravidelně uspořádány. Používají se pro přesné rozměrové a transparentní díly. Pro amorfní plasty je specifická teplota teplotního přechodu T_g , tato teplota definuje teplotního použití výrobků. [3,4,5]



Obr. 2 Amorfní termoplasty [3]

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

Klady:

- rozměrová stabilita
- pevnost při vyšších teplotách

Zápory:

- odolnost cyklickému zatížení
- chemická odolnost

- ořezuvzdornost

Nejpoužívanější: PVC, ABS, PS, SAN, PMMA, PC

Použití: elektrotechnika, automobilová světla a další transparentní díly

Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty vynikají svými mechanickými vlastnostmi, které se zlepšují s rostoucí krystalinitou. Naopak od amorfních termoplastů nejsou transparentní. Díky krystalické struktuře mají větší smrštění než termoplasty amorfní. Pro semikrystalické termoplasty je specifická teplota bodu tání T_m . Nad touto teplotou je lze zpracovávat. [3,4,5]



Obr. 3 Semikrystalické termoplasty [3]

1 - polyformaldehyd POM; 2 - polyamidy PA 6, PA 6,6; 3 - polypropylen a kopolymery PP; 4 - polyetyleny PE

Klady:

- odolnost cyklickému zatížení
- tažnost
- chemická odolnost

- otěruvzdornost

Zápory:

- rozměrová stabilita
- pevnost při vyšších teplotách (bez vláken)

Nejpoužívanější: PET, PBT, PA, POM, PP, PE

Použití: mechanicky namáhané výrobky jako ozubená kola, pedály a další

1.2 Elastomery

Tyto polymery jsou tvořeny kaučukovou směsí, která je dále ve formě zahřívána. Během zahřívání dochází k chemické reakci, a tím k prostorovému zesíťování struktury, která se nazývá vulkanizace. Po vulkanizaci už další tváření není možné. Vulkanizací je převedena kaučuková směs na pryž. Po vulkanizaci jsou elastomery schopny vydržet bez poškození velké vratné deformace. [1]



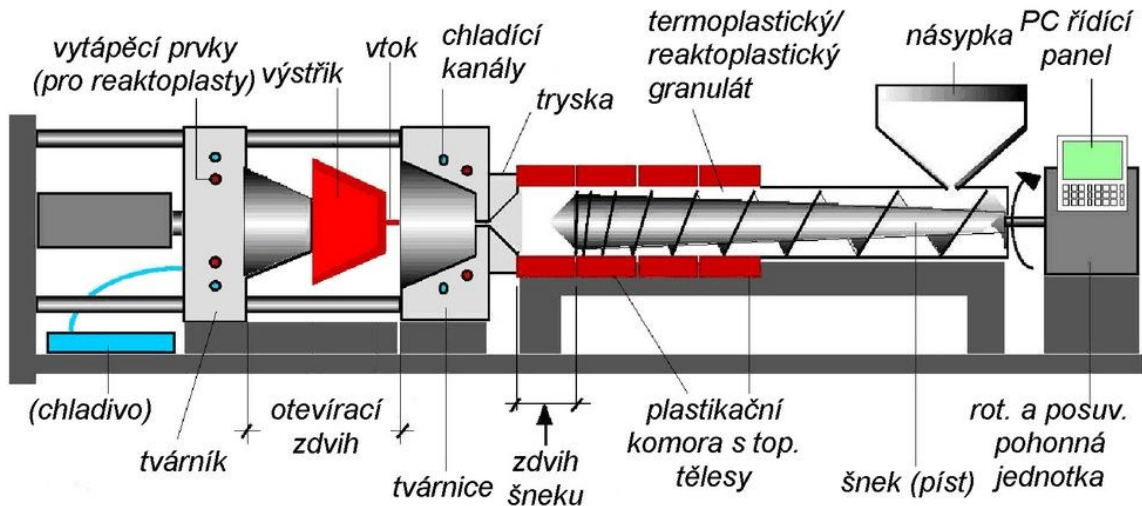
Obr. 4 Elastomer [20]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je způsob tváření polymerů, především zejména termoplastů, při kterém se zpracováváný materiál v roztaveném stavu vstřikuje pomocí vstřikovací jednotky do tvarové dutiny vstřikovací formy. Přičemž teplota formy je mnohem nižší než teplota tání zpracovávaného termoplastu. Tavenina se pod tlakem ochladí a nechá ztuhnout vlivem teploty formy. Vstřikování je vhodné pro velkosériovou výrobu, jednotlivé operace lze poměrně jednoduše automatizovat pomocí manipulátorů, protože výrobky vypadávají z formy v určitých cyklech. [6,7,8,9]

2.1 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se skládá z uzavírací, vstřikovací jednotky, řídicího a regulačního systému. Na desky vstřikovacího stroje je upnuta vstřikovací forma. Základní údaje o stroji důležité pro konstrukci formy jsou vzdálenost vodičích sloupků, uzavírací síla, maximální odjezd desek stroje, dále musí konstruktér vědět velikost otvorů pro středění formy a rádius, kterým musí dosedat vstřikovací jednotka na vstřikovací trysku formy. [8,9,10]

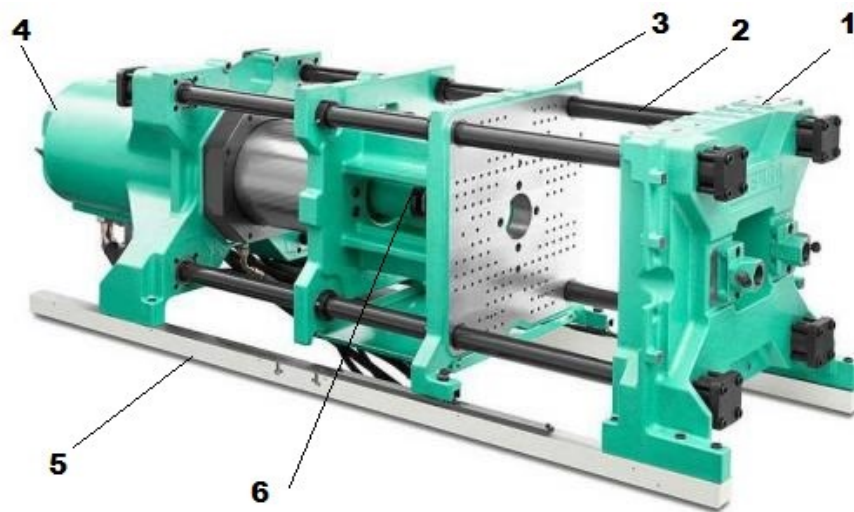


Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje [30]

2.1.1 Uzavírací jednotka

Funkcí této jednotky je uzavřít vstřikovací formu a držet ji v průběhu vstřikování a dotlaku zavřenou, po fázi vstřiku a dotlaku tato jednotka otevírá vstřikovací formu. Podle pohonu

uzavírací jednotky můžeme rozdělit na hydraulické, elektro-mechanické a hydraulicko mechanické. [8,9,10]

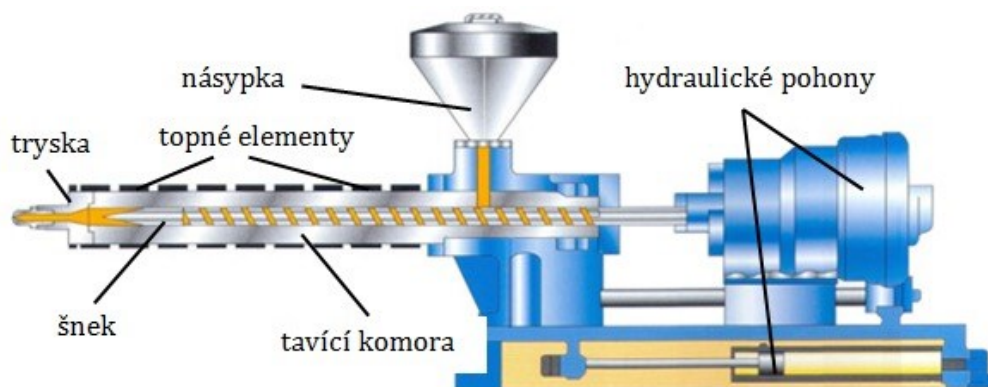


Obr. 6 Uzavírací jednotka [10]

1 - deska pevné strany, 2 - vodící tyč, 3 - deska pohyblivé strany,
4 - hydraulický pohon, 5 - vodící lišta, 6 - hydraulický vyhazovač

2.1.2 Vstříkovací jednotka

Funkcí této jednotky je převedení pevného skupenství polymeru do stavu taveniny a plnění dutiny vstříkovací formy. Nejpoužívanějším typem je šneková (dále např. pístová). Pohon této jednotky zajišťuje otáčení šneku, který vlivem tření a teploty plastikuje polymerní materiál. Po plastikaci materiálu se začne šnek pohybovat ve své ose a působí na materiál jako píst, který tlačí materiál do tvarové dutiny formy. Součástí vstříkovací jednotky je také posuvná konzole, která přisouvá ústí vstříkovací jednotky na trysku vstříkovací formy. [8,9,10]



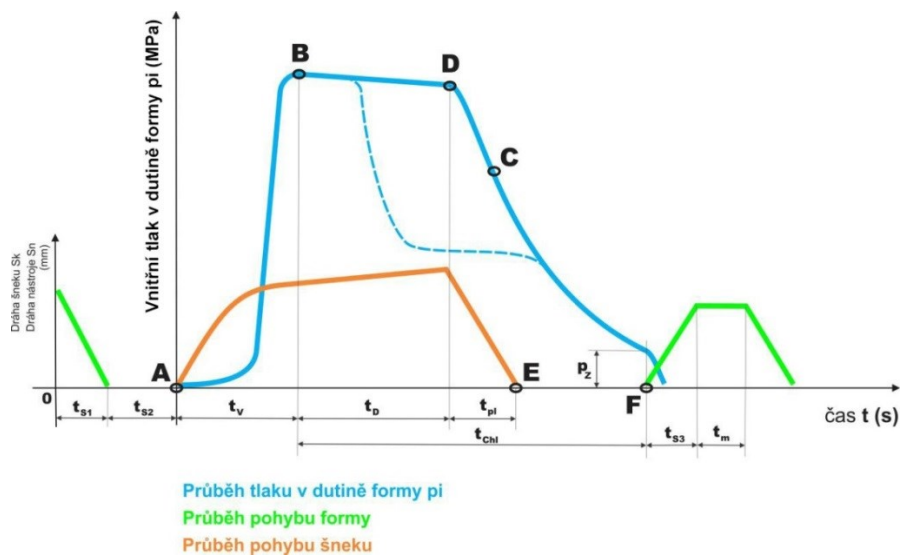
Obr. 7 Schéma vstříkovací jednotky [8]

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus můžeme rozdělit do dvou podcyklů, které se navzájem prolínají. Jde o cyklus vstřikovací jednotky a cyklus formy. Cyklem vstřikovací jednotky se rozumí plastikace a doprava materiálu šnekem. Dále se prolíná do cyklu formy, kde následuje vstříknutí do tvarové dutiny, poté dotlaková fáze, chlazení vstříknutého dílu (tato část bývá z celého cyklu nejdelší). Mezitím už může zase probíhat cyklus plastikační jednotky (pokud nemá zásobu materiálu z předešlého cyklu), nakonec dojde k vyhození dílu z formy a celý cyklus se opakuje. [9,10]



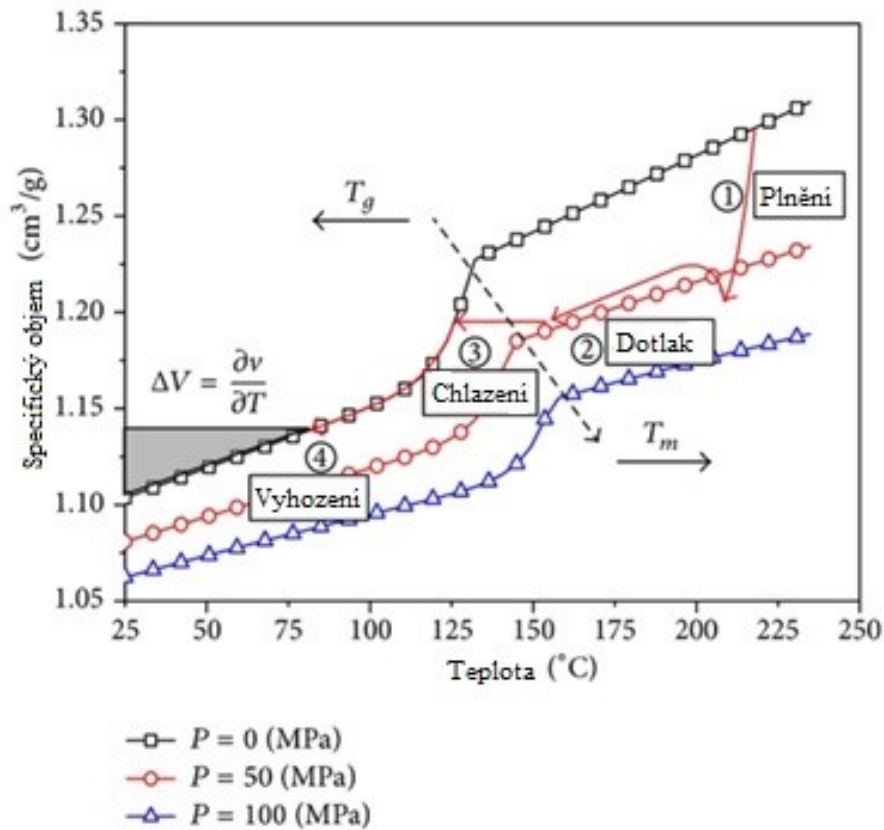
Obr. 8 Vstřikovací cyklus [29]



Obr. 9 Závislost tlaku na čase během cyklu [9]

t_v - doba vstřiku, t_d - doba dotlaku, t_{pl} - doba plastikace nového materiálu, t_{chl} - doba chlazení, t_s - strojní časy, t_m - doba manipulace

Vstřikovací cyklus můžeme definovat jako závislost tlaku v dutině formy na čase nebo jako pVt diagram.



Obr. 10 pVt Diagram vstřikovacího cyklu [25]

2.3 Vstřikovací forma

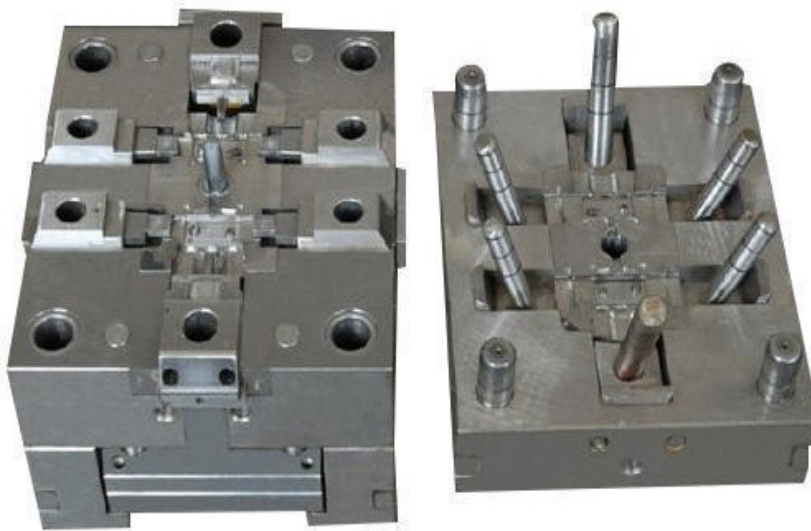
Vstřikovací forma je nástroj vstřikovacího stroje, který udává tvar a rozměry výsledného výrobku.

Vstřikovací forma musí splňovat následující aspekty:

- dopravit taveninu do tvarové dutiny
- odvod tepla temperací
- správné odformování dílu

Vstřikovací forma jako taková se skládá z rámu a normalizovaných komponent, které jsou objednávány od dodavatelů. Další částí je tvarová dutina, kterou tvoří tvarové vložky s negativním tvarem dílu. Často jsou tvarové vložky ještě vyvločkovány menšími vložkami z důvodu vyrobitelnosti nebo následného leštění. Forma je rozdělena dělicí rovinou na

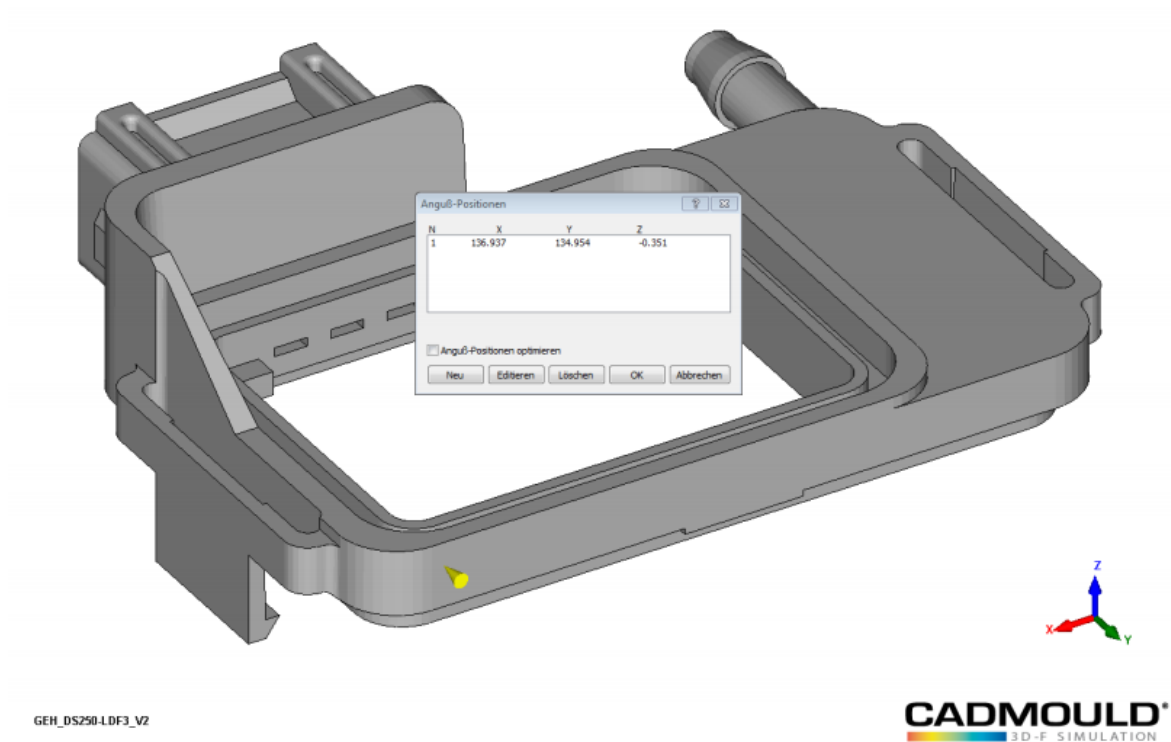
pevnou a pohyblivou stranu. Pevná strana se během vstřikovacího cyklu nepohybuje, na této polovině formy je nejčastěji vstřikovací systém, který dopravuje plastický materiál do dutiny. Pohyblivá strana se na vstřikovacím stroji pohybuje, je prioritou, aby na této polovině formy díl zůstal, protože se obvykle na pohyblivé straně nachází vyhazovače, které vyhazují díl z dutiny formy. Nejčastěji používaným typem vstřikovací forem jsou dvoudeskové. Dále se používají formy třídeskové kvůli složitějšímu odformování dílu nebo odformování bodového vtoku. [6,13]



Obr. 11 Pohyblivá (vlevo) a pevná strana vstřikovací formy [24]

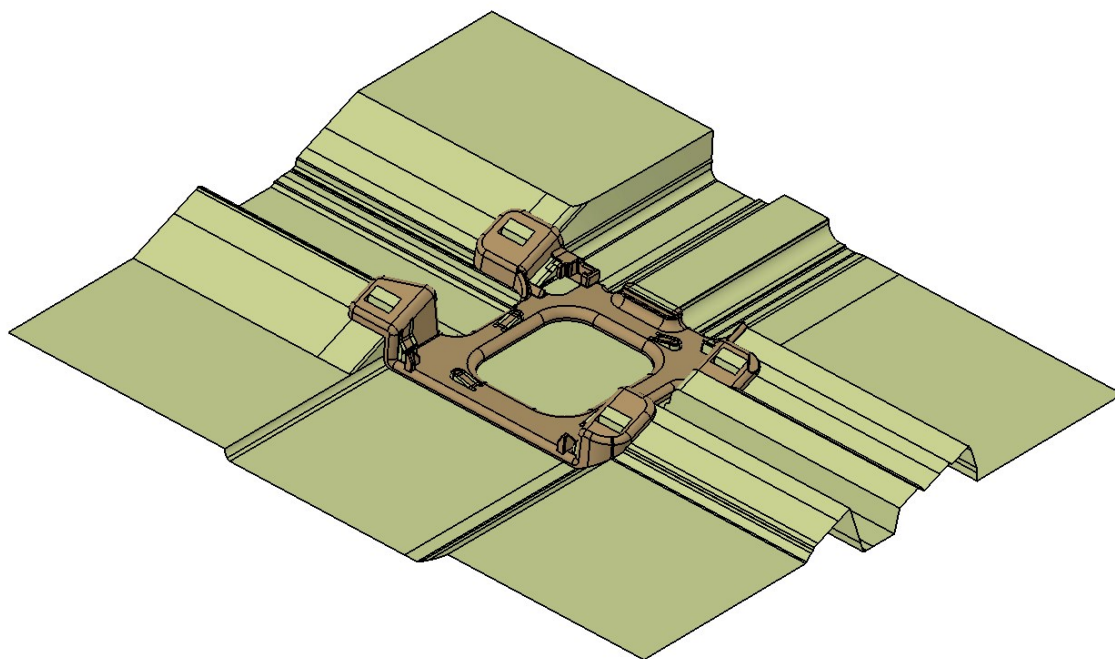
2.3.1 Postup při návrhu vstřikovací formy

Při návrhu vstřikovací formy je zvaženo několik aspektů. Nejprve je posouzena vyrobiteľnosť jak z hlediska výroby tvarových dílů, tak z hlediska technologie vstřikování. Pro posouzení z hlediska vstřikování bývá na začátku konstrukce vytvořena analýza vstřikování v simulačním softwaru. Podle simulace je zvolen vstřikovací stroj, zjištěno nejlepší umístění vtoku a místa uzavírání vzduchu. Po této fázi je navržen typ vtoku, který by pro konkrétní díl byl nejvhodnější.



Obr. 12 Navrzení vtoku v programu Cadmould [26]

Dále je díl zaformován, je tedy rozdělen hlavní dělicí rovinou na dvě tvarové části. U složitějších dílů, které nejdou odformovat ve směru kolmém na dělicí rovinu je nutné vytvořit vedlejší dělicí roviny, kde za pomoci mechanismu bude v daném směru odformován. Následuje vyvločkování tvarové dutiny z hlediska vyrobitelnosti a leštění, rozmístění vyhazovačů, návrh temperačního systému a navrženo odvodušnění. Nakonec je konstruován rám formy s ohledem na velikost tvarových vložek a vstřikovací stroj (připojení vyhazovacích desek, velikost středících kroužků, vzdálenost mezi sloupky).



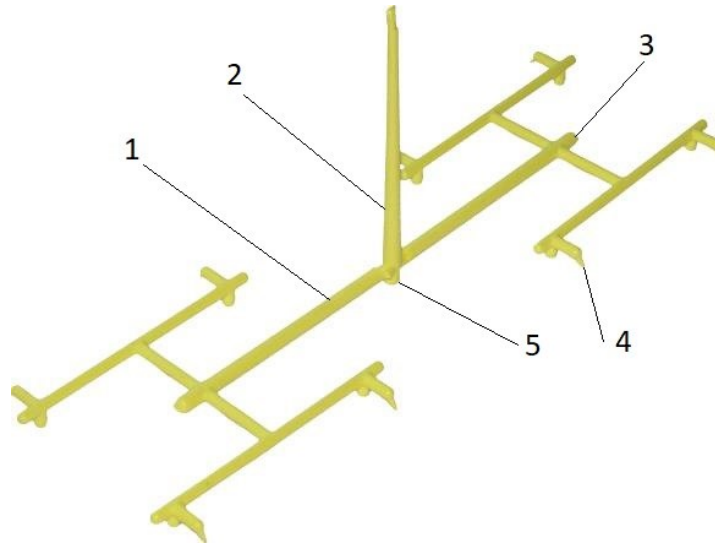
Obr. 13 Dělicí rovina

2.3.2 Vtokový systém

Funkcí vtokového systému je dopravit roztavený polymer do tvarové dutiny formy. Nesprávnou konstrukcí vtokového systému je způsobeno 80 % vad vstříkovaných dílů. Vtoková soustava je dimenzována jako kompromis z hlediska minimální hmotnosti vtoku, minimální degradace materiálu, minimální tlakové ztráty a z hlediska rovnoměrného plnění dutin formy. Vtokové soustavy jsou děleny na studené a horké. U studených soustav je několik různých ústí vtoku, které jsou voleny v závislosti na použití dílu. Správné umístění a typ ústí vtoku je ověřen pomocí analýzy vstříkování. [6,9,13,18]

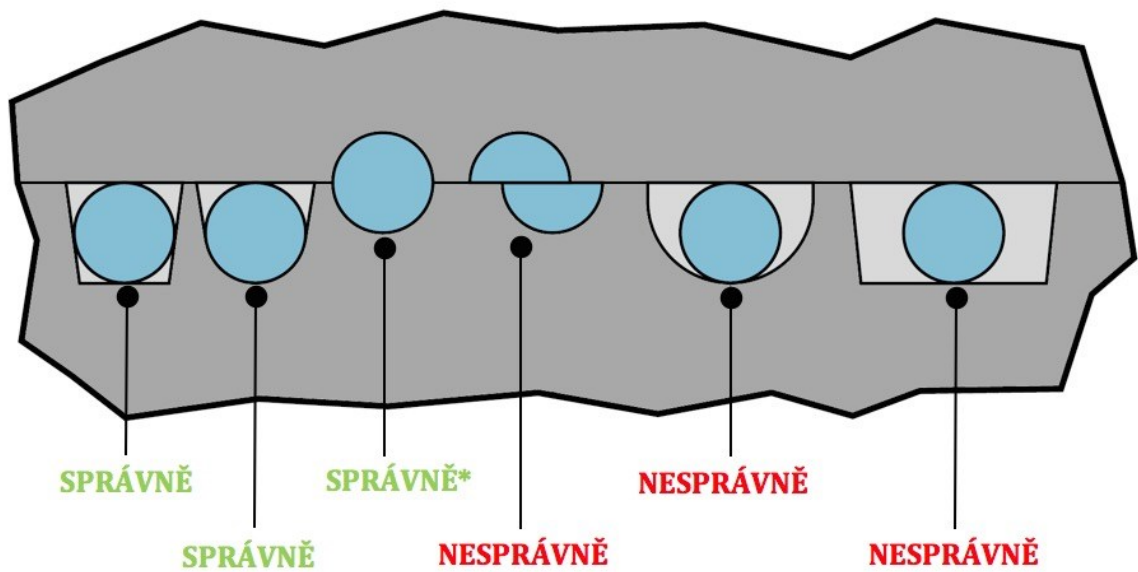
Studený vtokový systém

U studeného vtokového systému proudí roztavený materiál z trysky plastikační jednotky přes trysku, která je součástí vstříkovací formy a není vyhřívána. Kvůli této trysce tavenina při průtoku snižuje svou teplotu a zvyšuje viskozitu daného materiálu. Nevýhodou je také množství vtokového zbytku a z vyšší viskozity materiálu vyplývající horší kvalita vstříkovaných dílů. Na druhou stranu jsou tyto systémy levnější jak z hlediska provozu, tak i z hlediska konstrukce. Studený vtok se rozděluje na vtokový kužel, rozváděcí kanál, přidržovač vtoku, vtokové ústí a zachytávač čela taveniny. [11,19]



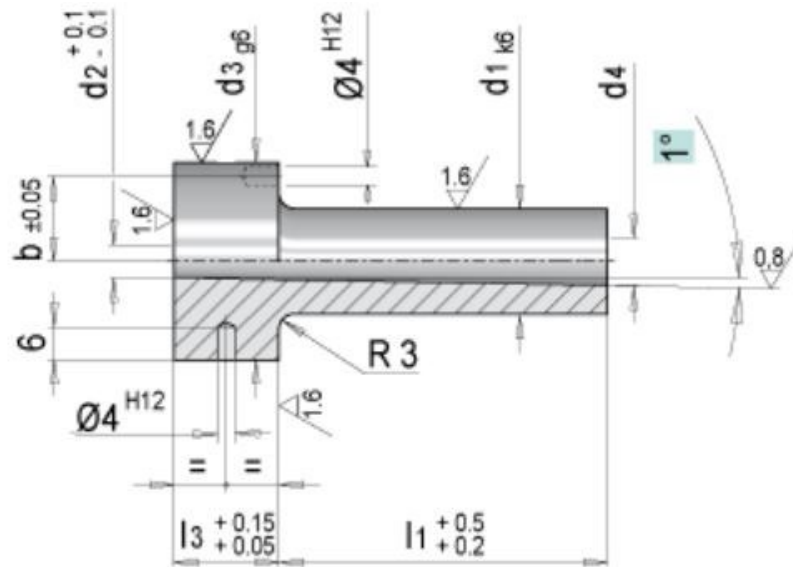
Obr. 14 Studený vtokový systém

1 - rozváděcí kanál, 2 - vtokový kanál, 3 - zachytávač
čela taveniny, 4 - ústí vtoku, 5 - přidržovač vtoku

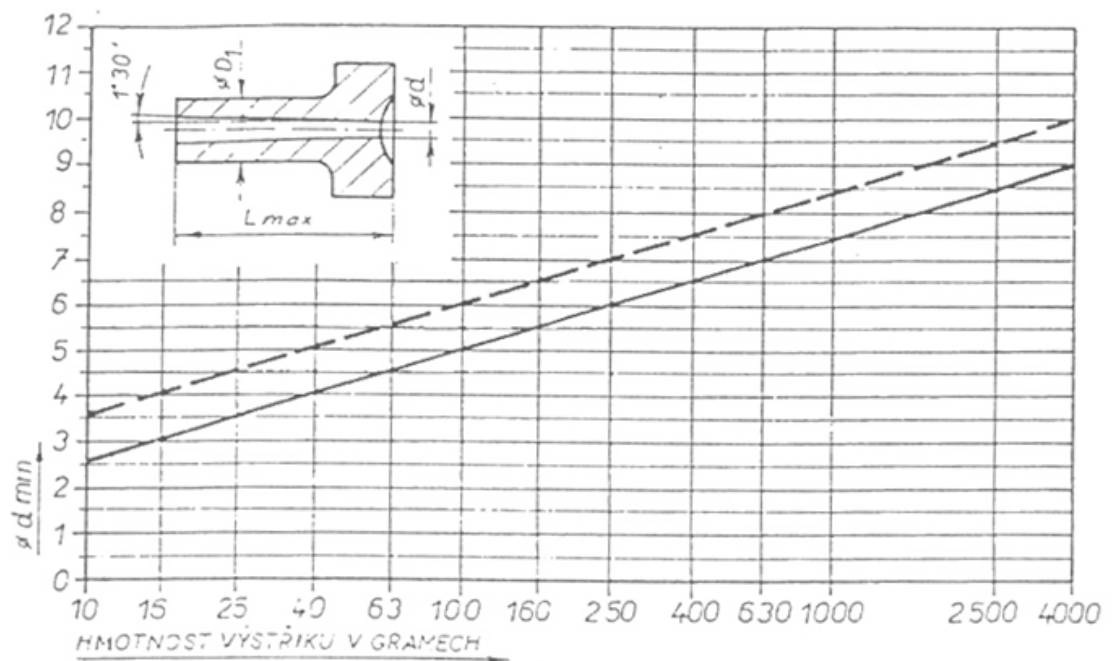


Obr. 15 Vhodné a nevhodné průřezy vtokových kanálů [6]

Trysky, které se používají do forem pro studené systémy, jsou nakupovány od výrobců jako normálie. Vyrábí se především z materiálu 1.2826, kaleno na 54HRC.



Obr. 16 Normálie studeného vtokového kanálu [22]



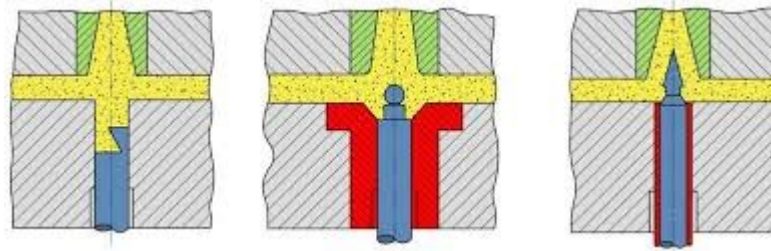
Plná přímka platí pro plasty: PS, PPO, SB, ABS, PEN, PEV, PP, CA
 Čárkovaná přímka platí pro plasty: POM, PMMA, PC

Obr. 17 Určení průměru vtokového ústí [11]

Větvení kanálů musí být rovnoměrné, průměry lze vyvodit ze tří hledisek. Z hlediska konstantní rychlosti, z hlediska konstantní smykové rychlosti nebo úplně bez výpočtu. Nejpoužívanější je hledisko konstantní smykové rychlosti.

Dále je nutné konstruovat zachytávač studeného čela taveniny. Tento zachytávač slouží k zachycení zatuhlé části materiálu, která by při průchodu do dutiny formy způsobila povrchové defekty.

Studený vtok by měl zůstat na pohyblivé straně formy, je toho dosaženo pomocí tzv. přidržovače vtoku. Je několik možností jak tento přidržovač konstruovat, nejčastěji je používán vyhazovač ve tvaru Z. [12]



Obr. 18 Typy přidržovačů vtoku [12]

Horký vtokový systém

Použitím horkého vtokového systému je zmenšeno především množství vtokového zbytku. U vstřikování přímo do dílu není vůbec žádný vtokový zbytek, mnohem častější je ale vstřikování horkou tryskou do rozvodného studeného kanálu, kde je vtokový zbytek menší než při použití normalizované vložky. Principem fungování je udržet polymer ve formě taveniny dané teploty od vstřikovací jednotky až po dutinu formy. Používají se buď jednoduché trysky, nebo v případě více trysek rozvodné bloky, na kterých jsou trysky připevněny. Horké systémy zhotovují firmy na objednání, většinou při poptávce jsou zadány požadované parametry (materiál, hmotnost dílu, požadované rozteče a délky apod.), následně po vypočtení analýzy navrhnou horký rozvod či požadovanou trysku. [11,19]

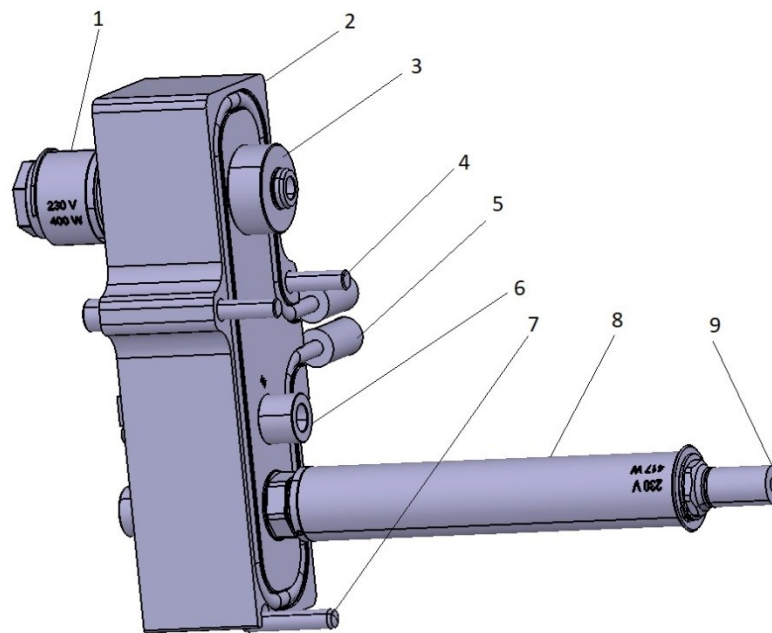
Výhody:

- časové snížení výrobního cyklu
- eliminace vtokového zbytku
- menší tlakové ztráty
- možnost řízené polohy studených spojů

Nevýhody:

- náročnější konstrukční zástavba

- vysoká cena
- konzultace s firmou pro návrh
- obtížné dodatečné změny polohy vtoků
- energetická náročnost



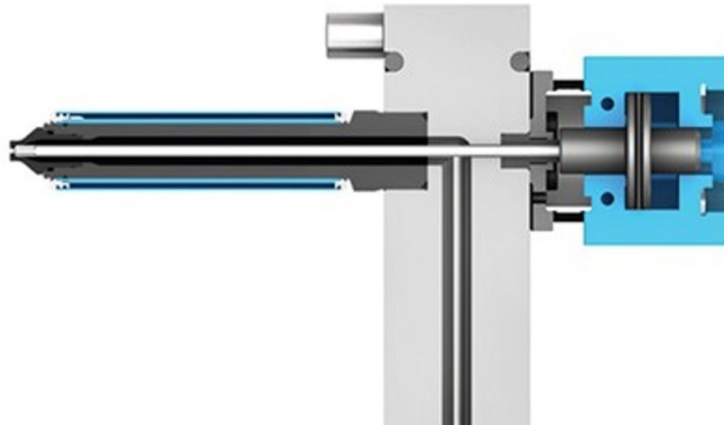
Obr. 19 Horký systém vtoku

*1 - vstupní tryska, 2 - rozvodný blok, 3 - středící podložka,
4 - upevňovací šroub, 5 - kabelový svazek, 6 - vymežovací
podložka, 7 - kolík, 8 - vyhřívaná tryska, 9 - ústí trysky*

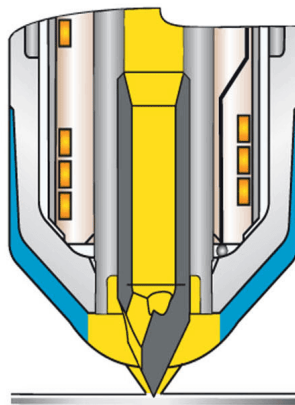
Vyhřívané trysky

Trysky je možné rozdělit dle topení, a to na topení s vnitřním nebo topení s vnějším ohřevem. U trysky s vnějším topením tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Na vnější straně je umístěno topné těleso. U trysky s vnitřním topením je to naopak, tavenina obtéká zahřívací těleso a do středové osy trysky je vsunutá topná patrona. Trysky s vnitřním ohřevem se nedoporučují na estetické průhledné díly. [4]

Ústí trysky bývá upraveno dle použitého materiálu a na doporučení výrobce. Jsou tři druhy zakončení ústí: s torpédem, bez torpéda, s hydraulicky nebo pneumaticky uzavíratelnou jehlou.



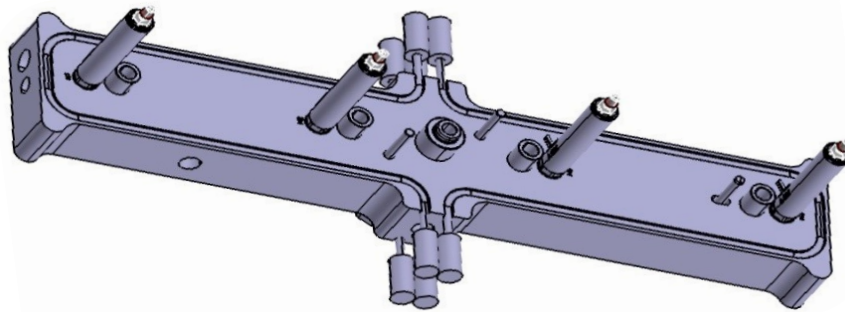
Obr. 20 Horký systém s uzavíratelnou jehlou [27]



Obr. 21 Horká tryska s torpédem [27]

Rozvodné bloky

Rozvodné bloky se používají pro rozvod v rámci horkého systému u vícenásobných, nebo při nutném vyosení horké trysky. Pro zajištění dobré funkce musí vytápění rovnoměrné. Vyhřívání těchto bloků je pomocí elektrických odporových vodičů. Aby nedocházelo k ohřívání formy, je mezi rozvodným blokem a formou vzduchová mezera a jsou ustaveny pomocí podložek. Vyrábí se množství variant v závislosti na počtu trysek např. I, H, X, Y nebo také jen vyosení s jednou tryskou. [4]

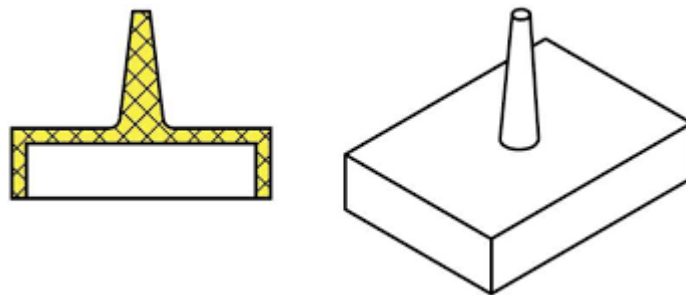


Obr. 22 Rozvodný blok se čtyřmi tryskami

Druhy vtokových ústí

Kuželový vtok

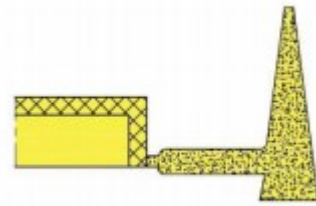
Kuželový vtok se s výhodou používá pro tlustostěnné díly u jednonásobných forem. U tenkostěnného výrobku může vzniknout na díle velký propad nebo dokonce díra. Zbytek vtoku je nutné ručně odstraňovat. Vlivem širokého ústí, tedy pozdějšímu tuhnutí vtokového ústí, může působit dotlak nejdéle. [6,11,18]



Obr. 23 Kuželový vtok [12]

Šterbinový vtok

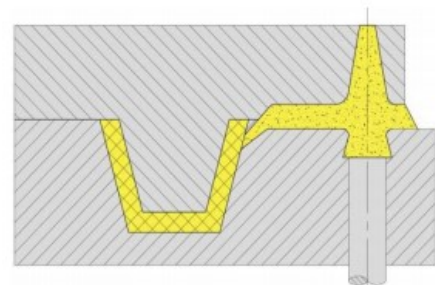
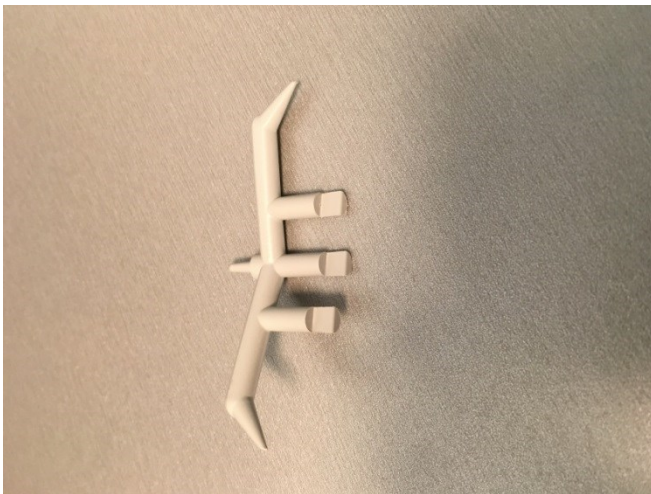
Tento vtok je umístěn do dělicí roviny. Výhodou je především jednoduchá výroba. Využívá se u materiálu se skleněnými vlákny kvůli naorientování vláken nebo pro plošné dlouhé výrobky. Výrazně snižují smykové namáhání. Nutné mechanické odstranění zbytku vtoku. [6,11]



Obr. 24 Štěrbínový tok [12]

Tunelový vtok

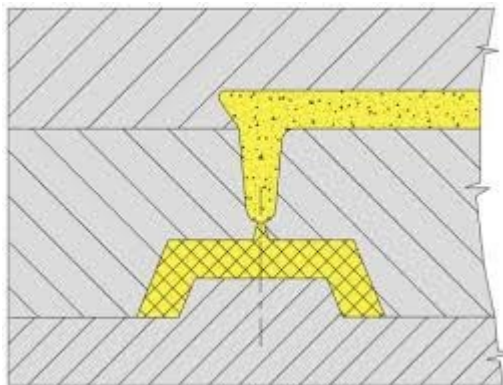
Nejčastěji používaný vtok. Výhodou je automatické odstranění, nepatrná stopa po odformování. Geometrie vtoku se liší u semikrystalického a amorfního materiálu. Výroba je prováděna pomocí elektrody při elektroerozivním obrábění. [6,11]



Obr. 25 Tunelový vtok [12]

Bodový vtok

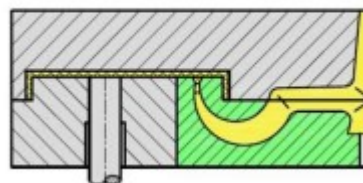
Používá se pro estetické díly s minimální stopou po odformování. Možnost plnění od středu dílu. Pro použití je nutná třidesková forma pro odformování, kde se automaticky odtrhává. Pro dokonalé skrytí se mírně modifikuje geometrie dílu v místě vtokového ústí. [6,11]



Obr. 26 Bodový vtok [12]

Banánový vtok

Použití pro estetické díly z důvodu umístění do spodní části dílu. Není nutné mechanické odstranění. Nevýhodou je náročná výroba, a také nebezpečí zalomení při odformování. Není vhodný pro použití u křehkých materiálů. [6,11]



Obr. 27 Banánový vtok [12]

2.3.3 Vyhazovací systém

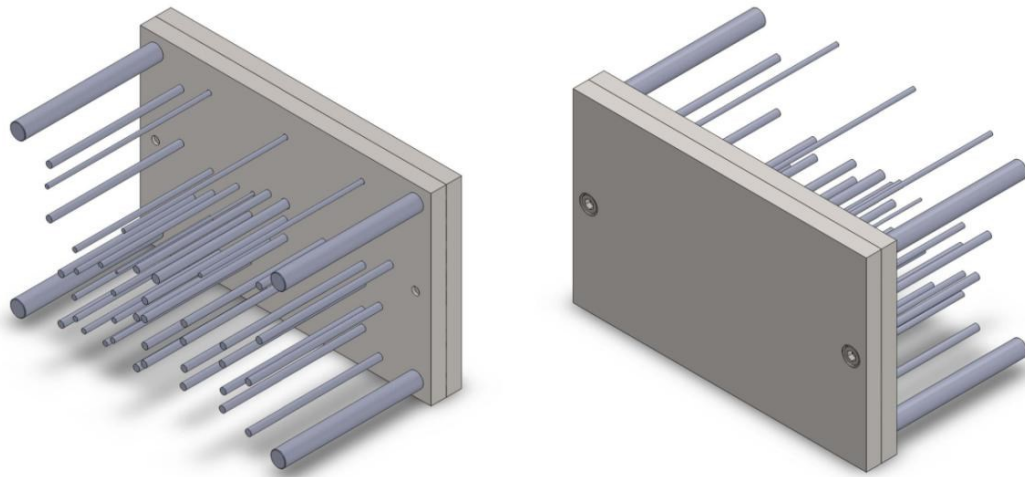
Funkcí vyhazovacího systému je odformovat díl a vyhodit jej z tvarové dutiny, kde zůstávají přichyceny vlivem smrštění. Aby nedocházelo při vyhození k deformacím, musí být vyhazovače, případně vyhazovací segmenty umístěny rovnoměrně, v dostatečném počtu a na správných místech např. žebra, otvory a podobně. [6,13]

Mechanické vyhazování

Vyhazovače

Nejpoužívanější prvek vyhazovacího systému. Je upevněn pomocí kotevní a opěrné desky, při pohybu těchto desek vyhazuje vstříkovaný díl a vtok z dutiny formy. Tyto vyhazovače

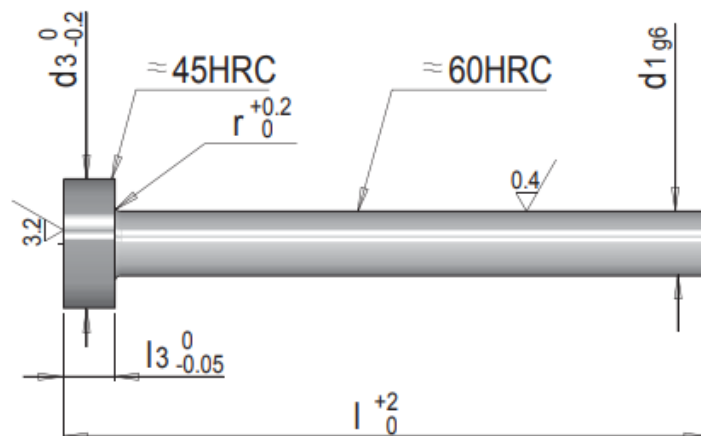
jsou kupovány jako normálie, je několik druhů. Na hotovém výrobku je možné nalézt stopy po vyhazovačích, proto se umísťují na nepohledovou stranu dílu. Používané uložení H7/g6, vůle slouží i jako odvzdušnění.



Obr. 28 Vyhazovače v kotevní desce [21]

Válcový vyhazovač:

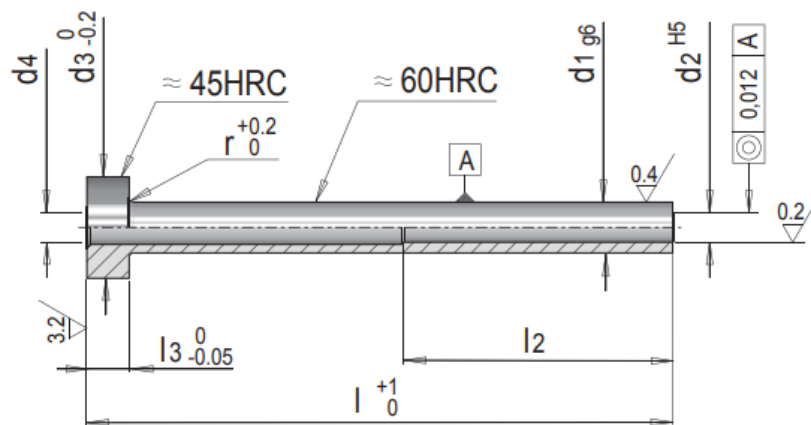
- nejčastěji používaný



Obr. 29 Válcový vyhazovač [22]

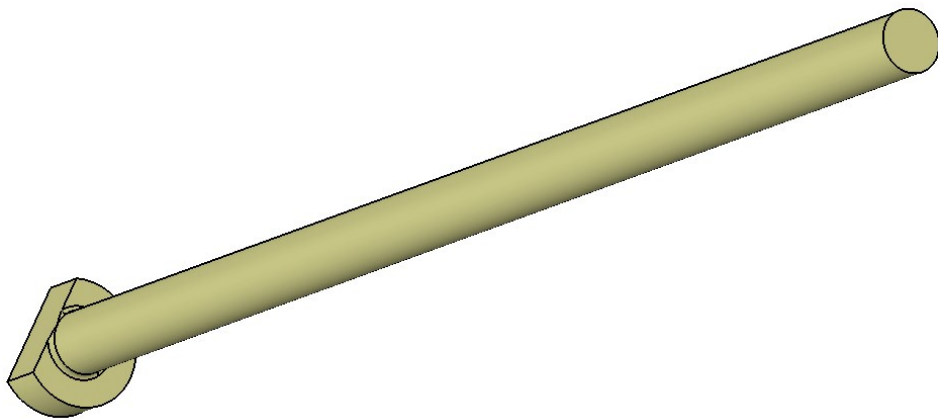
Osazený vyhazovač:

- používá se, aby se předešlo zlomení u malých průměrech válcových vyhazovačů (pod 2 mm)



Obr. 32 Trubkový vyhazovač [22]

U vyhazovačů, které mají na svém konci vyrobený tvar, je nutné zajistit proti pootočení. Nejpoužívanějším způsobem je vytvořit oplošení na hlavě vyhazovače, které bude dosedat na zhloubení v kotevní desce.



Obr. 33 Vyhazovač s plochou proti pootočení

Stírací desky

Stíracími deskami se vyhazují díly, které jsou tenkostěnné nebo rozměrově velké a hrozilo by proražení vyhazovačem nebo zbourání stěny. Výhodou je, že nezanechává stopy na díle. Použití je omezeno tvarem výrobku.



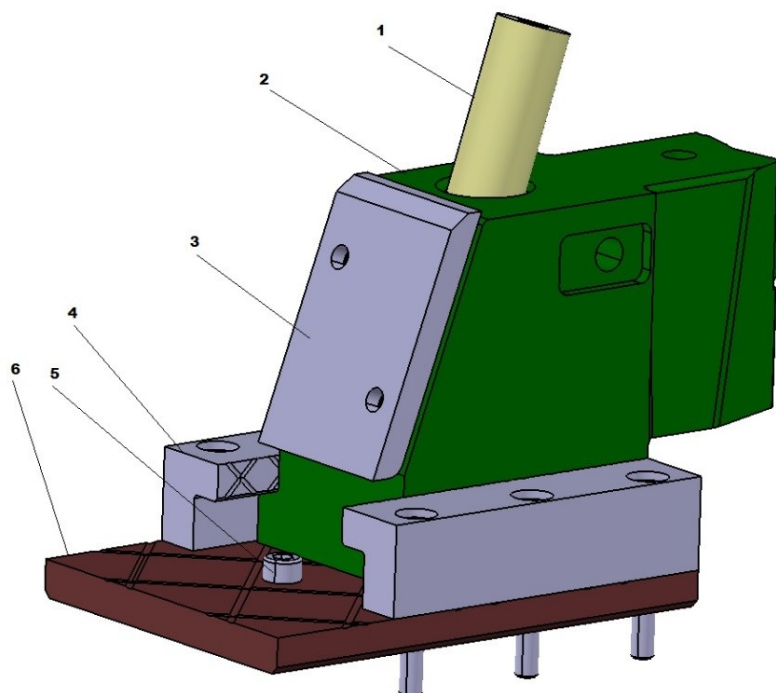
Obr. 34 Stírací deska

Odformování podkosů

Často se na vstříkovaných dílech objevují otvory nebo tvarové negativy, které nelze odformovat v hlavním směru formování. Nutností je použít některou z následujících možností.

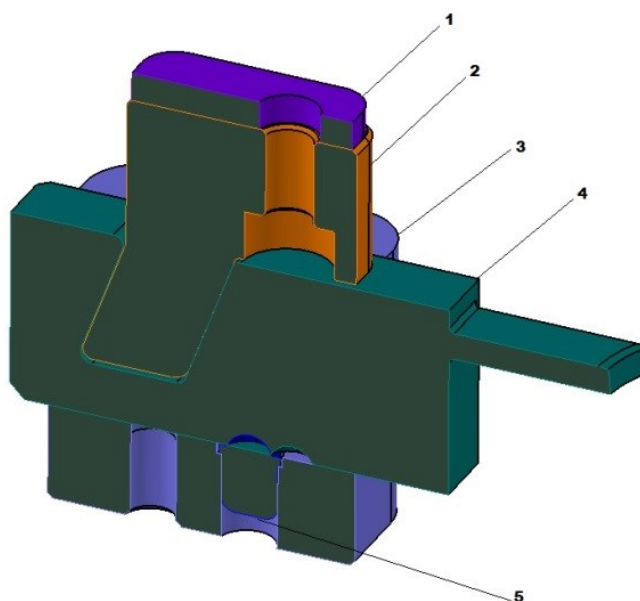
Mechanismus čelisti

Čelist je ovládána kolíkem. Používají se dva druhy kolíků. Buď to válcový kolík, který je umístěn ve formě šikmo pod úhlem 15-25°. Nebo kolík lomený, který nelze použít pro dlouhé zdvihy, ale naopak umožňuje zpoždění navržením vůle mezi čelistí a funkční plochou šikmého kolíku. Sklon lomeného kolíku 12-25°. Kolík a přítlačný klín, který dotlačí čelist do správné polohy a zajišťuje tuhost při vstříkování je pod úhlem o 2° větší než úhel kolíku, tyto komponenty jsou připevněny na pevné straně formy. Čelist, kluzná deska a vodící lišty, které vedou čelist, jsou připevněny na pohyblivé straně formy. Otevíráním a zavíráním formy dochází k pohybu tohoto mechanismu. Při otevřené formě musí být zajištěna poloha čelisti, provádí se pomocí stavěcího šroubu s kuličkou. V případě dlouhých zdvihů nad 100 mm se používají místo kolíků na pohyb čelistí hydraulické válce. [4,5,19]



Obr. 35 Čelist se šikmým kolíkem

1 - šikmý kolík, 2 - čelist, 3 - dosedací destička, 4 - vodící lišta,
5 - zajišťovací šroub, 6 - třecí deska

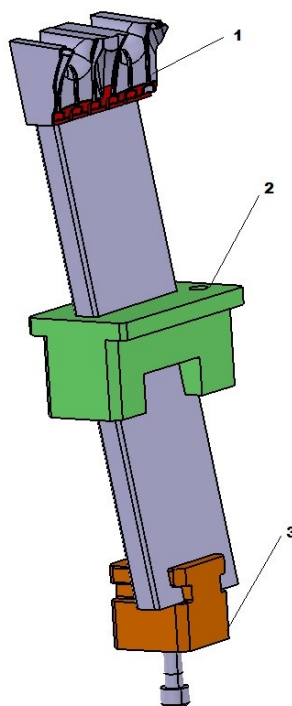


Obr. 36 Čelist s lomeným vedením

1 - podložka, 2 - dosedka se šikmým kolíkem,
3 - vedení, 4 - čelist, 5 - zajištění polohy

Šikmý vyhazovač

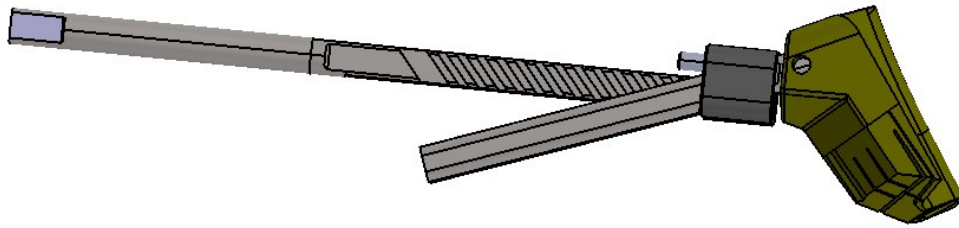
Tento vyhazovač není umístěn kolmo ale pod úhlem 1-15° na dělicí rovinu, používá se u malých negativů, kde je potřeba malý zdvih. Vyhazovač je upevněn do vyhazovacích desek formy, a musí být dodatečně veden v rámu formy, aby nedocházelo k prohýbání vyhazovače a následnému zlomení. Tento způsob odformování podkosu je výrobně jednodušší než použití čelistí. [13]



Obr. 37 Šikmý vyhazovač

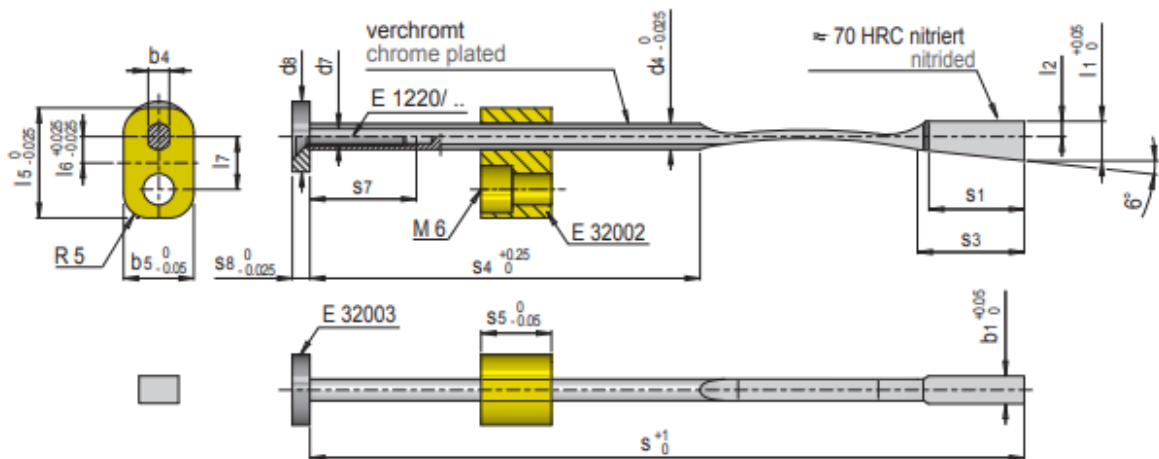
*1 - šikmý vyhazovač, 2 - vedení
v rámu, 3 - vedení v kotevní
desce*

Dalšími možnostmi, odformování podkosů mohou být speciální mechanismy, které vyrábí dodavatelské firmy. Jednou z možností může být tzv. systém Double rack, kterým lze odformovat negativy až 40 mm. Svoji zástavbou neovlivňuje rozměr formy jako u klasického čelistového mechanismu, navíc lze přivést přes táhlo mechanismu teplotu do tvarové hlavy.



Obr. 38 Systém Double rack

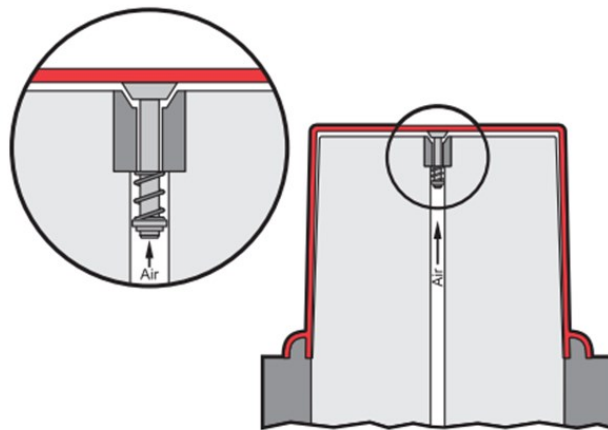
Dále se používají pružné jádra, tyto jádra mají část táhla zakřivenou, která pak umožňuje odjetí ve směru kolmém na hlavní dělicí rovinu. Tyto jádra se používají pro malé negativy do 10 mm např. pro odformování zácvků.



Obr. 39 Pružné jádro [22]

Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se používá u výrobků s tenkou stěnou základního plastu, kde by při použití vyhazovačů docházelo k prorážení a k nežádoucím deformacím. Pracuje na principu přivedení vzduchu do tvarové dutiny pod vstříknutý výrobek, který na tvárníku drží vlivem smrštění. Po přivedení vzduchu ztrácí svoji přilnavost k dutině a je bezproblémově odebrán manipulátorem nebo obsluhou. Na vyhozeném díle nejsou stopy po vyhazovačích jako u mechanického vyhazování. Ventily jsou otevírány tlakem vzduchu a zavírají se pomocí pružin. [4,5]



Obr. 40 Pneumatické vyhazování [23]

2.3.4 Temperace

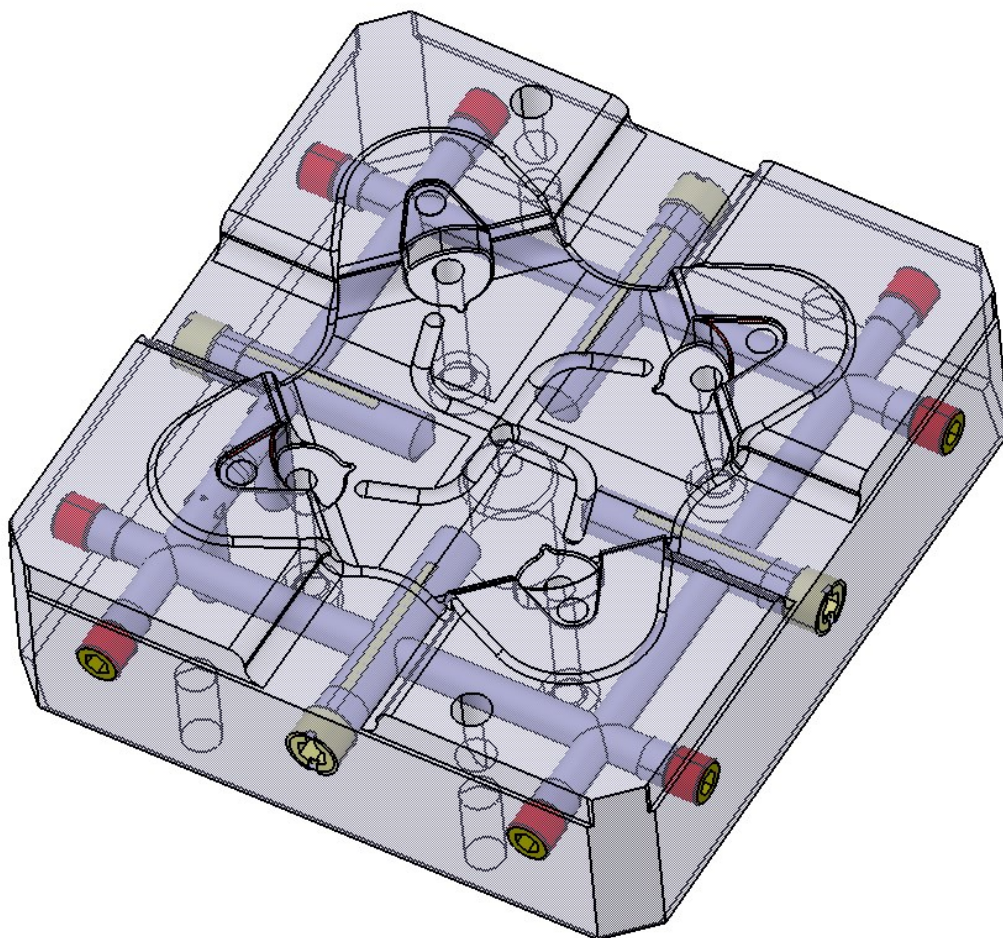
Funkcí temperace je v první řadě ohřát formu na provozní teplotu pro daný plast a udržení konstantní teploty, v druhé řadě chlazení výrobku v dutině formy. Temperace má vliv na délku cyklu, smrštění a s tím související deformace. Jako temperační médium se používá olej nebo voda. Voda při tlakovém vodním temperačním přístroji do 160 °C, použití oleje do 250 až 300 °C. [11]

Tab. 1 Doporučené teploty materiálů a formy [5]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

Soustavu temperace tvoří vrtané kanály, které jsou rozděleny na jednotlivé okruhy, každý z těchto okruhů má vstup a výstup temperačního média, na těchto koncích jsou

přišroubovány náustky pro připojení hadic. Slepé otvory jsou ucpány normalizovanými vnějšími či vnitřními záslepkami. Další použití mají dodávané prvky pro konstrukci temperace, jako jsou přepážky, spirály, fontánky a jiné. Pravidlem pro rozmístění kanálu je použití více kanálů s menším průměrem. Často používané průměry jsou 6-14 mm v závislosti na velikosti formy.



Obr. 41 Temperační okruh tvarové vložky

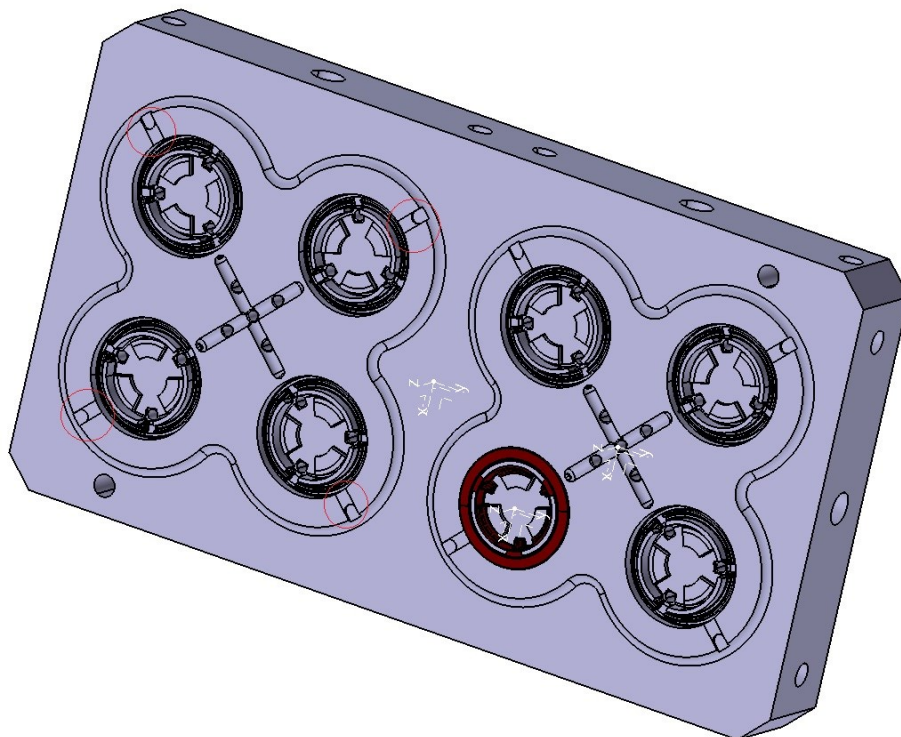
2.3.5 Odvzdušnění dutiny

Při vstřikování dílu je dutina plněna taveninou a je vytlačěn vzduch, který obsahuje dutina na počátku vstřiku. Většina vzduchu uniká vůlemi v dělicí rovině, dále vůlemi vyhazovačů a tvarových vložek. V některých místech výrobku, zejména na koncích toku taveniny dochází k uzavírání vzduchu, které způsobuje nedostříknuté díly nebo spáleniny. Konce toku taveniny nebo místa kde může docházet k uzavírání vzduchu, jsou určeny dle

zkušeností konstruktéra nebo dle provedené analýzy vstřikování. V těchto místech je nutné konstruovat odvzdušnění. Konstrukce odvzdušnění záleží na použitém plastu, konkrétně na viskozitě materiálu. Materiály s vyšší viskozitou mohou mít oproti méně viskózním materiálům větší drážky pro odvzdušnění. [4,5]

Tab. 2 Doporučené hodnoty pro odvzdušnění [6]

TYP PLASTU	ŠÍŘKA ODVZDUŠŇOVACÍHO KANÁLU [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05 - 0,05
strukturní pěny	max. 0,1



Obr. 42 Odvzdušnění na tvarové vložce

2.4 Požadavky pro díly vyráběné technologií vstřikováním

Při navrhování plastových dílů, se konstruktér musí řídit určitými zásadami. Volbou materiálu konstruktér musí splnit požadavky na daný díl. Jsou to požadavky jak z hlediska funkčnosti, tak z hlediska technologie. Z hlediska funkčnosti je nutné zajistit jak mechanické, tak fyzikální vlastnosti výrobku. Z hlediska technologie je potřeba, aby tento díl nevykazoval při výrobě vady a nezmenšoval tzv. technologické oko, a také aby díl byl co nejjednodušší z hlediska konstrukce formy a nezvyšovala se zbytečně cena formy. Obtížně dosažitelné rozměrové tolerance jsou $\pm 0,05$ mm, obvyklá tolerance $\pm 0,3$ mm. [6,11]

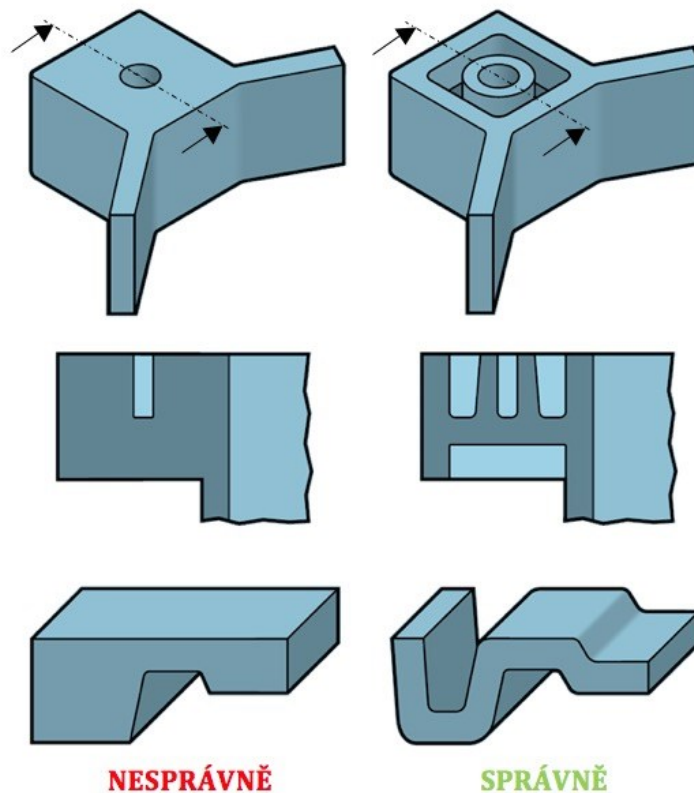
2.4.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina rozděluje díl na dvě poloviny, na pevnou část (většinou pohledová část dílu) druhá polovina je pohyblivá část (nepohledová část dílu). Dělicí rovina by tedy měla být co nejjednodušší, aby docházelo k bezproblémovému odformování dílu. Dělicí roviny jsou děleny na hlavní a vedlejší. Hlavní dělicí rovina je rovina, která je kolmá na směr otevírání formy. Vedlejší roviny jsou ty, které jsou kolmé na směr odformování různých podkosů a nejdou odformovat v hlavním směru. S každou vedlejší dělicí rovinou je potřeba navrhnout nový mechanismus odformování. Proto je u dílu důležité pamatovat na to, aby měl díl co nejméně vedlejších dělicích rovin. V zásadě by dělicí rovina měla probíhat po hranách výrobku a mít co nejjednodušší geometrické tvary, aby mohla být forma lehce slícovatelná. Ve většině případů bývá na zadaném díle dělicí rovina navržena konstruktérem dílu. V případě změny si konstruktér formy nechá tuto změnu schválit u konstruktéra dílu. [6,11]

2.4.2 Tloušťka stěn

Tloušťkou stěny vstřikovaného dílu jsou výrazně ovlivněny parametry vstřikování. Přihlížet se musí jak k velikosti dílu, tak k viskozitě použitého materiálu. Tloušťka stěny by měla být v průběhu dílu co nejvíce konstantní. V případě nutného přechodu tloušťky stěny by nemělo docházet k ostrým přechodům z důvodu tvorby propadů, lépe volit přechod pozvolný s dostatečným rádiusem. Pokud by byla tloušťka dílu větší, bude cyklus mnohem delší z hlediska dotlaku a chlazení. Na druhou stranu u menší tloušťky stěny by bylo potřeba velkých vstřikovacích tlaků a nemožnost dlouhého působení dotlaku z důvodu rychlého zatuhnutí plastu. Zároveň musí díl splňovat mechanické a fyzikální

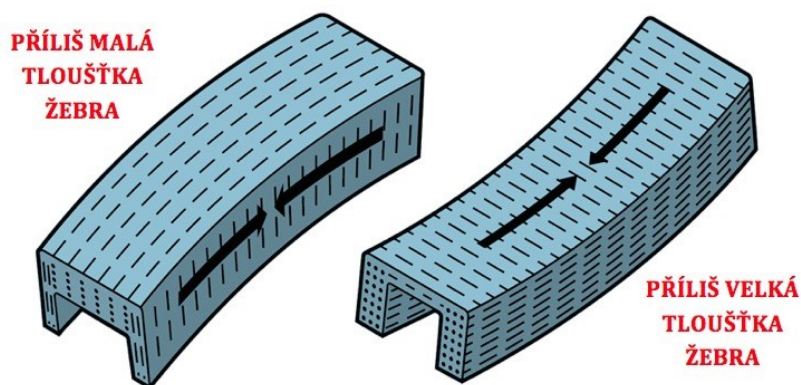
vlastnosti při použití. Proto jsou prováděny analýzy, které jsou možností předejít těmto avizovaným chybám. [6,11]



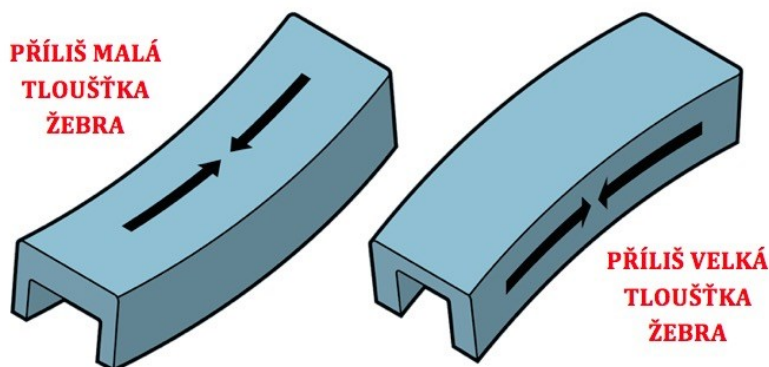
Obr. 43 Porovnání správné a nesprávné tloušťky stěn [6]

2.4.3 Žebra

Přidání žebra na vstřikovaný díl má dvě hlediska. První hledisko je zvýšení tuhosti a pevnosti za stávající tloušťky stěny. Druhé hledisko je technologické, žebra zabraňují deformaci výrobku při chladnutí a smrštění. Ke splnění účelu žebra musí mít určitý poměr k tloušťce základního plastu, a také aby nedocházelo k nežádoucím velkým propadům. Důležité je také rozmístění žebra. Žebra musí být umístěny ve směru předpokládaného namáhání, a také ve směru toku taveniny. Tloušťka žebra by měla mít okolo 70 % základního plastu a výška žebra by neměla trojnásobně překročit tloušťku základního plastu. V případě nedodržení těchto skutečností může docházet k nedotečeným žebřům nebo dokonce k ulamování žebra v dutině formy. [6,11]



Obr. 44 Vliv tloušťky žeber na deformaci plněných plastů [6]



Obr. 45 Vliv tloušťky žeber na deformaci neplněných plastů [6]

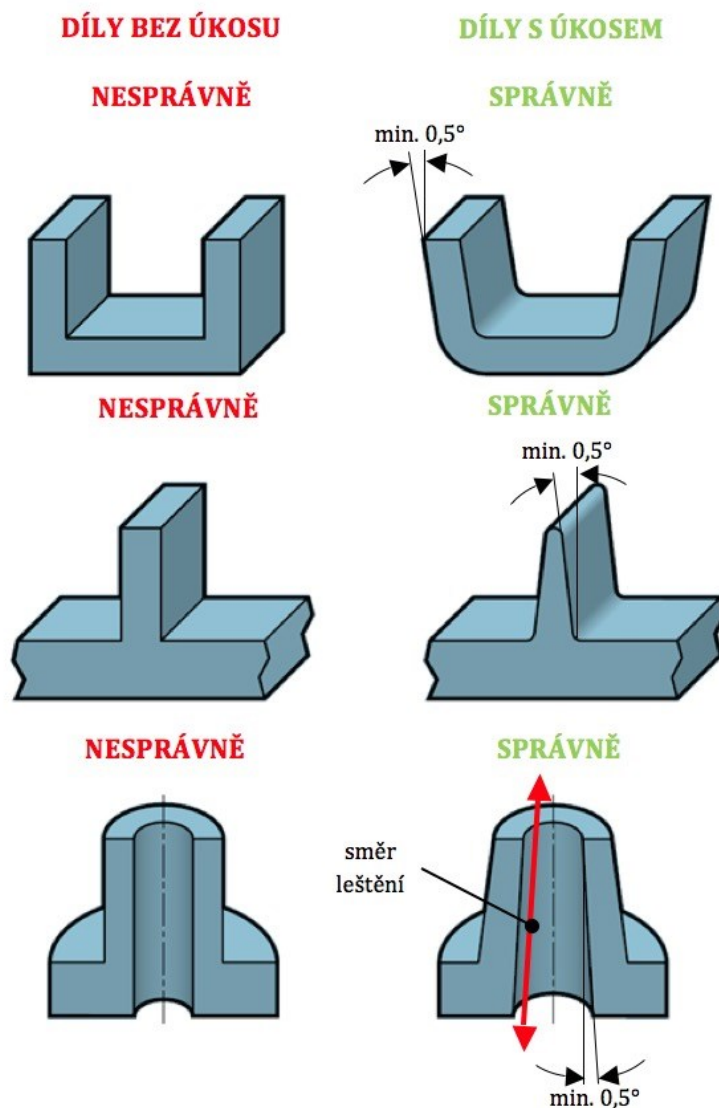
2.4.4 Zaoblení hran

Zaoblování hran vstřikovaného dílu zlepšuje v první řadě tečení materiálu v dutině formy. Dále zaoblení hran zvyšuje tuhost daného výrobku, protože v místech ostrých hran dochází ke špičkám napětí při zatížení. Tato koncentrace napětí může vést až k praskání dílu a tím k nedodržení mechanických vlastností hotového výrobku. Další výhodou zaoblování hran je lepší odformování při vyhození, a také jednodušší výroba. Nedostatkem jsou také ostré přechody různých tloušťek stěn, vhodným zaoblením docílíme pozvolného přechodu a snížení tak tvorby defektů při následném vstřikování. [6,11]

2.4.5 Úkosy

Pro snadnější vytažení dílu z dutiny formy musí být všechny plochy dílu, které jsou kolmé na dělicí rovinu nákosovány. U dílu ze semikrystalického materiálu by měli být na vnitřní straně dílu větší úkos než na straně vnější. U amorfních plastů je to naopak. Děje se tak

kvůli smrštění, které bývá u semikrystalických materiálu větší, proto se nalepí více na vnitřní stranu dutiny formy. Někdy se stává, že výrobek zůstává po otevření formy na pevné straně tvarové dutiny. Tato skutečnost je nežádoucí, proto se na pohyblivé straně navrhuje přidržovače, které díl na pohyblivé straně přidrží. Při vyhození dochází k přetažení negativu, proto je nutné navržený přidržovač odzkoušet. V případě, že je na díle požadován dezén, je potřeba zjistit od výrobce dezénu, jaký požadovaný úkos musí být pro odformování daného dezénu. [6,11]



Obr. 46 Doporučení pro návrh úkosů [6]

2.5 Vady vstřikovaných dílů

Vadou vstřikovaného dílu je změna vzhledu, rozměru, tvaru nebo vlastností, které se odlišují od stanoveného standardu. Zdroje vad mohou být různé, od zpracovávaného materiálu přes konstrukci výrobku, konstrukci formy až po technologické podmínky vstřikování. Vady mohou být buď přípustné, nebo nepřípustné, záleží na schváleném referenčním vzorku. [14]

2.5.1 Propady

Tato vada vzniká vlivem nerovnoměrné tloušťky výrobku. Například místa připojení žeber na základní plast. Eliminace propadů pomocí delší dotlakové fáze. [16,17]



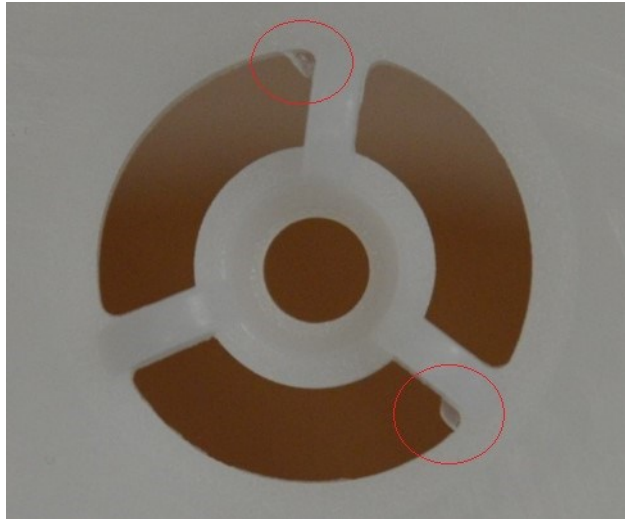
Obr. 47 Propady na vstřikovaném díle

2.5.2 Diesel efekt

Vzniká vlivem špatného odvětrání dutiny formy. Zlepšení konstrukcí odvětrání, snížením teploty taveniny, formy nebo zvětšení času vstřiku. Může vznikat i z důvodu vysoké smykové rychlosti daného materiálu. [16,17]

2.5.3 Přetoky

Mohou vznikat z důvodu nečistoty v dělicí rovině, vysoké teploty taveniny nebo z důvodu malé uzavírací síly stroje nebo špatným slícováním formy. [15]



Obr. 48 Přetoky

2.5.4 Jetting

Vzniká z důvodu špatné pozice vtoku, materiál teče do dílu volným tokem a vytváří na povrchu dílu stopu po tečení. Proto nejlépe umísťovat vtok proti žebru nebo některé ze stěn výrobku. [16,17]



Obr. 49 Stopy po volném toku taveniny [28]

2.5.5 Nedotečení dílu

Úzce souvisí s diesel efektem, materiál nedotéká tam kde je nahromaděn zbylý vzduch. Možné zlepšení rychlejším vstřikem nebo teplotou taveniny, na druhou stranu zase může vzniknout diesel efekt, poté bude nutné navrhnout odvzdušnění. [15]



Obr. 50 Nedotečené díly

2.5.6 Studený spoj

Vzniká na koncích toku taveniny, kde se čela taveniny potkávají při nižší teplotě než na počátku vstříku. Může mít velký vliv na pevnost daného výrobku. Studený spoj je dán pozicí vtoku. Zlepšení může být provedeno rychlejším vstřikem a zvýšením teploty taveniny. [16,17]



Obr. 51 Studený spoj

2.5.7 Tvarová deformace

Nastává buď ze špatné konstrukce vstřikovaného dílu, například špatné rozmístění vyztužovacích žebířek nebo nastává kvůli špatným technologickým podmínkám. Velkým vlivem je dodatečné smrštění po vyjmutí z formy a s tím související zkracování vstřikovacího cyklu, konkrétně zkrácení doby chlazení nebo nedostatečná doba působení dotlaku. [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

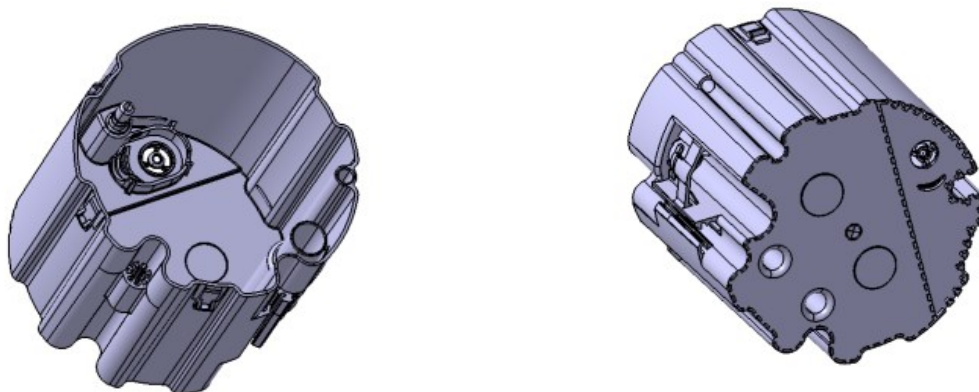
Cíle pro tuto diplomovou práci jsou:

- 1) Vypracovat literární studii na dané téma.
- 2) Nakreslit model daného dílu ve 3D.
- 3) Provést konstrukci vstřikovací formy pro zadaný dílu.
- 4) Provést analýzu navržené formy pomocí tokových simulací.

V praktické části je cílem konstrukce vstřikovací formy na základě 3D modelu vstřikovaného dílu. Konstrukce vstřikovací formy bude probíhat v programu Catia V5. Normalizované díly jsou čerpány z katalogu Meusburger. Návrh vstřikovací formy je ověřen pomocí analýzy v programu Cadmould. Po výrobě vstřikovací formy a následném vstřikování je výsledný díl porovnán s analýzou deformace v programu Cadmould. Následně jsou provedeny korekce formy, které vyplynuly z naskenovaného výsledného dílu. K diplomové práci je přiložena 2D sestava vstřikovací formy.

4 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Jedná se o díl palivového čerpadla automobilu. Obecně je to konstrukční díl, který má mechanické vlastnosti nadřazené vzhledu. Hmotnost hotového výrobku je 153 gramů, vnější rozměr dílu je $\varnothing 63,5$ mm x 113 mm. Dle požadavku zákazníka bude forma vyrábět jeden kus na vstřikovací cyklus.



Obr. 52 Vstřikovaný díl

4.1 Materiál dílu

Protože se jedná o konstrukční díl, je tedy použit na tento díl semikrystalický materiál POM. Konkrétní označení materiálu je Hostaform C1302. Tento materiál se používá díky své tuhosti a houževnatosti. Především absorbuje velmi málo vlhkosti, má tedy konstantní fyzikální vlastnosti v různých prostředích. Teplota zpracování toho materiálu je 180-200°C při doporučené teplotě vstřikovací formy 60-120 °C. Doporučená maximální smyková rychlost 40 000 1/s.

Tab. 3 Parametry materiálu POM

Minimální teplota taveniny	190 °C
Maximální teplota taveniny	230 °C
Teplota pro vyhození výrobku z formy	165 °C
Smrštění normálové	1,8 %
Smrštění paralélní	2 %
Modul pružnosti v tahu	2900 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	40000 1/s
Hustota v pevném stavu	1410 kg/m ³
Hustota taveniny	1200 kg/m ³
Absorbce vody	0,65 %

5 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Dle výpočtu velikosti uzavírací síly pro zadaný díl byl zvolen vstřikovací stroj s uzavírací silou 1800 kN. Konkrétní název vstřikovacího stroje je Battenfeld EcoPower 180/750. Tento stroj má elektro-mechanickou uzavírací jednotku. Lze do stroje dostat formy 225-550 mm hluboké. Rozměry mezi vodícími sloupky jsou na výšku 520 mm a na šířku 570 mm. Pro středění na tento stroj musí mít forma středící kroužky o průměru 160 mm.

Tab. 4 Parametry vstřikovacího stroje

Ø Šneku [mm]	V _{max} [cm ³]	F _{max} [kN]	Hloubka formy [mm]		Mezi sloupky [mm]		Ø Středícího kroužku [mm]
			min	max	šířka	výška	
50	442	1800	300	975	570	520	160

Výpočet uzavírací síly

F	....	otevírací síla plastu v dělicí rovině	[N]
Q _n	....	uzavírací síla lisu	[N]
p _v	....	tlak plastu ve formě (pro kompaktní plasty 5*10 ⁷ - 8*10 ⁷ N/m ² = 50 - 80 MPa)	[N/m ²]
S	....	celkový plošný obsah průmětu dutin a rozváděcích kanálek do dělicí roviny	[m ²]

$$F = S * p_v \leq 0,80 * Q_n$$

$$F = 0,012 * 8 * 10^7 = 960 \text{ kN} \leq 1440 \text{ kN}$$

Uzavírací síla vstřikovacího stroje je dostatečně velká, tato forma může být vstřikována na zvoleném vstřikovacím stroji.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 Catia V5

Catia byla použita na konstrukci formy a modelování samotného dílu. Jedná se o 3D program, který umožňuje jak objemové modelování, tak i plošné modelování. Je vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systems a užíváný hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. Catia podporuje různé stupně vývoje výrobku, od konstrukce (CAD) přes výrobu (CAM) až po analýzy (CAE).

6.2 Cadmould

Tento program byl použit na analýzu vstřikování daného dílu. Cadmould je CAE modulární softwarová sestava, která analyzuje proces vstřikování plastů. Pro analýzu je potřebný 3D CAD model plastového dílu ve formátu STL, STEP nebo IGES. Výpočtová přesnost softwaru Cadmould je velmi vysoká, přitom výpočty probíhají rychle, což je základním předpokladem pro možnost provádění variantních výpočtů.

6.3 Gom inspect

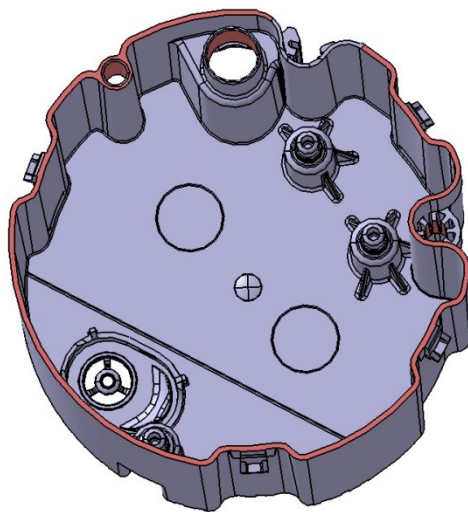
Tento program byl použit pro zobrazení 3D projekce hotového vstřikovaného dílu pro následující korekce formy, a také pro porovnání deformací vůči simulaci vstřikování. GOM Inspect je software ke zpracování 3D dat získaných měřením metodou projekce pruhů světla, laserovými skenery, souřadnicovými měřicími stroji (CMM) a jinými měřicími systémy. Software GOM je určen k použití v oblasti vývoje produktů, kontroly kvality a výroby.

7 KONSTRUKCE FORMY

Dle požadavků zákazníka bude forma jednonásobná. Vstřikovací systém bude horký bez uzavíratelných jehel s vtokem přímo do dílu. Je požadována temperační patice pro snadné připojení temperačních okruhů. Díl bude označen datumovkami (rok, den, měsíc) a materiálem dílu. Na formě budou umístěny dvě teplotní čidla a jedno čidlo tlakové. Dle konstrukce dílu bude součástí formy jeden mechanismus na odformování podkosu. Díl bude odebírán manipulátorem.

7.1 Úprava dílu

Díl od zákazníka byl již zúkosován. Dle výkresu dílu jsou upraveny rozměry na díle, které mají jednostranné tolerance. A to tím způsobem, aby při rozměrových korekcích byl materiál odebírán a ne navařován. Jednalo se především o průměry otvorů. Také je upravena pata dílu. Pata dílu je zkrácena o 0,6 mm také z důvodu jednostranné tolerance. Po dodatečných úpravách je díl zvětšen o hodnotu smrštění, a to o 1,9 %.

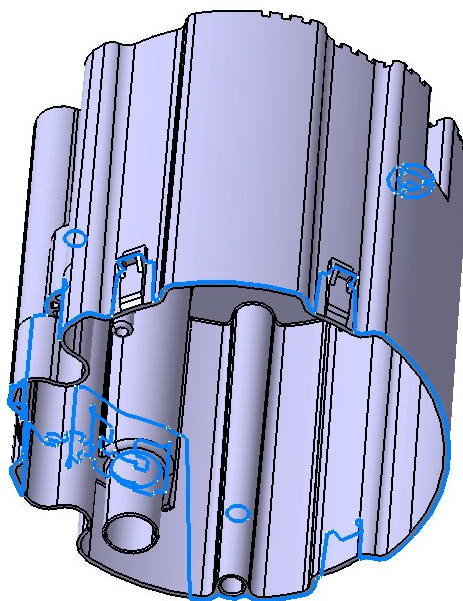


Obr. 53 Označení upravovaných rozměrů

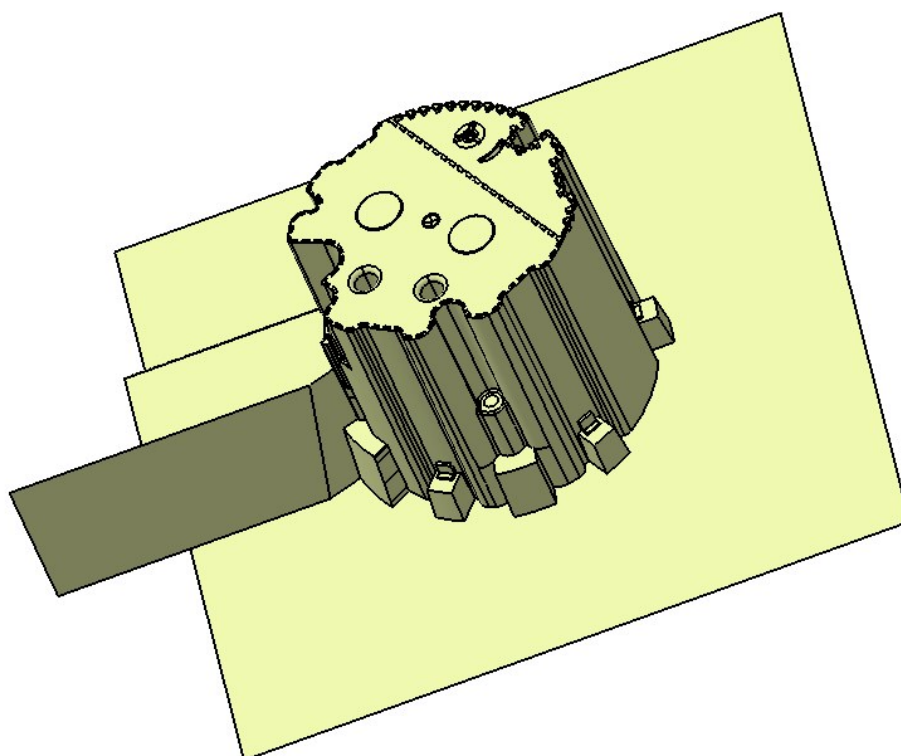
7.2 Návrh dělicí roviny

Na upraveném dílu jsou vytvořeny nejprve dělicí křivky, které rozdělí díl na pevnou a pohyblivou stranu. Poté jsou určeny dělicí roviny. Tento díl má dvě dělicí roviny. Jedna rovina je ve směru kolmém na otevírání formy, druhá rovina je ve směru odformování negativu na boční straně dílu. Dalším krokem je vytvoření dělicí plochy, pomocí kterých

vznikne negativ pro ořezání tvarových vložek. Vše je provedeno pomocí funkcí plošného modeláře Catia.



Obr. 54 Dělicí křivky



Obr. 55 Negativ pevné strany

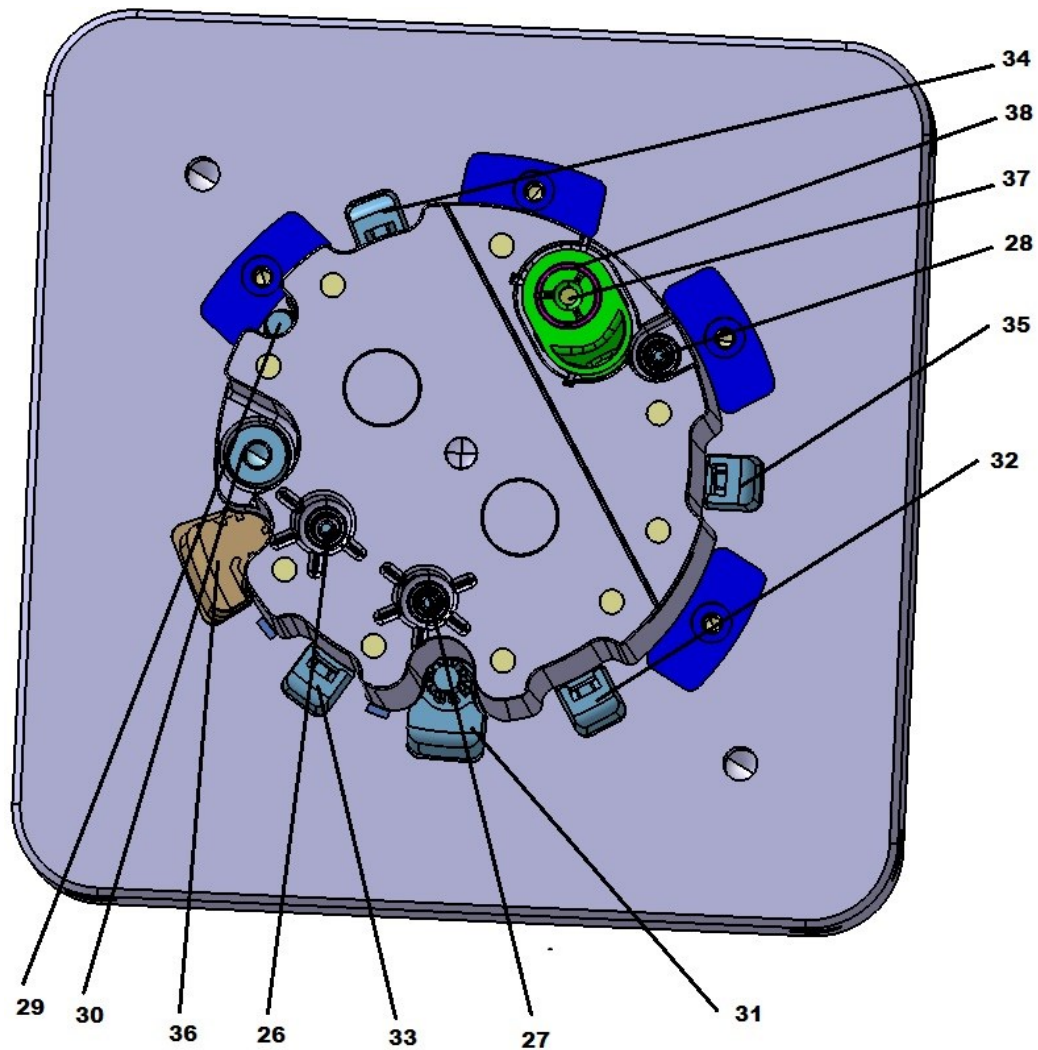
7.3 Tvarová část formy

Tvarové vložky vzniknou ořezáním vytvořeného negativu dílu. Dále jsou tyto tvarové vložky rozděleny na menší vložky z hlediska vyrobitelnosti, leštění či následných korekcí. Ve většině případů je použit materiál 1.2343, který je následně kalen. Tvary těchto vložek jsou vyráběny pomocí elektroerozivního obrábění.

7.3.1 Pohyblivá strana



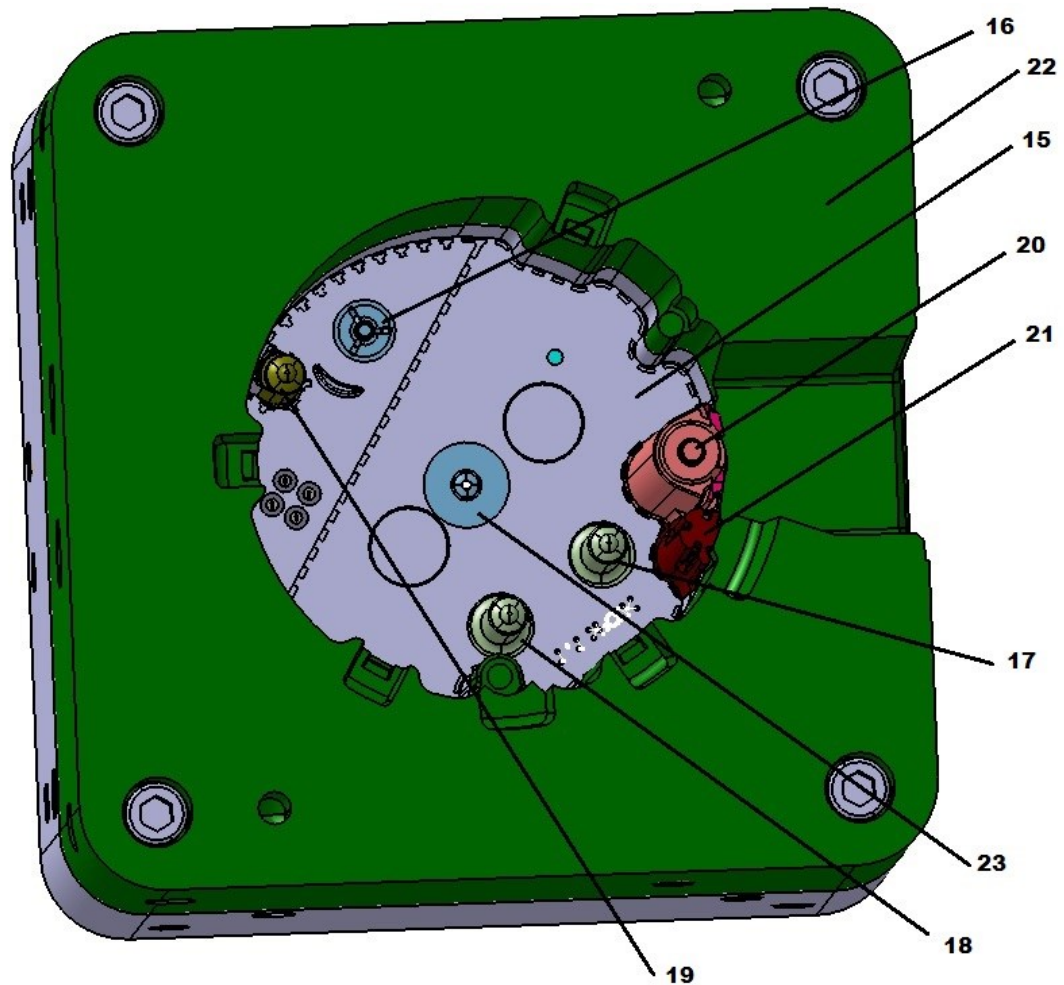
Obr. 56 Tvarová vložka pohyblivé strany



Obr. 57 Rozdělení vložek na pohyblivé straně formy

Vložky číslo 26, 27, 28, 29 jsou vyrobeny z normálií vyhazovačů Meusburger. Hlavní tvarová vložka je z materiálu 1.2343 ESU, který má lépe homogenizovanou strukturu. Vložka číslo 38 je z materiálu Bohler K390, tento materiál byl zvolen kvůli své vysoké odolnosti vůči otěru a vysoké pevnosti v tlaku. Ostatní vložky jsou vyrobeny z materiálu 1.2343 a následně kaleny.

7.3.2 Pevná strana

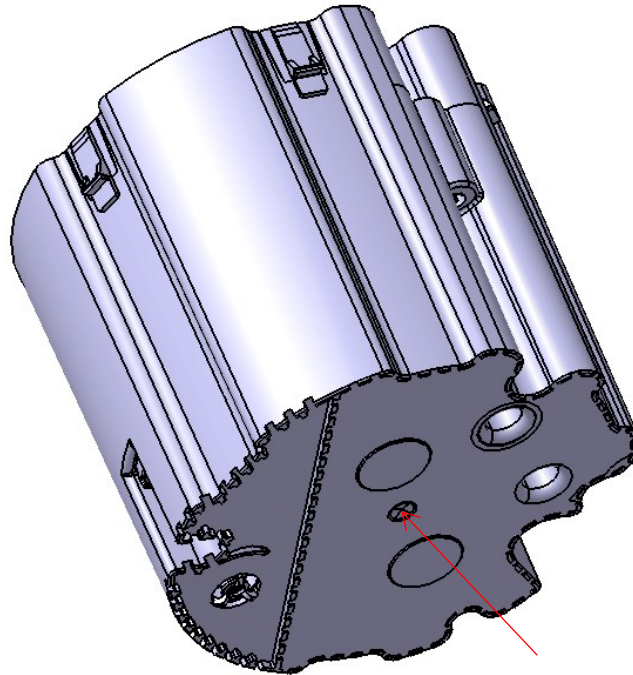


Obr. 58 Rozdělení vložek na pevné straně

Vložky číslo 15 a 22 jsou z materiálu 1.2343 ESU. Vložky 17,18,19 jsou z materiálu Albromet (slitina na bázi mědi), tento materiál je použit kvůli lepší vodivosti tepla. Ostatní vložky jsou opět z nástrojové oceli 1.2343.

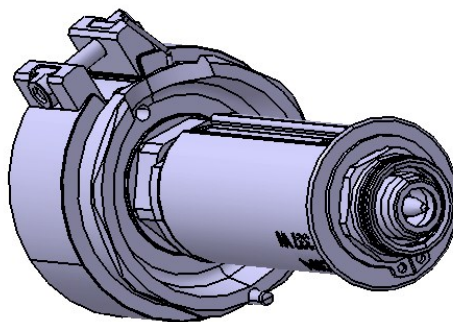
7.4 Vtokový systém

Protože se jedná o jednonásobnou formu, je použita horká tryska bez rozvodného bloku se špičkou, která ústí přímo do dílu. Díl má od zákazníka namodelovanou čochku pro umístění vtoku přímo do dílu. Průměr čochky je 6 mm a hloubka čochky 0,6 mm.



Obr. 59 Umístění vtoku

Dle nabídky od firmy Synventive je navržena tryska o průměru 12 mm, délce 90 mm a se vstupním poloměrem 40 mm. Tato tryska má dvě topné zóny. První zóna je pro hlavu trysky a druhá je pro tělo trysky. Tyto zóny jsou vyvedeny kabely na horní stranu formy a připojeny do umístěného konektoru.

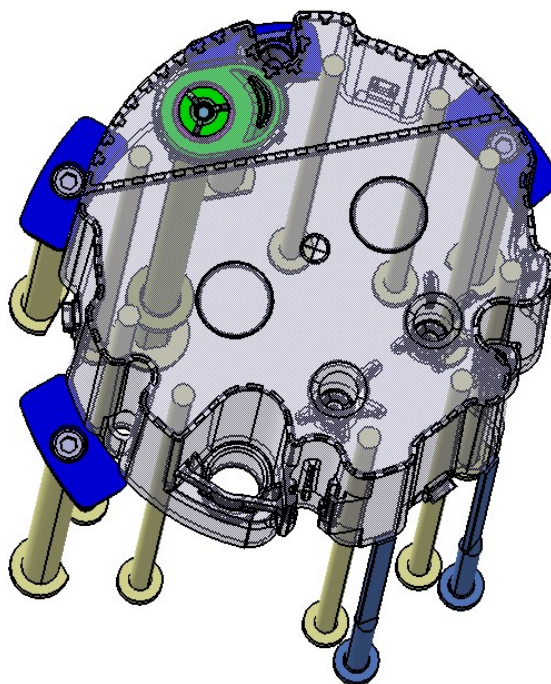


Obr. 60 Horká tryska navrhované vstřikovací formy

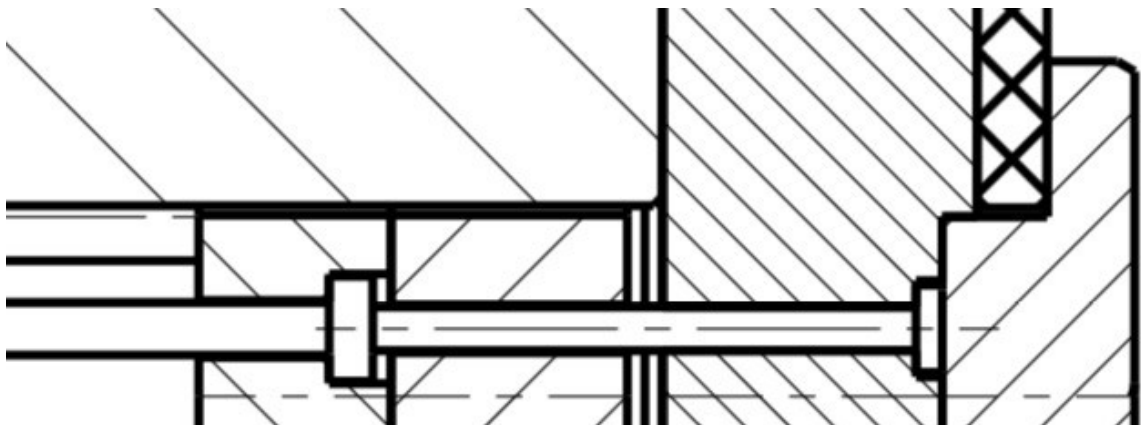
7.5 Vyhazovací systém

Na patě dílu jsou použity vyhazovací segmenty a ploché vyhazovače z důvodu tenké stěny a možnosti zborcení při použití válcových vyhazovačů.

Na vyhození dílu jsou použity válcové vyhazovače, které jsou umístěné na čele dílu. Tyto vyhazovače budou zpožděny o smrštění dílu z důvodu, aby nedeformovaly čelo dílu a vyhazovací segmenty na patě by byly neefektivní. Konkrétní zpoždění vyhazovačů na čele tvárníku je 2,1 mm.

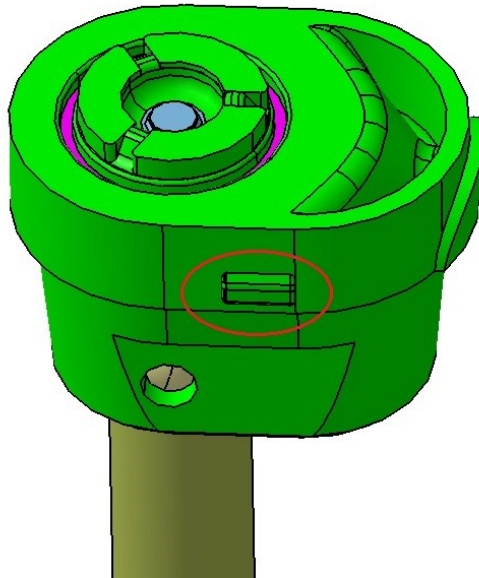


Obr. 61 Umístění vyhazovačů na díle

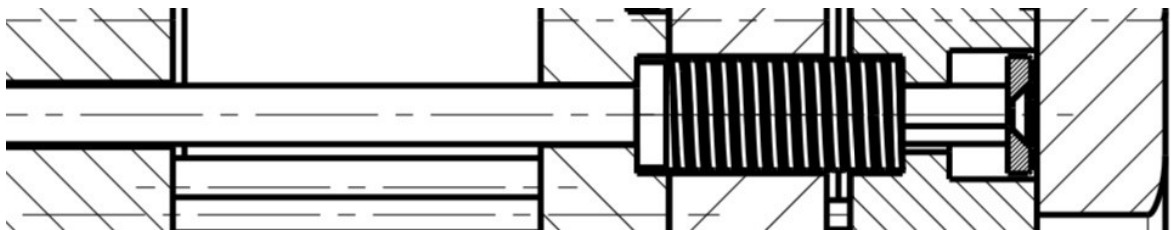


Obr. 62 Zástavba zpožděných vyhazovačů

Na horní straně dílu se nachází malý podkos, tento podkos bude odformován přetažením. Konkrétně vložka s negativem bude vyjíždět pomocí táhla a pružiny při pohybu vyhazovacích desek, poté bude díl přetažen.

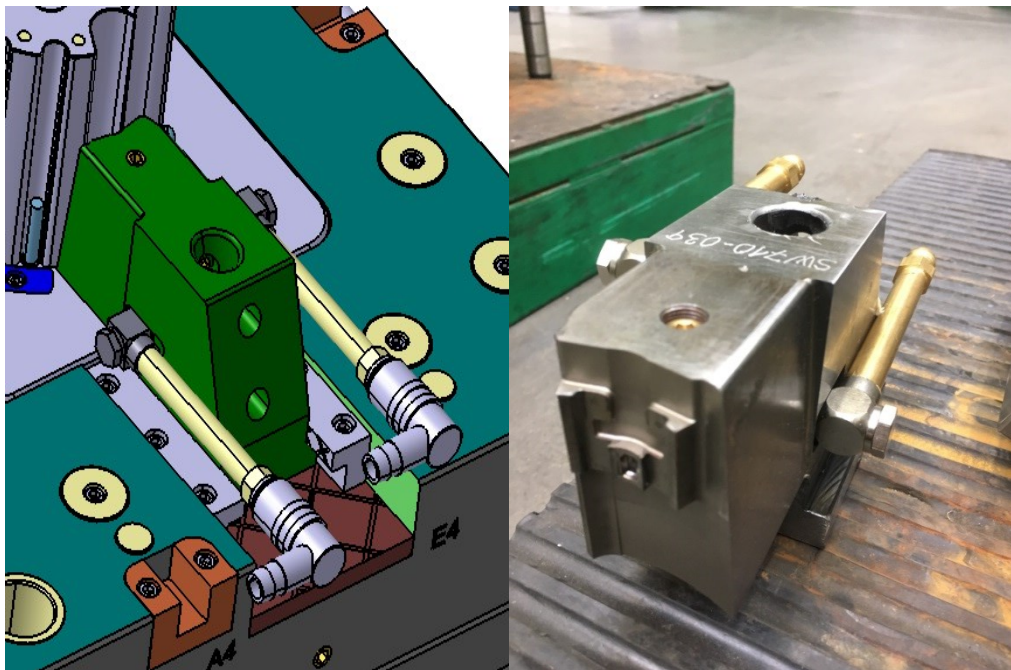


Obr. 63 Negativ na pohyblivé vložce



Obr. 64 Zástavba táhla pod pružinou

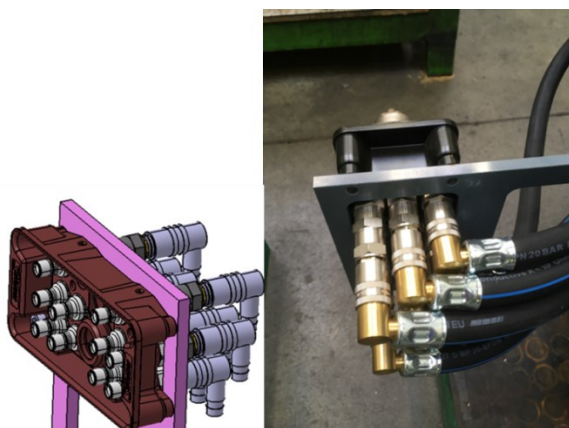
Odformování bočního negativu je provedeno pomocí mechanické čelisti s válcovým kolíkem s uhlím sklonu 18° a odjezdem 13 mm.



Obr. 65 Čelist formy

7.6 Temperační systém

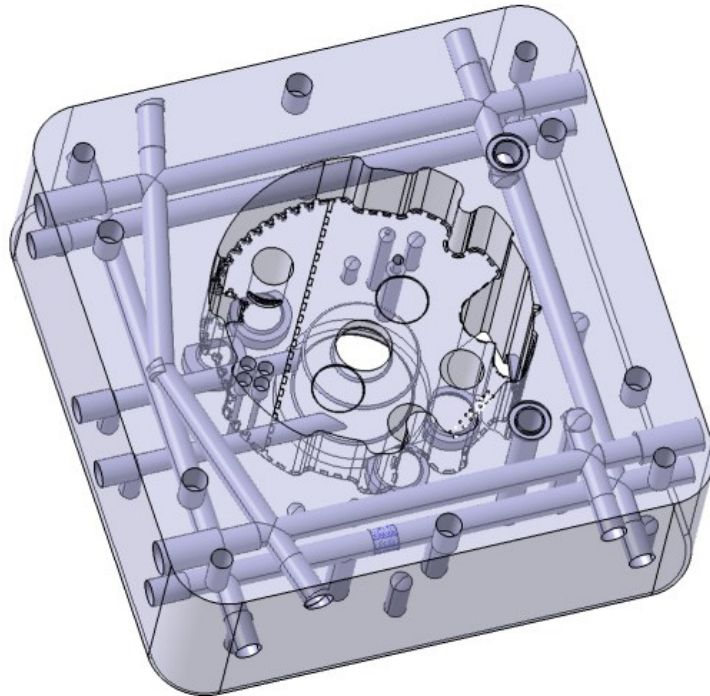
Tlaková ztráta v temperačním okruhu by neměla přesáhnout hodnotu 0,3 MPa. V případě větší ztráty je potřeba okruh rozdělit nebo zvětšit průměr kanálu. Dále se ještě ověřuje, zda teplota temperačního média na vstupu a výstupu nemá rozdíl více jak 5 °C, v případě že ano je okruh rozdělen. Pro zlepšení odvodu tepla z přehřívaných míst výrobku se používají vložky ze slitiny na bázi mědi, které jsou ochlazovány temperací. Všechny vstupy a výstupy temperace jsou označeny (vstup E, výstup A). Tyto vstupy a výstupy jsou vyvedeny pomocí hadic do temperační patice, která bude zajišťovat stále stejné zapojení temperačních okruhů na vstřikovacím stroji. Průměr temperačních kanálů byl zvolen 10 mm, v jednom případě u okruhu č. 8 je zvolen průměr 8 mm z důvodu nedostatku místa.



Obr. 66 Temperační patice

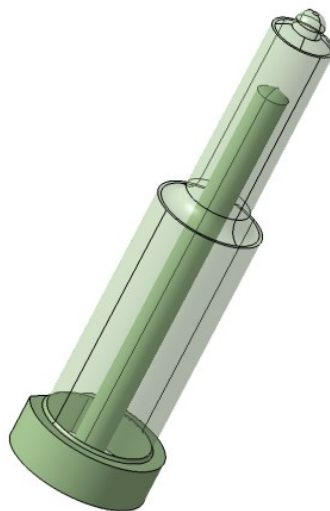
7.6.1 Pevná strana

Temperace tvarové vložky je navržena po obvodu tvaru ve dvou výškách (viz obrázek).



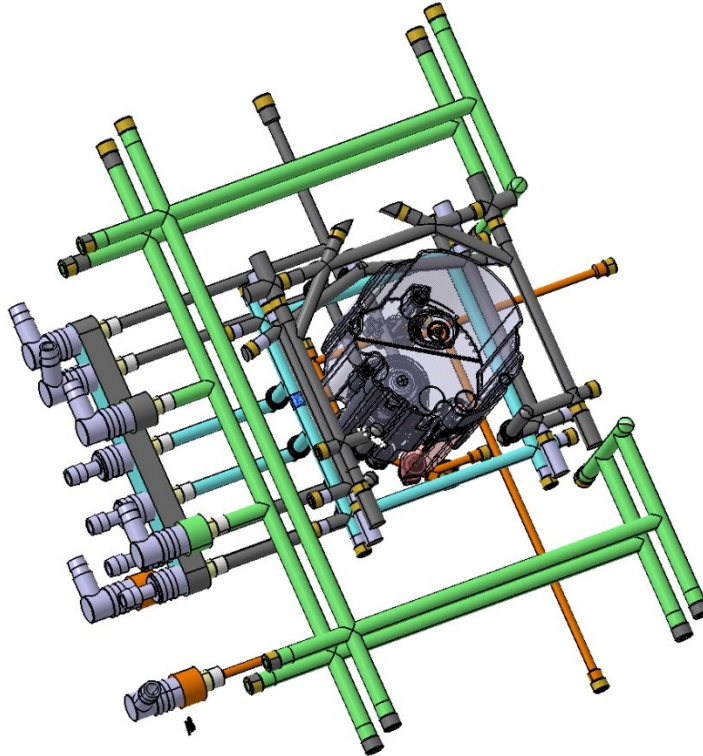
Obr. 67 Temperace tvarové vložky

Dále jsou temperovány vložky, které jsou vyrobeny z materiálu Albromet (slitina na bázi mědi). Tyto vložky jsou temperovány pomocí fontán, jsou to normálie firmy Meusburger (E2110).



Obr. 68 Vložka temperovaná pomocí fontán

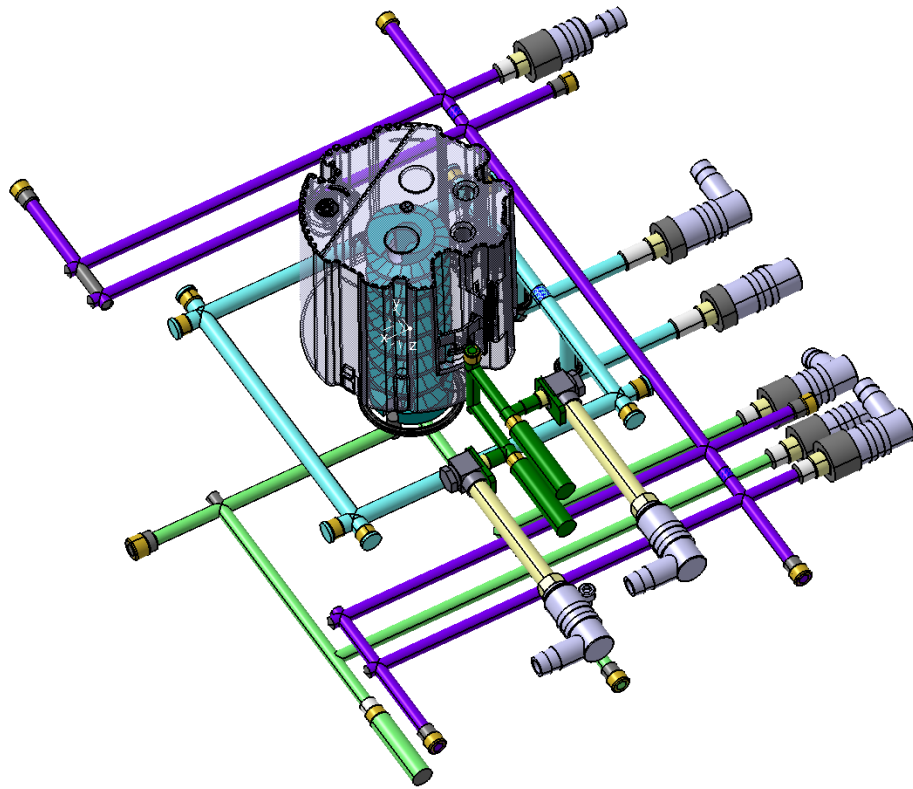
Na pevné straně je dále vytvořena temperační vložka pro horkou trysku. Temperace je vyvrtána i v tvarové a rozpěrné desce formy pro zlepšení a zajištění konstantní teploty celé formy. Pevná strana je chlazena celkem pěti okruhy.



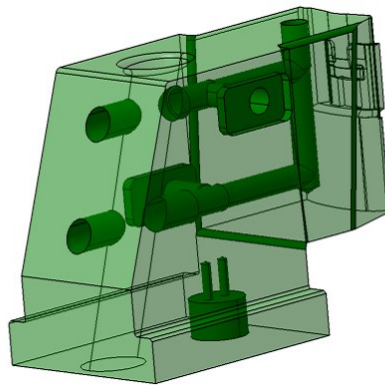
Obr. 69 Temperace pevné strany

7.6.2 Pohyblivá strana

Tvarová vložka pohyblivé strany je temperována pomocí plastové normálie firmy Meusburger (E2120), která dopraví kapalinu až na čelo tvarové vložky. Dále jsou temperační kanály navrtány do pohyblivé čelisti. Taktéž je temperována tvarová deska jako v případě pevné strany. Pohyblivá strana je chlazena celkem čtyřmi okruhy.



Obr. 70 Temperace pohyblivé strany

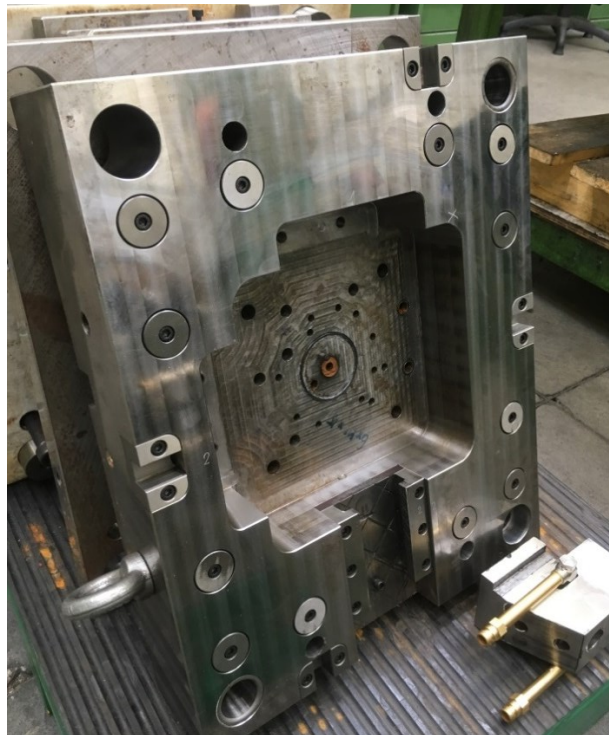


Obr. 71 Temperace čelisti

7.7 Rám a ostatní komponenty formy

Desky rámu jsou v rozměru 396 mm x 496 mm. Tvarové desky, do kterých je vložena tvarová vložka, jsou z materiálu 1.2312. Ostatní desky jsou z materiálu 1.1730. Tyto desky jsou nakupovány u firmy Meusburger. Středící desky jsou vůči sobě vystředěny pomocí středících trubek. Pro správné vedení obou polovin formy jsou použity čtyři naváděcí čepy

a pouzdra. Tvarové vložky ve tvarové desce jsou vystředěny pomocí klínů, jsou vyrobeny z materiálu 1.2343. Dosedání obou polovin na sebe zajišťují dosedací kalené podložky. Dodatečné středění obou polovin formy je zajištěno pomocí čtyř kusů plochého středění. Pro připojení vyhazovacích desek do stroje je umístěn adaptér se závitem M16. Vyhazovací desky se pohybují pomocí vodících kolíků a kuličkových klecí. Konce vodících kolíků jsou zapuštěny do podpěrné desky. Vyhazovací desky jsou také opatřeny vratnými čepy o průměru 12 mm, aby nedošlo k poškození vyhazovačů při zavření formy s vyjetými vyhazovači. K zamezení průhybu desek pohyblivé strany slouží podpěry o průměru 60 mm. Forma je opatřena 160 mm středícími kroužky pro vystředění na vstřikovací stroj. Aby nedošlo při transportu k pohybu vyhazovacích desek, je umístěna spona pro zajištění. Pro transport formy je umístěn přepravní trám s kovaným okem M16 (nosnost 1500 kg). Tyto komponenty jsou nakupovány u některého z výrobců normalií pro vstřikovací formy.



Obr. 72 Tvarová deska pohyblivé strany

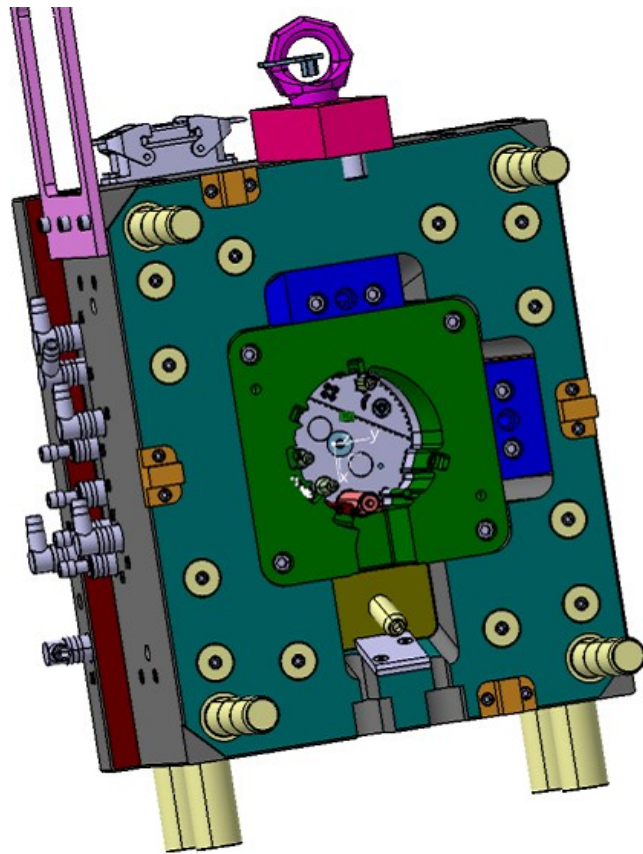


Obr. 73 Část pohyblivé strany formy

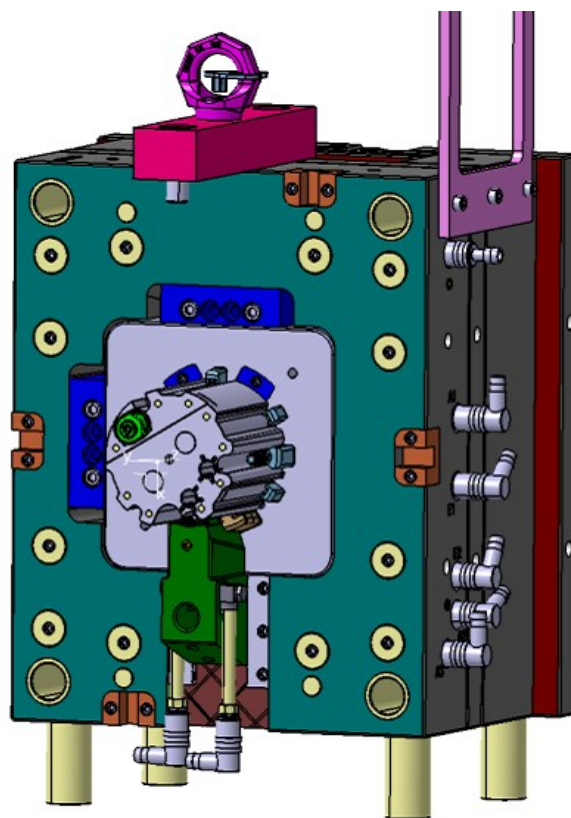
7.8 Parametry formy

Tab. 5 Parametry vstříkovací formy

Rozměry formy	š (mm)	v (mm)	h (mm)
	446	496	543
Průměr středících kroužků (mm)			160
Vstupní rádius na trysce (mm)			R40
Závit vyhazovací tyče			M16
Maximální zdvih vyhazovačů (mm)			63
Hmotnost pevné strany DS (kg)			445
Hmotnost pohyblivé strany AS (kg)			414
Hmotnost celková (kg)			859
Násobnost			1
Materiál			POM
Smrštění			1,9 %
Vstříkovací stroj (kN)			1800



Obr. 74 Pevná polovina formy



Obr. 75 Pohyblivá polovina formy

8 VSTŘIKOVACÍ ANALÝZA

8.1 Parametry analýzy

Parametry pro analýzu byly použity podobné jako u předchozích forem s tvarově podobným dílem, aby byla analýza co nejpřesnější.

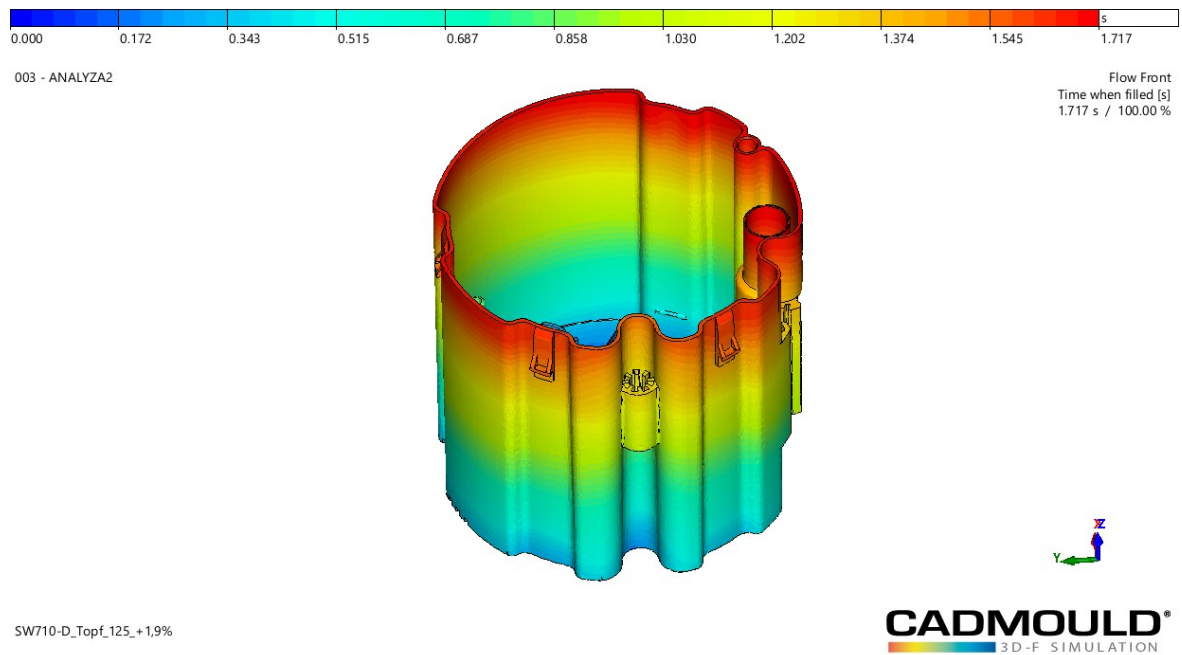
Tab. 6 Parametry pro analýzu

Doba vstřiku	1,6 s
Teplota horkého systému	200 °C
Teplota formy	Dle chlazení
Teplota taveniny	210 °C
Doba dotlaku	14 s
Vstřikovací tlak	90 MPa
Hodnota dotlaku	80 MPa
Doba chlazení	22 s
Čas otevření formy	10 s
Bod přepnutí	99 %
Průtok okruh č. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	5 l/min
Průtok okruhu č. 8	3,5 l/min
Teplota chladícího média	80 °C
Materiál formy	Ocel 1.2343

8.2 Analýza plnění

8.2.1 Čas plnění

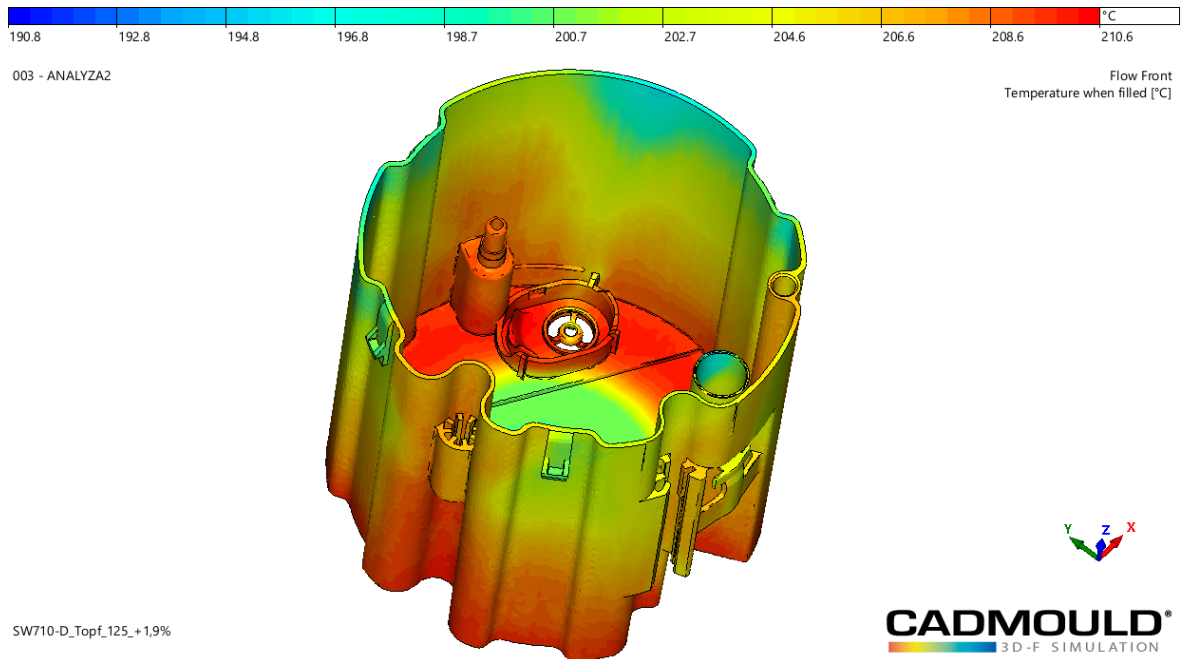
Tato analýza ukazuje, za jakou dobu bude dutina vstřikovací formy naplněna taveninou. Barevná škála ukazuje, kde v daném čase je tavenina natečena. Díky vhodně umístěnému vtoku, který je dán konstrukcí dílu, je díl naplňován rovnoměrně. Doba plnění je 1,7 s.



Obr. 76 Čas plnění

8.2.2 Teplota na čele taveniny

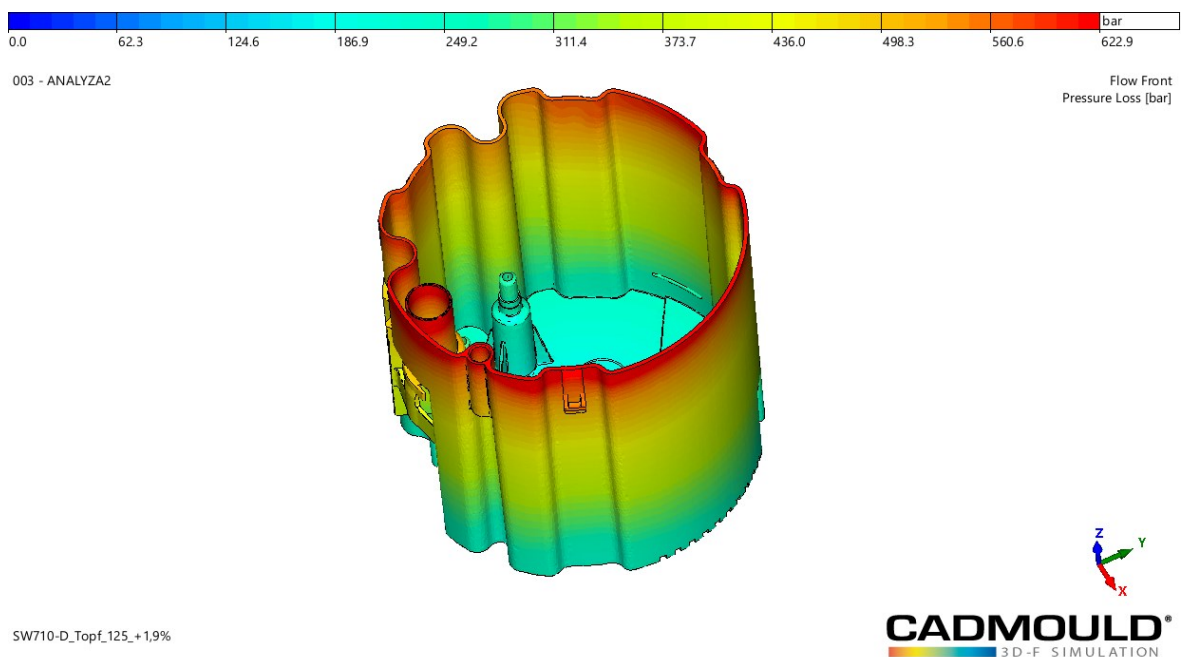
Analýza ukazuje teplotu taveniny v průběhu zaplňování dutiny formy. Tato teplota by neměla mít změnu více jak 20 °C, pokud by tomu tak nebylo, mohla by tavenina na čele tuhnout. V tomto případě by se například musela zvětšit teplota formy či taveniny. V této analýze teplota čela taveniny klesla o 18 °C.



Obr. 77 Teplota čela taveniny

8.2.3 Tlaková ztráta při vstříku

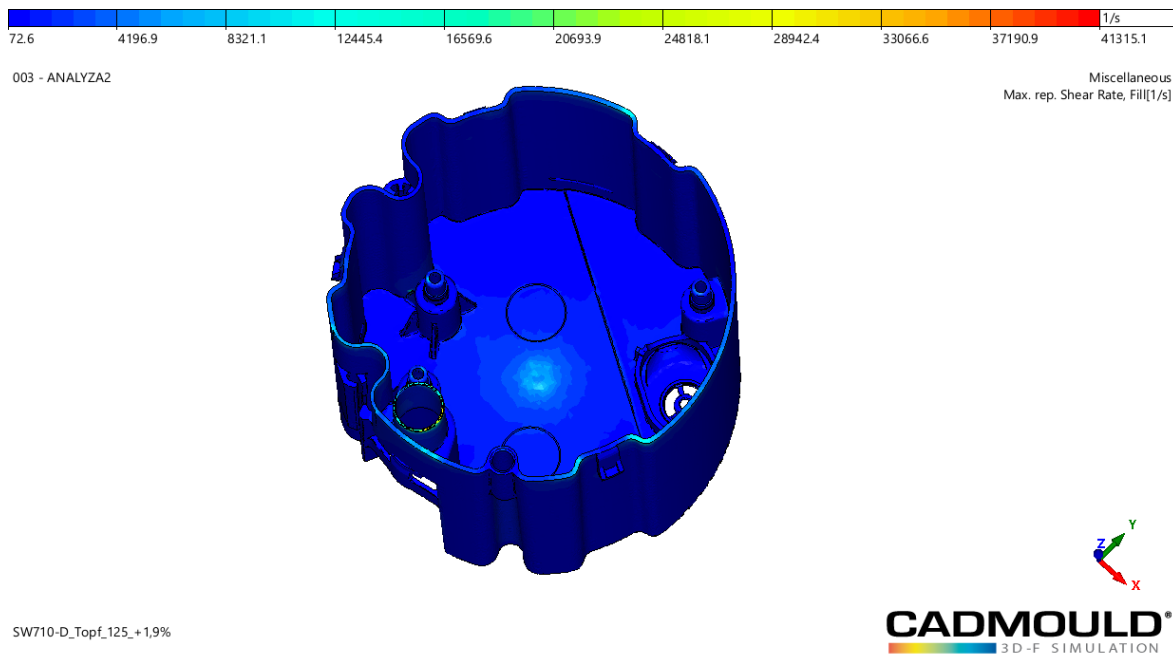
Tato analýza ukazuje jaká bude tlaková ztráta při plnění dílu. Zvolený stroj je schopen zvládnou vstříkovací tlak 120 MPa, neměl by tedy být problém při tlakové ztrátě 62,3 MPa díl nastříknout.



Obr. 78 Tlaková ztráta při vstříku

8.2.4 Maximální smykové napětí

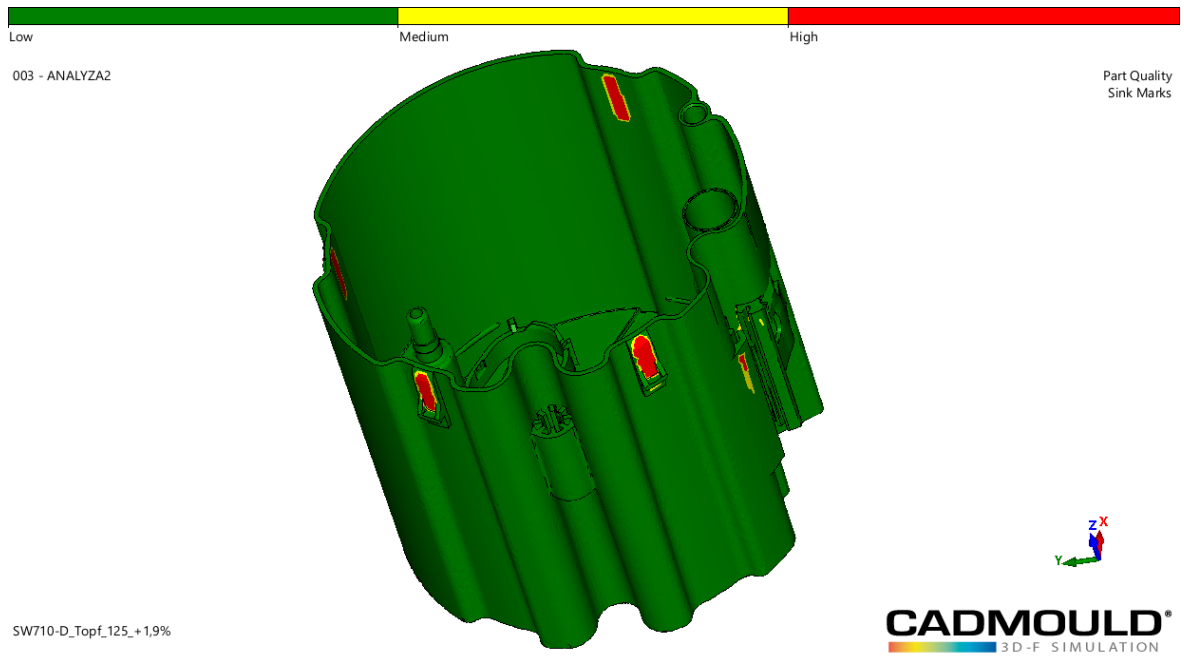
Pokud je maximální smykové napětí větší než kterou dovoluje daný materiál, dochází k degradaci materiálu. V tomto případě je maximální smykové napětí 41000 1/s na konci válečku viz obrázek 79, použitý materiál má maximální smykové napětí 40000 1/s. Ke kritické smykové rychlosti dochází jen v určitém místě a velkou mírou nepřekračuje doporučené maximální napětí materiálu, nemělo by tedy k degradaci materiálu docházet.



Obr. 79 Maximální smykové napětí

8.2.5 Propady

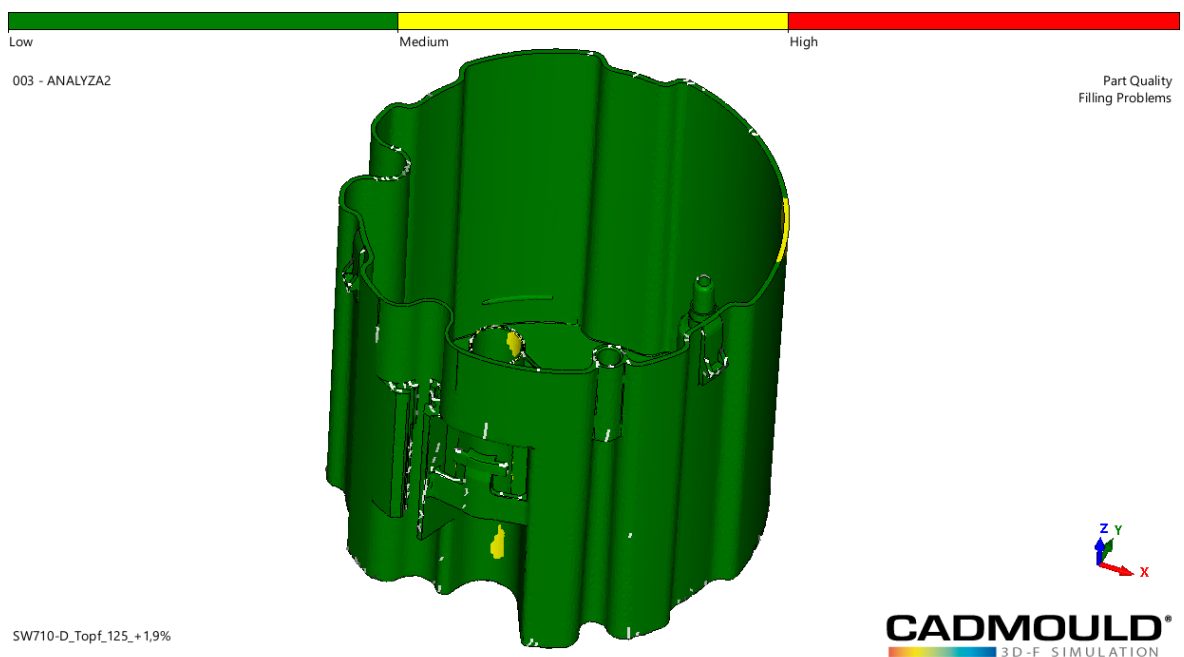
Propady jsou považovány za pohledové vady, které vznikají v místě tlustých stěn na díle, stejně tak jako v místě zácvaků na díle. Protože díl není pohledový, je možné tedy tyto propady nebrat v úvahu.



Obr. 80 Propady na díle

8.2.6 Studené spoje a možné problémy plnění

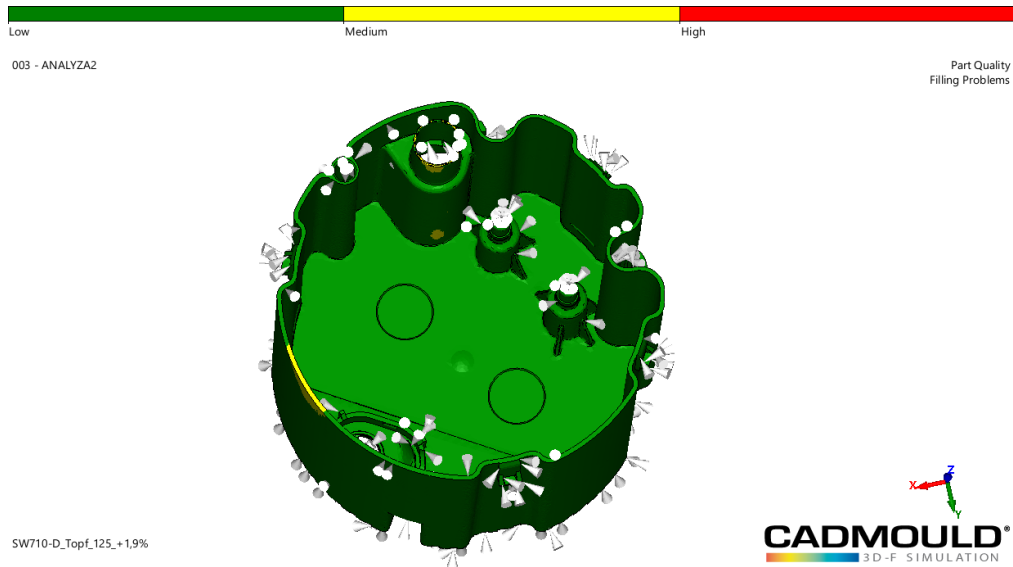
Studené spoje vznikají v důsledku spojení dvou čel taveniny. V tomto případě nevznikají výrazné studené spoje, které by mohli mít vliv na mechanické vlastnosti. Žádné výrazné problémy při plnění by vznikat neměly.



Obr. 81 Označení studených spojů

8.2.7 Místa uzavírání vzduchu

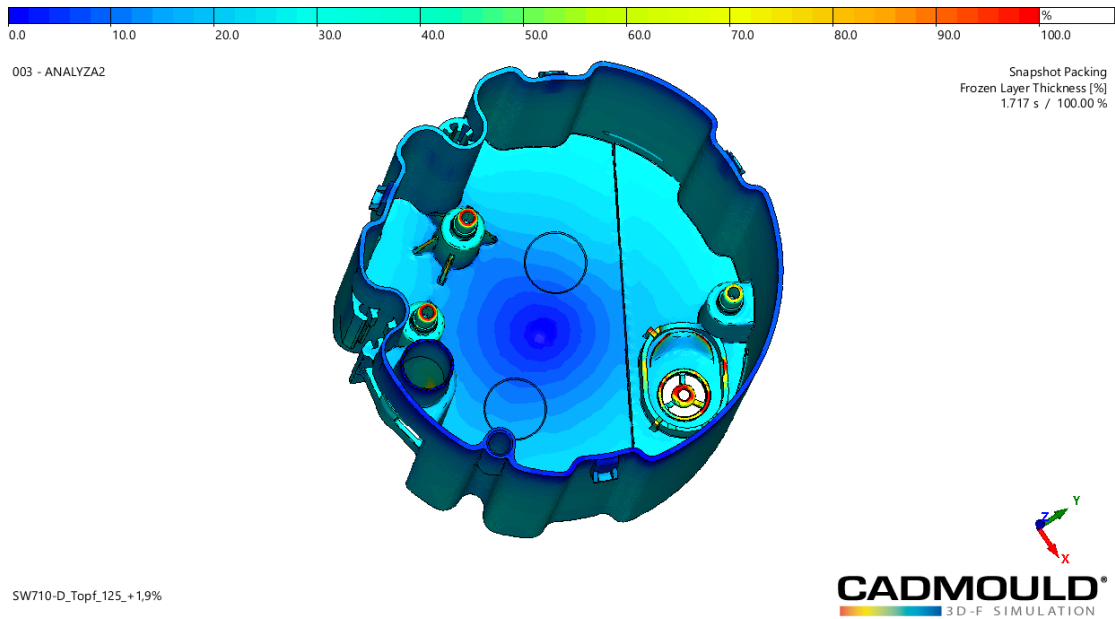
Při vstřikování do uzavřené dutiny formy dochází k uzavírání vzduchu. V tomto případě je na formě velké množství vložek, které svojí vůlí uzavřený vzduch odvedou z dutiny formy. Nemělo by tedy docházet k problémům s tímto uzavřeným vzduchem.



Obr. 82 Místa s uzavíráním vzduchu

8.2.8 Zatuhlý materiál na začátku dotlaku

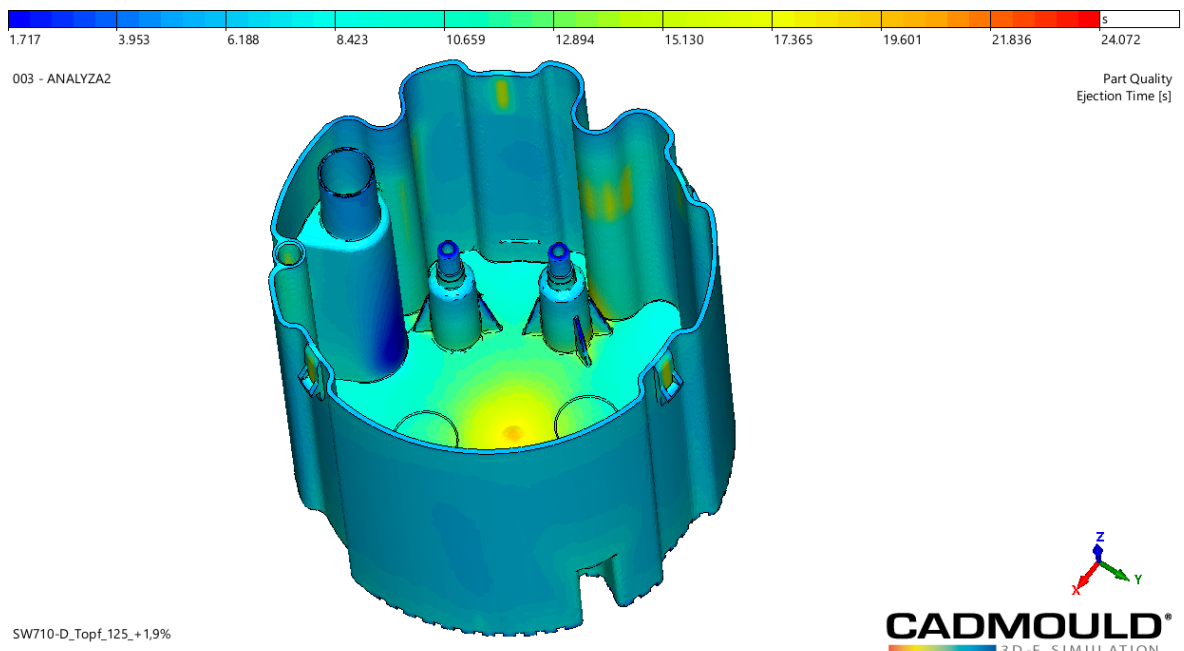
Tato analýza ukazuje, která místa na konci vstřikování jsou již zatuhlá a nebude mít na tyto místa dotlak vliv. Z analýzy vyplývá, že zatuhlé místa jsou jen na vršcích pinů a část tvaru na čele dílu, kde jsou tenké stěny. Většina dílu je ještě na 20-30 % zatuhnutí.



Obr. 83 Zatuhlý materiál po fázi plnění

8.2.9 Čas vyhození

Čas vyhození určuje, kdy díl bude v průměru na stěnu schlazen na určitou teplotu, v tomto případě 165 °C. K tomuto zchlazení dílu dojde po 24 s a díl může být z formy vyhozen.

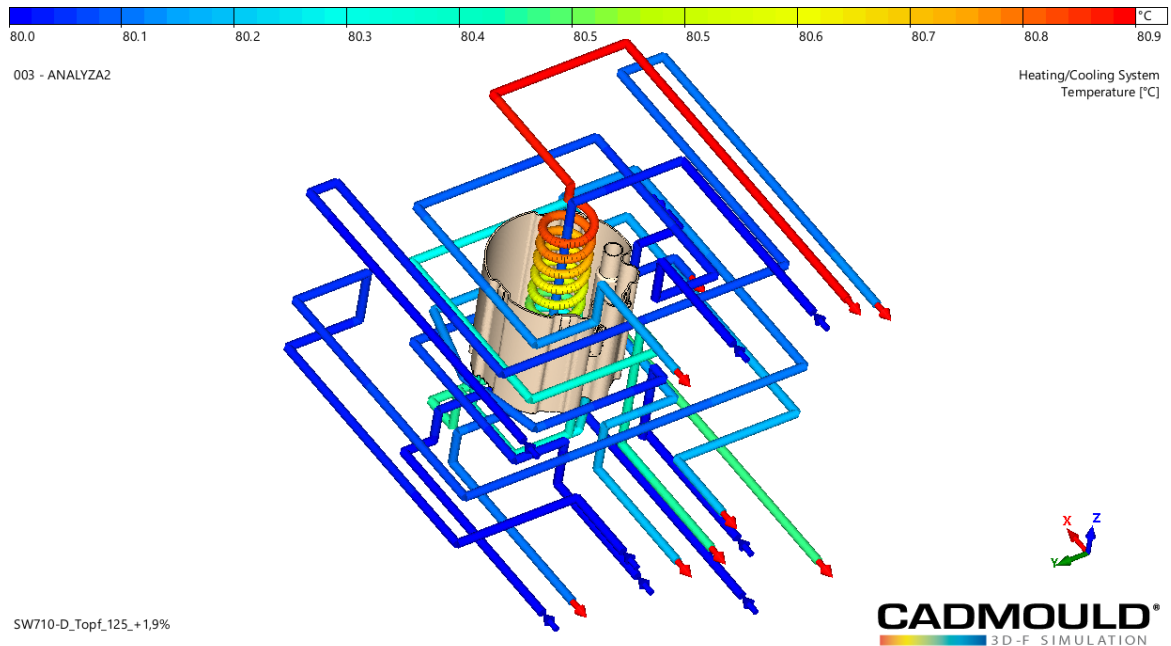


Obr. 84 Čas vyhození

8.3 Analýza chlazení

8.3.1 Teplota temperace

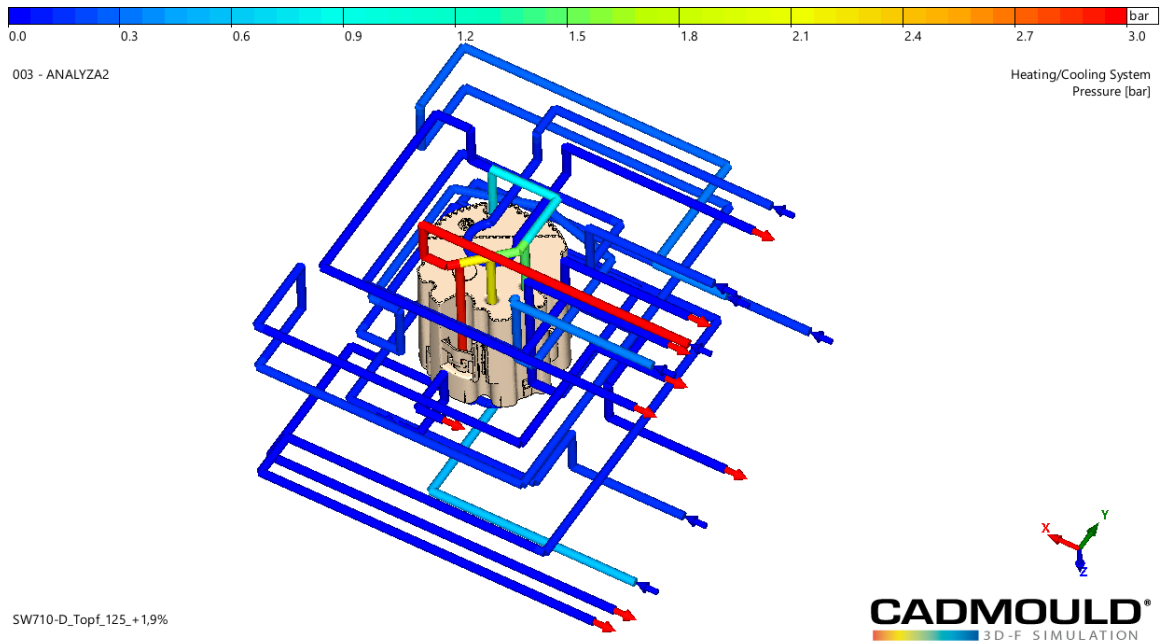
V této analýze je kontrolováno, zda teplota na vstupu a výstupu není větší než 5 °C. V tomto případě největší rozdíl teplot je 0,9 °C, což je v pořádku.



Obr. 85 Teplota temperačního média

8.3.2 Tlak temperace

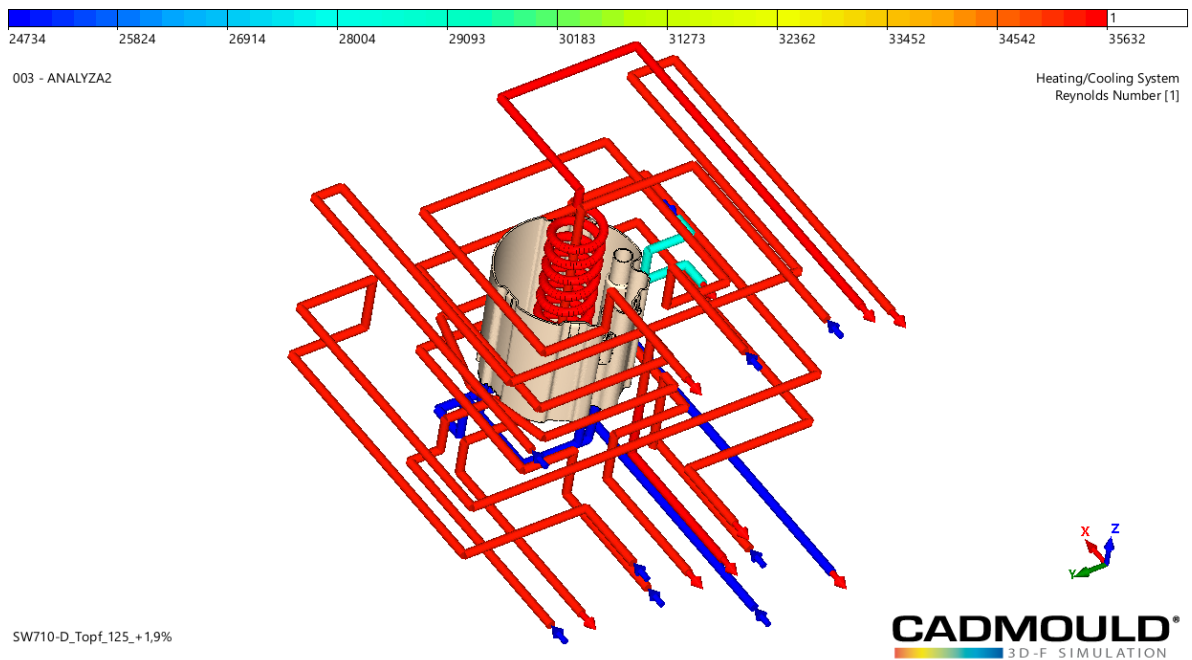
V tomto případě je zjišťováno, zda navržený průtok temperačním kanálem není příliš vysoký. Správná tlaková ztráta by neměla být větší než 0,3 MPa. Na obrázku je možné vidět tlak 0,3 MPa u okruhu vedoucím přes tenké fontánky (konkrétně okruh číslo 8). Tímto okruhem tedy neproteče námi požadovaný průtok 3,5 l/min, ale bude tento průtok pravděpodobně nižší. V ostatních kanálech je tlaková ztráta velmi nízká tam lze předpokládat, že reálný průtok bude o něco vyšší.



Obr. 86 Tlaková ztráta temperace

8.3.3 Reynoldsovo číslo v temperačním kanálu

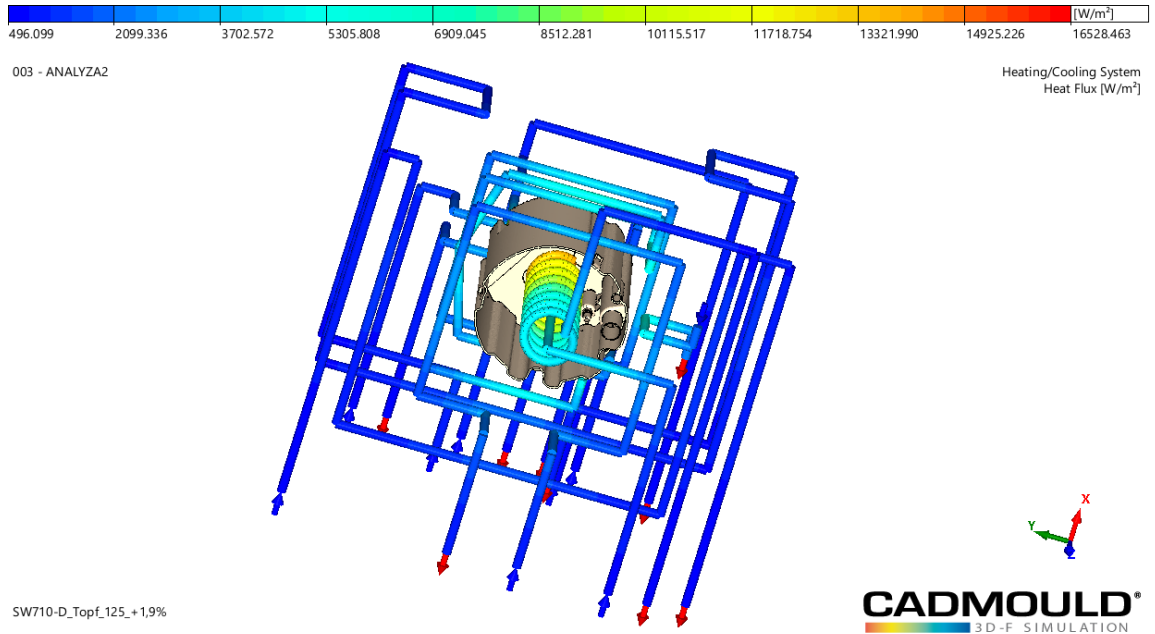
Aby temperace byla účinná, musí médium v temperačních kanálech proudit turbulentně. To znamená, že velikost Reynoldsova čísla musí být větší než 10000. Navržená temperace tuto podmínku splňuje, nejmenší Reynoldsovo číslo je 24734.



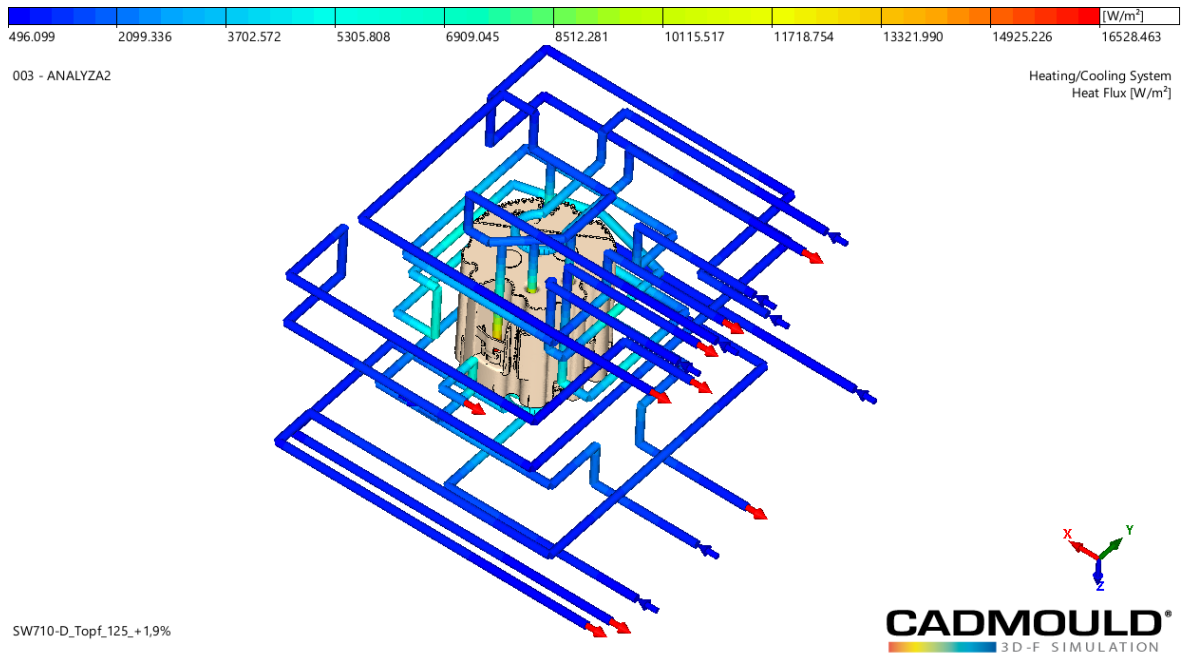
Obr. 87 Reynoldsovo číslo v okruzích temperace

8.3.4 Účinnost chlazení

Největší účinnost chlazení lze pozorovat na spirále vedení na čelo tvárníku a na fontánkách vedoucích do vložek z Albrometu.



Obr. 88 Účinnost chlazení ze spodní strany dílu

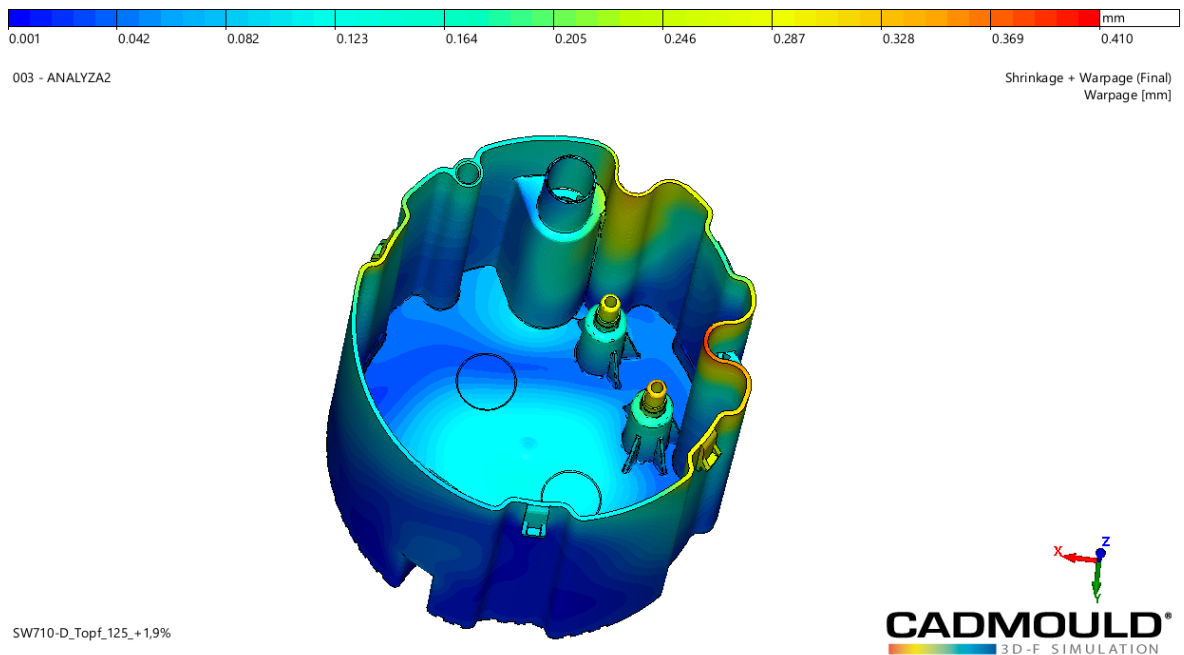


Obr. 89 Účinnost chlazení z horní strany dílu

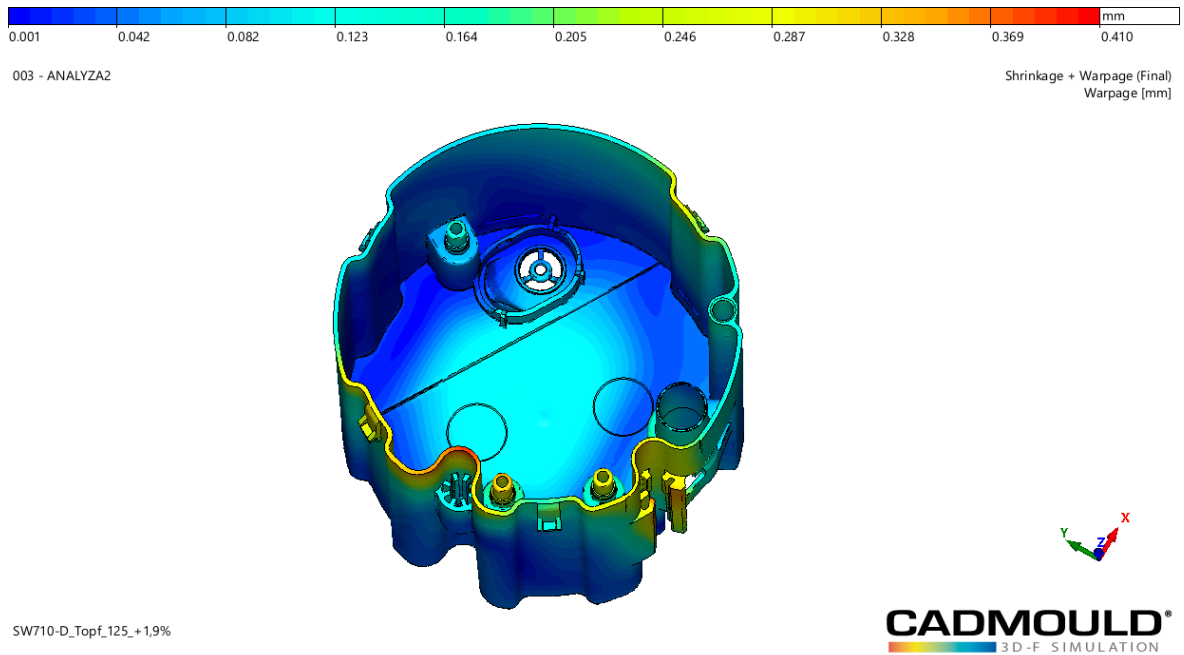
8.4 Deformační analýza

8.4.1 Celková deformace

Největší deformace je na patě dílu, konkrétně je to 0,4 mm, tato deformace není zásadní. Zásadní je především deformace na pinech, které jsou důležité pro zástavbu. Na dvou pinech je přibližně deformace 0,3 mm a na třetím pinu je deformace 0,1 mm. Tyto deformace by se podle analýzy nemusely korigovat, protože poloha pinů je v toleranci $\pm 0,4$ mm.



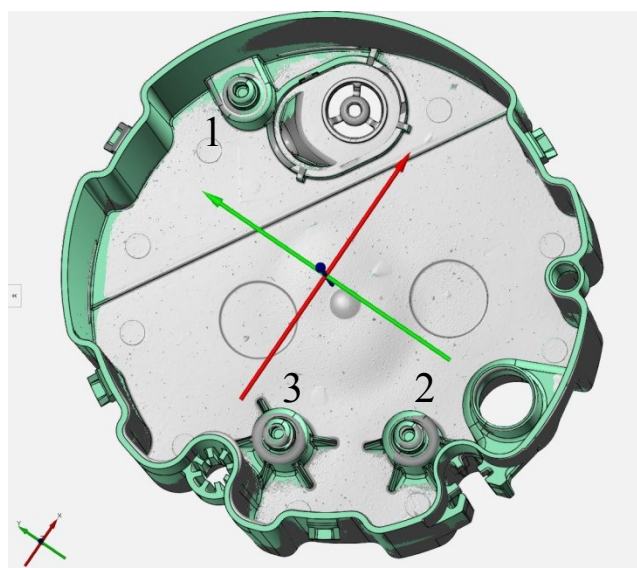
Obr. 90 Celková deformace z jedné strany



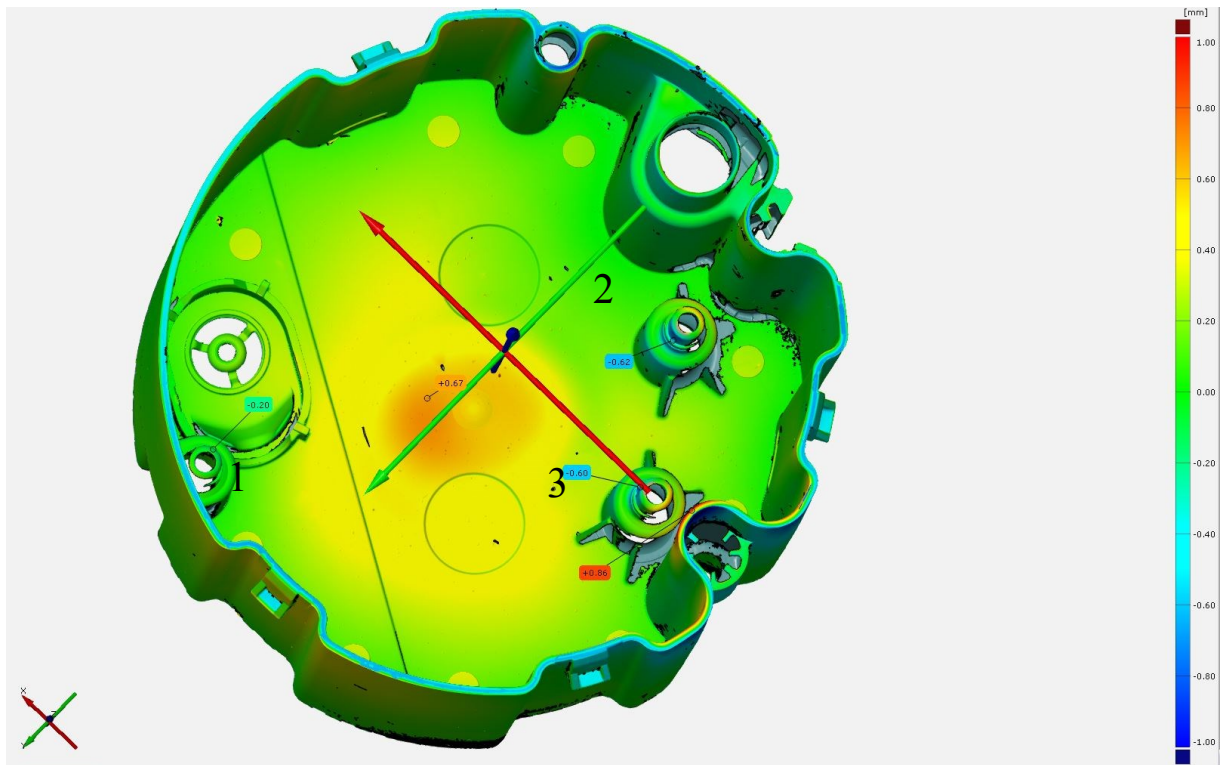
Obr. 91 Celková deformace z druhé strany

8.5 Porovnání deformací

Při porovnání deformace skutečného dílu a deformace dle Cadmould analýzy, je možné říci, že deformace jsou podobné, co se týče směru deformace. Hodnoty deformace na pinech se liší přibližně o 0,3 mm. Lze tedy stanovit, že Cadmould analýza ve směru deformace dílu se velmi podobá skutečnosti, jen v realitě dosahuje větších hodnot. To může být způsobeno menším průtokem v temperačním okruhu číslo 8.



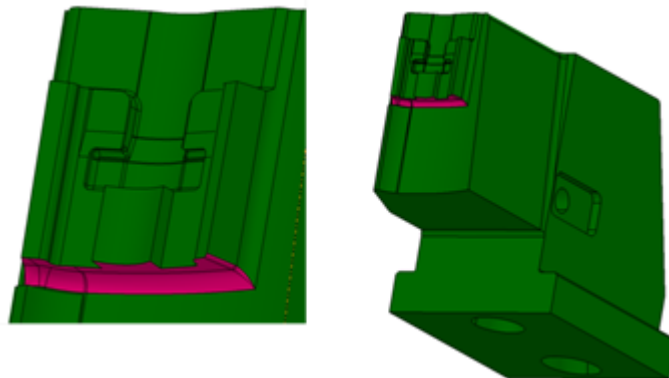
Obr. 92 CAD data v porovnání se vstříknutým dílem



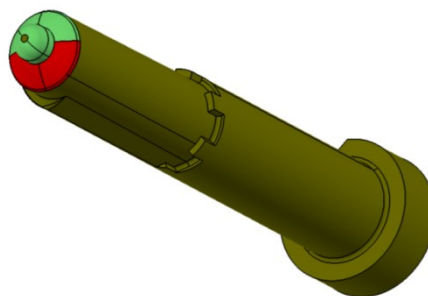
Obr. 93 Deformace z reálného vstřikování

9 KOREKCE FORMY

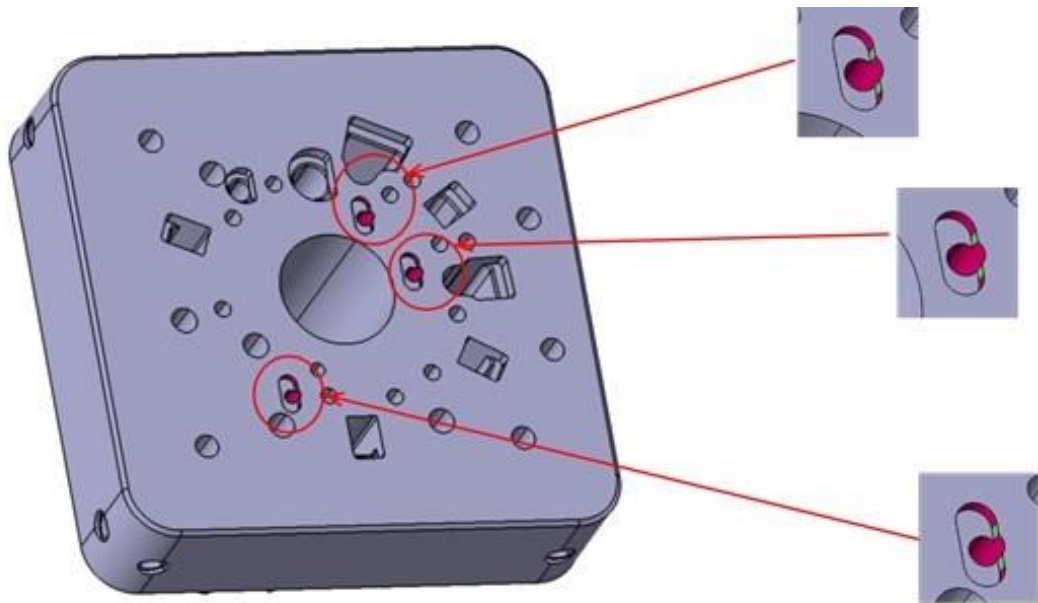
Nejdůležitější pasáží na dílu je poloha zástavbových pinů. Dle naskenovaného dílu jsou tyto piny deformovány tak, že jejich poloha neodpovídá požadované toleranci $\pm 0,4$ mm. Je potřeba tedy tuto polohu pinů předdeformovat, u dvou pinů (číslo 3,2) je to o 0,6 mm a u pinu číslo 1 o 0,2 mm ve směru, který nám ukazuje naskenovaný díl. Pin číslo 1 by se nemusel předdeformovávat, ale z důvodu hraniční tolerance bude předdeformován. Po přemodelování dílu je upravena vložka na pohyblivé straně následovně. Otvory pro umístění pinů jsou vyfrézovány a do těchto otvorů budou vloženy nové vložky, které budou zajištěny svarem. Navíc jsou upraveny polohy děr pro vložky pozice 26,27,28. Na opačné straně musejí být vložky pozice 017 a 018 vyrobeny nové a upravena vložka pozice 019. Dále bylo reklamováno potahování dílu v místě odformování čelistí. V tomto případě byl upraven odformovací úkos na 5° na čelisti. Po provedení těchto úprav byla forma znovu zkoušena. Potahování dílu vlivem úkosu zmizelo a poloha byla dle měrového protokolu v pořádku.



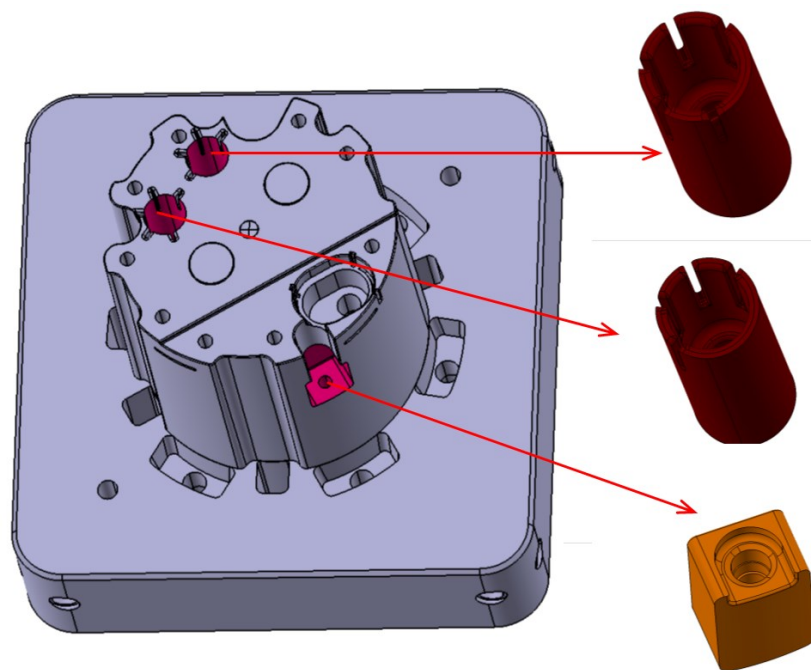
Obr. 94 Korekce úkosu



Obr. 95 Korekce polohy na pinu



Obr. 96 Korekce polohy vložek na pohyblivé straně



Obr. 97 Korekce pomocí vložek

ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce je shrnuto základní rozdělení polymerů a podrobně popsána technologie vstřikování. Dále teoretická část obsahuje náležitosti vstřikovacích forem od vtokových systémů až po odvzdušnění forem. Poté jsou popsány požadavky, které musí splňovat díl vyráběný technologií vstřikování. Na závěr teoretické části jsou zmíněny vady vyskytující se u vstřikovaných dílů a jejich možné odstranění.

Praktická část se zabývá konstrukcí formy pro konkrétní díl palivového čerpadla automobilu. Konstrukční návrh byl vytvořen v software Catia V5. Konstrukční návrh byl podroben simulaci tečení v programu Cadmould. Poté byla vstřikovací forma dle konstrukčního návrhu vyrobena. Analýza proběhla bez problémů, díl bez problémů dotekl v čase 1,6 s, maximální smyková rychlost byla 41000 1/s, což je pro daný materiál hraniční hodnota, ale tato hodnota se objevila jen v určitém místě dílu a nemělo by k degradaci materiálu docházet. Uzavírací síla navrženého stroje je dle analýzy dostatečná. Odvzdušnění podle analýzy nebylo provedeno, protože se na díle nachází velké množství vložek, kde uzavřený vzduch může unikat. Vyhození dílu je možné po 24 s. Navržená teplota formy, kde médium je voda o 80 °C, byla dle analýzy správně navržena, a to znamená, že bylo dosaženo turbulentního proudění ve všech okruzích, teplota vstup-výstup nebyla rozdílná o více jak 5 °C a tlaková ztráta nebyla více než 0,3 MPa, tudíž kanály proteče zadaný průtok. V okruhu číslo 8 byla tlaková ztráta 0,3 MPa, tam je možné předpokládat průtok nižší než zvolených 3,5 l/min. Při zkoušce vstřikovací formy bylo ověřeno, že nemuselo být konstruováno dodatečné odvzdušnění. Analýza celkové deformace byla následně porovnána s reálně vstřikovaným dílem, který byl naskenován. Při porovnání byly vidět rozdíly, které byly způsobeny nejspíše menším reálným průtokem okruhu číslo 8. Tyto deformace musely být odstraněny vyložkováním tvárnice a tyto tzv. piny musely být dle naskenovaného reálného dílu posunuty, aby byla zajištěna správná poloha těchto pinů, která je důležitá pro zástavbu dílu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2017 [cit. 01.05.2019]. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [3] NEUHÄUSL, Emil. Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování. In: *Mmspektrum.cz* [online]. 2019 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastu I. díl – Vstřikování termoplastu*. 2. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [5] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAS Brno, 1999. 214 s.
- [6] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2016 [cit. 01.05.2019]. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [7] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002503.
- [8] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 01.05.2019]. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2016 [cit. 01.05.2019]. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [10] HYNEK, Martin a kolektiv. *Vstřikovací lisy* [online]. 2013 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vstrikovaci_lisy.pdf
- [11] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků a forem pro zpracování plastů*. Praha: Sekurkon s.r.o, 2009. ISBN 978-80-86604-44-2.
- [12] HYNEK, Martin a kolektiv. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. 2013 [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [13] REES, J. *Mold engeneering*, HANSER. 2002. ISBN: 1-56990-322-0
- [14] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 1. Díl. In: *Mmspektrum.cz* [online]. 2019 [cit. 01.05.2019]. MM Průmyslové spektrum. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>.

- [15] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. Díl. In: *Mmspektrum.cz* [online]. 2019 [cit. 01.05.2019]. MM Průmyslové spektrum. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>.
- [16] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 3. Díl. In: *Mmspektrum.cz* [online]. 2019 [cit. 01.05.2019]. MM Průmyslové spektrum. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>.
- [17] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků - 4. Díl. In: *Mmspektrum.cz* [online]. 2019 [cit. 01.05.2019]. MM Průmyslové spektrum. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-4-dil-vady-vzhledove-a-jejich-kontrola>.
- [18] KALOUC, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [19] MENGES, G., W. MICHAELI a P. MOHREN. *How to make injection molds*. Munich: Hanser, 2001. ISBN 1-56990-282-8.
- [20] Top 5 Elastomers for Gasket & Seal Applications. In: *Craftechind.com* [online]. © 2019 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <http://www.craftechind.com/top-5-elastomers-gasket-seal-applications/>
- [21] Tváření plastů a výroba forem II. In: *14220.cz* [online]. 2014 [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>
- [22] MEUSBURGER. *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online]. © 2019 [cit. 01.05.2019], Dostupný z: <https://www.meusburger.com>
- [23] LANXESS. *Part and mold design* [online]. ©2007 [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [24] ABS Injection Moulding Die For Automobile Parts. In: *Indiamart.com* [online]. © 1996 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/injection-moulding-die-for-automobile-parts-7553682555.html>
- [25] Trace of an injection molding cycle in a PvT diagram. In: *Researchgate.net* [online]. © ResearchGate [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Trace-of-an-injection-molding-cycle-in-a-PvT-diagram_fig5_273656981
- [26] Plasty Gabriel s.r.o. *Doprovodný-manuál-pro-WarpExpert-Cool* [online]. ©2015 [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: <http://cadmould.cz/wp-content/uploads/2017/06/Doprovodn%C3%BD-manu%C3%A1l-pro-WarpExpert-Cool.pdf>

- [27] European Tool & Mould Making Magazine. In: *Etm-online.cz* [online]. © 2019 [cit. 30.04.2019] Dostupné z: <https://www.etmm-online.com/index.cfm?pid=10890&pk=381198&fk=507885&type=article#2>
- [28] Top-10 Injection Molding Defects And How To Fix Them. In: *Creativemechanisms.com* [online] © 2016 [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them>
- [29] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980.
- [30] Katedra strojírenské technologie. In: *ksp.tul.cz* [online]. © 2018 [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plasty/06-vstrikovaci%20stroj%20schema.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	procento
∅	průměr
°	stupeň úhlu
°C	stupeň Celsia
2D	dvojměrný prostor
3D	trojměrný prostor
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
apod.	a podobně
CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided manufacturing
cm ³	centimetr krychlový
CMM	Coordinate measuring machine
IGES	Initial graphics exchange specification
kg	kilogram
kg/m ³	kilogram na metr krychlový
kN	kilonewton
l/min	litr za minutu
m ²	metr čtvereční
mm	milimetr
MPa	megapascal
N	newton
N/m ²	newton na metr čtvereční
např.	například

PA	polyamid
PBT	polybutadien tereftalát
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PMMA	polymethylmethakrylát
POM	polyoxymetylen
PP	polypropylen
PS	polystyrén
PVC	polyvinylchlorid
SAN	styren akrylonitril
SB	styren butadien
STEP	Standard for exchange of product
STL	Standard triangle language
Tg	teplota skelného přechodu
Tm	teplota bodu tání
tzv.	takzvaně

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení polymerů [2]	13
Obr. 2 Amorfní termoplasty [3]	14
Obr. 3 Semikrystalické termoplasty [3]	15
Obr. 4 Elastomer [20]	16
Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje [30]	17
Obr. 6 Uzavírací jednotka [10]	18
Obr. 7 Schéma vstřikovací jednotky [8]	18
Obr. 8 Vstřikovací cyklus [29]	19
Obr. 9 Závislost tlaku na čase během cyklu [9]	19
Obr. 10 pvT Diagram vstřikovacího cyklu [25]	20
Obr. 11 Pohyblivá (vlevo) a pevná strana vstřikovací formy [24]	21
Obr. 12 Navržení vtoku v programu Cadmould [26]	22
Obr. 13 Dělicí rovina	23
Obr. 14 Studený vtokový systém	24
Obr. 15 Vhodné a nevhodné průřezy vtokových kanálů [6]	24
Obr. 16 Normálie studeného vtokového kanálu [22]	25
Obr. 17 Určení průměru vtokového ústí [11]	25
Obr. 18 Typy přídržovačů vtoku [12]	26
Obr. 19 Horký systém vtoku	27
Obr. 20 Horký systém s uzavíratelnou jehlou [27]	28
Obr. 21 Horká tryska s torpédem [27]	28
Obr. 22 Rozvodný blok se čtyřmi tryskami	29
Obr. 23 Kuželový vtok [12]	29
Obr. 24 Štěrbínový tok [12]	30
Obr. 25 Tunelový vtok [12]	30
Obr. 26 Bodový vtok [12]	31
Obr. 27 Banánový vtok [12]	31
Obr. 28 Vyhazovače v kotevní desce [21]	32
Obr. 29 Válcový vyhazovač [22]	32
Obr. 30 Osazený vyhazovač [22]	33
Obr. 31 Plochý vyhazovač [22]	33
Obr. 32 Trubkový vyhazovač [22]	34

Obr. 33 Vyhazovač s plochou proti pootočení	34
Obr. 34 Stírací deska.....	35
Obr. 35 Čelist se šikmým kolíkem.....	36
Obr. 36 Čelist s lomeným vedením	36
Obr. 37 Šikmý vyhazovač.....	37
Obr. 38 Systém Double rack.....	38
Obr. 39 Pružné jádro [22]	38
Obr. 40 Pneumatické vyhazování [23]	39
Obr. 41 Temperační okruh tvarové vložky	40
Obr. 42 Odvzdušnění na tvarové vložce	41
Obr. 43 Porovnání správné a nesprávné tloušťky stěn [6].....	43
Obr. 44 Vliv tloušťky žeber na deformaci plněných plastů [6]	44
Obr. 45 Vliv tloušťky žeber na deformaci neplněných plastů [6]	44
Obr. 46 Doporučení pro návrh úkosů [6].....	45
Obr. 47 Propady na vstřikovaném díle	46
Obr. 48 Přetoky.....	47
Obr. 49 Stopy po volném toku taveniny [28]	47
Obr. 50 Nedotečené díly	48
Obr. 51 Studený spoj	48
Obr. 52 Vstřikovaný díl	52
Obr. 53 Označení upravovaných rozměrů	56
Obr. 54 Dělicí křivky	57
Obr. 55 Negativ pevné strany	57
Obr. 56 Tvarová vložka pohyblivé strany	58
Obr. 57 Rozdělení vložek na pohyblivé straně formy	59
Obr. 58 Rozdělení vložek na pevné straně	60
Obr. 59 Umístění vtoku	61
Obr. 60 Horká tryska navrhované vstřikovací formy	61
Obr. 61 Umístění vyhazovačů na díle.....	62
Obr. 62 Zástavba zpožděných vyhazovačů.....	62
Obr. 63 Negativ na pohyblivé vložce	63
Obr. 64 Zástavba táhla pod pružinou.....	63
Obr. 65 Čelist formy	64

Obr. 66	Temperační patice.....	64
Obr. 67	Temperace tvarové vložky.....	65
Obr. 68	Vložka temperovaná pomocí fontán.....	65
Obr. 69	Temperace pevné strany	66
Obr. 70	Temperace pohyblivé strany.....	67
Obr. 71	Temperace čelisti.....	67
Obr. 72	Tvarová deska pohyblivé strany	68
Obr. 73	Část pohyblivé strany formy.....	69
Obr. 74	Pevná polovina formy.....	70
Obr. 75	Pohyblivá polovina formy	70
Obr. 76	Čas plnění	72
Obr. 77	Teplota čela taveniny.....	73
Obr. 78	Tlaková ztráta při vstřiku.....	73
Obr. 79	Maximální smykové napětí	74
Obr. 80	Propady na díle	75
Obr. 81	Označení studených spojů	75
Obr. 82	Místa s uzavíráním vzduchu	76
Obr. 83	Zatuhlý materiál po fázi plnění.....	77
Obr. 84	Čas vyhození.....	77
Obr. 85	Teplota temperačního média	78
Obr. 86	Tlaková ztráta temperace.....	79
Obr. 87	Reynoldsovo číslo v okruzích temperace	79
Obr. 88	Účinnost chlazení ze spodní strany dílu	80
Obr. 89	Účinnost chlazení z horní strany dílu	80
Obr. 90	Celková deformace z jedné strany.....	81
Obr. 91	Celková deformace z druhé strany	82
Obr. 92	CAD data v porovnání se vstříknutým dílem	82
Obr. 93	Deformace z reálného vstřikování.....	83
Obr. 94	Korekce úkosu	84
Obr. 95	Korekce polohy na pinu.....	84
Obr. 96	Korekce polohy vložek na pohyblivé straně.....	85
Obr. 97	Korekce pomocí vložek.....	85

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Doporučené teploty materiálů a formy [5]	39
Tab. 2 Doporučené hodnoty pro odvzdušnění [6]	41
Tab. 3 Parametry materiálu POM	53
Tab. 4 Parametry vstřikovacího stroje	54
Tab. 5 Parametry vstřikovací formy	69
Tab. 6 Parametry pro analýzu	71

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Výkres sestavy formy, kusovník

PII: DVD obsahující diplomovou práci, 3D model formy, výkres sestavy formy, kusovník a tokové analýzy