

Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu části palivového systému automobilu včetně analýzy.

Bc. Petr Nedbal

Diplomová Práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Nedbal**
Osobní číslo: **T15340**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu části palivového systému automobilu včetně analýzy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku
5. Provedte analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: NEDBAL PETR


Obor: VI

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 5.5.2017


.....

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). Odpirá-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 jim 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 přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je konstrukce nástroje pro výrobu plastového dílu části palivového systému automobilu včetně analýzy. Teoretická část práce je zaměřena na druhy polymerů, pravidla pro návrh forem na vstřikování plastů, teoretickým rozbohem analýzy v softwaru Autodesk Moldflow a volbou vstřikovacího stroje. Praktická část se věnuje zhotovenému 3D modelu nástroje pro vstřikování daného dílu zhotoveném v konstrukčním programu CATIA V5 R19 a výsledky analýzy v softwaru Autodesk Moldflow.

Klíčová slova: vstřikování, polymery, 3D model, forma, moldflow

ABSTRACT

The aim of this thesis is construction of tool for injection molding of plastic part into the fuel system of motor car including analysis. Theoretical part is aimed on kinds of polymer, rules for construction of molds for injection molding, theoretical analysis of moldflow software and selection of molding machine. Practical part of this thesis is aimed for analysis of completed 3D model of tool for injection molding created in constructional software CATIA V5 R19 and results of analysis made in Autodesk moldflow software.

Keywords: injection, polymer, 3D model, mold, moldflow

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., jakožto vedoucímu mé diplomové práce, za jeho odborné a velmi cenné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě mé diplomové práce.

Také bych rád poděkoval mé rodině za jejich podporu po dobu celého studia.

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

Ve Zlíně,

Podpis:

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.1 PLASTY.....	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty	14
1.2 ELASTOMERY	14
1.2.1 Kaučuky.....	14
1.2.2 Termoplastické elastomery.....	15
2 MATERIÁL VÝROBKU	16
2.1 VLASTNOSTI MATERIÁLU A JEHO POUŽITÍ	16
2.2 POROVNÁNÍ MEZE KLUZU S JINÝMI DRUHY POLYAMIDŮ	17
2.3 POROVNÁNÍ CEN POLYAMIDŮ	17
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	18
3.1 PŘESNOST POLYMERNÍCH VÝROBKŮ.....	18
3.2 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI VÝROBKU	18
3.3 DĚLÍCÍ ROVINA	18
3.4 ZAOBLNĚNÍ HRAN A ROHŮ	18
3.5 ŽEBRA	19
3.6 ÚKOSY A PODKOSY.....	19
4 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	21
4.1 PODSTATA A PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	21
4.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	22
4.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS V DISGRAMU $P - v - T$	23
4.4 TLAKY U TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
5 KONSTRUKCE FORMY	27
5.1 VNĚJŠÍ POHLED NA VSTŘIKOVACÍ FORMU	28
5.2 POHLED NA VSTŘIKOVACÍ FORMU PŘI ODFORMOVÁNÍ.....	29
5.3 ŘEZ VSTŘIKOVACÍ FORMOU	31
5.4 VSTŘIKOVACÍ FORMY S HORKÝM ROZVODEM.....	33
5.4.1 Varianty provedení horkého rozvodu.....	34
5.4.2 Ústí vtoku horkých rozvodů.....	35
5.4.3 Uzavíratelné ústí vtoku horkého rozvodu	36
5.5 POROVNÁNÍ VTOKOVÝCH SYSTÉMŮ.....	36
6 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	38

6.1	EKONOMICKÁ ÚSPORA POMOCÍ SIMULAČNÍCH SOFTWAREŮ	38
6.1.1	Nejvyšší úspory výrobních nákladů lze dosáhnout ve fázi vývoje.....	39
6.2	PRODUKTOVÁ ŠKÁLA AUTODESK MOLDFLOW.....	39
6.3	SIMULACE	39
6.3.1	Simulace vtokového systému	40
6.3.2	Vytvoření vtokového systému.....	40
6.3.3	Vyvážení vtokového systému.....	40
6.3.4	Vytvoření temperačních systémů	41
6.3.5	Analýza toku taveniny.....	41
6.3.6	Analýza plnění.....	42
6.3.7	Simulace smrštění a deformace.....	42
6.3.8	Deformace	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
7	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	44
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	45
8.1	VÝROBEK	45
8.2	DĚLÍCÍ ROVINY	45
8.3	VSTŘIKOVACÍ FORMA	46
8.3.1	Pravá strana formy.....	47
8.3.2	Levá strana formy.....	48
8.4	TVAROVÉ ČÁSTI	49
8.5	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	50
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	51
8.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	53
8.8	ZAŘÍZENÍ PRO MANIPULACI	54
9	ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ.....	55
9.1	TVORBA SÍTĚ	55
9.2	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	56
9.3	BLOK FORMY A VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	57
9.4	PROCESNÍ PODMÍNKY	57
9.5	VÝSLEDKY ANALÝZY	57
9.5.1	Čas plnění dutiny formy	57
9.5.2	Teplota temperace	58
9.5.3	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty.....	58
9.5.4	Vzduchové kapsy	59
9.5.5	Studené spoje	60
9.5.6	Velikost uzavírací síly	60
9.5.7	Tlak v dutině při přepnutí na dotlak	61
9.5.8	Deformace	62
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	63

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ	64
ZÁVĚR	65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
SEZNAM OBRÁZKŮ	69
SEZNAM TABULEK	71
SEZNAM PŘÍLOH	72

ÚVOD

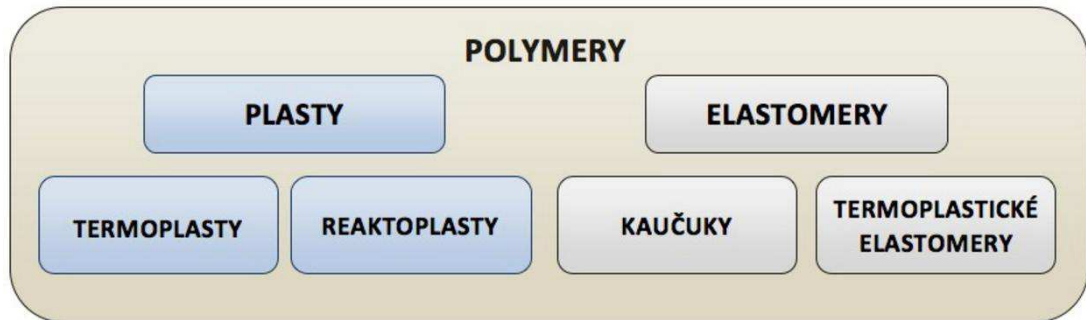
Polymerní materiály hrají velkou roli v mnoha průmyslových odvětvích, jako jsou automobilový, letecký, spotřební, ale také v medicíně, kde se používají například u kloubních náhrad. Ve všech těchto odvětvích rostou nároky na vlastnosti polymerního materiálu, jelikož jejich aplikace stále roste a bude růst nadále. Z hlediska vlastností mají polymery velkou výhodu v tom, že lze využít kombinaci dvou a více polymerních materiálů a získat tím požadované vlastnosti pro dané využití. V posledních letech dochází k velkému vývoji výpočetní techniky, což má velmi pozitivní vliv na vývoj výpočetních softwarů, které se využívají pro simulace zpracování polymeru. Výsledky těchto výpočtů jsou velmi důležité především pro vývoj výrobku pro vstřikování a tvorbu vstřikovací formy.

Jednou ze základních technologií zpracování polymerů, která dosáhla výrazného rozvoje v posledních letech je technologie vstřikování. Tato technologie je nejrozšířenější technologií zpracování polymerů, protože nabízí nejen možnost zpracování velmi složitých tvarů, ale také vstřikování dvou a více polymerních materiálů společně, které se nazývá vícekomponentní vstřikování. Tento druh vstřikování umožňuje výrobu dílce, který je tvořen dvěma a více materiály. Jsou voleny materiály, které v kombinaci zvyšují vizuální hodnotu nebo zlepšují užité vlastnosti výrobku. Proto je tato technologie nepostradatelnou v oblasti vstřikování plastů.

Základem pro získání požadovaného tvaru, vzhledu a vlastností je správná konstrukce vstřikovací formy. Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí splnit současně mnoho požadavků vycházejících z procesu vstřikování termoplastů. Primární funkcí formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její naplnění. Tvar budoucího dílu odpovídá tvaru dutiny formy. Sekundární funkcí vstřikovací formy je efektivní odvod tepla přivedeného taveninou polymeru. Dále musí vstřikovací forma zajistit bezpečné, rychlé a v krátké periodě opakující se vyjmutí dílu. Splnění všech těchto základních požadavků na konstrukci vstřikovací formy je základním stavebním kamenem úspěšného návrhu vstřikovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ



Obr. 1 Základní dělení polymerů

1.1 Plasty

Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně nevratného (trvalého) charakteru. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé, často i křehké. Podle chování při zahřívání je dělíme dále na termoplasty a reaktoplasty. [1]



Obr. 2 Chování polymerů při mechanickém zatížení

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které při zahřátí měknou (přejdou do plastického stavu) a lze je tvářet. Do oblasti taveniny přechází vlivem zahřátí nad teplotu tání. Zpětným ochlazením pod teplotu tání přechází zpět do tuhého stavu. Při zahřátí neproběhne chemická reakce a během zpracování nedojde ke změně jejich chemické struktury. Změny, kterými materiál prochází, jsou pouze fyzikálního charakteru a proces měknutí a tuhnutí je vratný (lze jej teoreticky opakovat do nekonečna). Termoplasty mohou být jak amorfni tak semikrystalické. Typickými představiteli termoplastů jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP) a polyamid (PA). [1]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které lze tavit a tvarovat jen určitou dobu po zahřátí. Vlivem dalšího zahřívání (nebo za pomoci katalyzátorů) dojde k chemické změně, při které původní molekuly zesílují a od tohoto okamžiku se stanou netavitelné a nerozpustné. Chemická reakce, která způsobuje vznik zesílované struktury se nazývá vytvrzování. Jde o nevratný proces a vytvrzený materiál nejde znovu tvarovat, svařovat ani převést do taveniny. Reaktoplast je amorfní polymer. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. U reaktoplastů se produkt v nevytvrzeném stavu nazývá pryskyřice, např. fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP) apod. [1]

1.2 Elastomery

Elastomery, jsou vysoce pružné (elastické) materiály s nízkou tuhostí, které můžeme za běžných podmínek poměrně malou silou značně deformovat bez porušení (viz obr. 2 vpravo). Tato deformace je převážně vratná. Typickým představitelem jsou kaučuky, z nichž se vulkanizací (řidkým zesílením, nejčastěji pomocí síry) vyrábí pryž, což je vysoce pružný materiál, který je odolný trvalé deformaci. Pryž je vulkanizovaný elastomer a je charakterizována chemickými vazbami mezi makromolekulami, které vytváří uzly v prostorové síti. V důsledku zesílení je amorfním polymerem. [1]

1.2.1 Kaučuky

Kaučuky jsou polymery, které lze pomocí řídkého zesílení převést na elastomer nebo-li pryž. Kaučuky mohou být přírodní nebo syntetické. Nejpoužívanější vulkanizace je pomocí síry při teplotách (140 ÷ 160) °C (případně peroxidy aj.). Atomy síry vytváří příčné vazby mezi původně lineárními makromolekulami kaučuku. Pro běžný vulkanizovaný kaučuk se používá (2 ÷ 3) % síry, pro polotvrdou pryž (10 ÷ 20) % a tvrdou pryž (ebonit) více jak 20 % síry. Pryž není zhotovena pouze z kaučuku, ale z gumárenské směsi, která obsahuje nejen kaučuk a vulkanizační činidla, ale také stabilizátory, plastifikátory (např. přírodní kaučuk má vlivem vysoké molekulové hmotnosti velmi vysokou viskozitu a musí být před vlastním zpracováním upraven plastifikátory) a jinými pomocnými látkami (plniva, pigmenty apod.). Surový kaučuk je za tepla lepkavý, za studena tuhý a nepružný, zatímco vulkanizát (pryž) je elastický v širokém rozmezí teplot. [1]

1.2.2 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) mají velmi podobné vlastnosti jako pryže. Jejich struktura je tvořena tvrdými a měkkými segmenty. Měkké segmenty jsou tvořeny elastomery, tvrdé segmenty jsou tvořeny termoplasty, které vytváří uzly sítě. TPE mají zesíťovanou strukturu. Zvýšením teploty přejdou na rozdíl od pryže do tekutého stavu a lze je zpracovávat obdobně jako termoplasty. Hlavní rozdíl mezi TPE a pryžemi je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u pryže chemické povahy, zatímco u TPE mají povahu fyzikální a jsou tvořeny obvykle určitým množstvím nemísitelných termoplastických segmentů, které jsou rozptýleny ve spojitě elastomerní fázi. Termoplastické elastomery sice nemají takové elastické vlastnosti jako pryže, ale jejich výhodou je možnost vstřikování na běžných strojích, které jsou určeny pro termoplasty a také možnost jejich opětovného zpracování (recyklace). [1]



Obr. 3 Příklad použití pryže (a) a termoplastických elastomerů (b)

2 MATERIÁL VÝROBKU

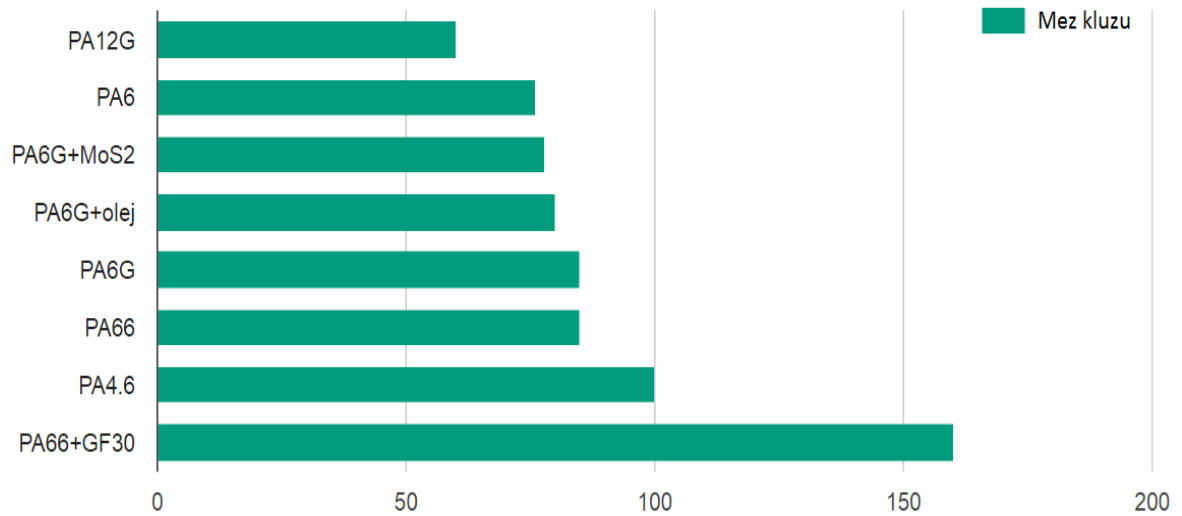
Pro výrobu daného výrobku byl použit materiál PA66 + GF30. Jde o polyamid modifikovaný skleněnými vlákny. Tento materiál s 30 % obsahem skleněných vláken nabízí vysoce pevný, tuhý a tlaku odolný materiál s vysokou stabilitou rozměrů. V porovnání s PA6 a PA6.6 má vyšší tuhost, vyšší odolnost proti opotřebení a nižší nasákavost ve vodě a vlhkém prostředí. [4]

2.1 Vlastnosti materiálu a jeho použití

Tab. 1 Vlastnosti PA66+GF30 [4]

Vlastnosti PA66+GF30	
Materiál	PA6.6
Plnivo	30 % skelného vlákna
Teplota tání	255 °C
Modul pružnosti v tahu	11 000 N/mm ²
Mez kluzu	160 N/mm ²
Pevnost v ohybu	250 N/mm ²
Trvalá teplota použití	-30 – 120 °C
Poissonovo číslo	0,35
Tažnost	5%
Odolnost - oleje	odolný
Odolnost - kyseliny	podmínečně odolný
Odolnost - zásady	odolný

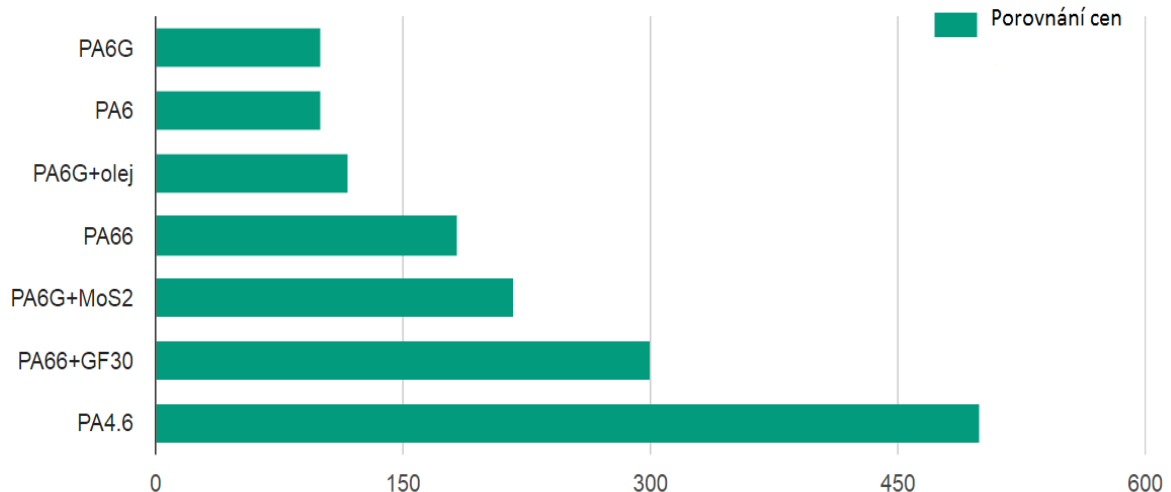
2.2 Porovnání meze kluzu s jinými druhy polyamidů



Obr. 4 Porovnání meze kluzu polyamidů [N/mm^2] [4]

Z obrázku lze vyčíst, že polyamid PA66 + GF30 má výrazně vyšší hodnotu meze kluzu než ostatní druhy polyamidů. Je to dáno obsahem skleněných vláken, kterými je tento materiál plněn.

2.3 Porovnání cen polyamidů



Obr. 5 Porovnání cen polyamidů [%] [4]

Z obrázku lze vidět, že cena polyamidů se mění s jejich plněním a tím i jejich vlastnostmi. Jako 100% ceny je uveden materiál PA6, kdy jeho cena se pohybuje okolo 3 eur za kilogram. Z toho vyplývá, že cena použitého materiálu PA66 + GF30 je přibližně 9 eur za kilogram.

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukční návrh výrobku z polymeru se řídí zcela jinými zásadami než u kovových výrobků. Konstruktor při návrhu musí uvažovat zcela jiné chování polymeru při zpracování než je u kovů. Proto musí konstruktor znát technologii zpracování výrobku. Volba vhodné technologie je velmi důležitá z pohledu tvaru výrobku, nástroje pro výrobu a jeho ceny. [2]

3.1 Přesnost polymerních výrobků

Rozměry výrobků jsou jedním z hlavních ukazatelů přesnosti. Není vhodné neupřesňovat rozměry, protože netolerované rozměry se považují za doporučené. Do tolerancí se zahrnuje pouze smrštění při tváření, které tvoří asi 99% celkového smrštění. Dodatečné smrštění se zanedbává. [2]

3.2 Požadavky na konstrukci výrobku

Konstruktor vychází ze základního podkladu, kterým je 2D výkres dané součásti, popřípadě 3D model. Konstrukce výrobku musí zohledňovat vhodnou polohu dělicí roviny a s ní je spojený způsob zaformování. Dále musí být zohledněn vtokový a vyhazovací systém, odvzdušnění, úkosy, přesnost a vzhled. Tloušťka stěn musí zohledňovat dráhu toku polymeru i případné vady jako jsou hromadění materiálu, vnitřní pnutí, propadliny atd. Při konstrukci výrobku se musí dát zejména pozor na ostré hrany, náhlé přechody v tloušťkách stěn a na tloušťku bočních stěn a žeber, která by neměla překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny. [2]

3.3 Dělicí rovina

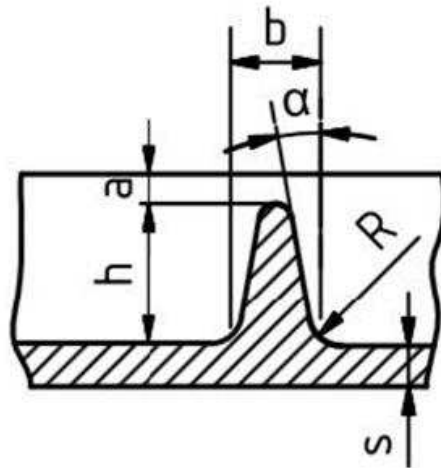
Dělicí rovina je plocha, na kterou při zavření formy dosedá tvárník a tvárnice. Vzhledem ke složitosti výrobku se její umístění volí tak, aby po odformování bylo vyjmutí výrobku z formy co nejjednodušší. [2]

3.4 Zaoblení hran a rohů

Pomocí zaoblení rohů, koutů a hran se usnadní tečení taveniny v dutině formy a zabráníme koncentraci napětí. Zároveň dojde také ke snížení opotřebení formy, protože ostré hrany, rohy a kouty vyžadují vyšší vstřikovací tlaky.

3.5 Žebra

Jsou dělena podle účinku na technická a technologická. Technická žebra zajišťují pevnost a tuhost výrobku. Technologická žebra zlepšují plnění formy, brání zborcení stěn a odstraňují předpokládaný vznik povrchových vad. Občas jsou žebra volena tak, aby zlepšila vzhled výrobku. [3]



Obr. 6 Žebro

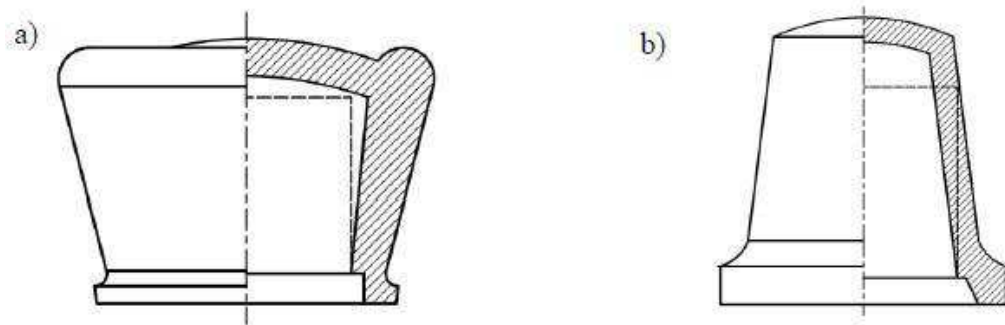
Tab. 2 Minimální požadavky na konstrukci žeber

S [mm]	h max [mm]	b max [mm]	R max [mm]	a min [mm]	α
1,6	4,0	1,0	0,3 - 2	0,5	30', 1°, 2°, 3°
2,0	6,0	1,5			
2,5	7,5	2,0			
3,0	9,0	2,2			
4,0	12,0	2,8			
5,0	15,0	3,0			
6,0	18,0	3,5			

3.6 Úkosy a podkosy

Úkosy jsou sklony stěn výstřiku kolmo k dělicí rovině, kterými se umožňuje, nebo u podkosů zabraňuje, vyjímání výstřiku z dutiny formy. Jejich velikost se řídí požadovanou

funkcí. Svým uspořádáním jsou buď vnější, nebo vnitřní. Volbu jejich velikosti ovlivňuje především smrštění, elasticita plastu, povrch stěn formy a automatizace výroby. S ohledem na tyto faktory se pak volí jejich velikost dle tabulek. U vnitřních stěn větší a u vnějších menší úkosy. Podkoso, s výjimkou technologických, komplikují konstrukci i funkci formy, a proto je snaha se jim vyhnout. [3]



Obr. 7 a) podkoso, b) úkoso

Tab. 3 Úkosy a podkoso [3]

Úkosy a podkoso dle použití	
nálitky, žebra	1° - 10°
vnější plochy	30' - 2°
vnitřní plochy	30' - 3°
výstupky	2° - 10°
hluboké otvory	1° - 10°

4 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Jde o nejpoužívanější technologii pro zpracování termoplastů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí, kompozitů, ale i reaktoplastů, kaučuků a pryží. Technologie vstřikování plastů svým principem vychází z technologie tlakového lití, jenže za výrazně rozdílných teplot zpracování a tokových vlastností tavenin termoplastů. Podstatou technologie vstřikování plastů je cyklické opakování jednotlivých částí výrobního cyklu. [5]



Obr. 8 Příklady vstřikovaných dílů [5]

Výhodami technologie vstřikování je, že výrobky dosahují vysoké rozměrové i tvarové přesnosti pro sériovou opakovatelnost procesu, za jeden cyklus lze získat konečný díl, a to i tvarově velmi složitý, velmi dobrá kvalita povrchu, krátké výrobní cykly, apod. Mezi nevýhody technologie vstřikování patří velké pořizovací náklady na nákup strojů i forem, velikost strojního vybavení vzhledem k velikosti dílu, atd. Technologie vstřikování je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [5]

4.1 Podstata a princip technologie vstřikování

Technologie vstřikování je způsob zpracování plastů a kompozitů, při kterém je potřebné množství zpracovávaného materiálu ve formě taveniny vstříknuto za pomoci šneku nebo pístu velmi vysokou rychlostí z plastikační jednotky do uzavřené dutiny vstřikovací formy, kde v důsledku odvodu tepla ztuhne v konečný výrobek. Plastikační jednotka je součástí

vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu je v ní neustále doplňována během výrobního cyklu. [5]

Princip technologie vstřikování je následující: plast (v podobě granulátu), recyklát nebo regranulát se nasype do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde vlivem účinku tření a topení polymer taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstříknuta do dutiny formy, kterou zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlak pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo, a postupným ochlazováním tuhne ve finální výrobek. Poté dojde k otevření formy a výrobek je vyhozen a celý výrobní proces se cyklicky opakuje. [5]

4.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus vytváří sled přesně specifikovaných po sobě jdoucích kroků, fází, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Vstřikovací cyklus je proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Pro popis vstřikovacího cyklu je potřeba jednoznačně definovat jeho počátek. Jako počátek vstřikovacího cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření vstřikovací formy. Vstřikovací cyklus lze popsat jak z hlediska časového průběhu vstřikovacího tlaku, tak i z hlediska p-v-T diagramu.



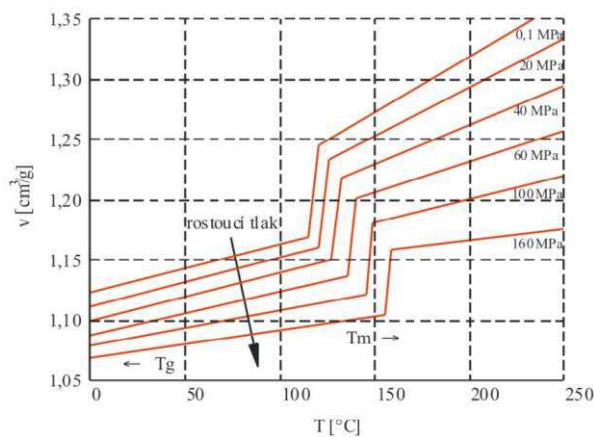
Obr. 9 Vstřikovací cyklus

K uzavřené formě je přisunuta plastikační jednotka, která dosedá na vtokovou vložku. V plastikační jednotce je připraveno přesné množství roztaveného polymeru potřebné k vyplnění dutiny formy. Následuje vstříknutí polymeru do dutiny formy, tento časový úsek se nazývá doba plnění. Po dokončení vstřiku začíná působit dotlak. Doplnění materiálu je omezeno ztuhnutím taveniny ve vtokovém kanálu. Po skončení dotlaku probíhá chlazení

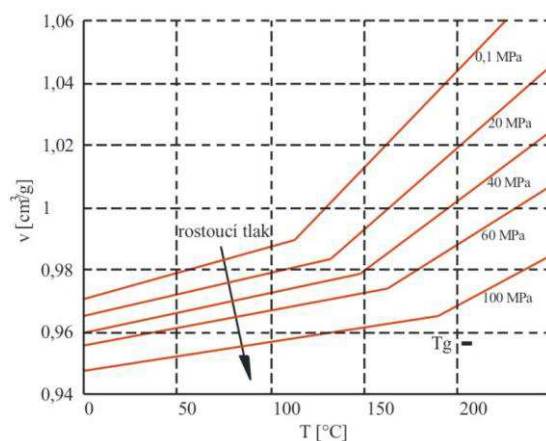
výrobku na vyhazovací teplotu. Zároveň s chlazením výrobku probíhá i plastikace nové dávky polymeru. Po dosažení teploty vhodné k vyhození výrobku se forma otevře a dojde k vyhození výrobku z dutiny formy ven pomocí vyhazovacího systému. Po vyhození výrobku proběhne příprava formy, jako je její čištění a zakládání jader.

4.3 Vstřikovací cyklus v diagramu $p - v - T$

Kromě popisu vstřikovacího cyklu pomocí závislosti vstřikovacího tlaku na čase můžeme vstřikovací cyklus popsat také pomocí stavových termodynamických veličin, tj. tlaku p , měrného objemu v (převrácená hodnota hustoty) a teploty hmoty T . Základní tvar $p - v - T$ diagramů pro amorfni a semikrystalické plasty je ukázán na obr. 10 a 11. [5]



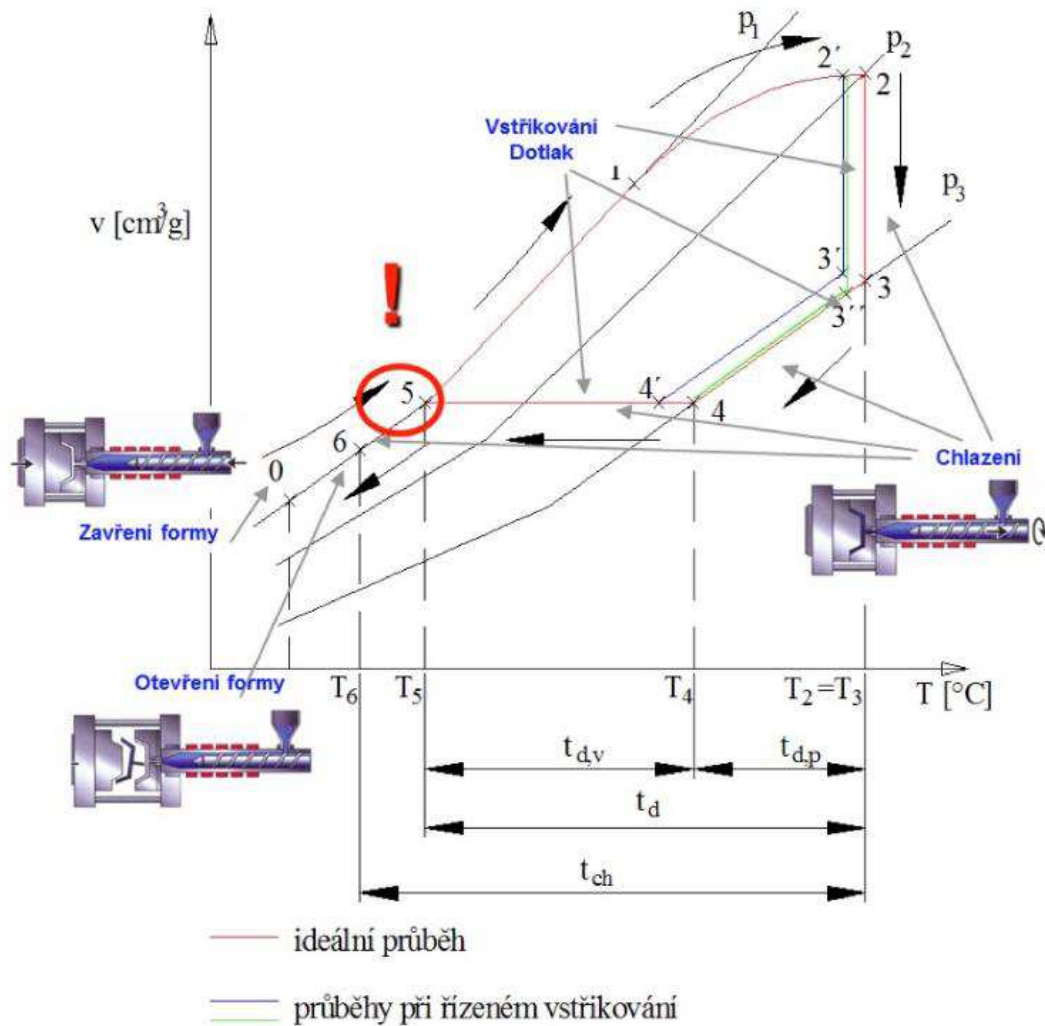
Obr. 10 $p - v - T$ diagram pro semikrystalický termoplast



Obr. 11 $p - v - T$ diagram pro amorfni termoplast

Průběh stavových veličin je v různých místech výrobku odlišný a je ovlivněn druhem plasty, tvarovou složitostí výrobku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem a dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny a teplotou vstřikovací formy. Změny stavových veličin po

tom přímo určují vznik struktury a ovlivňují hmotnost a rozměry výrobku. Příklad vstřikovacího cyklu v $p - v - T$ diagramu je zobrazen na obrázku č. 12. Řízení vstřikovacího cyklu pomocí diagramu $p - v - T$ patří k moderním metodám zpracování termoplastů a je aplikován u současných strojů, které jsou řízeny mikroprocesory. [5]



Obr. 12 Vstřikovací cyklus v $p - v - T$ diagramu

Před začátkem samotného vstřikování dojde k zavření vstřikovací formy. Začátek vstřikovacího procesu je zobrazen v bodě 0, tedy při pokojové teplotě a barometrickém tlaku, který je označen jako p_1 . Následuje ohřev a plastikace polymeru v plastikační jednotce vstřikovacího stroje, probíhající pro zjednodušení také při barometrickém tlaku. V bodě 1 se již uplatňuje hnětení plastu a začíná narůstat tlak až na hodnotu vstřikovacího tlaku p_2 . Vlivem topení a tření stále roste i teplota taveniny, což je popsáno bodem 2. [5]

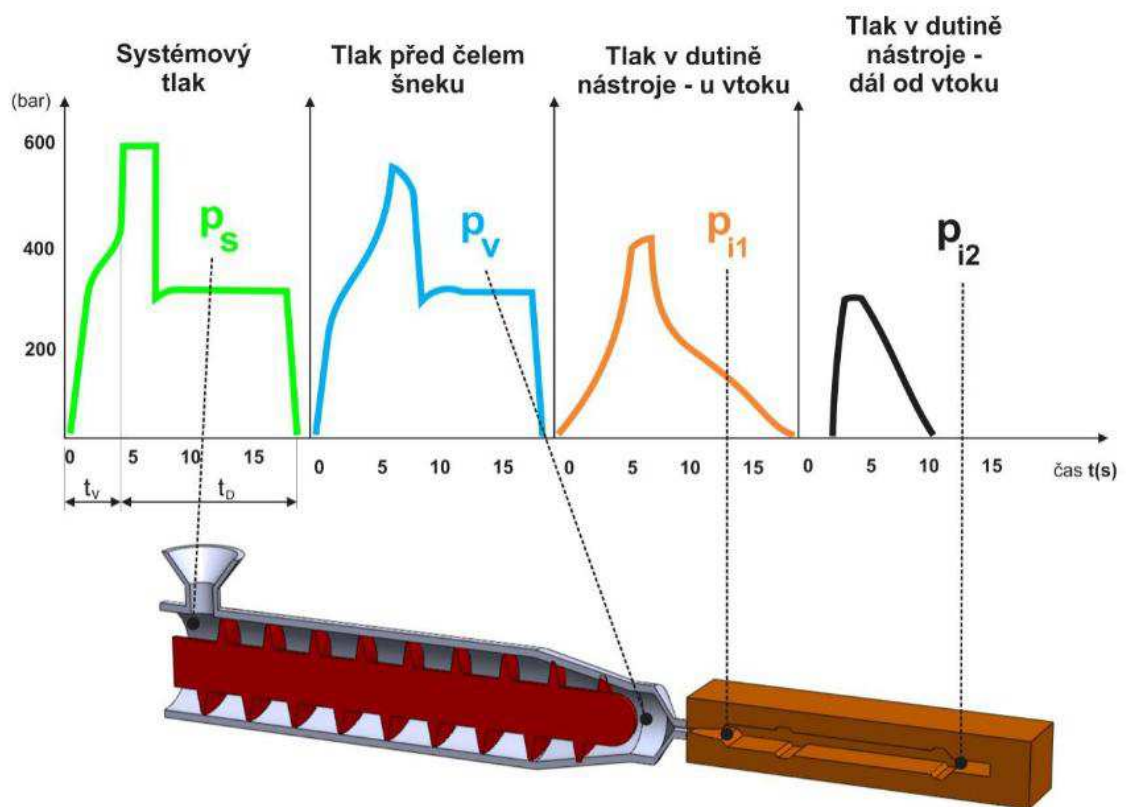
Vlastní fáze vstřikování začíná v bodě 2 prudkým nárůstem tlaku, který je vyvolán axiálním pohybem šneku, přičemž pro zjednodušení je uvažován děj izotermický. Tlak stoupá

až na svou maximální hodnotu p_3 v bodě 3. Po zaplnění tvarové dutiny vstřikovací formy dochází ke stlačení taveniny a vstřikovací rychlost okamžitě poklesne. Po dosažení maximálního tlaku se vstřikovací tlak přepne na dotlak. Dotlak probíhá ve dvou fázích. Mezi body 3 a 4 se jedná o dotlak izobarický, kterému je přiřazena hodnota tlaku p_3 . V bodě 4 je změněn izobarický dotlak na dotlak izochorický. Tato fáze končí v bodě 5, kde tlak dosahuje z hlediska zjednodušení opět počáteční hodnoty p_1 . Od tohoto momentu již dotlak nemůže ovlivňovat průběh tlaku v dutině nástroje. Poloha bodu 5 výrazně ovlivňuje kvalitu výstřiku a jeho vlastnosti jako je hmotnost, smrštění a tím i rozměry. [5]

Chlazení výstřiku začíná ve formě již ve fázi vstřikování a pokračuje ve fázi dotlaku. Tato část fáze chlazení probíhá za současného působení dotlaku, ale během procesu chladnutí taveniny klesá tlak v dutině formy až na hodnotu zbytkového tlaku. Mezi body 5 a 6 dochází k chlazení výrobku ve formě již bez působení dotlaku a zároveň ke zvyšování tuhosti plastového dílu. V bodě 6 dojde k otevření formy a výrobek je vyhozen ze vstřikovací formy. V oblasti mezi bodem 6 a bodem 0 chladne výrobek již mimo vstřikovací formu a postupně dosáhne teploty okolí, tedy výchozího bodu 0. Z hlediska kvality vstřikovaných dílů by bylo ideální, kdyby všechny vstřikované díly měly stavové veličiny, odpovídající bodu 5. Potom by shodné stavové veličiny vedly k tomu, že by měly výrobky opakovaně stejnou hmotnost, rozměry, kvalitu povrchu, atd. [5]

4.4 Tlaky u technologie vstřikování

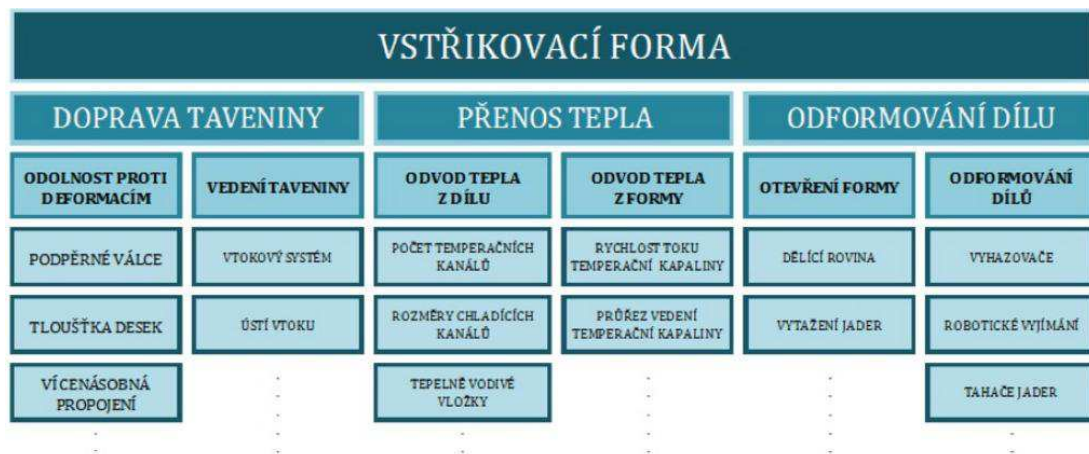
Při vstřikování plastů působí několik tlaků, jako jsou systémový tlak, vnitřní vstřikovací tlak a vnější vstřikovací tlak. Systémový (hydraulický) tlak (obr. 13) je tlak, který je možné naměřit v hydraulickém systému vstřikovacího stroje. Označuje se buď jako p_s nebo p_h . Vnitřní vstřikovací tlak (obr. 13) je tlak v dutině vstřikovací formy během procesu vstřikování (standardně se označuje jako p_i nebo p_f). Vnější vstřikovací tlak (obr. 13), označovaný p_{vs} , je tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku před čelem šneku.



Obr. 13 Tlaky u technologie vstřikování [5]

5 KONSTRUKCE FORMY

Vstříkovací forma je komplexní systém, který musí splnit současně mnoho požadavků vycházejících z procesu vstříkování termoplastů. Primární funkcí formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její naplnění. Tvar budoucího dílu odpovídá tvaru dutiny formy. Sekundární funkcí vstříkovací formy je efektivní odvod tepla přivedeného taveninou polymeru. Dále musí vstříkovací forma zajistit bezpečné, rychlé a v krátké periodě opakující se vyjmutí dílu. Zajištění těchto tří hlavních funkcí – doprava taveniny polymeru, odvod tepla, odformování – vyžaduje i přítomnost dalších (vedlejších) funkcí vstříkovací formy. [6]



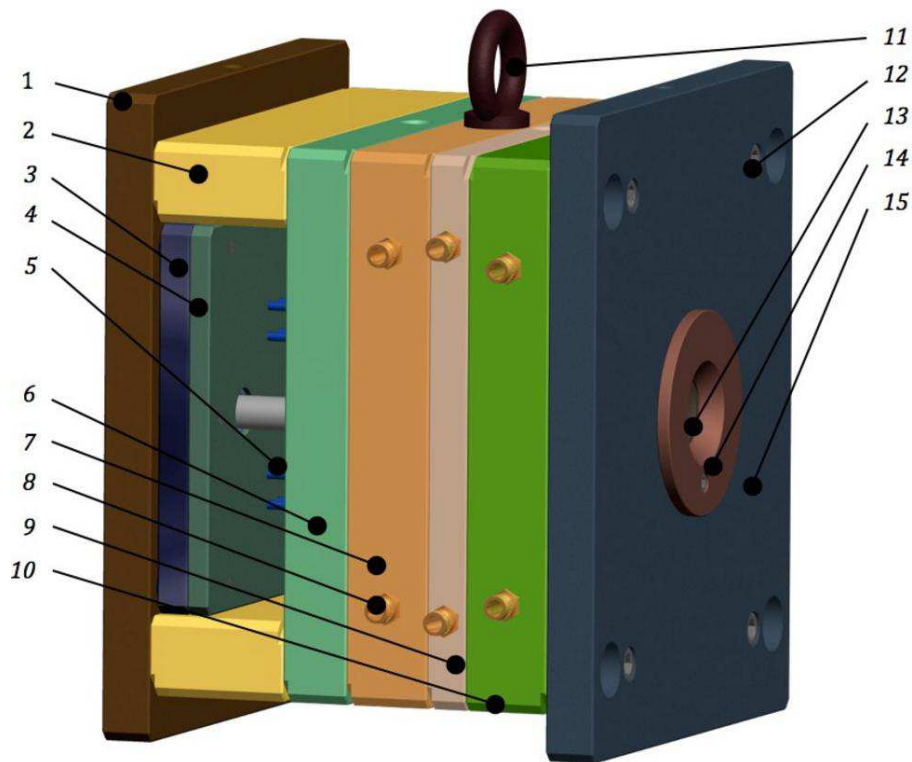
Obr. 14 Základní funkce a vlastnosti vstříkovací formy [6]

Je potřeba zmínit, že na obr. 14 není uveden seznam všech možných funkcí vstříkovací formy, ale jsou zde jen základní a vedlejší funkce, které musí konstruktér zohlednit při konstrukci vstříkovacích forem. Lze si také povšimnout, že některé z uvedených požadavků jsou ve vzájemném konfliktu. Například lepšího odvodu tepla z dutiny formy lze dosáhnout použitím vyššího počtu chladicích kanálů, které kopírují prostor dutiny vstříkovací formy. Jenže odformování vstříkovaného dílu může vyžadovat větší množství vyhazovačích prvků v těch oblastech, ve kterých by bylo z hlediska dobrého odvodu tepla vhodné umístit kanály chladicího systému vstříkovací formy a podobně. V tento moment musí konstruktér učinit rozhodnutí mezi takto odporujícími si požadavky a konečný návrh konstrukce musí být kompromisem. Začínající konstruktéři vstříkovacích forem mají tendenci splnit všechny požadavky na vstříkovací formu v co největší možné míře, což má za následek neúměrné zvýšení konstrukční a výrobní složitosti vstříkovací formy.

Je zřejmé, že to není úplně správný krok, protože většinou dochází ke zbytečnému zvětšení rozměrů vstřikovací formy, zvýšení výrobních nákladů na formu a tím ke snížení efektivity provozu vstřikovací formy. [6]

5.1 Vnější pohled na vstřikovací formu

Na obr. 15 lze vidět základní skladbu dvoudeskové vstřikovací formy, která je složena z několika desek vzájemně spojených pomocí šroubů s válcovou hlavou. Upínací desky pevné (tvárnice) a pohyblivé (tvárník) části vstřikovací formy slouží k upnutí obou částí formy na vstřikovací stroj. Desky „A“, „B“ a „C“ slouží k vytvoření dutiny, která formuje vstřikovaný díl.



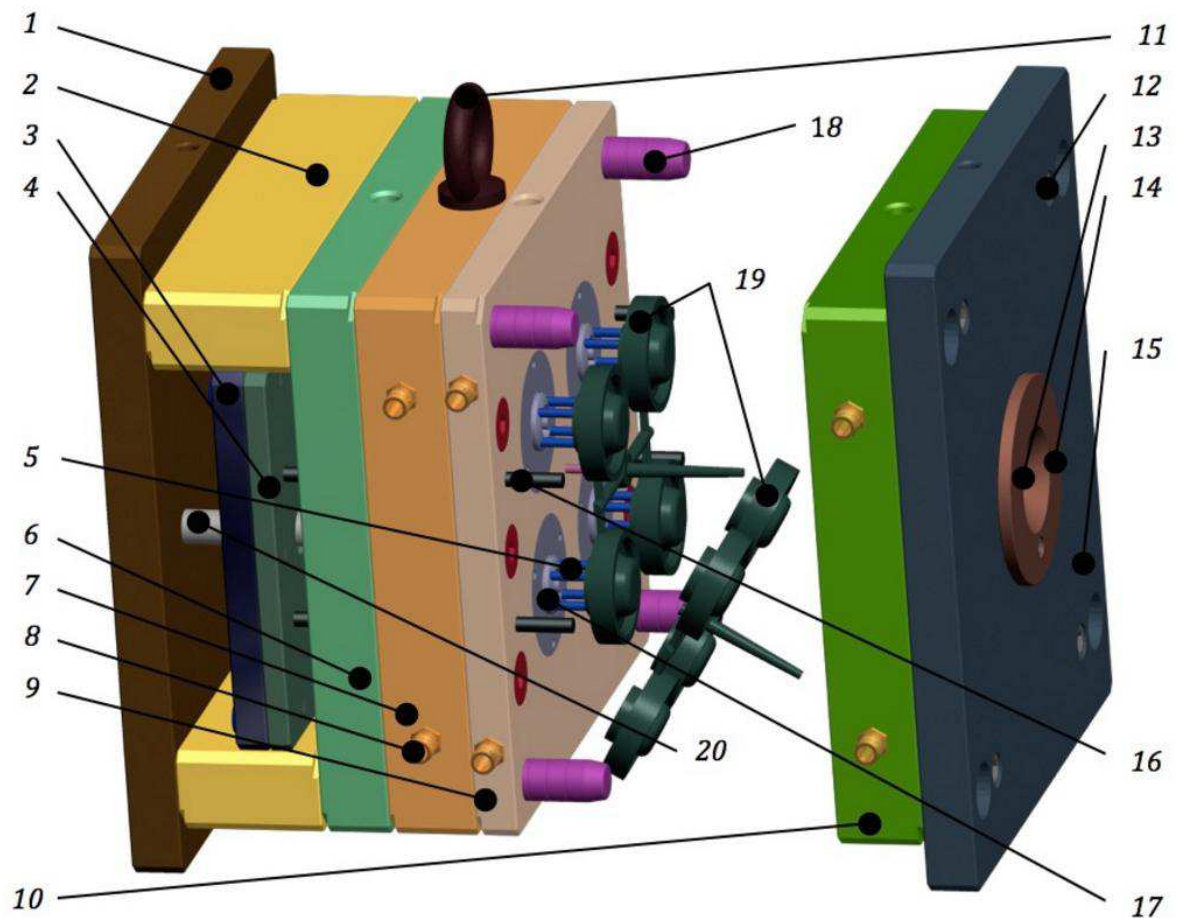
Obr. 15 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy

Dutina může být vytvořena přímo v těchto deskách, nebo tyto desky slouží k upevnění vložek, ve kterých je tvarová dutina vytvořena. Jelikož k výrobě dílů, které tvoří dutinu vstříkovací formy, je nutné použití mechanicky odolnějších a tím pádem i dražších materiálů, nabízí použití tvarových vložek v mnoha případech i velmi velkou úsporu nákladů na výrobu vstříkovací formy. Pro ukotvení vložek lze totiž použít méně mechanicky odolných a tím pádem i levnějších materiálů. [6]

5.2 Pohled na vstříkovací formu při odformování

Obrázek č. 16 znázorňuje otevřenou dvoudeskovou vstříkovací formu s vysunutým vyhadzovacím systémem. Tavenina polymeru byla vstříknuta do dutiny vstříkovací formy, kde ztuhla. Po otevření formy dojde k odformování (vyhození). Aby k odformování mohlo dojít, forma musí být otevřena natolik, aby po vysunutí vyhadzovacího systému mohlo dojít k bezpečnému vypadnutí dílu(ů) ze vstříkovací formy. Vysunutím vyhadzovacího systému vstříkovací formy, které je zajištěno pohybem vyhadzovacího systému stroje, dojde k pohybu vyhadzovačů, které odformují vstříkovaný díl z dutiny vstříkovací formy, kde byl do té chvíle pomocí třecích sil spojen s dílem vstříkovací formy nazývaným pevné jádro. Jádra vstříkovací formy obvykle tvoří vnitřní tvary vstříkovaných dílů. Novým pojmem na obr. 16 jsou tzv. vracecí kolíky (pozice 16). Tyto vracecí kolíky plní funkci pojistky a zaručují, že při zavření vstříkovací formy budou vyhadzovače v zadní pozici. Tyto kolíky jsou totiž rovněž spojeny s hlavní vyhadzovací deskou a při zavírání formy dojde k zasunutí celého vyhadzovacího systému do správné polohy. To umožňuje nejen zahájení vstříkování, ale také je vyloučena kolize vyhadzovačů s dutinou pevné části vstříkovací formy. Dalším z nových pojmů je vodící sloupek (pozice 18), který zaručuje správnou vzájemnou a přesnou polohu pohyblivé a pevné části vstříkovací formy. [6]



Obr. 16 Otevřená vstřikovací forma

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vraccí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce

Vstřikovací forma zobrazená na obr. 16 je tzv. čtyřnásobná. To znamená, že jsou současně zaformovány čtyři díly a během jednoho vstřikovacího cyklu dojde tedy současně k výrobě čtyř dílů. Vícenásobné zaformování dílů se používá zejména kvůli ekonomičnosti procesu vstřikování. Např. 1 minuta provozu vstřikovacího stroje stojí 10 Kč. Jeden výrobní cyklus trvá 1 minutu. Z toho zřejmé, že v případě zaformování jednoho dílu budou strojní náklady potřebné na výrobu jednoho dílu 10 Kč. Pokud by došlo k zaformování dvou dílů současně, snížily by se tyto náklady na 5 Kč. Rozhodnutí o počtu zaformovaných dílů je velmi důležité a musí k němu dojít ještě před zahájením konstrukce vstřikovací formy. Tohle rozhod-

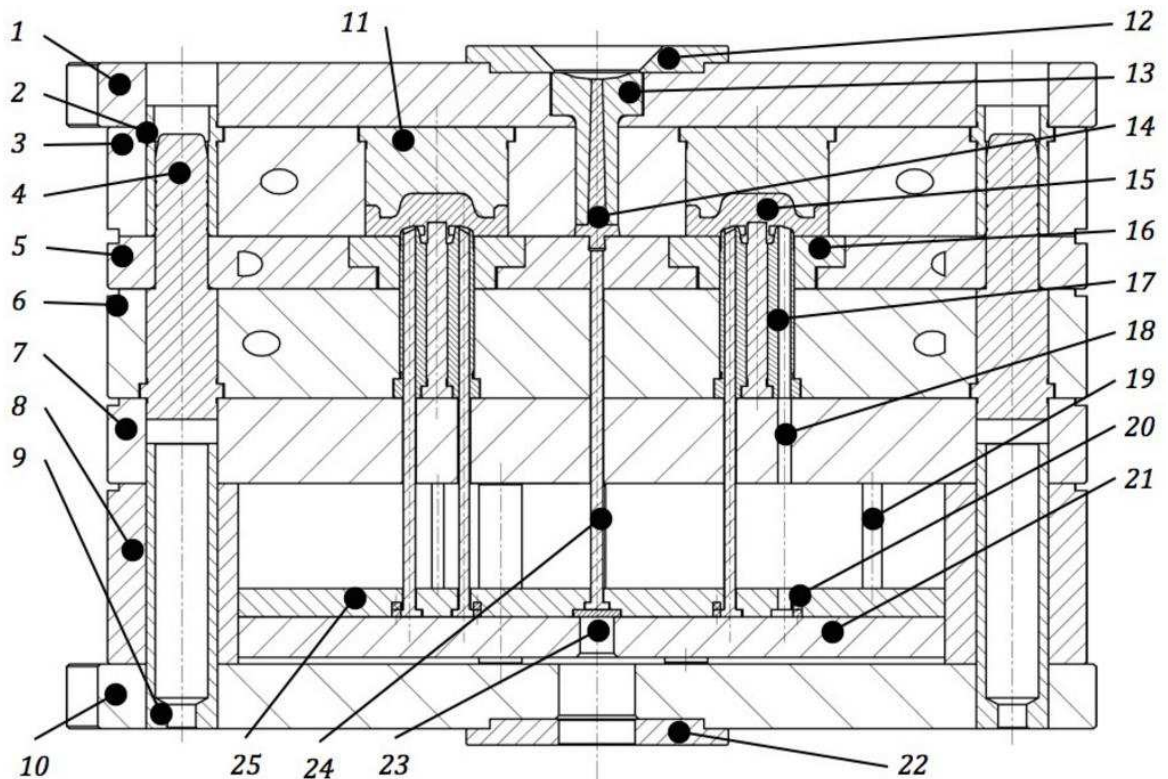
nutí je ovlivněno především dostupným technologickým vybavením (velikost a vstřikovací kapacita vstřikolisu), plánovaným ročním množstvím vyráběných dílů atd. Ve vícenásobných formách jsou díly umístěny v dělicí rovině tak, aby vznikl prostor pro vtokový systém, chladicí kanály a další komponenty nutné k provozu vstřikovací formy. V zásadě by mělo platit, že díly by měly být zaformovány v co nejmenší vzdálenosti od sebe. Zároveň tím ale nesmí být negativně ovlivněny ostatní funkce vstřikovací formy jako je odformování, chlazení atd. V případě identických dílů lze obvykle říci, že čím je forma menší, tím je forma levnější. [6]

5.3 Řez vstřikovací formou

Obr. 17 znázorňuje řez formou. Jednotlivé části formy jsou odlišně šrafovány a je velmi důležité v této fázi porozumět úloze jednotlivých dílů v procesu vstřikování. Během fáze plnění se tavenina polymeru přemísťuje od trysky vstřikolisu přes vtokovou vložku a vtokový systém vytvořený v dělicí rovině do dutiny vstřikovací formy. Rozhraní mezi dutinou formy a vtokovým systémem se nazývá ústí vtoku. Poté následuje fáze dotlaku, který má za úkol vyrovnat objemové změny vzniklé v důsledku smrštění polymeru během jeho tuhnutí. Jednotlivé desky vstřikovací formy musí být dimenzovány tak, aby odolávaly vysokým tlakům, které jsou přítomny ve formě během fáze plnění a dotlaku. V některých případech se používají tzv. podpěrné válce, které mají za úkol vyztužení podpěrné desky tak, aby tato deska nemusela být příliš masivní. Teplo, které je přivedeno taveninou polymeru do vstřikovací formy, je odváděno chladicími kanály do obíhajícího chladicího média, kterým může být olej, voda atd. Tepelné vlastnosti materiálu jednotlivých částí vstřikovací formy spolu s velikostí a umístěním chladicích kanálů jsou rozhodujícím faktorem rychlosti odvodu tepla ven z dutiny vstřikovací formy a tím také o době, kterou potřebuje vstřikovaný díl k tomu, aby kompletně ztuhnul.

Poté, co je výrobek dostatečně zchlazen, vstřikovací stroj otevře formu tím, že pohybuje pohyblivou částí vstřikovací formy směrem od pevné části formy. Nejčastěji se vstřikované díly pohybují společně s pohyblivou částí formy. V momentě, kdy je vstřikovací forma zcela otevřena, vstřikovací stroj aktivuje pohyb hlavní vyhazovací desky, který vede k vysunutí vyhazovačů a tím k vyhození vstřikovaného dílu ven z formy. Díly mohou buď volně spadnout do prostoru pod vstřikovací formou, nebo mohou být odebrány pomocí

robotu. Následuje zpětný pohyb hlavní vyhazovací desky, zavření formy a celý vstříkovací cyklus se opakuje. [6]



Obr. 17 Dvoudesková vstříkovací forma v řezu [6]

1 – upínací deska pevné vstříkovací formy, 2 – vodící pouzdro, 3 – deska „A“, 4 – vodící sloupek, 5 – deska „C“, 6 – deska „B“, 7 – podpěrná deska, 8 – rozpěra, 9 – centrovací pouzdro, 10 – upínací deska pohyblivé části vstříkovací formy, 11 – jádro, 12 – středící kroužek pevné části vstříkovací formy, 13 – vtoková vložka, 14 – vtokový systém, 15 – vstříkovaný díl, 16 – vložka pro uložení jádra, 17 – jádro, 18 – vyhazovač, 19 – vraccí kolík, 20 – pojišťovací kolík, 21 – hlavní vyhazovací deska, 22 – středící kroužek pohyblivé části vstříkovací formy, 23 – závitový otvor pro připojení vyhazovacího systému, 24 – vyhazovač/přidržovač vtokového systému, 25 – přidržovací vyhazovací deska

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

- Nutné zaformování vtokového systému do dělicí roviny.
- Omezené množství řešení ústí vtoků.
- Limitovaná vzdálenost dutin v případě vícenásobných vstříkovacích forem.

- Zvýšené tlaky taveniny polymeru v důsledku proudění taveniny vtokovým systémem.
- Vyšší podíl odpadu – vtokový systém je primárně odpad (lze ho ovšem recyklovat). Z těchto důvodů bylo pro velkosériovou výrobu vstřikováním vyvinuto několik různých typů forem, které výše uvedené nevýhody dvoudeskové vstřikovací formy částečně odstraňují. Jedná se např. o třidedkové formy, formy s horkým rozvodem, etážové formy, apod. V současné době jsou pravděpodobně nejrozšířenější konstrukční variantou řešení dopravy taveniny plastu do dutiny formy s tzv. horkým rozvodem. [6]

5.4 Vstřikovací formy s horkým rozvodem

Pojem horký rozvod vychází z principu tohoto systému, který je založen na udržení polymeru v tekutém stavu v oblasti mezi tryskou vstřikovacího stroje a ústím vtoku popřípadě vedlejším rozváděcím kanálem po celou dobu vstřikovacího cyklu. Hlavní výhodou je skutečnost, že není produkován žádný odpad v podobě vtokového systému, jak je tomu u dvou deskových vstřikovacích forem. Jelikož horký rozvod taveniny zajišťuje udržení polymeru v roztaveném stavu až k ústí vtoku, lze za jeho pomoci vstřikovat díly s menší tloušťkou stěny v porovnání například s dvou deskovou vstřikovací formou.

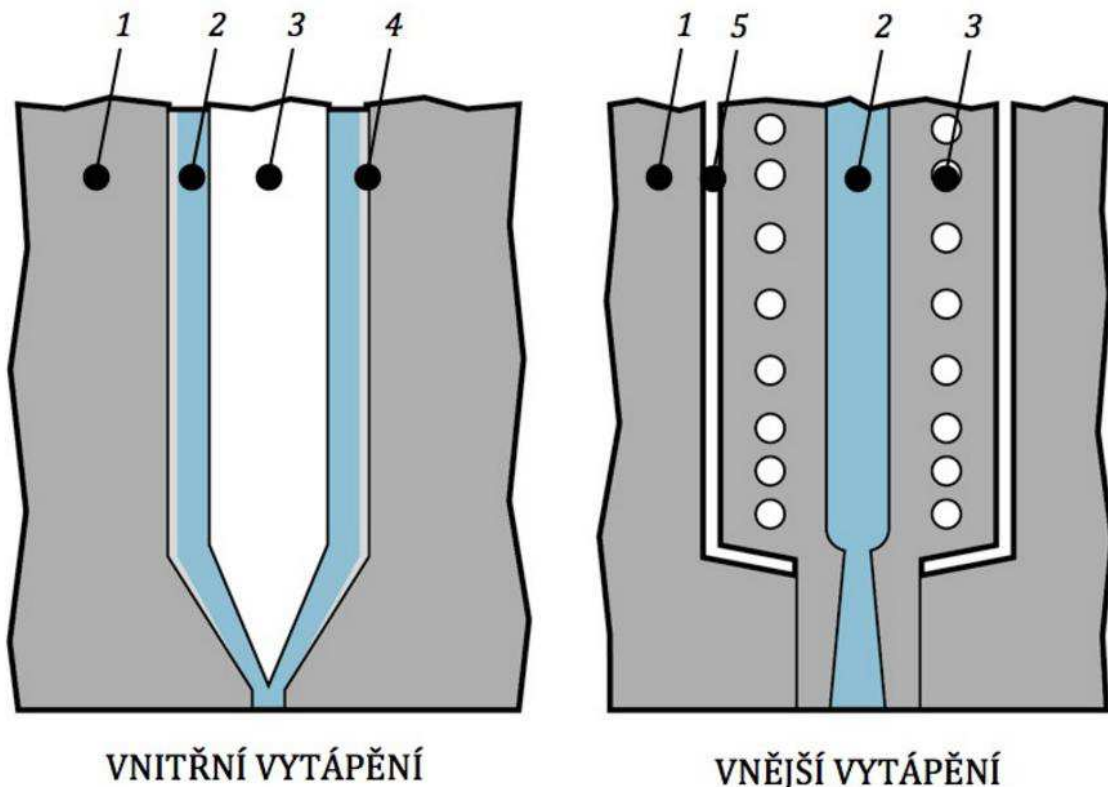
Během procesu vstřikování materiál, který je vstřikován, proudí od trysky vstřikovacího stroje do vyhřívané vtokové vložky a tlačí tím materiál, který je již v horkém rozvodu do dutiny formy. Ve chvíli, kdy jsou dutiny formy zcela zaplněny, dojde k zatuhnutí ústí vtoku, což zabraňuje unikání taveniny polymeru z horkého rozvodu ve chvíli, kdy je forma otevřena. Tlak taveniny polymeru vzniklý uvnitř horkého rozvodu způsobí, že ústí vtoku jsou proražena na začátku dalšího vstřikovacího cyklu. [6]

Podobně jako v případě celých vstřikovacích forem, existuje i celá řada konstrukčních řešení horkých rozvodů. Tato různá konstrukční řešení přinášejí několik nesporných výhod, kterými jsou např.:

- Široké možnosti přizpůsobení polohy ústí vtoku.
- Lepší přenos tlaku.
- Nižší spotřeba materiálu.
- Vyšší produktivita procesu vstřikování.

5.4.1 Varianty provedení horkého rozvodu

Komerčně je dostupná celá řada horkých rozvodů od jednoduchých vyhřívaných vtokových vložek až po uzavíratelné trysky, které umožňují tzv. kaskádové nebo sekvenční plnění dutiny formy. Zpravidla se horký rozvod skládá z vyhřívané vtokové vložky, vyhřívaného vtokového systému, vtokového ústí a kabelového vedení, které zajišťuje vytápění celé soustavy. Horký rozvod je tepelně izolován od ostatních částí vstříkovací formy, aby nedocházelo k tepelným ztrátám. Jako izolačního prostředek jsou využívány vzduchové mezery a minimální kontaktní plochy horkého rozvodu s díly vstříkovací formy. Vtokový systém je veden v pevné části vstříkovací formy nad příslušnými dutinami. [6]



Obr. 18 Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu

1 – studený materiál formy, 2 – kanál pro proudění taveniny, 3 – topné těleso, 4 – zamrzlá vrstva plastu, 5 – izolační vzduchová mezera

Vyhřívání u horkých rozvodů je řešeno jako vnitřní nebo vnější (viz obr. 18). Horké rozvody, které mají vnější vytápění, udržují potřebnou teplotu pomocí tepla, které je dodáváno topnými tělesy umístěnými vně kanálu, který je určen pro proudění taveniny polymeru. Rozvody, které mají vnitřní vytápění, využívají tzv. torpédové topné těleso umístěné uvnitř kanálu, který je určen pro proudění taveniny polymeru. Vnitřně vytápěné horké rozvody

mají nevýhodu, která spočívá ve vytvoření zamrzlé vrstvy v oblasti, kde dochází ke kontaktu taveniny se studenou stěnou formy. Časem může takto zamrzlý materiál degradovat a následně se dostat do dutiny formy a může zde vytvořit různé vzhledové vady nebo vady ovlivňující mechanické vlastnosti vstříkovaného dílu. Stejný problém se může vyskytnout u všech typů horkých rozvodů, které obsahují slepá místa a ostré rohy, kde může dojít ke zdržení materiálu delší dobu a tím k degradaci. Proto vnitřně vytápěné horké rozvody nejsou vhodné pro zpracování transparentních typů polymerů nebo typů polymerů, které mají zvýšenou citlivost na teplotu, nebo nejsou vhodné pro vstříkování dílů, které mají vysoké požadavky na kvalitu povrchu. [6]

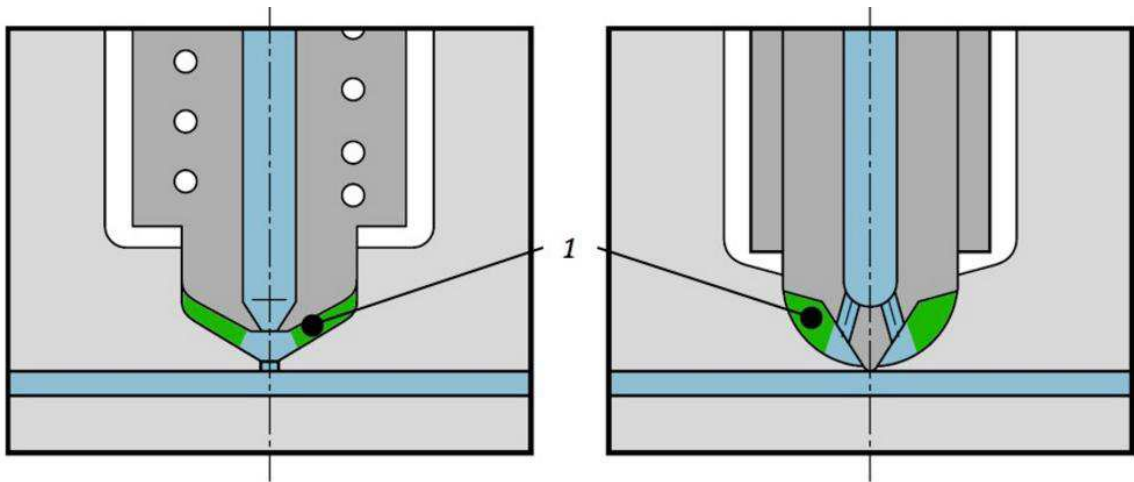
5.4.2 Ústí vtoku horkých rozvodů

Tavenina polymeru opouští horký rozvod přes ústí, které je na konci topné zóny horkého rozvodu. U obyčejných rozvodů musí materiál v oblasti ústí zatuhnout, aby nedocházelo k samovolnému vytékání taveniny polymeru z horkého rozvodu mezi jednotlivými vstřikovacími cykly. Ovšem nesmí zatuhnout příliš, aby nedošlo buď k ucpání horkého rozvodu nebo strhávání těchto zatužlin v následujícím vstřikovacím cyklu do dutiny formy. Aby bylo dosaženo optimálního stavu v tomto ohledu, je nutné kontrolovat přenos tepla z a do oblasti, kde materiál opouští horký rozvod. Jde se o oblast, kde jsou v kontaktu vyhřívané těleso horkého rozvodu a forma. Tento přenos tepla ovlivňuje řada faktorů:

- Teplota taveniny.
- Rozměry zakončení horkého rozvodu.
- Řešení temperačních kanálů.
- Materiál vstřikovací formy.
- Doba vstřikovacího cyklu.

Cílem mnoha řešení horkých rozvodů je tedy dosažení minimálního kontaktu vyhřívaných prvků rozvodů se vstřikovací formou nebo kvalitní izolace těchto prvků tak, aby docházelo k minimálnímu přenosu tepla do vstřikovací formy. Některá řešení využívají prvního vstřiku materiálu do horkého rozvodu, aby došlo k vytvoření určité izolační vrstvy tvořené polymerem (viz obr. 19). Tato vrstva plastu zde setrvává až do příští demontáže horkého rozvodu. Jelikož tento materiál určený k izolaci vyhřívaného prvku rozvodu od formy může

časem degradovat, není vhodné tohle použití pro transparentní materiály a také není vhodné pro vstřikování dílů, které mají vysoké nároky na kvalitu povrchu. Před volbou typu horkého rozvodu je doporučena konzultace s výrobcem horkého rozvodu v závislosti na vstřikovaném materiálu a povaze vstřikovaného dílu. [6]



Obr. 19 Izolační vrstva zatuhlého plastu v zakončení horkého rozvodu

1 – zatuhlá izolační vrstva

5.4.3 Uzavíratelné ústí vtoku horkého rozvodu

Některé typy horkých rozvodů umožňují mechanické uzavření ústí vtoku, které zabraňuje nežádoucímu unikání taveniny polymeru ven z horkého rozvodu nebo strhávání zatuhlin do dutiny formy. Obvykle je uzavírání řešeno za pomoci hydraulického nebo pneumatického akčního členu. Při vhodné konstrukci tento typ horkého rozvodu prakticky nezanechává na vstřikovaném dílu téměř žádnou stopu, a pokud ano, podobá se např. stopě po vyhazovači. Navíc tento systém umožňuje při vícebodovém plnění nastavení sekvenčního či kaskádového plnění dutiny formy. To znamená, že je možné zvolit, která místa vstřikovaného dílu budou plněna dříve a která budou plněna později. Nevýhodou je vyšší cena v porovnání se standardními horkými rozvody, zvýšené požadavky na údržbu vstřikovací formy a také vyšší složitost obsluhy vstřikovací formy. [6]

5.5 Porovnání vtokových systémů

Výběr typu vtokového systému je kritické rozhodnutí a musí být provedeno hned v první fázi konstrukčního návrhu dané vstřikovací formy. Souvisí především s použitými materiá-

ly pro jednotlivé díly vstřikovací formy, s montáží formy, s požadovanou produktivitou procesu, s plánovaným rozpočtem vstřikovací formy a vstřikovaným materiálem atd. [6]

POROVNÁVACÍ HLEDISKO	TYP FORMY / VTOKOVÉHO SYSTÉMU	
	DVOU DESKOVÁ	S HORKÝM ROZVODEM
spotřeba materiálu	3	1
doba výrobního cyklu	1	1
počáteční investice	1	3
doba rozjezdu výroby	1	4
náklady na údržbu	1	4
umístění ústí vtoku	4	1

Obr. 20 Porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem

Obrázek č. 20 porovnává známkou 1 až 5 (nejlepší až nejhorší) v základních ohledech dvou deskovou vstřikovací formu a formu s horkým rozvodem. V zásadě platí, že formy využívající horkého rozvodu vykazují vyšší produktivitu ovšem za cenu vyšších prvotních nákladů, nutné provozní údržby a možných komplikací při změně materiálu. [6]

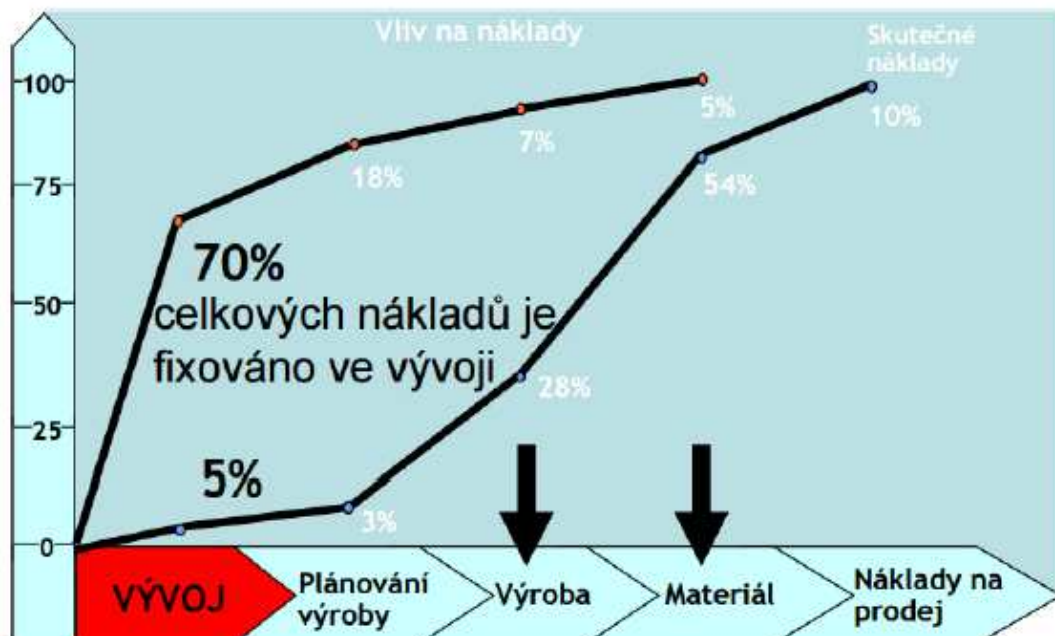
6 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýzy vstřikovacího procesu jsou využívány především za účelem vytvoření co nejlepších vstřikovacích parametrů před samotným procesem vstřikování. Z výsledků těchto simulací lze vyhodnotit a upravit mnoho aspektů. Například lze určit místa, kde se vyskytují studené spoje, vzduchové kapsy a zjištění účinnosti temperace formy, simulace plnění a vyhodnocení deformací spolu se smrštěním.

6.1 Ekonomická úspora pomocí simulačních softwarů

Pomocí simulačních softwarů můžeme vstřikovací proces zkvalitnit, čímž lze snadno dosáhnout snížení výrobních nákladů. Pomocí softwarů lze také optimalizovat tvar výrobku, což může mít za následek snížení spotřeby vstřikovaného materiálu, dále je možné zkrácení vstřikovacího času, snížení smrštění a deformací.

Při standardním způsobu návrhu výstřiku jsou uplatňovány především zkušenosti designéra a konstruktéra vstřikovací formy. Jak úspěšný byl návrh výrobku a formy, se ukáže až po výrobě formy a po vystříknutí několika zkušebních výlisků. To samé platí pro nastavení parametrů vstřikovacího procesu, které je dáno především zkušenostmi technologa. [7]



Obr. 21 Důvod simulace

6.1.1 Nejvyšší úspory výrobních nákladů lze dosáhnout ve fázi vývoje

Cena vstříkovaného dílu je z velké části dána součtem těchto cen: cenou vstříkovací formy, cenou polymeru, hmotností výrobku včetně vtoku a délkou vstříkovacího cyklu. Výše všech těchto cen je nejvíce ovlivněna ve fázi návrhu plastového dílce, konstrukcí vstříkovací formy a technologické přípravy výroby, tj. nastavením vstříkovacího procesu. Ve vývoji je obsaženo až 70 % všech nákladů na výrobu, přičemž vývojová fáze představuje přibližně pouze 5%. To je hlavní důvod, proč věnovat vývojové fázi velmi velkou pozornost. S částkou odpovídající přibližně 5 % výrobních nákladů lze totiž ušetřit dokonce desítky procent všech výrobních nákladů (obr. 21). Ve světě globálního tržního prostředí jsou realizační týmy, jejichž úkolem je návrh dílu, konstrukce nástrojů a výrobní technologie, od sebe vzdáleny tisíce kilometrů a několik časových pásem. V případě, že tyto týmy nemají v rukou přesné hodnoty popisující díl, nástroj a technologii, jejich komunikace může být velmi složitá až konfliktní, a především vede k růstu nákladů a k prodloužení času potřebného pro uvedení výrobku na trh. To může vést k velké finanční ztrátě, která plyne z toho, že výrobce není první ani jediný, kdo na trhu nabízí nový produkt. Úsporou výrobních nákladů se výrazně zvyšuje zisk a konkurenceschopnost především ve chvíli, kdy je už na trhu více výrobců. [7]

6.2 Produktová škála Autodesk Moldflow

Společnost Autodesk dodává širokou škálu simulačních programů pro vstříkování polymerů. Inženýrům, projektantům a analytikům v oboru CAE, lidem zabývajícím se samotnou výrobou a dalším odborníkům na vstříkování polymerů pomáhá vytvořit lepší a kvalitnější prototyp výrobku s nižšími vstupními náklady na trh. [8]

6.3 Simulace

Software Autodesk Moldflow nabízí celou řadu simulací. Mezi jednotlivé simulace patří například analýza vhodnosti umístění vtokového systému, analýza plnění a dotlaku, analýza účinnosti temperace, analýza smrštění a deformací, díky všem těmto analýzám se vyhodnocují budoucí výrobky a jejich možné vady. Analýzy v softwaru Moldflow pomáhají výrobcům forem ještě před samotnou výrobou optimalizovat formy tak, aby měl budoucí výrobek požadované vlastnosti určené zákazníkem a byl na trhu spolehlivý a konkurenceschopný. Na základě těchto simulací lze prodiskutovat se zákazníkem jeho požadavky na výro-

bek a možné potenciální vady, které mohou vzniknout. Z výsledků simulací je možné vhodně upravit například umístění polohy vtokového ústí, upravit temperanční systém, správně nastavit podmínky dotlaku a mnoho dalších aspektů nezbytně nutných pro výrobu funkčního výrobku dle požadavků zákazníka.

Například změnou tloušťky stěn a žeber výrobku je možné snížit teploty v kritických místech výrobku, dále snížit deformace výrobku způsobené přetlakem a také ke snížení Von Misesova napětí. Dále je možné pomocí úpravy tloušťky stěn dosáhnout výrazně kratšího času pro vyhození výrobku z formy a velkému snížení tvorby propadlin.

Další možností v Autodesk Moldflow je vytvoření požadovaného počtu násobnosti výrobků pro vstřikovací formu. Díly lze rozmístit tak, aby splňovaly požadovanou násobnost a daly se dobře vyrobit. Jelikož software nabízí databázi širokého spektra materiálů, je tedy možné nasimulovat kompletní proces vstřikování s požadovanými parametry vstřikování, vtokovým systémem, násobností a teperací.

6.3.1 Simulace vtokového systému

Simulace vtokového systému nám umožňuje vytvoření studeného i horkého vtokového kanálu, nebo jejich kombinaci. Poté je možné umístit vtokové ústí na místo nebo na místa při více vtokových ústí, které vyhodnotíme jako nejlepší variantu, abychom dosáhli co nejvyšší kvality povrchu se sníženým rizikem deformací v co nejkratším čase plnění. [8]

6.3.2 Vytvoření vtokového systému

Software nám dovolí vytvoření libovolného vtokového systému. Lze vytvořit i více vtokových ústí, aby byl zajištěn rovnoměrný tok taveniny. Je možné zadat přesné parametry, tvary vtokového systému a také jejich velikost s ohledem na rozměry a tvar výrobku. [8]

6.3.3 Vyvážení vtokového systému

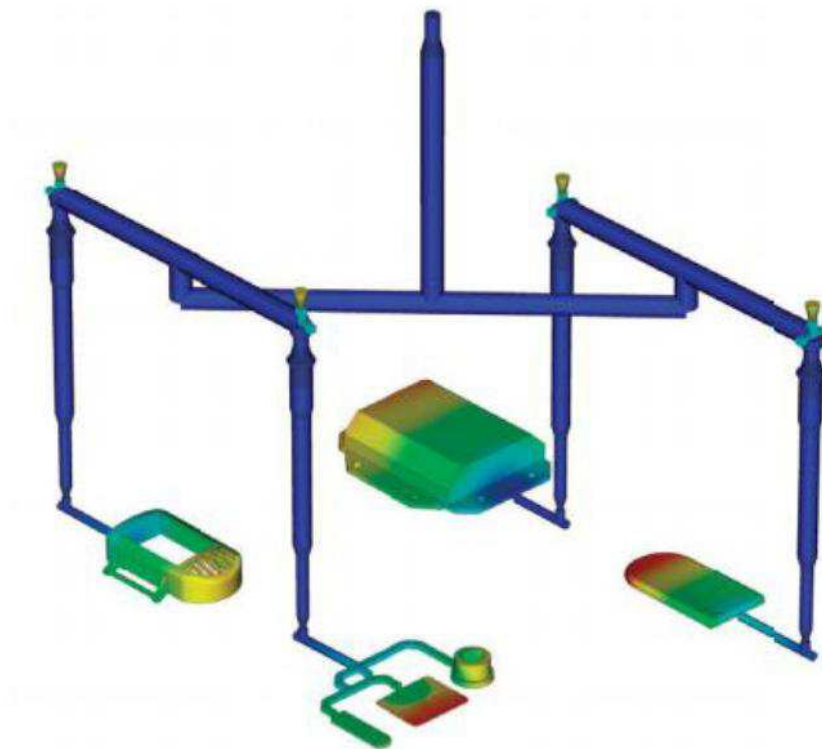
Z výsledku této analýzy lze upravit rozmístění vtokových ústí tak, aby došlo ke snížení smykové namáhání vstřikovaného polymeru. Změna probíhá umístěním vtokových ústí tam, kde je zajištěno současné a rovnovážné plnění dutiny polymerem, díky čemuž dojde ke snížení také objemu polymeru, který je potřeba k úplnému zaplnění tvarové dutiny vstřikovací formy. Je zapotřebí umístit vtokové ústí tak, aby nebyl ovlivněn design výrobku. [9]

6.3.4 Vytvoření temperačních systémů

V programu Autodesk Moldflow je možné navrhnout temperační systém z různých parametrů temperačních okruhů a přepážek. Například lze vybrat temperační médium kolující v systému temperace a také můžeme určit rozměry temperačních okruhů. Na základě vytvořeného temperačního okruhu se vyhodnocuje účinnost tohoto temperačního okruhu. Do softwaru lze také naimportovat temperační systém, který byl vytvořen v jiném programu. [9]

6.3.5 Analýza toku taveniny

Díky výsledku této analýzy je možné zlepšit proces vstřikování termoplastů. Dále lze snížit zmetkovitost polymerních výrobků, která je způsobena výskytem vad, jako jsou například studené spoje. Simulace přispívá ke zlepšení konečného designu výrobku a celé vstřikovací formy. [8]



Obr. 22 Vzorová ukázka vygenerované simulace plnění [9]

6.3.6 Analýza plnění

Simulací plnění lze předpovídat průběh plnění dutiny formy taveninou. Pomocí této analýzy lze dosáhnout rovnoměrného plnění formy, díky čemuž klesá zmetkovitost. Dále je možné zabránit tvorbě vad, které jsou spojeny s výskytem studených spojů a se špatným odzdušněním. [8]

6.3.7 Simulace smrštění a deformace

Výsledek analýzy ukazuje stav technologického dílu a vstřikovací formy. Na základě tohoto výsledku můžeme lépe určit smrštění a deformace výrobku. [9]

6.3.8 Deformace

Při vstřikování termoplastů vznikají různá napětí, která mohou deformovat jednotlivé části výrobku. Pomocí analýzy deformací lze lépe odhadnout místa výskytu deformací, a tudíž na základě těchto výsledků lze upravit konečný vzhled výrobku, použité procesní parametry a vstřikovaný polymer tak, aby konečný výrobek byl v toleranci, kterou vyžaduje zákazník. [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny cíle:

1. vypracovat literární studii na dané téma,
2. provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
3. navržení vstřikovací formy pro zadaný díl,
4. nakreslení 2D řezu vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku,
5. provedení analýzy procesu vstřikování v programu Moldflow.

V teoretické části této diplomové práce jsou shromážděny poznatky zahrnující pravidla pro konstrukci vstřikovaných výrobků, konstrukci vstřikovací formy a obecné informace o využití analýzy vstřikovacího procesu.

Praktická část této diplomové práce je zaměřena na vytvoření 3D modelu zadaného dílu a pro daný díl navrhnout vstřikovací formu, vytvořit 2D řez formou včetně příslušných pohledů a kusovníku. Závěr praktické části je zaměřen na analýzu vstřikovacího procesu.

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

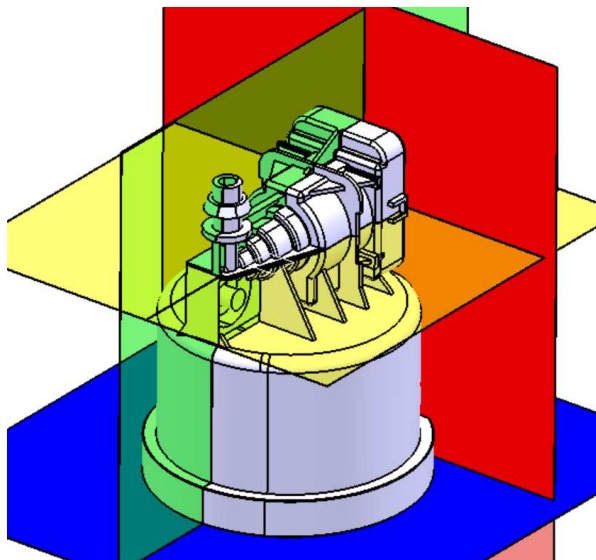
Konstrukce vstřikovací formy byla provedena v 3D softwaru CATIA V5R19. Konstrukce vstřikovací formy ve 3D programu je náročná především na představivost a jedním z nejdůležitějších bodů je správná konstrukce navrženého dílu z pohledu volby vtoku, zaformování a volby vyhazovacího systému.

8.1 Výrobek

Výrobek slouží jako součást palivového systému motoru automobilu. Je z materiálu PA66 GF30. Jde o materiál, který je plněný skelnými vlákny, které zlepšují mechanické vlastnosti materiálu, jako je pevnost, tvrdost atd.

8.2 Dělicí roviny

Vzhledem k poměrně složitému tvaru výrobku bylo za potřeby použítí více dělicích rovin. Použitím více dělicích rovin rostou především nároky na náklady vstřikovací formy, ale zároveň klesá přesnost vstřikovaných výrobků.

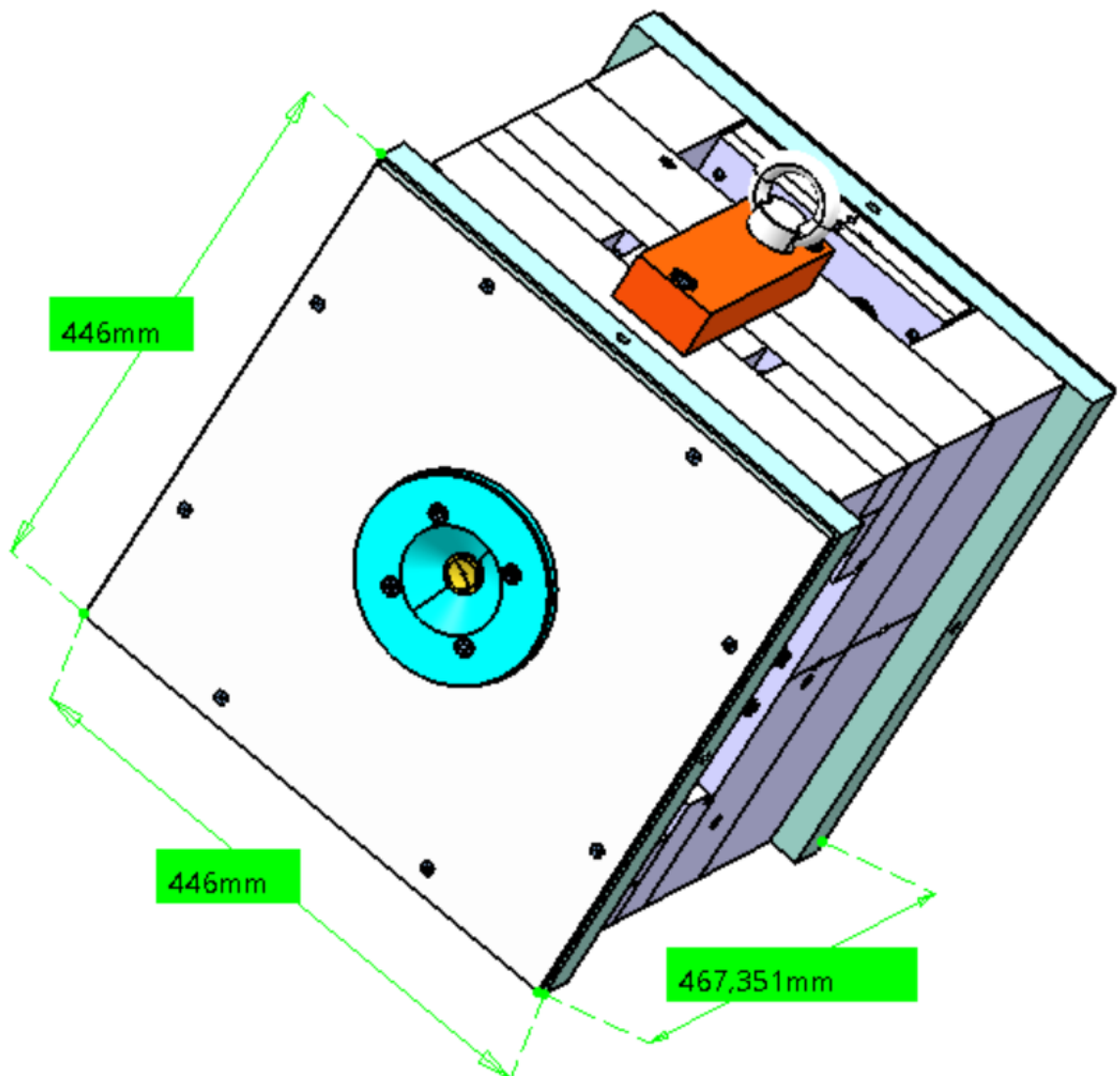


Obr. 23 Znáznornění dělicích rovin na vstřikovaném dílu

Na obrázku č. 23 lze vidět vstřikovaný díl, jehož konstrukce byla provedena v softwaru Catia V5R19, na kterém jsou zobrazeny dělicí roviny. Zelená dělicí rovina znázorňuje zaformování pomocí bočních čelistí, kterými vede vtok.

8.3 Vstřikovací forma

Návrh vstřikovací formy byl proveden v programu CATIA V5R19, včetně výkresové dokumentace. Vstřikovací forma se skládá celkem z devíti desek, tvárníku, tvárnice, bočních čelistí, ale také upínacích a vodících elementů jako jsou například vodící pouzdra a čepy, středící kroužky atd. Desky jsou středěny pomocí vodících čepů, které jsou vedeny ve vodících pouzdrech a spojeny pomocí šroubů do funkčních celků. Na pravé i levé straně formy je středící kroužek a na horní straně formy je umístěno manipulační zařízení ve formě transportního můstku a nosného oka, které umožňuje manipulaci se vstřikovací formou. Celkové rozměry vstřikovací formy jsou 446 x 446 x 467 mm.

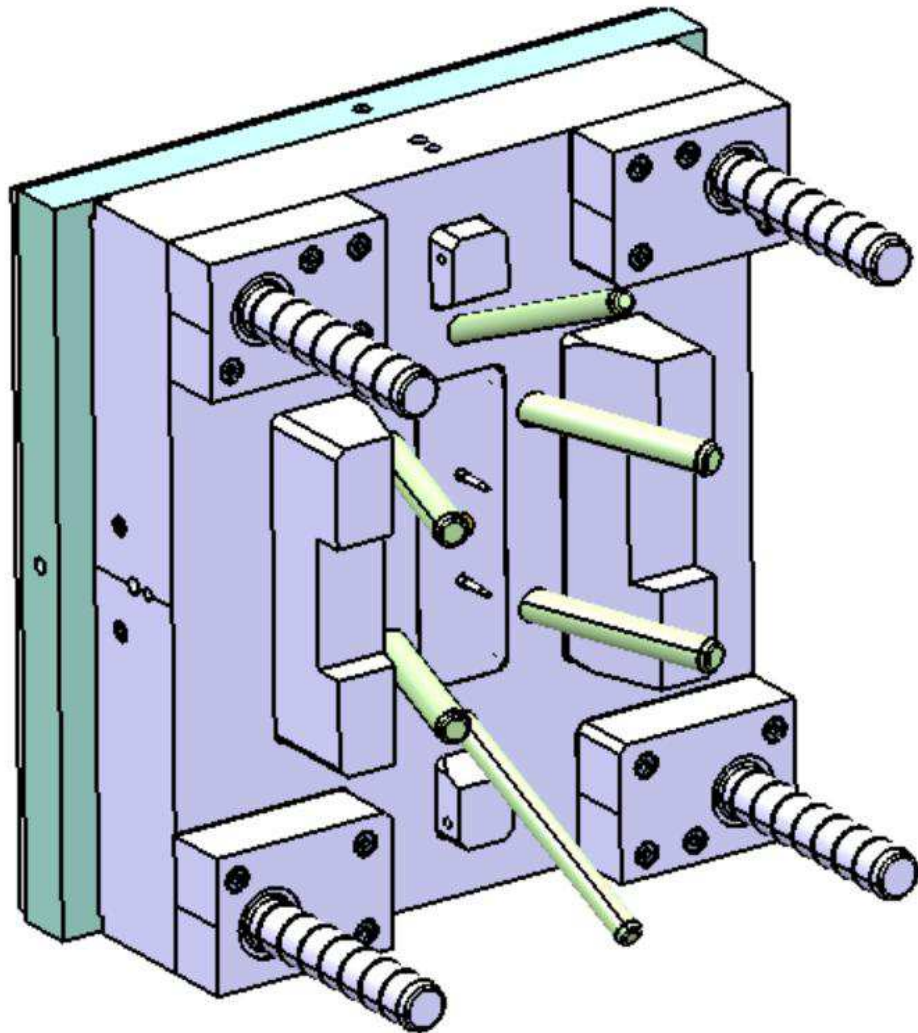


Obr. 24 Pohled na celou formu

Na obr. č. 24 lze vidět pohled na celou formu. Na obrázku jsou vidět zakótované hlavní rozměry formy. Při konstrukci formy je nutné myslet především na funkčnost vstřikovací formy a rozměrovou přesnost výstřiku.

8.3.1 Pravá strana formy

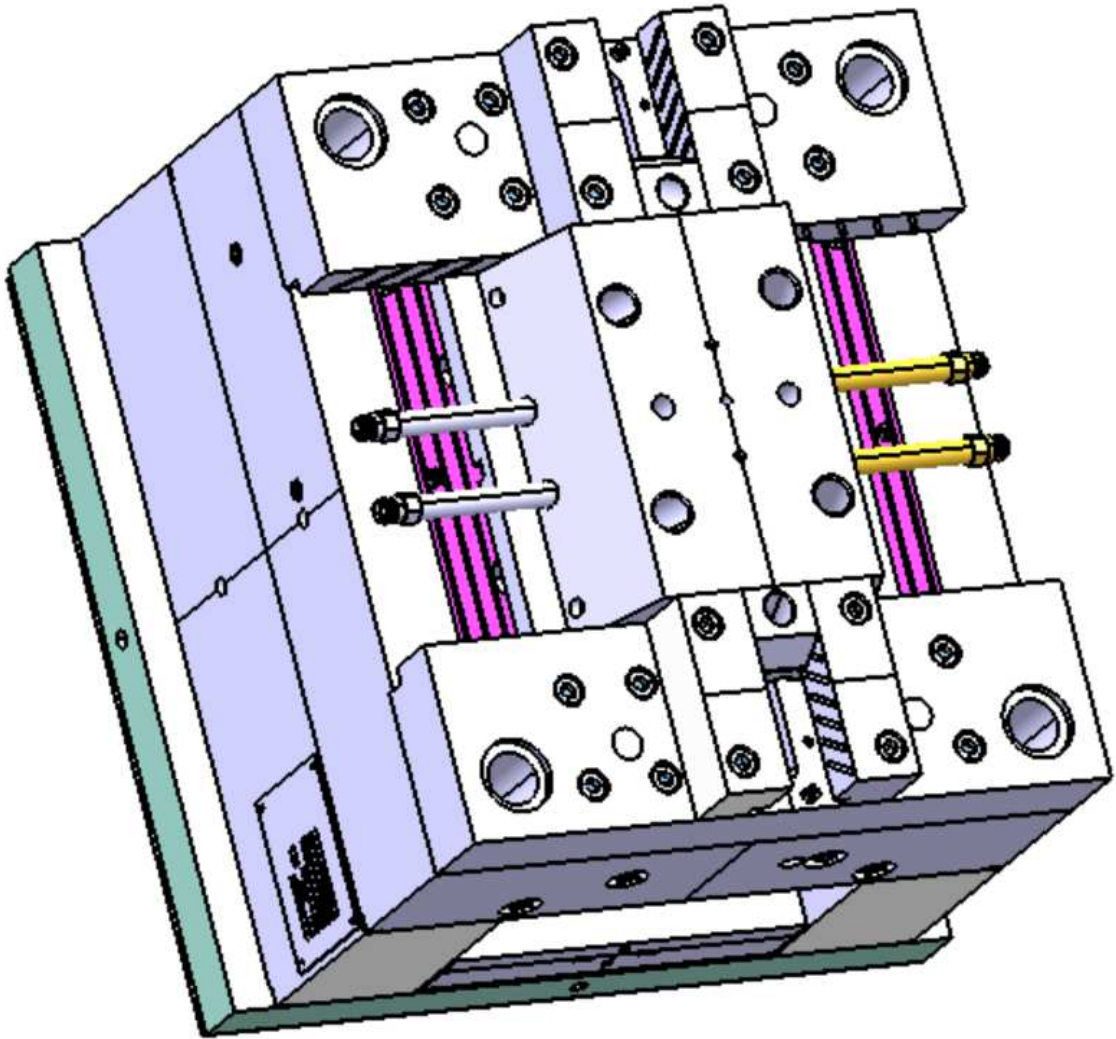
Na obrázku č. 25 můžete vidět pohled na pravou stranu formy, tedy na stranu tvárnice. Pravá strana vstřikovací formy se skládá ze středícího kroužku, izolační desky, vtokové vložky, přední upínací desky, desky tvárnice, zámků, naváděcích čepů, čepů čelistí, šroubů a především tvárnice.



Obr. 25 Pohled na pravou stranu vstřikovací formy

8.3.2 Levá strana formy

Levá strana formy, neboli také strana tvárníku se skládá celkem z 6 desek, bočních čelistí, přívodů temperačních kanálů, vyhazovacího systému, podpěr, izolační desky, středícího kroužku a tvárníku.

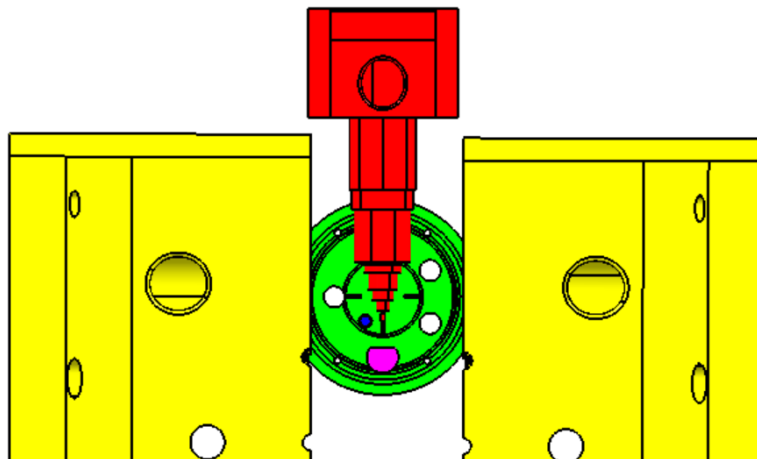


Obr. 26 Pohled na levou stranu vstřikovací formy

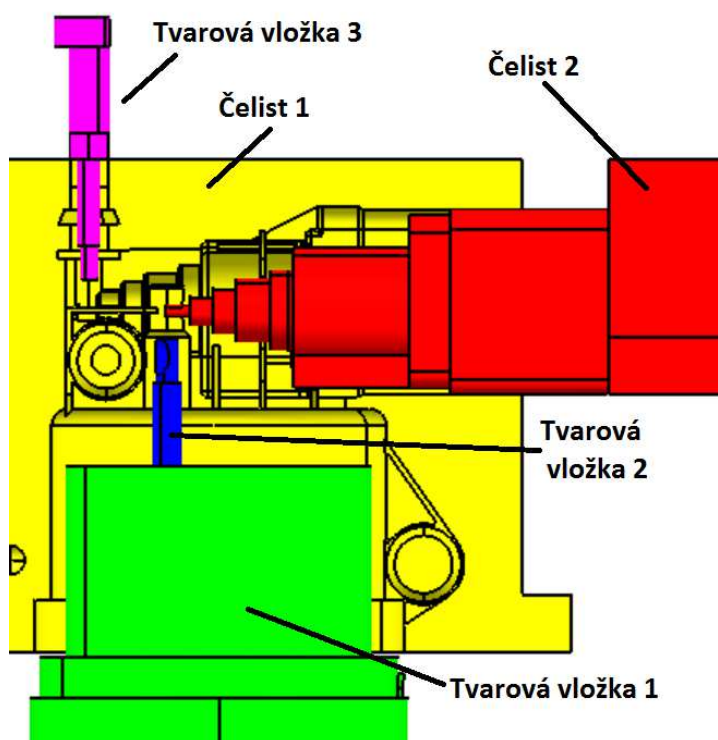
Při konstrukci levé strany vstřikovací formy je nutné dbát především na umístění vyhazovacího systému tak, aby mohlo dojít k bezproblémovému vyhození výrobku. Levá strana vstřikovací formy je zobrazena na obrázku č. 26.

8.4 Tvarové části

Tvarové části formy udávají tvar výrobku. Kvalita jejich povrchu musí být co nejvyšší, protože udává kvalitu povrchu výrobku. V této vstřikovací formě je celkem 5 tvarových částí potřebných na 1 výrobek. Jde o tvárník, tvárnici a tři boční čelisti.



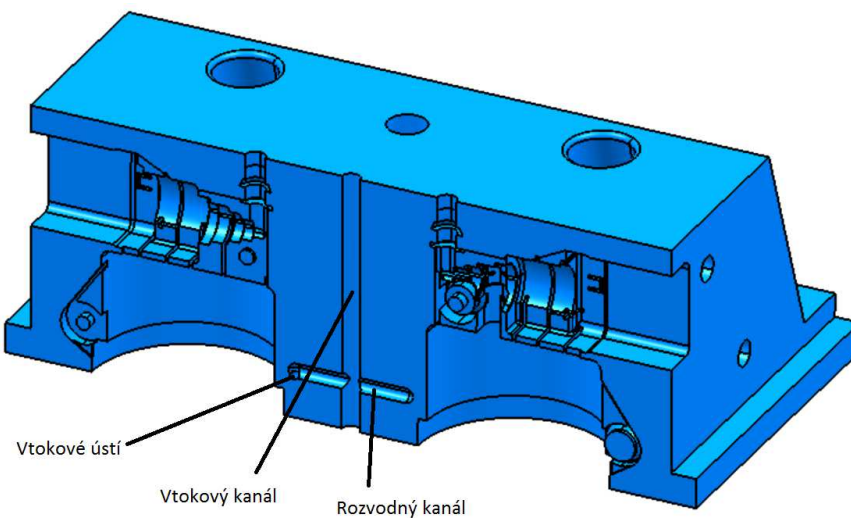
Obr. 27 Zaformování výrobku



Obr. 28 Detail zaformování

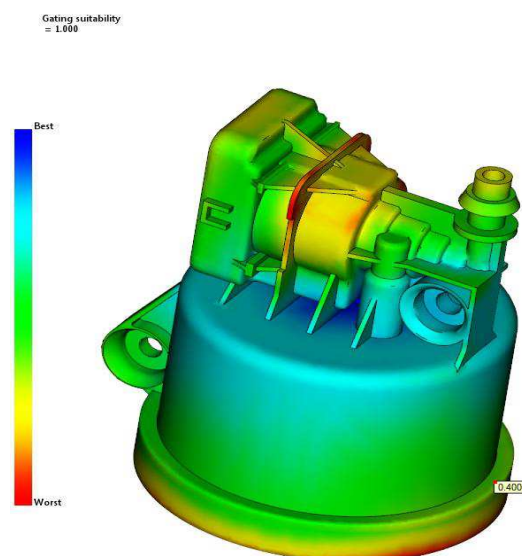
8.5 Vtokový systém

Pro zadaný díl byl zvolen studený vtokový systém. Použití horkého vtokového systému by zvýšilo výrobní náklady na vstříkovací formu a energetické náklady na výrobu jednoho dílce. Z těchto důvodů byl použit studený vtokový systém, jehož výhodou je, že v něm zůstávají reziduální napětí, kdežto u horkého vtokového systému zůstávají tato napětí ve výrobku, což je nežádoucí.



Obr. 29 Vtokový systém

Na obrázku č. 29 lze vidět boční čelist, uprostřed které vede vtokový kanál, ze kterého vede rozvodný kanál a z něj míří roztavený materiál přes vtokové ústí do dutiny formy.

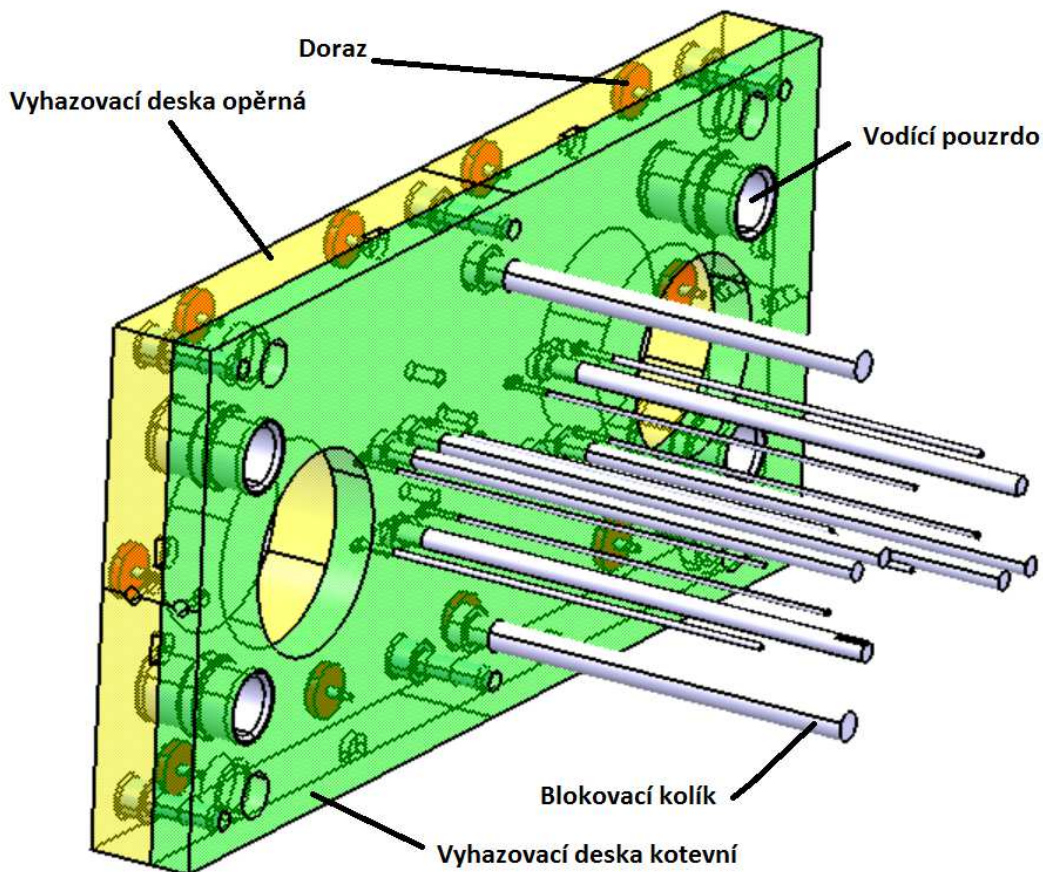


Obr. 30 Znáznornění umístění vtoku na výrobku

Na obrázku č. 30 je znázorněn výsledek analýzy vhodnosti polohy vtoku polymeru do dutiny formy. Číselně je zobrazeno umístění vtoku. Toto místo je vhodné pro vtok ze 40 %. V tomto místě je také dostatečné množství materiálu, což má za následek nízký odpor proti tečení taveniny a proto je vhodné pro umístění vtoku.

8.6 Vyhazovací systém

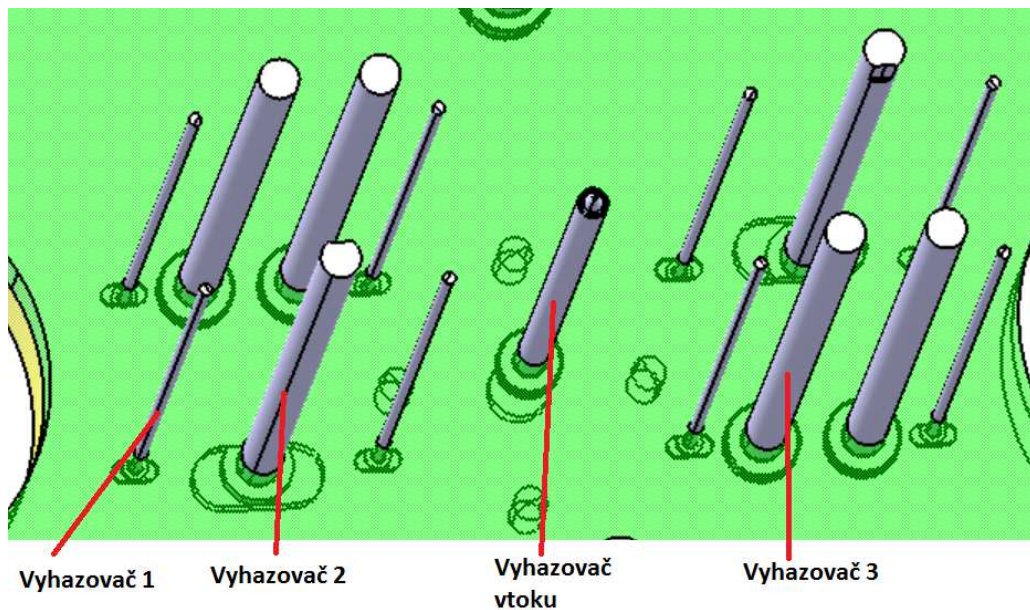
Funkce vyhazovacího systému je správné vyhození výrobku tak, aby nedošlo k jeho poškození a aby nevznikaly příliš viditelné stopy po vyhazovačích. Proto je velmi důležité vhodně zvolit umístění vyhazovačů tak, aby došlo k bezproblémovému vyhození výrobku. Zároveň je důležité, aby stopy po vyhazovačích nebyly na pohledové straně výrobku.



Obr. 31 Vyhazovací systém

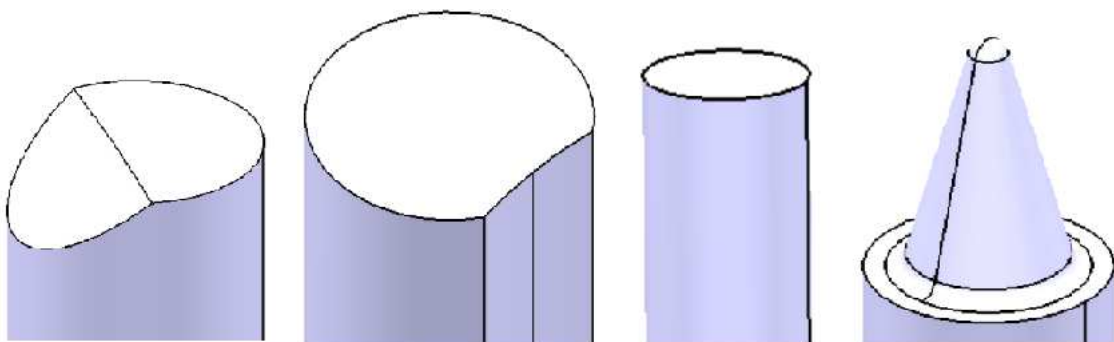
Na obrázku č. 31 lze vidět pohled na vyhazovací systém vstříkové formy, který se skládá z vyhazovací desky opěrné a kotevní, vodících pouzder, šroubů, dorazů, blokovacích kolí-

ků a především z vyhazovačů. Vyhazovací systém je tvořen celkem z 15 vyhazovačů, včetně vyhazovače vtoku. Aby byl vyhazovací systém ve správné poloze při plnění formy, jsou na vyhazovací desce opěrné umístěny dorazy. Blokovací kolík má za úkol ochranu vyhazovačů v případě, že by mělo dojít k vyhození výrobku, aniž by byly boční čelisti ve správné poloze.



Obr. 32 Vyhazovací kolíky

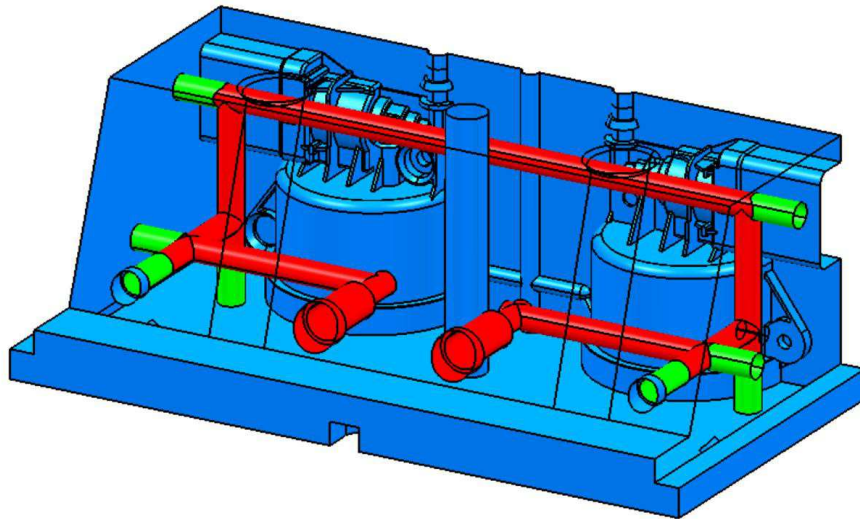
Na obrázku č. 32 jsou zobrazeny a pojmenovány vyhazovače. Tvar a jednotlivé rozměry vyhazovačů byly voleny dle tvaru výrobku. Vyhazovač 1 má průměr 2,5 mm, vyhazovače 2 a 3 mají průměr 8mm a vyhazovač vtoku má průměr 6mm. Na obrázku č. 33 lze vidět detail vyhazovačů. Při pohledu na obrázek zleva, jde o vyhazovač 1,2,3 a vyhazovač vtoku.



Obr. 33 Detail vyhazovačů

8.7 Temperační systém

Hlavním úkolem temperačního systému je udržení rovnoměrné teploty dutiny formy na celém jejím povrchu. Temperace je realizována vzájemně propojenými kanály v bočních čelistech a tvárníku.



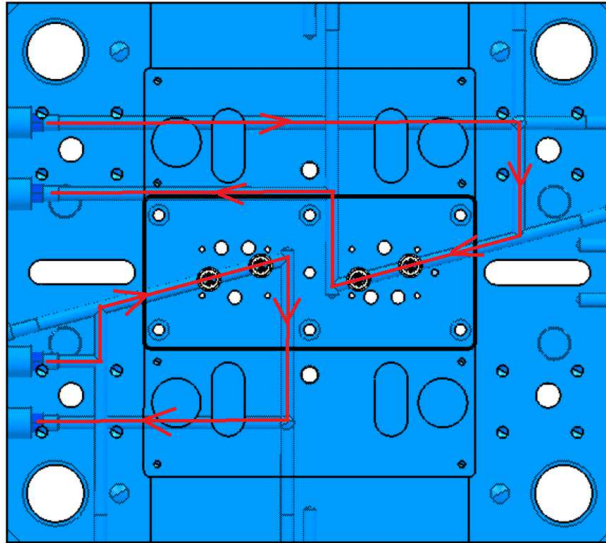
Obr. 34 Temperační kanály v bočních čelistech

Na obrázku č. 34 lze vidět znázorněny dráhy temperace v bočních čelistech vstřikovací formy, které jsou znázorněny červenou barvou. Zelená barva značí ucpávku. Dráhy temperace byly voleny tak, aby co nejlépe kopírovaly tvar dutiny. Průměr kanálů byl zvolen 8mm. Pokud by byl průměr kanálů menší, mohlo by dojít k zanesení kanálů nečistotami nebo vodním kamenem. Průtok média je zajištěn pomocí ucpávek.



Obr. 35 Koncovka a ucpávka

Dále je temperace přítomna v desce tvárníku a v tvarové vložce tvárníku, kde jsou 2 samostatné okruhy pro každou tvarovou vložku tvárníku je jeden okruh.

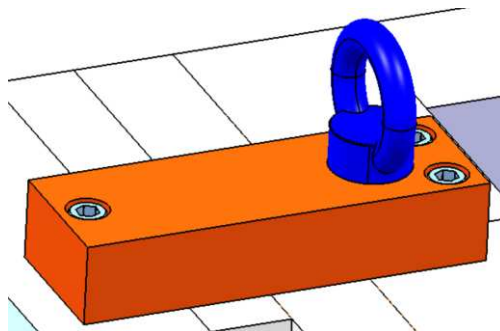


Obr. 36 Temperace v desce tvárníku

Na obrázku č. 36 lze vidět znázorněné dráhy temperace v desce tvárníku. Vzhledem k velikosti desky tvárníku byl zvolen průměr temperačních kanálů 10mm. V této desce jsou umístěny 2 samostatné okruhy. Každý z nich prochází přes tvarovou vložku tvárníku, kde je kanál tvořen přepážkami. Směr šipek znázorňuje tok temperačního média, kterým je olej.

8.8 Zařízení pro manipulaci

Pro manipulaci se vstřikovací formou byl vybrán tzv. transportní můstek. Transportní můstek je přišroubován k formě třemi šrouby M12x40. Součástí transportního můstku je nosné oko, které slouží k připevnění manipulačního zařízení. Nosné oko je zašroubované do transportního můstku.



Obr. 37 Transportní můstek

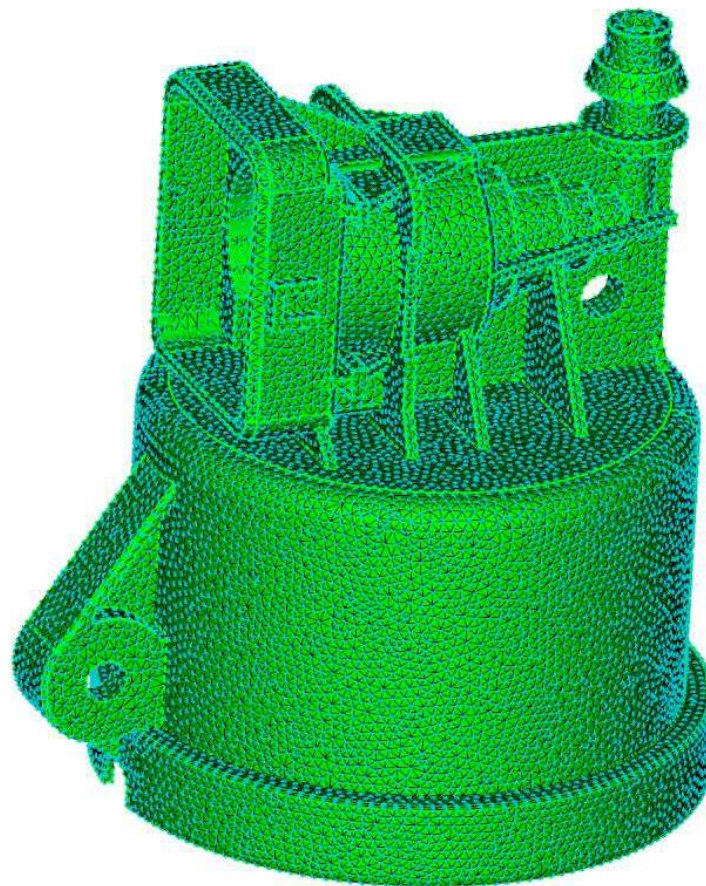
9 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Analýza procesu vstřikování byla provedena v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Model výrobku navržený v programu CATIA V5R19 byl nainportován do programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 ve formátu *.stp, kde proběhlo další zpracování.

9.1 Tvorba sítě

Sítování bylo provedeno funkcí generate mesh a jako typ sítě byla vybrána Dual Domain. Po zvážení náročnosti tvaru výrobku byla zvolena velikost sítě 1,36mm. Po zesítování byla provedena kontrola sítě, zda v ní nejsou chyby a pomocí různých úprav, jako je například Merge Nodes, Insert Nodes a jiné, bylo sníženo Aspect Ratio.

Hodnota Aspect Ratio je poměr nejdelší strany trojúhelníka k výšce trojúhelníka na tuto stranu kolmou. Jeho maximální povolená hodnota je 20.



Obr. 38 Vysítovaný model výrobku

Kvalita sítě velmi ovlivňuje výsledky a dobu výpočtu analýzy. Po sítování je tedy nutné zobrazit statistiku trojúhelníkových elementů sítě (MeshStatistics), kde je nutné ověřit několik základních parametrů jako je například aspect ratio, které nesmí být vyšší než 20. Dále je velmi důležitá hodnota match percentage, která určuje kvalitu sítě a nesmí být pod 85%.

```
Triangles
-----
Entity counts:
Triangles          142828
Connected nodes    71392
Connectivity regions 3

Invisible triangles      422

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
Surface Area:      735.493 cm^2

Volume by element types:
Triangle:      65.4447 cm^3

Aspect Ratio:
Maximum   Average   Minimum
  19.38      1.72      1.16

Edge details:
Free edges          0
Manifold edges     214242
Non-manifold edges 0

Orientation details:
Elements not oriented 0

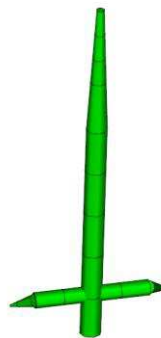
Intersection details:
Element intersections 0
Fully overlapping elements 0

Match percentage:
Match percentage      92.3%
Reciprocal percentage 93.9%
```

Obr. 39 Kvalita sítě

9.2 Vtokový systém

Vtokový systém byl vytvořen v programu CATIA V5R19 a následně naimportován do programu Autodesk Moldflow, kde došlo k jeho zesítování. Dále proběhla kontrola vtokového systému pomocí funkce Beam L/D, následně byl tento poměr upraven přesítováním na hodnotu okolo 2,5.



Obr. 40 Vysítovaný vtokový systém

9.3 Blok formy a vstřikovací stroj

Blok formy byl zadán dle rozměrů 446 x 446 x 467 mm. Jako vstřikovací stroj pro náš výrobek byla zvolena možnost automatické volby, kdy z výsledků lze určit vhodný vstřikovací stroj.

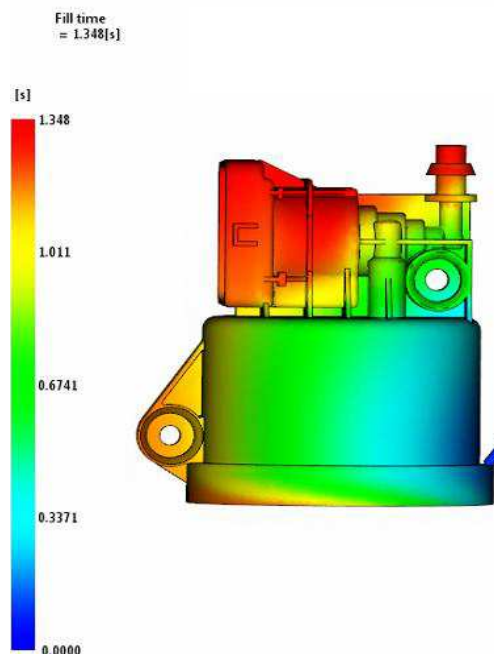
9.4 Procesní podmínky

Volba parametrů okrajových podmínek při výpočtu uskutečněna podle doporučeného základního nastavení pro daný materiál. Bylo nastaveno přepnutí z tlaku na dotlak při 97% naplnění formy. Dále byl nastaven čas vstřikování na 1,3s.

9.5 Výsledky analýzy

Jako analýza byl zvolen kompletní proces vstřikování Cool+Fill+Pack+Wrap (Chlazení + Plnění + Dotlak + Smrštění). Program po dokončení analýzy nabídl velké množství výsledků, ze kterých jsem vybral ty nejdůležitější a následně je zpracoval a okomentoval.

9.5.1 Čas plnění dutiny formy

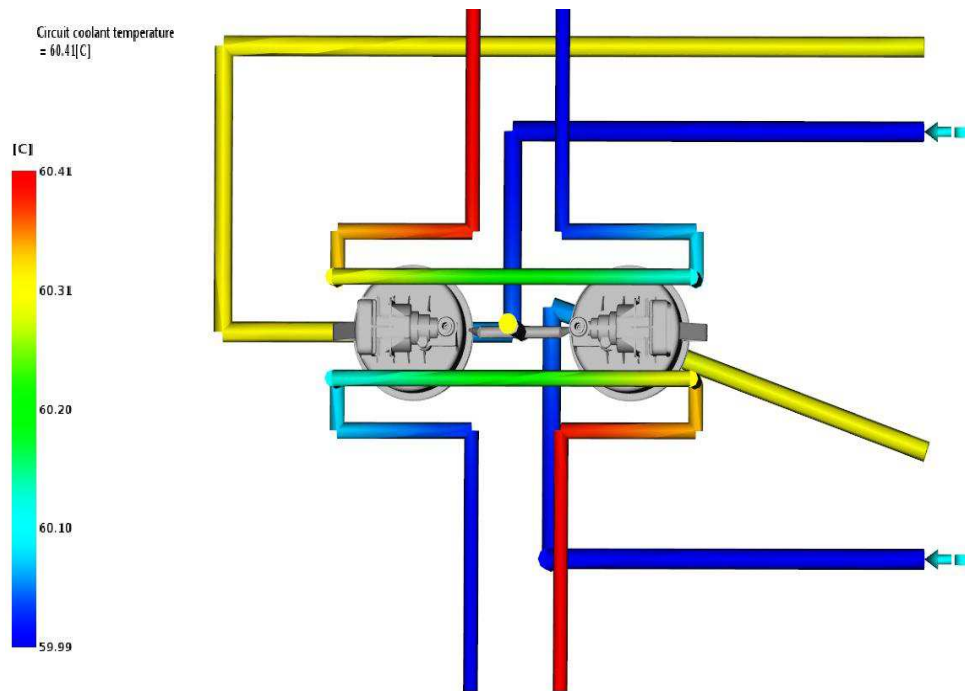


Obr. 41 Čas plnění

Čas plnění je doba potřebná, aby došlo k úplnému naplnění dutiny formy. Dle obrázku lze vidět, že potřebný čas plnění je přibližně 1,35 s. Dále lze z obrázku vyčíst, že došlo k úpl-

nému zaplnění dutiny formy. Jelikož jsem volil stroj jako automatickou volbu, tak je výsledek správný, to znamená, že je dutina kompletně zaplněna. Mohlo by se ale stát, že při nevhodné volbě vstřikovacího stroje a procesních podmínek by nemusela být dutina kompletně vyplněna, což by se zobrazilo šedou barvou na obrázku.

9.5.2 Teplota temperace

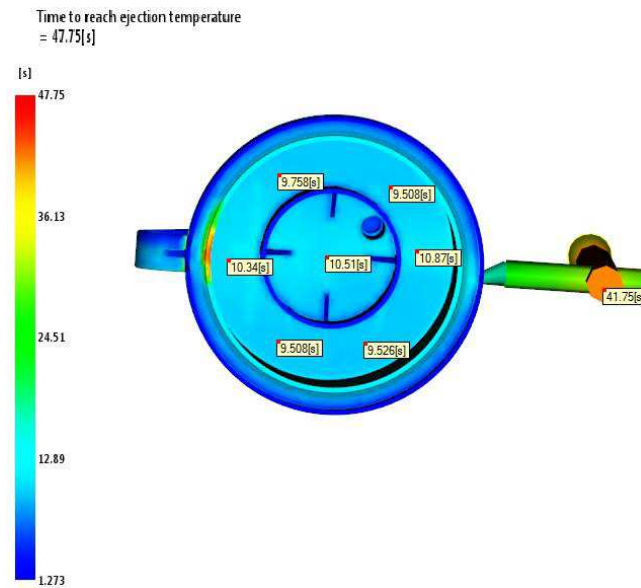


Obr. 42 Analýza teploty temperačního média

Na obrázku č. 42 lze vidět výsledek analýzy teploty temperačního média během vstřikovacího cyklu. Z obrázku lze vyčíst, že tepelný rozdíl v okruzích činí méně než $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je vyhovující. Je totiž doporučeno, aby teplotní rozdíl nebyl větší než $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z toho vyplývá, že navržený temperační systém je vyhovující.

9.5.3 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Z obrázku č. 43 lze vyčíst, že celkový čas potřebný k úplnému zatuhnutí polymeru je 48 sekund. Tento čas je ale potřebný ke ztuhnutí vtokového systému, nikoli výrobku. Na obrázku lze také vidět zobrazeny časy v místě, kde jsou umístěny vyhazovače. V těchto místech je čas potřebný pro vyhození výrobku do 11 sekund. V místě vyhazovače vtoku je to 41,75s.

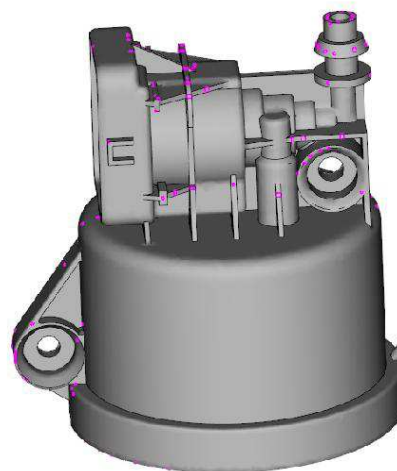


Obr. 43 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

9.5.4 Vzduchové kapsy

Na obrázku č. 44 lze vidět rozložení vzduchových kapes na výrobku. Vzduchové kapsy jsou označeny růžovými body. Vzduchová kapsa vzniká tehdy, pokud vzduch nemá kudy uniknout ven z dutiny formy. V takovém místě by mohlo dojít ke vzniku spáleného místa, protože tím jak je vzduch stlačován polymerem, tak roste teplota a materiál může degradovat. Vzduch uniká z formy vřely u tvarových částí vyhazovacích kolíků a vřel v dělicích rovinách. Pokud by tyto vřely nestačily, tak by bylo potřeba vytvořit odvzdušňovací kanály.

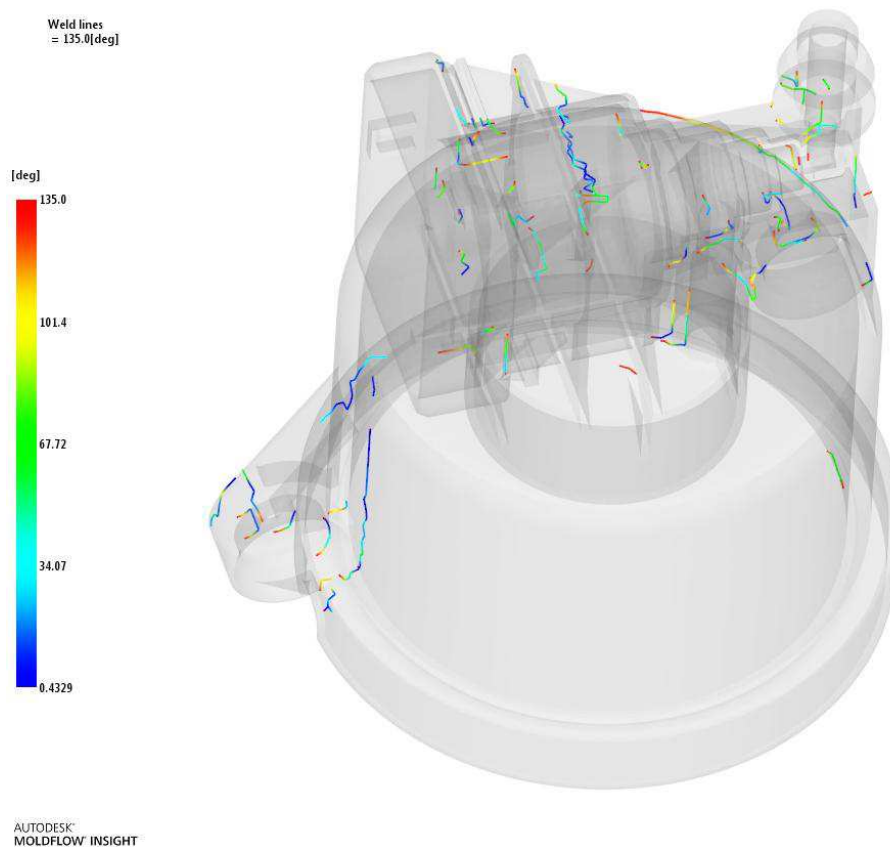
Air traps



Obr. 44 Vzduchové kapsy

9.5.5 Studené spoje

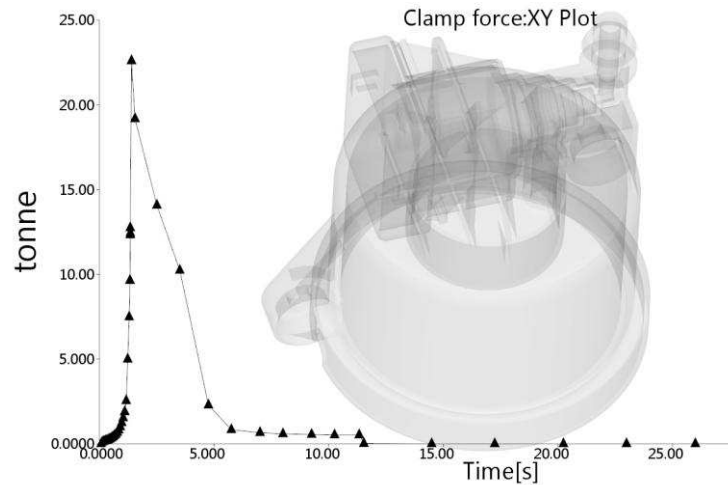
Z obrázku č. 45 lze vyčíst, že místa obsahující studené spoje jsou po výrobku nepravidelně rozprostřeny. Studený spoj je místo, kde dojde ke spojení dvou čel proudu taveniny a v těchto místech se výrazně sníží mechanické vlastnosti výrobku. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odzdušnění, malá rychlost vstřikovaného materiálu nebo příliš dlouhá dráha toku taveniny. Pokud by se jednalo o součást, která je mechanicky namáhaná, tak by se muselo zjistit, kde je nejvíce namáhaná a podle toho pak upravit procesní parametry, aby studené spoje buď zmizely, což jde obtížně, ale aby se posunuly do míst, kde je minimální mechanické zatížení.



Obr. 45 Studené spoje

9.5.6 Velikost uzavírací síly

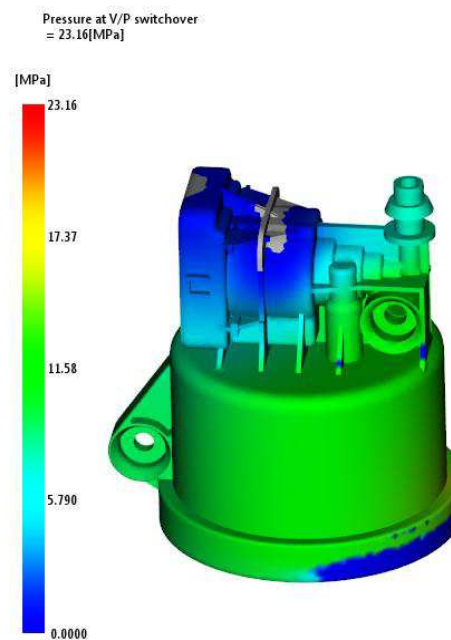
Z obrázku č. 46 lze vyčíst, že maximální hodnota uzavírací síly dosahuje přibližně 23 tun. Z toho vyplývá, že forma může být použita na vstřikovacím stroji, který je schopen vyvinout uzavírací sílu alespoň 30 tun.



Obr. 46 Uzavírací síla

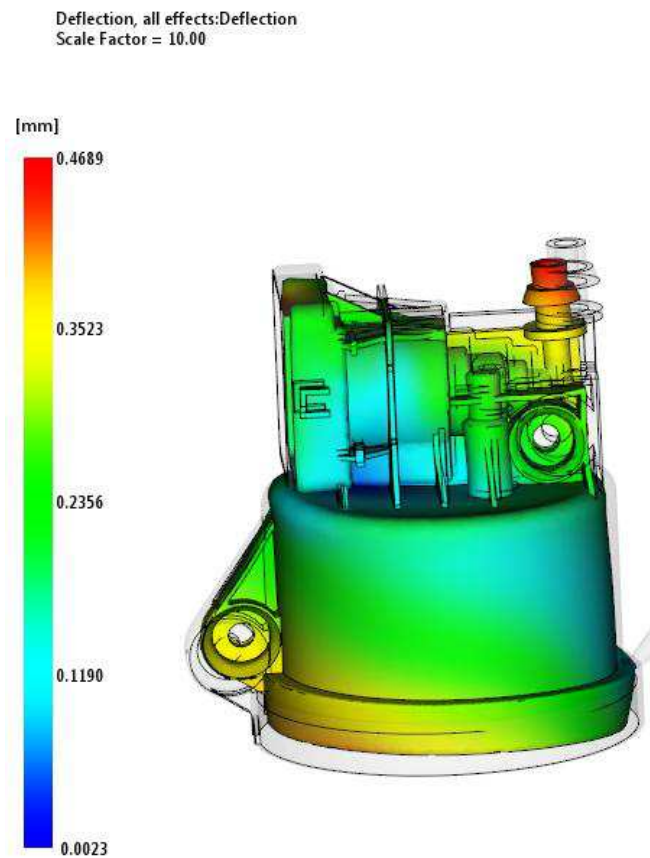
9.5.7 Tlak v dutině při přepnutí na dotlak

Na obr. č. 47 lze vidět tlak v dutině formy ve chvíli, kdy dojde k přepnutí na dotlak. Dotlak slouží k tomu, aby se minimalizovaly deformace v dutině formy vlivem tuhnutí materiálu. Na obrázku lze vidět šedá místa, která značí, že při přepnutí na dotlak nebyla dutina formy kompletně vyplněna.



Obr. 47 Tlak v dutině formy při přepnutí na dotlak

9.5.8 Deformace



Obr. 48 Analýza deformací

Na obrázku č. 48 lze vidět výsledek analýzy deformací. Tento výsledek zahrnuje několik hlavních aspektů jako je chlazení, tloušťka materiálu a smrštění, které ovlivňují výsledné deformace. Z obrázku lze vyčíst, že největší deformace je 0,4689mm. Pro lepší představu změny tvaru je deformace zvětšena 10x.

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pro vstřikování byl vybrán vstřikovací stroj Arburg Allrounder 520 C. Tento vstřikovací stroj je schopen vyvinout uzavírací sílu až 200 tun, což dle výsledku analýzy procesu vstřikování je dostačující. Navržená vstřikovací forma má rozměry 446x446x467mm. Vzdálenost mezi vodícími sloupy na tomto vstřikovacím stroji je 520x520 mm a minimální výška formy, kterou lze do stroje upnout je 250 mm. Dalším velmi důležitým hlediskem pro volbu vstřikovacího stroje je objem plastikační jednotky, který je na tomto stroji větší, než je objem dvou výrobků a vtokového systému, což znamená, že nemůže dojít k situaci, kdy by byl výrobek nedostříknutý vlivem malého množství roztaveného polymeru.



Obr. 49 Arburg Allrounder 520C

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Diplomová práce byla vypracována dle zadání a dle požadavků vedoucího. Hlavním bodem této diplomové práce byla konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl. Díl je součástí palivového systému automobilu a je z materiálu PA66+GF30, což je polyamid 6.6, který je plněný z 30% skelnými vlákny.

Konstrukce vstřikovací formy byla provedena v konstrukčním softwaru CATIA V5R19. Násobnost vstřikovací formy byla volena dle složitosti výrobku a ekonomického hlediska. Pro vložení normovaných dílů byly zvoleny katalogy od firem HASCO, MEUSBURGER a D-M-E. Tvarové části jsou téměř všechny řešeny pomocí tvarových vložek. Odformování výrobku je řešeno pomocí hydraulických tahačů a šikmých čepů. Samotné vyhození výrobku i se vtokovým systémem je realizováno pomocí 15 vyhazovačů. Pro vstřikování byl zvolen studený vtokový systém. Temperace vstřikovací formy je složena z 5 samostatných okruhů, což je způsobeno složitostí výrobku. Jednotlivé okruhy jsou voleny tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího obtékání dutiny formy temperačním médiem. Okruhy jsou kruhového průřezu o průměrech 8 a 10mm. Jako temperační médium byl zvolen olej.

V poslední části návrhu vstřikovací formy bylo ověření vstřikovacího procesu v softwaru Autodesk Moldflow 2016. Pro nastavení analýzy vstřikovacího procesu bylo potřeba nakreslení přesných drah temperací a nakreslení vtokového systému. Výsledek analýzy byl vyhovující, proto nemuselo dojít ke změnám na vstřikovací formě. Dle rozměrů vstřikovací formy a výsledků analýzy v softwaru Autodesk Moldflow 2016 byl vybrán vstřikovací stroj Arburg Allrounder 520C.

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla popsána teorie pravidel a zásad pro tvorbu výrobku a vstříkovací formy. Dále teoretická část obsahuje rozdělení polymerů, popis technologie vstříkování a také se zabývá analýzou vstříkovacího procesu. Teorie pravidel a zásad pro tvorbu výrobku popisuje zásady pro volbu úkosů, zaoblení hran a rohů, ale také tloušťkou stěn a vzhledem výrobku. Teorie pro konstrukci vstříkovací formy se zabývá základním popisem funkcí vstříkovací formy, popisem jednotlivých komponent, vtokovým systémem a porovnáním studeného a horkého vtokového systému. Závěr teoretické části je věnován popisu analýzy procesu vstříkování, její funkce a důvodu proč by se měla využívat.

V praktické části diplomové práce byl proveden návrh vstříkovací formy v softwaru CATIA V5R19. Byla vytvořena dvounásobná vstříkovací forma se studeným vtokovým systémem. Vstříkovací forma splňuje požadavky, které byly kladeny na konstrukci v teoretické části této diplomové práce. Dále byla vypočtena analýza procesu vstříkování v programu Autodesk Moldflow 2016, která nabízí širokou škálu výsledků z celého procesu vstříkování jako je plnění, dotlak, chlazení, deformace, vzduchové kapsy, studené spoje a velikost uzavírací síly. Byly popsány některé z vypočtených výsledků. Na závěr diplomové práce byl zvolen vstříkovací stroj, který splňuje všechny požadavky vstříkovací formy a vstříkovaného výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš., Polymery, <https://etul.publi.cz/?book=180-polymery>, 2015
- [2] STANĚK, Michal. přednášky T5KF a T9NZP
- [3] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [4] Internetová stránka, <http://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa66gf30-polyamid-modifikovany-sklennymi-vlaknami>
- [5] LENFELD, Petr. Technologie Vstřikování, 2015, Dostupná na: <https://etul.publi.cz/?book=184-technologie-vstrikovani>
- [6] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů, 2015, Dostupná na: <https://etul.publi.cz/?book=179-vstrikovaci-formy-pro-zpracovani-termoplastu>
- [7] Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy. MM Průmyslové spektrum. 2010, Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy.html>
- [8] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. CAD studio online. Dostupné na: <http://www.cadstudio.cz/dl/Autodesk-Simulation-Moldflow.pdf>
- [9] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. SMARTPAST [online]. Dostupné na: http://smartplast.cz/data/official/simulation_moldflow_brozura_cz.pdf
- [10] MANAS, M., HELŠTÝN, J. Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [11] MANAS, M., VLCEK, J. Aplikovaná reologie. Zlín: UTB, 2001. 144 s. ISBN 80 7318-039-1.
- [12] MENGES, Georg, MICHAELI, Walter, MOHREN, Paul. How to make injection molds. Cincinnati (Ohio): Hanser/Gardner, 2001. 3. ISBN 1-56990-282-8. Venting of molds, s. 259-269.
- [13] LINDNER E., UNGER O.: Injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. ISBN 3-446-21448-8
- [14] BEAUMONT J. P.: Runner and gating design handbook. 1st ed. Munich: Hanser Publishers, 2004. ISBN 3-446-22672-9
- [15] MENGES G., MICHAELI W., MOHREN P.: How to make injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2001. ISBN 3-446-21256-6

- [16] REES H.: Mold engineering. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. ISBN 3-446-21659-6
- [17] Studené a živé vtokové systémy [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: https://www.kks.zcu.cz/projektyverfin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [18] Temperace vstřikovacích forem [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z: <http://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminkavyroby-vystriku-z-termoplastu-4-cast/c/3088>
- [19] VLČEK, J., MAŇAS, M. Aplikovaná reologie, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 144 s.
- [20] ZEMAN, L. Vstřikování plastů, 2009. 247 s.
- [21] PÖTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter. Injection Molding – An Introduction. Munich: Hanser Publisher, 1995, ISBN 978-3-446-40635-3

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	Polyamid.
PE	Polyetylen.
PP	Polypropylen.
EP	Epoxidová pryskyřice.
UP	Polyesterová pryskyřice.
TPE	Termoplastický elastomer.
%	Procento.
h	Výška žebra [mm]
b	Šířka žebra [mm]
s	Tloušťka stěny [mm]
α	Úhel zkosení [°]
mm	Milimetr.
aj.	A jiné
tj.	To je
°	Stupeň
p_i, p_f	Vnitřní vstřikovací tlak [bar]
R	Rádus [mm].
2D	Dvou rozměrný prostor.
3D	Tří rozměrný prostor.
CAE	Computer aided engineering (počítačová podpora ve strojírenství).
CATIA	Computer aided three dimensional interactive application (počítačově graficky tří rozměrová interaktivní aplikace).

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Základní dělení polymerů</i>	13
<i>Obr. 2 Chování polymerů při mechanickém zatížení</i>	13
<i>Obr. 3 Příklad použití pryže (a) a termoplastických elastomerů (b)</i>	15
<i>Obr. 4 Porovnání meze kluzu polyamidů</i>	17
<i>Obr. 5 Porovnání cen polyamidů</i>	17
<i>Obr. 6 Žebro</i>	19
<i>Obr. 7 a) podkoso, b) úkoso</i>	20
<i>Obr. 8 Příklady vstřikovaných dílů</i>	21
<i>Obr. 9 Vstřikovací cyklus</i>	22
<i>Obr. 10 $p - v - T$ diagram pro semikrystalický termoplast</i>	23
<i>Obr. 11 $p - v - T$ diagram pro amorfni termoplast</i>	23
<i>Obr. 12 Vstřikovací cyklus v $p - v - T$ diagramu</i>	24
<i>Obr. 13 Tlaky u technologie vstřikování</i>	26
<i>Obr. 14 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy</i>	27
<i>Obr. 15 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma</i>	28
<i>Obr. 16 Otevřená vstřikovací forma</i>	30
<i>Obr. 17 Dvoudesková vstřikovací forma v řezu</i>	32
<i>Obr. 18 Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu</i>	34
<i>Obr. 19 Izolační vrstva zatuhlého plastu v zakončení horkého rozvodu</i>	36
<i>Obr. 20 Porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem</i>	37
<i>Obr. 21 Důvod simulace</i>	38
<i>Obr. 22 Vzorová ukázka vygenerované simulace plnění</i>	41
<i>Obr. 23 Znázornění dělicích rovin na vstřikovaném dílu</i>	45
<i>Obr. 24 Pohled na celou formu</i>	46
<i>Obr. 25 Pohled na pravou stranu vstřikovací formy</i>	47
<i>Obr. 26 Pohled na levou stranu vstřikovací formy</i>	48
<i>Obr. 27 Zaformování výrobku</i>	49
<i>Obr. 28 Detail zaformování</i>	49
<i>Obr. 29 Vtokový systém</i>	50
<i>Obr. 30 Znázornění umístění vtoku na výrobku</i>	50
<i>Obr. 31 Vyhazovací systém</i>	51

<i>Obr. 32 Vyhazovací kolíky</i>	52
<i>Obr. 33 Detail vyhazovačů</i>	52
<i>Obr. 34 Temperační kanály v bočních čelistech</i>	53
<i>Obr. 35 Koncovka a ucpávka</i>	53
<i>Obr. 36 Temperace v desce tvárničku</i>	54
<i>Obr. 37 Transportní můstek</i>	54
<i>Obr. 38 Vysíťovaný model výrobku</i>	55
<i>Obr. 39 Kvalita sítě</i>	56
<i>Obr. 40 Vysíťovaný vtokový systém</i>	56
<i>Obr. 41 Čas plnění</i>	57
<i>Obr. 42 Analýza teploty temperačního média</i>	58
<i>Obr. 43 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty</i>	59
<i>Obr. 44 Vzduchové kapsy</i>	59
<i>Obr. 45 Studené spoje</i>	60
<i>Obr. 46 Uzavírací síla</i>	61
<i>Obr. 47 Tlak v dutině formy při přepnutí na dotlak</i>	61
<i>Obr. 48 Analýza deformací</i>	62
<i>Obr. 49 Arburg Allrounder 520C</i>	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti PA66+GF30.....	16
Tab. 2 Minimální požadavky na konstrukci žeber.....	19
Tab. 3 Úkosy a podkosy.....	20

SEZNAM PŘÍLOH

P I. Výkres sestavy

P II. Kusovník

P III. CD disk obsahující:

- Sestavu vstříkovací formy ve 3D
- Výkresovou dokumentaci
- Diplomovou práci v elektronické podobě