

Konstrukce plastového dílu části palivového systému a návrh nástroje pro jeho výrobu

Bc. Tomáš Berčík

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. Tomáš Berčík**
Osobní číslo: **T17259**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce plastového dílu části palivového systému a návrh nástroje pro jeho výrobu**

Zásady pro vypracování:

- 1. vypracovat literární studii pro dané téma**
- 2. provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti**
- 3. navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl**
- 4. nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem**
- 5. provést analýzu procesu vstřikování**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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 22.4.2019

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 vzdělávacího 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

V diplomové práci se zabývám konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. Teoretická část se zabývá rozborem polymerních materiálů vhodných ke vstřikování, zásadami konstrukce vstřikovacího stroje a konstrukčním řešením forem. Praktická část je věnována konstrukčnímu návrhu vstřikovací formy v programu CATIA V5R19 a analýze v programu AUTODESK MOLDFLOW pro případné odstranění nedostatků návrhu před samotnou výrobou formy.

Klíčová slova: vstřikování, analýza, vstřikovací forma

ABSTRACT

Diploma thesis deals with structural injection molds for a given plastic part. It is believed that this is an analysis of polymeric materials for injection, the basic design of the injection molding machine and the design. The practical part is devoted to the design proposals in the program CATIA V5R19 and the analysis in the program AUTODESK MOLDFLOW for possible removal of design deficiencies before the actual production of the mold.

Keywords: injection molding, analysis, injection mold

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za ochotu, rady a čas, který mi věnoval během vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MATERIÁLY VHODNÉ KE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 TERMOPLASTY	12
1.1.1 Polypropylen – PP	13
1.1.2 Polyethylen – PE	13
1.1.3 Polystyren – PS	13
1.1.4 Polyamid – PA	14
1.1.5 Polykarbonát – PC.....	14
1.1.6 Polyvinylchlorid – PVC	14
1.1.7 Polymethylmetakrylát – PMMA	15
1.1.8 Polyformaldehyd – POM	15
1.2 REAKTOPLASTY.....	15
1.2.1 Melaninové plasty – MF	16
1.2.2 Fenoplasty – PF	16
1.2.3 Nenasycené polyestery – UP plněné skleněnými vlákny.....	16
1.3 ELASTOMERY	17
2 ZÁSADY VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	18
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ	21
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	22
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	23
3.3 ŘÍDÍCÍ A OVLÁDACÍ JEDNOTKA	23
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM	25
4.1 DŮLEŽITÉ PARAMETRY PRO KONSTRUKCI FORMY	26
4.1.1 Rozměry výrobku.....	26
4.1.2 Násobnost formy	26
4.1.3 Vstřikovací stroj.....	26
4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	27
4.2.1 Studený vtokový systém	28
4.2.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS).....	30
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY.....	31
4.4 BOČNÍ ČELISTI FOREM	31
4.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	33
4.6 VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	39
4.6.1 Mechanické vyhazování.....	40
4.6.2 Hydraulické vyhazování.....	44
4.6.3 Pneumatické vyhazování.....	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	47
6 KONSTRUKCE PLASTOVÉHO DÍLU	48
7 VOLBA MATERIÁLU	49
8 VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE	50

9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	51
9.1	VTOKOVÝ SYSTÉM	54
9.2	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	55
9.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	56
9.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	58
10	VÝSLEDKY ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW	59
10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY	59
10.1.1	Nastavení temperačního média	62
10.1.2	Nastavení procesních podmínek	63
10.2	VÝSLEDKY ANALÝZY	65
10.2.1	Analýza umístění vtoku	65
10.2.2	Čas plnění	66
10.2.3	Rychlost smykové deformace	66
10.2.4	Průběh tlaku ve vstřikovací formě	67
10.2.5	Čas dosažení vyhazovací teploty	68
10.2.6	Zamrznuté vrstvy	68
10.2.7	Vzduchové kapsy	69
10.2.8	Studené spoje	70
10.2.9	Teplota temperačního média	70
10.2.10	Hodnota Reynoldsova čísla	71
10.2.11	Tlak temperačního média	72
10.2.12	Účinnost odvodu tepla	72
10.2.13	Celková deformace výrobku	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK	83
	SEZNAM PŘÍLOH	84

ÚVOD

Polymery se začaly objevovat už v první polovině minulého století. Jejich vývoj a postupné začleňování do průmyslu začalo v 50. letech 20. století. Díky svým vlastnostem, začaly postupně nahrazovat běžně používané materiály, jako je ocel, dřevo nebo sklo. Mezi jejich hlavní vlastnosti lze řadit nízkou hustotu, dobrou tvarovatelnost nebo také nízkou elektrickou a tepelnou vodivost. Nové druhy polymerních materiálů se neustále vyvíjejí a s tím je spojené i kombinování jejich mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. I přes to, jsou dnes zastoupeny v mnoha odvětvích průmyslu, jako např. strojírenském, automobilovém, elektrotechnickém a také ve zdravotnictví.

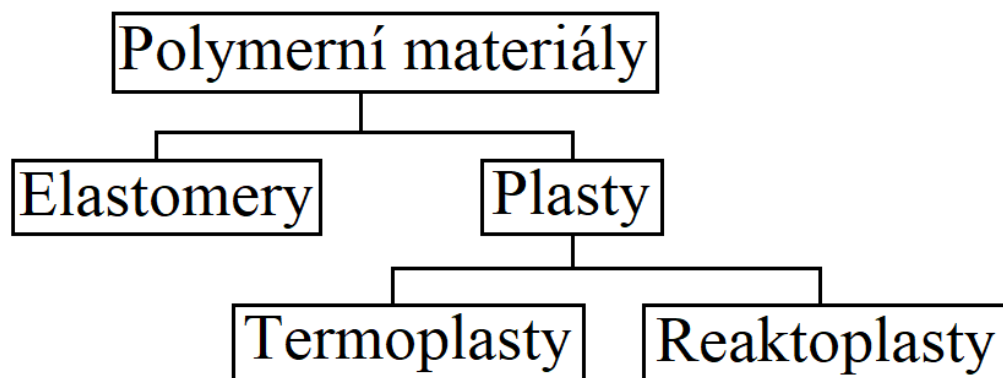
Zpracovávání polymerů je prováděno různými technologiemi. Mezi nepoužívanějšími způsoby zpracování, kdy dochází k tavení nebo jen natavení materiálu patří vstřikování, vytlačování, vyfukování, lisování, válcování, odlévání nebo máčení. Mezi další technologie zpracování se řadí například tvarování, ohýbání nebo obrábění, u kterých nedochází k tavení zpracovávaného materiálu.

Výše zmíněné vstřikování patří mezi nejpoužívanější technologie v oblasti zpracování polymerních materiálů. Vstřikováním se rozumí vstříknutí roztaveného polymeru do dutiny formy pomocí vstřikovacího stroje. Dutina formy má negativní tvar budoucího výrobku. Výrobky mohou mít různě složité tvary, které by nebylo možné jinými technologiemi vyrobit. Vstřikovací forma je konstrukčně i ekonomicky složitým nástrojem, proto se při konstrukci využívá stavebnicového systému a používají se normalizované díly. Tím lze snížit náklady a zkrátit čas na výrobu vstřikovací formy. Při návrhu a konstrukci forem je v dnešní době možné využít velké množství 3D softwarů, jak pro konstrukci (např. Catia, Solidworks, Autocad), tak softwary pro simulaci vstřikování (Moldflow, Cadmould atd.).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁLY VHODNÉ KE VSTŘIKOVÁNÍ

Polymery jsou látky, tvořící makromolekuly uhlíku, kyslíku, vodíku, dusíku a jiných chemických prvků. Využití nacházejí ve většině případů v tekutém či pastovitém stavu, kdy je dán budoucí tvar výrobku zejména technologickým zařízením za působení zpracovatelské teploty, tlaku a někdy i v průběhu určitého časového intervalu. Polymerní materiály můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to na elastomery a plasty. Plasty dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty. [2]



Obr. 1: Rozdělení polymerních materiálů. [2]

Vstříkované výrobky dosahují nejrůznějších tvarů, od jednoduchých až po velmi složité a členité. Podle funkce jsou na výrobky kladeny nejrůznější požadavky. Jde například o pevnost při statickém či dynamickém namáhání krátkodobém i dlouhodobém, pružnost, tuhost i odolnost proti deformaci. Tyto požadavky jsou často očekávány za zvýšených teplot, vlhkosti, mrazu, povětrnosti, záření, působení chemikálií, elektrického napětí, a to vše za dodržení určitých rozměrových a tvarových přesností. [1]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou makromolekulární látky obsahující rozvětvené nebo lineární řetězce. Dají se teplem tavit a v roztaveném stavu jsou za pomoci působení tlaku vstříkovány do formy, kde jsou zafixovány ochlazením. Můžeme rozlišovat termoplasty homogenní, tj. bez přísad nebo plniv, s přísadami pro zlepšení fyzikálních vlastností, tj. odolnost proti vlivům záření, hoření, zvýšeným teplotám, povětrnosti nebo s plnivem pro zlepšení některých mechanických vlastností. [1]

Zpracovatelnost termoplastů je dána především odolností materiálu vůči tepelné degradaci během vstříkování a tekutostí, tj. schopností vyplnit složité a tenkostěnné tvarové dutiny ve

formě. Tekutost je důležitý parametr poskytující podstatnou informaci konstruktérovi o možné členitosti, rozměrnosti a tenkostěnnosti výrobku. Materiálu s nižší molekulovou hmotností dosahuje nižší viskozity taveniny tedy lepší tekutosti. Takových materiálů se využívá v aplikacích se sníženým požadavkem na houževnatost a pevnost. Naopak u materiálů s vyšší molekulovou hmotností je viskozita vyšší tedy horší tekutost, jejich využití je u aplikací s důrazem na mechanické namáhání. Materiál, který odolává degradaci má široké pásmo zpracovatelských teplot, díky němuž můžeme využít delší prodlevy v plastikační jednotce vstřikovacího stroje. [1]

1.1.1 Polypropylen – PP

Polypropylen (PP) je houževnatý, středně pevný a tuhý polymer. Dosahuje krystalinity okolo 50 až 70 % a přibližně stejných hodnot vrubové houževnatosti jako PE, nicméně za nízkých teplot okolo 0 °C houževnatost prudce klesá. Oproti PE má srovnatelně nízkou odolnost proti UV záření a vlivu povětrnosti, ačkoliv se vyznačuje značně vyšší odolností proti korozi při napětí. PP se zpracovává velmi dobře, neboť dosahuje IT hodnot 0,25 – 15 g/10 min. Polypropylen má velmi dobrou barvitelnost, ale může být pouze průsvitný nikoliv průhledný. Barevnost je omezená u plněných a speciálních typů polypropylenu. [1]

1.1.2 Polyethylen – PE

Polyethylen (PE) je homopolymer, který tvoří mery jednoho druhu – ethylenu. Jeho vlastnosti závisí na molekulové hmotnosti, prostorovém uspořádání merů v řetězci makromolekuly a stupni krystalinity. Polyethylen se vyznačuje vysokou odolností proti nízkým teplotám. Křehne až při teplotách okolo - 120 °C. Při vyšších teplotách si udržuje tvarovou stálost až do 90 °C. Za běžných podmínek je bílý a v tenkých vrstvách průhledný. Transparentnost se zvyšuje s rozvětveností makromolekul a jejich molekulovou hmotností. [5]

1.1.3 Polystyren – PS

Polystyren (PS) je pevný, tvrdý a velmi tuhý materiál s malou tažností (3 – 4 %) a nízkou rázovou i vrubovou houževnatostí. Tvarovou stálost si udržuje do teploty 70 – 80 °C. Polystyren disponuje svými dielektrickými a elektroizolačními vlastnostmi, hoří čadivým plamenem, má malou odolnost proti vlivu UV záření a povětrnosti. Velkou průhlednost může dosáhnout v široké barevné škále a u čirého PS lze dosáhnout vysoké propustnosti světla. Ke žloutnutí a tmavnutí barev výrobku dochází po čase vlivem povětrnosti. [1]

1.1.4 Polyamid – PA

Polyamid (PA) je semikrystalický termoplast, který dosahuje krystalického podílu 20 – 40 %. Jedná se o pevný, tažný, tuhý materiál s výraznou mezí kluzu a vysokou vrubovou i rázovou houževnatostí. Některé navlhavé typy PA ztrácí tažnost a houževnatost při vysušení o teplotách kolem 0 – 20 °C za současného růstu pevnosti a pružnosti. Polyamidy mají velký sklon ke creepu a relaxaci napětí, velkou odolnost vůči otěru a poměrně nízký součinitel tření za sucha. Vyznačují se tvarovou stálostí až do 80 °C a při nepřísunu vzduchu až 110 °C. Různé typy PA mají jinou navlhavost. Mezi sebou se jednotlivé druhy liší způsobem výroby, částečně také mechanickými vlastnostmi a navlhavostí. Číselné označení za PA představuje počet uhlíkových atomů v monomerech. PA je velmi dobře barvitelný, a to v různých odstínech. Použitím přísad a plniv dochází k omezení barvitelnosti. Výrobky průhledné nejsou, ale mohou být průsvitné, jsou-li dostatečně tenké stěny výrobku. [1]

1.1.5 Polykarbonát – PC

Polykarbonát (PC) je amorfní termoplast se střední tuhostí a vyšší pevností (55 – 60 MPa). Tyto vlastnosti se snižují s rostoucí teplotou takřka velmi málo. PC dosahuje vysoké vrubové i rázové houževnatosti, avšak tečení materiálu (creep), mez únavy i otěruvzdornost jsou malé. Tvarovou stálost si udrží až do teplot 135 – 140 °C. PC vyniká velmi dobrými elektroizolačními vlastnostmi a dosahuje velmi nízkých dielektrických ztrát. Polykarbonát se těžce zapaluje a hoří velmi pomalu. PC má velmi dobrou barvitelnost a může být, jak neprůhledný, tak i průhledný. [1]

1.1.6 Polyvinylchlorid – PVC

Polyvinylchlorid (PVC) je amorfní termoplast s vysokou pevností a tuhostí, nicméně tažnost, rázová i vrubová houževnatost je nízká. Při nízkých teplotách, kolem - 5 °C, se zmíněné vlastnosti více zhoršují. Nicméně při vyšších teplotách si materiál drží svou tvarovou stálost do teplot kolem 70 – 80 °C. PVC je samozhášivý materiál, který obtížně hoří a dosahuje vyšší odolnosti proti korozi za napětí než polyolefiny. PVC je chemicky odolný a lze může se lepit. Díky nízké tekutosti je obtížnější zpracování PVC, tudíž materiál lze použít jako prášek nebo granulát obohacený přísadami a stabilizátory. PVC je barvitelné v široké škále barevných odstínů, ale k samotnému barvení dochází často až při zpracování. Vyskytují se i průsvitné PVC materiály. [1]

1.1.7 Polymethylmetakrylát – PMMA

Polymethylmetakrylát (PMMA) je tuhý a velmi pevný (60 – 80 MPa) amorfní termoplast. Tažnost (5 – 6 %), vrubová i rázová houževnatost jsou nízké i tečení v čase (creep) je malý. Je schopen si udržet svou tvarovou stálost až do teplot 65 – 75 °C. Obsahuje dobré elektroizolační vlastnosti, avšak má velké dielektrické ztráty. PMMA dobře hoří a má velmi dobrou odolnost vůči vlivu povětrnosti a vůči UV záření. [1]

1.1.8 Polyformaldehyd – POM

Polyformaldehyd (POM, Polyoxymetylén) je semikrystalický termoplast se 70% podílem krystalinity. Jde o velmi tuhý a pevný materiál (pevnost až 70 MPa) s velkou rázovou houževnatostí. Vrubovou houževnatost má nižší, nicméně je stejná až do teploty kolem - 40 °C. POM se vyznačuje dobrou mezí únavy a je značně pružný. Vyniká svou tvarovou stálostí do teploty 85 – 100 °C, ve vodě pouze do 65 °C, protože má sklon k hydrolyze, přičemž dochází k rozkladné reakci a polymer se rozkládá až na monomery. POM disponuje velmi dobrými elektroizolačními vlastnostmi a hodně nízkými dielektrickými ztrátami. Hoření polyformaldehydu je pomalé, má menší odolnost proti UV záření a povětrnostním vlivům. Barvitelnost POM je poměrně dobrá, avšak nelze dosáhnout průhlednosti ani průsvitnosti. [1]

1.2 Reaktoplasty

Při zpracování reaktoplastů dochází k zesíťování makromolekul, tzn. k vytvoření trojrozměrné sítě. Vytvrzené reaktoplasty jsou netavitelné. Reaktoplasty ve srovnání s termoplasty vynikají vysokou tuhostí, teplotní odolností, tvrdostí, odolností proti korozi, tvarovou stálostí, nerozpustností a modul pružnosti závislý na teplotě. Mechanické vlastnosti reaktoplastů se příliš nemění v rozsahu použitelných teplot. Nevýhodou reaktoplastů je malá tažnost. [1]

Zpracovatelnost reaktoplastů ovlivňuje především tekutost, která je horší než u termoplastů a je závislá na druhu pryskyřice a typu plniva. Při vstřikování dochází k orientaci plniva, a tím spojená anizotropie vlastností, dále k velkému vnitřnímu pnutí, které vzhledem ke křehkosti může způsobit prasknutí výrobku. [1]

Reaktoplasty pro vstřikování se většinou vyskytují ve formě granulátu. Doba cyklu je delší než u termoplastů. Význam vstřikování reaktoplastů je ve srovnání s termoplasty zanedbatelný. [1]

1.2.1 Melaminové plasty – MF

Melaminové plasty (MF) jsou melamin-formaldehydové pryskyřice s různými plnivými, které ovlivňují jejich vlastnosti. Jejich fyzikální, mechanické ale i elektrické vlastnosti jsou podobné fenoplastům. Dlouhodobě dosahují odolnosti proti teplotám až 110 °C. Podobnost s fenoplasty je také u chemických vlastností, nicméně melaminové plasty mohou odolávat horké vodě a mohou být v kontaktu s potravinami. Zpracovatelnost MF je horší než u fenoplastů, a proto dochází k modifikaci pro zlepšení tekutosti, avšak touto modifikací dochází ke zhoršení zdravotní nezávadnosti. Melaminové plasty mohou mít různou barvu, avšak nebudou průhledné. Využití MF je pro elektroizolační výrobky, kryty měřicích přístrojů, součástky jističů, regulační knoflíky či rukojeti. [1]

1.2.2 Fenoplasty – PF

Fenoplasty (PF) jsou fenol-formaldehydové pryskyřice mající rozdílné vlastnosti. Jedná se o tvrdý, tuhý a křehký materiál. Dosahují pevnosti 20 – 30 MPa, pevnosti v ohybu okolo 60 – 80 MPa a nízké tažnosti, rázové i vrubové houževnatosti. Tvarovou stálost si udržují až do teplot 125 – 135 °C. Mají nízkou teplotní roztažnost, dobré elektroizolační vlastnosti a hoří pomalu. Chemická odolnost PF závisí na užitém plnivě. Fenoplasty jsou dobře zpracovatelné ale tekutost se liší dle typu. Může mít pouze tmavou barvu, a proto není možné vyrobit průhledný PF. [1]

Fenoplasty plněné dřevitou moučkou, nazývané taky jako bakelit, mají využití pro elektroizolační součásti, tepelně izolační rukojeti nebo výrobky bez rázového namáhání. Fenoplasty plněné textilními vlákny a ústřižky se využívají pro výrobky namáhané rázem, kluzná ložiska, kryty či elektroizolační součásti. [1]

1.2.3 Nenasycené polyestery – UP plněné skleněnými vlákny

Nenasycené polyestery (UP) plněné skleněnými vlákny disponují širokým rozmezím vlastností dle druhu surovin. Dosahují pevnost v tahu 20 – 30 MPa, trvalá teplotní odolnost 110 – 130 °C a tvarová stálost v rozmezí 125 – 200 °C. Vynikají dobrými elektroizolačními a dielektrickými vlastnostmi a hoří pomalu. Mají taky dobrou odolnost proti UV záření, vli-

vu povětrnosti a proti korozi a napětí. Jsou nízko až středně navlhavé. Barevnost materiálu je omezená a není možné dosáhnout průhlednosti. Uplatnění nacházejí materiály při výrobě skříní, podstavců, stojanů, krytů i pro tepelně namáhané elektroizolační součásti v sériové výrobě, kde by byla volba ručního laminování neekonomická. [1]

1.3 Elastomery

Elastomery lze považovat v obecné rovině za vysoce kondenzované plyny, neboť se většina monomerů vyskytuje v plynném skupenství. Molekulová struktura může být amorfní, semikrystalická i krystalická (tvrdé a houževnaté). Elastomery se vyznačují jako amorfní polymery s náhodným uspořádáním molekul. Elastomery obsahují směs amorfních polymerů a dalších přísad. Za pomoci vulkanizace vzniká pryž. Vzniklý materiál je nejen pružný, ale také pohlcuje kinetickou energii díky své viskoelastické části. [2]

Kaučukové směsi tvoří kaučuky, plnicí, vulkanizační, zpracovatelský a ochranný systém. Kaučukové směsi pro vstřikování jsou rozlišeny především pomocí vulkanizačních křivek a očekává se u nich přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysokou rychlostí vulkanizace. Tohoto požadavku je dosaženo vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace v daném vulkanizačním systému. Pro vstřikování se používají šnekové plastikační jednotky. Materiál je do násypky vkládán ve formě pásku nebo granulátu. [2], [3]

Vzhledem k vlastnostem gumárenských směsí probíhá ve šneku plastikace za výrazného přispění disipované energie. Materiál je často dopravován do vstřikovaného stroje již zplastikovaný a následně je vstříknut do dutiny formy. Vstřikování vyžaduje dostatečné průřezy vtokových kanálů a dutiny formy. Forma musí být dokonale odvzdušněna. Vyha-zovací systém musí zohledňovat malou pevnost výrobku a pružnost. U vstřikování kaučukových směsí se vstřikovací teplota pohybuje okolo 80 – 100 °C, vstřikovací tlak 80 – 100 MPa a teplota formy 160 – 200 °C. [2], [3]

2 ZÁSADY VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

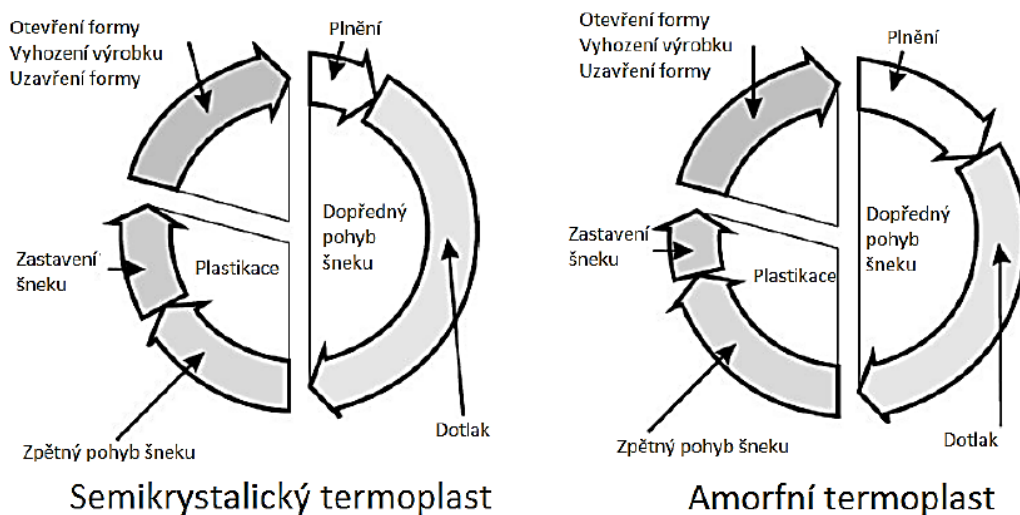
Při procesu vstřikování dochází k přisunutí vstřikovací (plastikační) jednotky k uzavřené formě a následuje vstříknutí polymeru do dutiny formy. Čas, za který se dutina vstřikovací formy plní, se nazývá čas plnění. Po zaplnění formy z větší části tj. 95 – 99 % dochází k přepnutí z plnění na dotlak. Tlak při dotlaku je stejný či menší jak vstřikovací tlak. Čas, po který působí dotlak se nazývá čas doplňování. Hlavním účelem dotlaku je vyrovnat vliv smrštění materiálu a zamezit unikání materiálu z dutiny formy. Dotlakem se může také ovlivnit zbytkové pnutí ve výrobku. Čas doplňování je omezen zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Následuje chlazení výrobku, které probíhá jak formě, tak i částečně mimo ni. Při otevření a vyhození výrobku z formy se také mohou výrobky oddělit od vtokového zbytku, vyšroubovat vložky či vysunout jádra. [4]

Obecně se může graficky znázornit vstřikovací cyklus dvěma kružnicemi, kde vnější kružnice popisuje práci uzavírací jednotky a vnitřní kružnice práci plastikační jednotky. [7]



Obr. 2: Vstřikovací cyklus. [7]

Vstřikovací cyklus je ovlivněn použitým materiálem. Při vstřikování přednostně využívané skupiny materiálu tzn. termoplastů, dochází k odlišným hodnotám při použití amorfních nebo semikrystalických materiálů. [7]

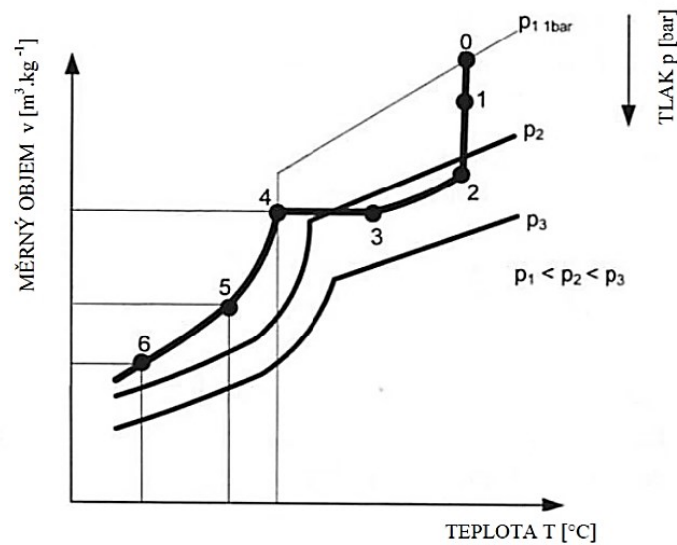


Obr. 3: Rozdíl v průběhu vstřikovacího cyklu u termoplastů. [18]

Diagram p-v-T znázorňuje závislost mezi tlakem (p), měrným objemem (v) a teplotou taveniny (T). Pomocí tohoto grafu se může optimálně seřadit celý proces vstřikování včetně doplňování a chlazení taveniny. Musí se brát ohled na to, že diagram p-v-T nezohledňuje danou polohu sledovaného místa ve formě, tepelnou roztažnost polymeru, gradient teploty, vnitřní pnutí výstřiku nebo průběh relaxace taveniny. [9]

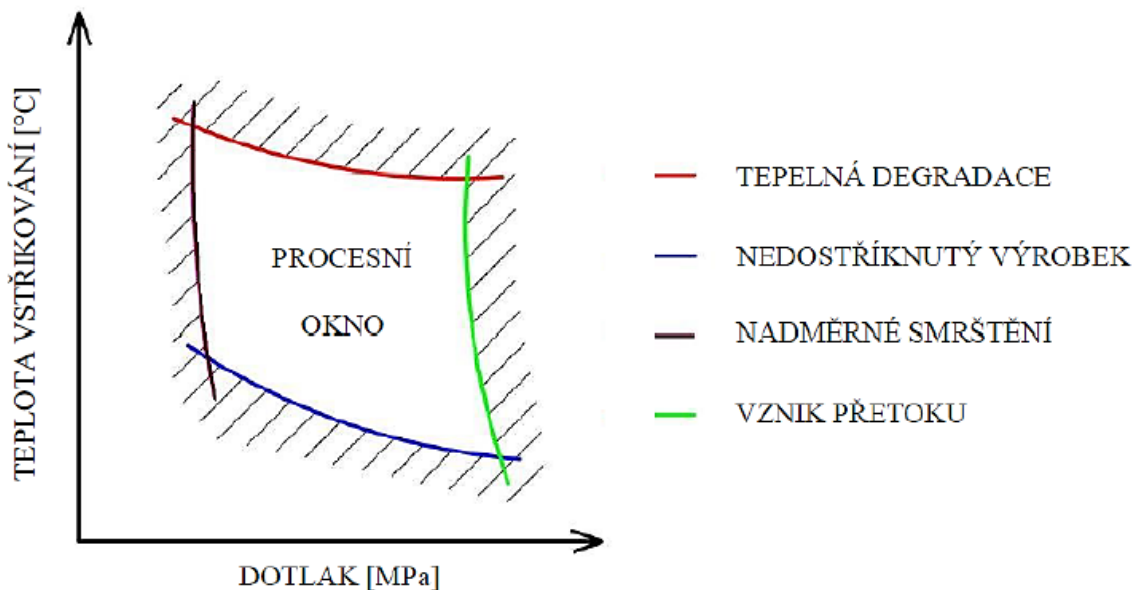
Průběh závislosti daných veličin je možné v grafu rozdělit pomocí bodů na jednotlivé fáze a dále popsat probíhající stavy v těchto fázích:

1. Bod 0 – 1: dochází zde k objemovému plnění dutiny formy taveninou, v bodě 1 je dutina formy plná
2. Bod 1 – 2: dutina formy plná a dochází zde ke stlačování taveniny, při optimálních podmínkách je v bodě 2 stále maximální tlak
3. Bod 2 – 3: dotlaková fáze, probíhá chlazení taveniny, v bodě 3 dochází k zamrznutí vtokového ústí
4. Bod 3 – 4: klesá tlak, měrný objem zůstává konstantní, v bodě 4 je tlak materiálu na hodnotě atmosférického tlaku
5. Bod 4 – 5: dochází k chlazení materiálu uvnitř formy za konstantního tlaku, v bodě 5 dochází k odformování výrobku
6. Bod 5 – 6: ochlazování výrobku probíhá mimo formu, ve výrobku nedochází k tlakovým změnám, může dojít k nepatrnému zmenšení měrného objemu [9]



Obr. 4: $p - v - T$ diagram. [9]

Procesní okno vyznačuje oblast, která se může vykreslit do grafu, znázorňující závislost teploty a tlaku (dotlaku) během vstřikování. Tato oblast vykresluje takové hodnoty teploty a tlaku, při kterých budou vyráběny optimální výrobky. Při překročení daných hodnot může dojít k nežádoucím jevům, mezi které nejčastěji patří vznik přetoků, degradace materiálu vlivem vysoké teploty, nadměrné smrštění nebo může dojít k nedostatečnému vyplnění dutiny formy. Procesní okno je definováno pro určitý výrobní proces, výrobek a materiál. [6], [9]



Obr. 5: Procesní okno. [6]

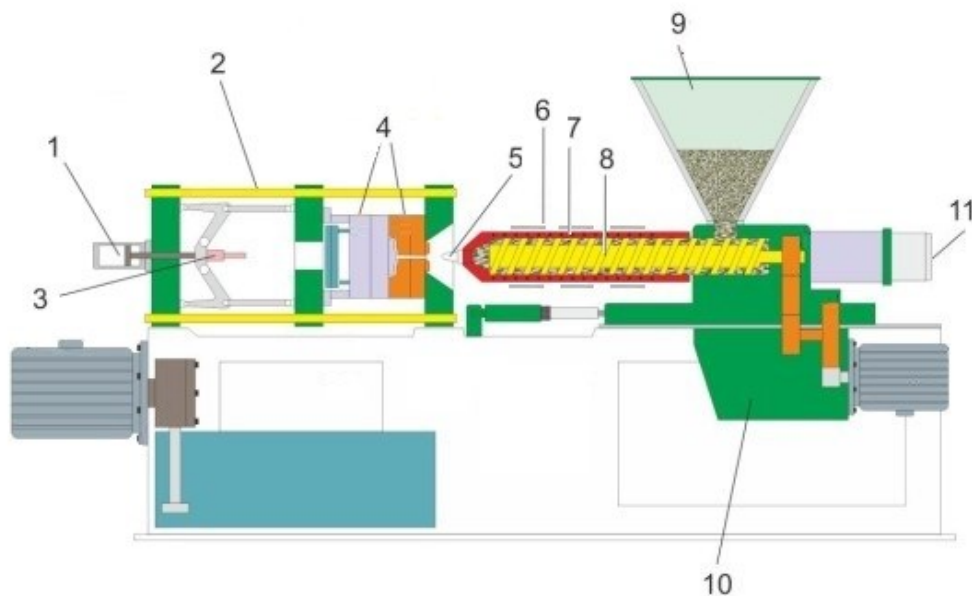
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Proces výroby, zvaný vstřikovací cyklus, probíhá na vstřikovacím stroji. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací (plastikační) jednotky pro vstřikování materiálu do dutiny formy a uzavírací jednotky, která uzavírá formu po dobu vstřikovacího procesu. Další části potřebné k chodu a ovládní stroje jsou rám stroje, převodová skříň, motor, panel k ovládní a další příslušenství. Vstřikovací stroje můžeme rozdělit z různých hledisek, například dle konstrukce plastikační jednotky:

- Šnekové
- Pístové
- Šnekopístové
- Dvoustupňové [14]

Mezi další způsoby dělení můžeme zařadit způsob dělení dle pohonu stroje:

- Elektrické
- Hybridní
- Pneumatické [14]



Obr. 6: Schéma vstřikovacího stroje. [20]

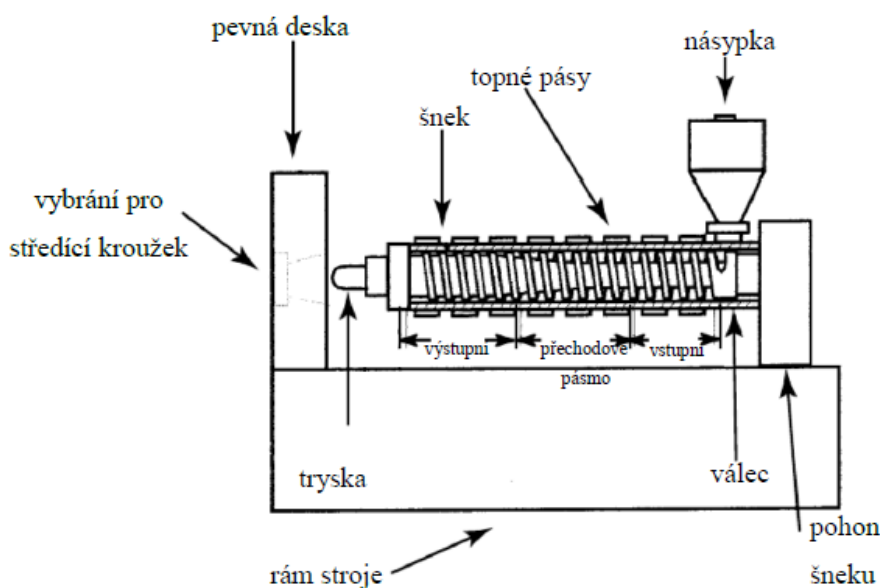
1 – uzavírací hydraulický válec, 2 – vodící sloupky, 3 – uzavírací mechanismus, 4 – vstřikovací forma, 5 – vstřikovací tryska, 6 – topná tělesa, 7 – pracovní válec, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – převodová skříň, 11 – vstřikovací píst.

3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je tvořena tavící komorou, šnekem, topnými tělesy a vstřikovací tryskou. Ve vstřikovací jednotce je tavenina zahřívána a homogenizována. Polymer se dopravuje nasypkou přes tavný válec pomocí šneku. Válec stroje je tvořen třemi pásmy dle pracovní teploty, kterou se polymer ohřívá – vstupní, přechodové a výstupní pásmo. U každého pásma lze jednotlivě nastavovat teplota. Velikost dávky zpracovávaného materiálu musí být menší než objem vstřikovací jednotky. Maximální zaplnění vstřikovací jednotky taveninou by nemělo být větší než 80 % jejího objemu. [14]

Během plastikace koná šnek rotační pohyb, a zároveň odjíždí dozadu, čímž dochází k hromadění taveniny před čelem šneku. V době, kdy je jak forma, tak i vstřikovací jednotka připravená, dojde pomocí posuvného pohybu šneku k rychlému vstříknutí taveniny do dutiny formy. Vstříknutí probíhá velmi rychle, někdy i v desetinách sekund. Jednou z částí vstřikovací jednotky je také vyhřívána vstřikovací tryska, která zajišťuje těsný spoj i při vysokých vstřikovacích tlacích. Trysky můžeme rozdělit na otevřené a uzavíratelné:

- Otevřené – využití pro materiály s větší viskozitou.
- Uzavíratelné – zneumožňují vytékání polymeru při plastikaci, k otevření dochází při spojení s vtokovou vložkou formy. [14]



Obr. 7: Schéma šnekové vstřikovací jednotky. [17]

3.2 Uzavírací jednotka

Na uzavírací jednotku je připevněna levá část formy. Ta zajišťuje otevírání a uzavírání formy, a také následné vyhazování výrobku z dutiny formy. [15]

Rychlost při uzavírání není konstantní. Zpočátku je rychlost velká a směrem ke konci se rychlost zmenšuje, proto aby forma plynule dosedla a nepoškodila se. Při otevírání je to naopak, rychlost se postupně zvětšuje. Uzavírací síla závisí, jak na velikosti vstřikovacího tlaku, tak na velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině. Velký vliv na těsnost formy má uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu. [15]

Dle druhu pohonu můžeme uzavírací jednotky rozdělit na elektromechanické, hydraulické, hydraulicko – mechanické. [15]

Rychlost uzavírání hydraulické jednotky je řízena uspořádáním a ovládním hydraulického obvodu. Tato jednotka umožňuje libovolně nastavit hloubku otevření formy. Konstrukce je jednoduchá ale hydraulický válec může mít velké rozměry. U hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky se jedná o kombinaci hydraulického válce a kinematického mechanismu. Tento způsob zajišťuje dostatečnou tuhost a umožňuje dosažení minimálních dosedových rychlostí. Hydraulický válec může být umístěn, jak v ose vstřikovacího stroje, tak mimo ni. Poslední způsob uzavírání tzv. elektromechanický pracuje na principu ovládní klikového mechanismu pomocí elektromotoru. Výhodou je nižší energetická náročnost, velká účinnost elektromotoru a konstrukční jednoduchost. [6]

3.3 Řídící a ovládací jednotka

Řídící a ovládací jednotkou můžeme optimálně naladit výrobní proces a tím dosáhnout kvalitních výstřiků, proto je jednotka nepostradatelnou součástí vstřikovacího stroje. Při zavádění výrobního procesu je potřeba nastavit strojní a technologické parametry stroje, mezi které řadíme: [15]

- teplotu formy
- dobu vstřikování
- dobu chlazení
- teplotu taveniny

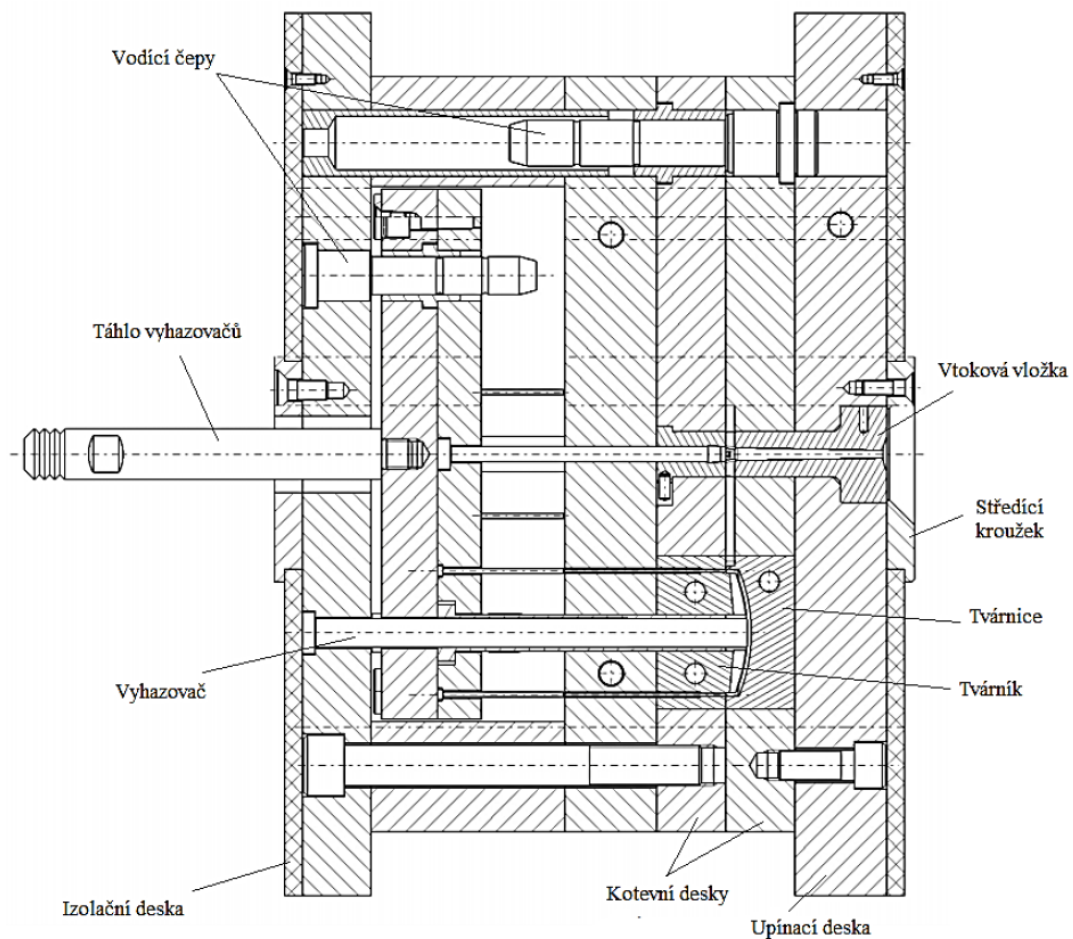
- tlak při vstřikování a dotlačování
- otáčky šneku
- rychlost posuvu šneku při vstřikování
- délku posuvu šneku a rychlost uzavírání
- otevírání formy

Každý vstřikovací stroj je vybaven ovládacím panelem, které přehledně umožňuje zadávat vstupní parametry, a tak řídit činnost stroje nebo ovládat další zařízení stroje. [15]

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma umožňuje výrobu výrobku různých tvarů. Zároveň je u výrobku dosaženo požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností. Kvalitní vstřikovací forma splňuje jak požadavky technické, zaručující správnou funkci formy, což vede k výrobě požadovaného počtu výrobků v požadované kvalitě a přesnosti, tak požadavky ekonomické, nízká výrobní cena a ekonomická efektivnost provozu formy, a požadavky společenskoestetické, které tvoří prostředí vhodné pro bezpečnou práci. [11]

Vstřikovací forma musí splňovat vysoké nároky jako jsou přesnosti a jakosti funkčních ploch dutiny i ostatních funkčních dílů, pevnosti a maximální tuhosti jednotlivých částí a celků, správné funkce formy, odvzdušnění, vhodného vyhazování, teploty a vtokového systému, životnosti zaručené vhodnou konstrukcí, výrobou a materiálem. [11]



Obr. 8: Řez formou. [6]

4.1 Důležité parametry pro konstrukci formy

Pro správnou konstrukci formy je nutné znát důležité parametry. Mezi tyto parametry patří výkres součásti, množství výrobků vyrobených za jeden výrobní cyklus a druh vstřikovacího stroje. [11]

4.1.1 Rozměry výrobku

Konstrukce výrobku musí splňovat požadavky dané aplikace a dále musí svými rozměry a tvarem umožnit snadnou výrobu při dodržení požadovaných fyzikálních i mechanických vlastností. Z ekonomického hlediska musí výrobek splňovat následující požadavky – tvarově snadná zaformovatelnost, rozměrová dosažitelnost a minimální požadavky na dodatečné opracování. Při určitém CAD návrhu výrobku je třeba si dát pozor na malé rozdíly v tloušťkách stěn, zaoblení ostrých hran a na pozvolné přechody tloušťky stěn. Tím můžeme eliminovat problémy při samotné výrobě. Výkres součásti musí definovat tvar, rozměry a dovolené tolerance rozměru i tvaru, povrchovou úpravu, jakost povrchu, dělicí roviny umístění vtoku, umístění vyhazovačů a popis a materiál výrobku. [11]

4.1.2 Násobnost formy

Násobnost formy volíme dle několika zásadních parametrů. Mezi tyto parametry patří přesnost a druh výrobku, požadované množství, velikost a kapacita vstřikovacího stroje, požadovaný termín dodávky i ekonomika výroby. [11]

Výrobky složitých tvarů vedou ke složité formě, výrobky velkorozměrové vedou k jednonásobné vstřikovací formě. Z hlediska kvality a přesnosti výrobku je požadovaná co nejmenší násobnost. Výroba přesných výrobků v nepřesných tvarových dutinách způsobuje další chyby. Mezi další nepřesnosti spadá nerovnoměrná teplota formy a taveniny při plnění dutin, různé vstřikovací tlaky nebo různě dlouhé dráhy vtoků. Tyto skutečnosti je třeba zohlednit při volbě vhodné konstrukce vstřikovací formy. [11]

4.1.3 Vstřikovací stroj

Pro dosažení kvalitních výrobků je třeba zvolit vhodný vstřikovací stroj, který je definován objemem plastikační jednotky, velikostí uzavírací síly a velikostí formy. Uvedené parametry vedou k volbě stroje s dostatečnou vstřikovací kapacitou, uzavíracím tlakem a vhodnou konstrukcí stroje. [11]

Maximální množství vstřikovaného materiálu nesmí překročit 90 % kapacity plastikační jednotky proto, aby zbyl materiál na doplnění objemu při úbytku smrštěním, tedy pro použití při dotlaku. [11]

Ke snížení kvality výrobku vedou rozdílnosti či nevhodnosti parametrů stroje vůči požadovaným hodnotám. Takto snížená kvalita se projevuje vznikem napětí ovlivňující rozměry, životnost a pevnost. Vstřikovací stroj svou vstřikovací rychlostí, tlakem, dotlakem, dobou dotlaku a dobou chlazení ovlivňuje rozměry výrobku. Teplotou a řídicí technikou dává stroj výrobku mechanické a fyzikální vlastnosti. Pro dosahování vysoké kvality výrobných dílů je třeba použít stroj a nástroj vysoké kvality. [11]

Dle velikosti a koncepci formy je nutné zvolit stroj s dostatečnou vzdáleností mezi sloupy proto, aby umožnila vhodné upnutí formy a manipulaci s ní. Dalším parametrem jsou dostatečné rozměry upínacích ploch, jak pevné, tak i pohyblivé upínací desky a rozmístění otvorů pro šrouby, vhodná dosedací plocha, vhodná velikost středících otvorů a odskok trysky u vstřikovací jednotky. Stroj musí také umožnit dostatečné minimální a maximální otevření stroje tzv. zdvih, který by měl být alespoň dvojnásobkem výšky výrobku pro snadné vyhození. [11]

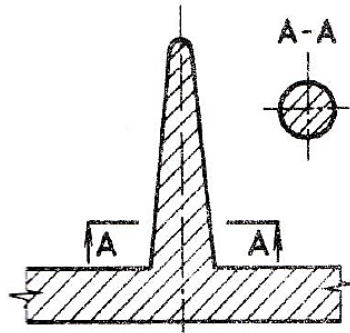
4.2 Vtokový systém

Vtokový systém zabezpečuje dopravu taveniny do dutiny formy. Tavenina teče do dutiny formy vtokovým ústím. Významný vliv na proudění taveniny uvnitř formy, vytváření studených spojů, orientace makromolekul a plniv, rovnoměrnosti krystalizace, povrchový vzhled a tokové čáry, anizotropii vlastností a rozměrů, vznik vnitřních dutin a povrchových propadlin má umístění vtoku a jeho druh. Uvedené strukturní vlastnosti ovlivňují také technologické podmínky jako jsou plastikace, rychlost vstřikování, průběh tlaku při plnění, délka dotlaku a doba chlazení. [1]

Vtok by měl být navržen tak, aby tavenina proudila do formy bez velkých tlakových i teplotních ztrát a pokud je to možné tak rovnoměrně ve stejném čase. Takového požadavku můžeme snadněji dosáhnout u tvarově jednodušších a menších výrobků než u rozměrných a složitých. [1]

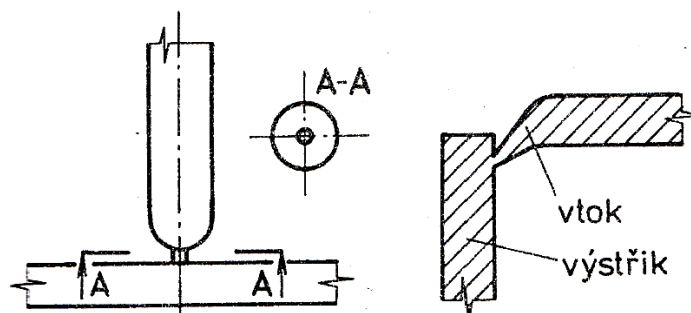
4.2.1 Studený vtokový systém

Plný kuželový vtok je jedním z nejjednodušších typů vtokových systémů. Výhodou jeho využití je malá tlaková ztráta, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí ve výrobku. Nevýhodou tohoto vtoku je delší výrobní cyklus a obtížné oddělení vtoků od výrobku. Využití nachází u rozměrných a tlustostěnných výrobků a je vhodný pro všechny druhy materiálů. [1], [12]



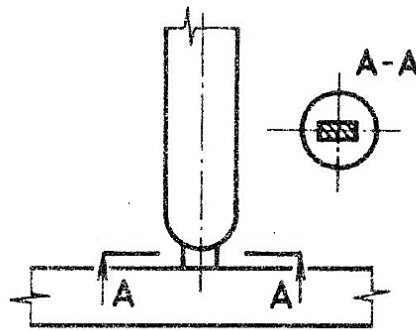
Obr. 9: Kuželový vtok. [1]

K oddělení bodového vtoku dochází samočinně při otevření formy. Po oddělení vtoků vznikne nepatrná stopa na výrobku a již dále nevyžaduje další úpravy. Při použití vyhřívaného vtoku lze dosáhnout ještě menších stop po vtoku. Bodový vtok umožňuje dosáhnout krátkých výrobních cyklů a eliminuje nežádoucí tokové čáry na povrchu výrobku. Hlavní nevýhodou jsou velké tlakové ztráty. Bodový vtok se používá u více tekutějších a omezeně také u plněných materiálů pro rychlou výrobu tenkostěnných výrobků a pro výrobky s více vtoky. Bodový tunelový vtok je zvláštním typem bodového vtoku. [1]



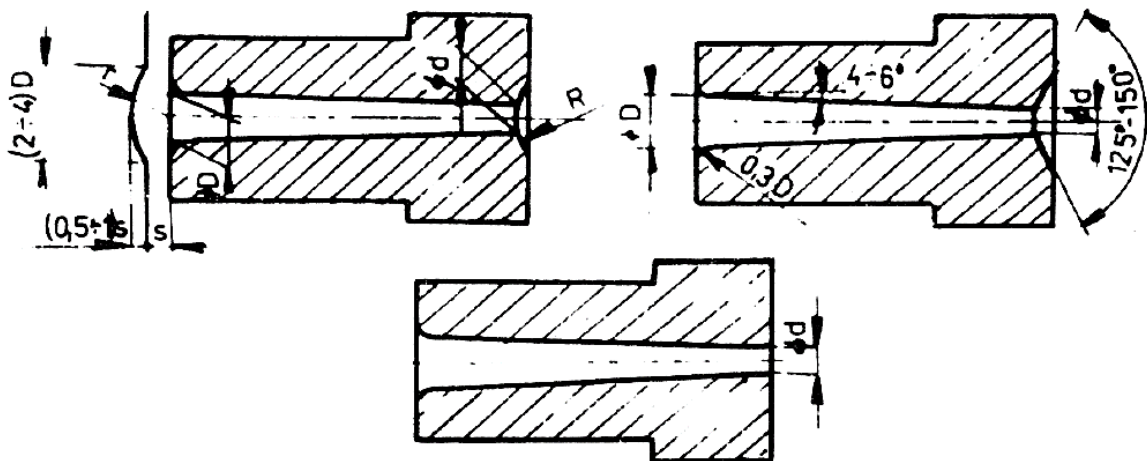
Obr. 10: Bodový, bodový tunelový vtok. [1]

Obdélníkový vtok dovoluje dobré plnění formy, nicméně je nutné odstranit vtok. Vytváří výraznější tokové čáry než bodový vtok. Obdélníkový vtok je možné použít pro všechny druhy materiálů, především pro výrobky s menší tloušťkou stěn a s malými rozdíly v tloušťkách stěn i při větších nárocích na přesnost rozměrů a tvarovou stálost. [1]



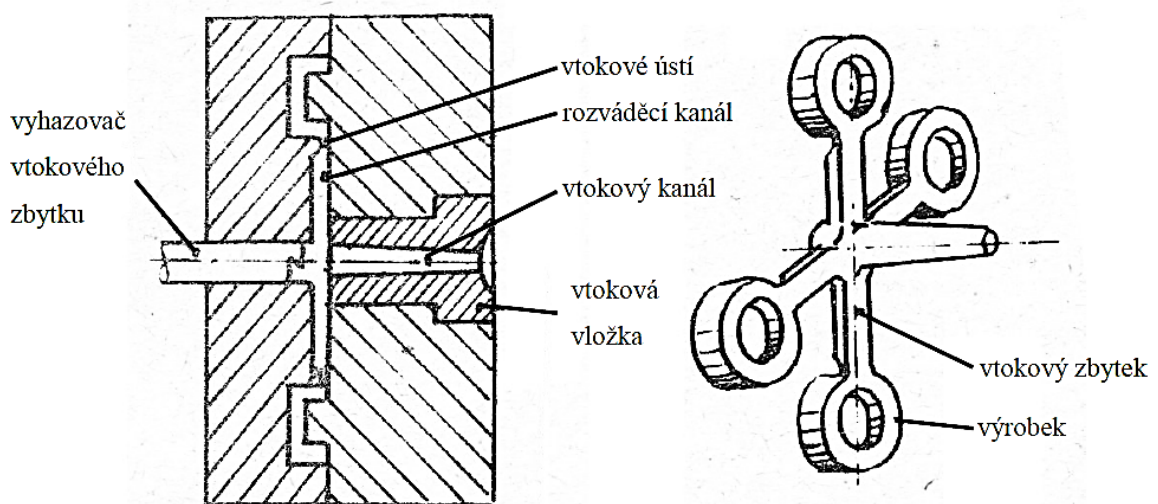
Obr. 11: Obdélníkový vtok. [1]

Při navrhování vtokového systému musíme brát v potaz, že vtoková vložka má rozměry podle velikosti výrobku a podle rozměru trysky plastikační jednotky. Průměr vložky je vždy volen o 10 – 20 % větší než daný průměr trysky. Vtoková vložka má sedlo kulové, kuželové nebo ploché, a to podle vstřikovací trysky. [12]



Obr. 12: Vtokové vložky s různými sedly. [12]

Složitější vtokový systém tvoří vtokový kanál, rozvodný kanál a ústí vtoku. Systém musí být navrhován s ohledem na co nejnižší tlakové ztráty a nízké sdílení tepla mezi taveninou a formou. Je nutné použít co nejmenší objem rozvodných kanálů pro vzniku malého vtokového zbytku. Rozměry rozvodného kanálu ovlivňuje tloušťka stěny výrobku, jeho hmotnost, druh vstřikovaného materiálu, toková dráha a teplotní poměry ve formě. Jeho délka je spjata s minimální tloušťkou stěny výrobku. [12]



Obr. 13: Vtokový systém s rozvodnými kanály. [12]

4.2.2 Vyhřívaný vtokový systém (VVS)

Vyhřívaný vtokový systém se začal používat z důvodů úspory materiálů, jelikož umožňuje vstřikování bez vtokového zbytku. Vyhřívané nebo také horké vtokové systémy tvoří vyhřívané trysky, které jsou charakteristické minimální tlakovou a teplotní ztrátou v systému a optimálním tokem taveniny. Komponenty i celé VVS se nakupují od specializovaných výrobců, díky čemuž jsou konstrukční řešení a rozsah použití rozdílné. Lze to chápat jako nevýhodu, avšak pořád zůstává mnoho výhod vyhřívaného vtokového systému jako je zkrácení výrobních cyklů, možnost automatizace výroby, snížení nákladů na dokončení práce (odstraňování vtokových zbytků) snížení spotřeby polymeru, nebo snížení manipulace a recyklace zbytků vtoků a s tím související problémy při jejich zpracování. [11]

Výhoda použití vyhřívaných vtokových systémů tkví v tom, že tavenina po naplnění dutiny formy zůstává v celé oblasti v plastickém stavu. Díky tomu můžeme použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro velkou oblast vyráběných dílů. [11]

Vyhřívaný vtokový systém se používá pro složitější a finančně nákladnější vstřikovací formy. Z hlediska celého výrobního procesu lze posuzovat ekonomickou výhodnost tohoto řešení, u něhož jsou určujícími faktory nepřetržitý provoz, ideální zpracovatelské vybavení a vhodné vlastnosti zpracovávaného materiálu. [11]

4.3 Odvzdušnění dutiny formy

Odvzdušnění dutiny formy je důležité především u složitých výrobků. Odvzdušnění vstřikovací formy se obvykle provádí až při zkoušení přímo na stroji, kdy zanedbání vede k problémům jako jsou nekvalitní vzhled výrobku nebo malé mechanické vlastnosti. [13]

Odvzdušnění ovlivňuje řada technologických parametrů jako je vstřikovací rychlost. Jev, který vzniká při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje Dieselův efekt, což způsobuje spálená místa na povrchu výrobku. Eliminace tohoto jevu vede k tvorbě účinného odvzdušnění formy. Správné odvzdušnění také umožňuje únik vzduchu z dutiny formy, který by působil protitlakem na taveninu, díky němuž by bylo potřeba zvýšit vstřikovací tlak. Zvyšováním vstřikovacího tlaku se zvyšuje vnitřní pnutí výrobku i jeho hmotnost. Při vyšší viskozitě taveniny a nedostatečném tlaku se vzduch soustřeďuje na protilehlou stranu od vtoku. Pokud vzduch z formy z důvodu nevhodného odvzdušnění neunikne, dojde k tomu, že výrobek nedoteče (tento následek může způsobit také malá dávková nebo nízká teplota formy). V praxi u výrobků, které mají větší tloušťku stěn, může také dojít k tomu, že vzduch, který nemůže uniknout z dutiny formy vnikne do taveniny a po vychladnutí tvoří bubliny. Většinou se tyto bubliny shromažďují na protilehlé straně od vtoku. Bubliny, které vznikají z jiného důvodu (např. vlhkost polymeru, přehřátí polymeru) jsou rozptýleny v celém objemu výrobku, čímž se liší od špatně navrženého odvzdušnění. [13]

Štěrbina pro odvzdušnění formy je často umístována do místa, kde zatéká tavenina naposled. U souměrných výrobků se štěrbina pro odvzdušnění umísťuje naproti ústí vtoku a má tloušťku kolem 0,1 mm až po přetokovou drážku, dále se prohlubuje na 0,3 mm a vyúsťuje do odlehčeného prostoru v dosedací ploše. [12]

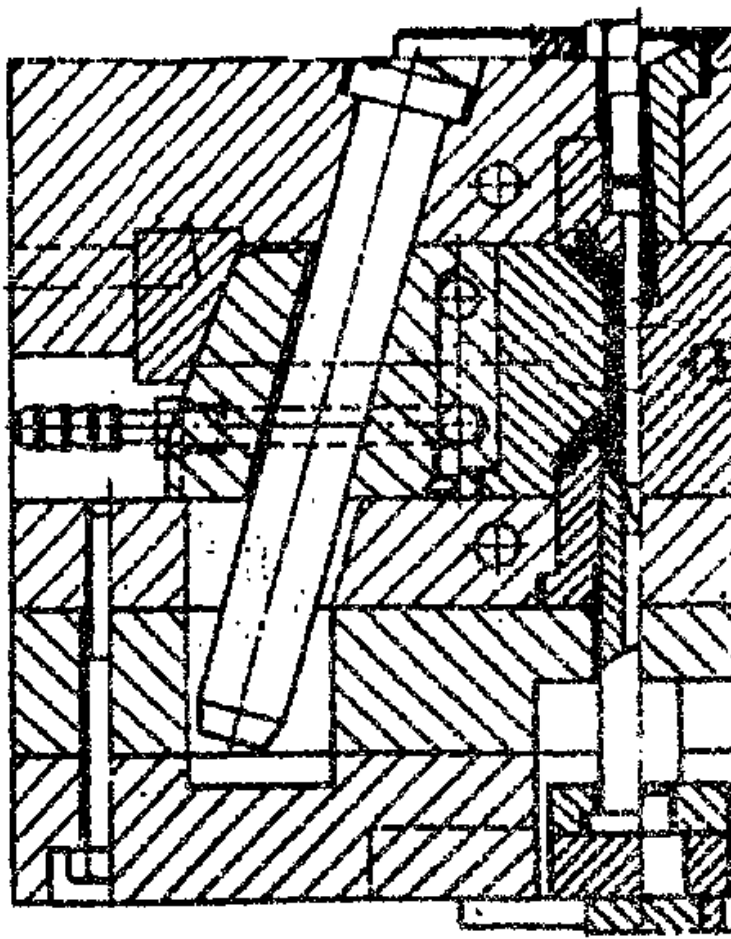
4.4 Boční čelisti forem

Obsahuje-li výrobek boční výstupky, otvory nebo různé tvary je nutno využít bočních posuvných čelistí. Tyto čelisti většinou vytvářejí další dělicí roviny a mohou být ovládány mechanicky (válcové, šikmé nebo lomené kolíky), hydraulicky nebo pneumaticky. [13]

Boční čelisti forem se obvykle nacházejí na pohyblivé části formy. Čelisti musí být v uzavřené poloze formy zajištěny proti posuvu. Toto zajištění probíhá je realizováno pomocí vnější zkosené části, která je opřena o opěrnou plochu pevné desky. Zajištění v ote-

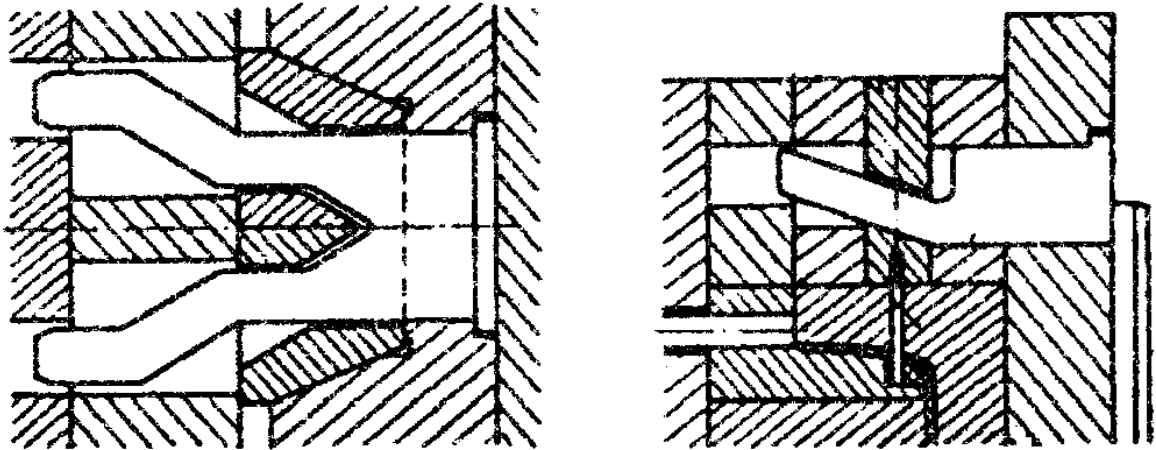
vřené poloze je zajištěno pomocí kolíků s pružinkou nebo dalšími způsoby. Více čelistí navyšuje počet dělicích rovin a tím pádem i počet rozměrů, které je nutné zohlednit při tolerování a lícování výrobků i formy. Se složitostí formy rostou náklady na výrobu. [13]

Vysouvání čelistí pomocí šikmých válcových kolíků probíhá s nepatrným zpožděním. Toto zpoždění způsobuje vůle v otvoru šikmého kolíku, která má velikost 0,2 mm. Doporučený sklon šikmého kolíku je 15 – 25 °, výjimečně 30 °. Boční čelisti se vysouvají a zasouvají pomocí kolíku a ve vysunuté poloze jsou zajištěny kuličkou nebo jinou západkou. Šikmé kolíky se využívají v případech, kdy je požadováno nulové nebo malé zpoždění vysunutí bočních čelistí při otevírání hlavní dělicí roviny. [13]



Obr. 14: Vysouvání pomocí válcových kolíků. [13]

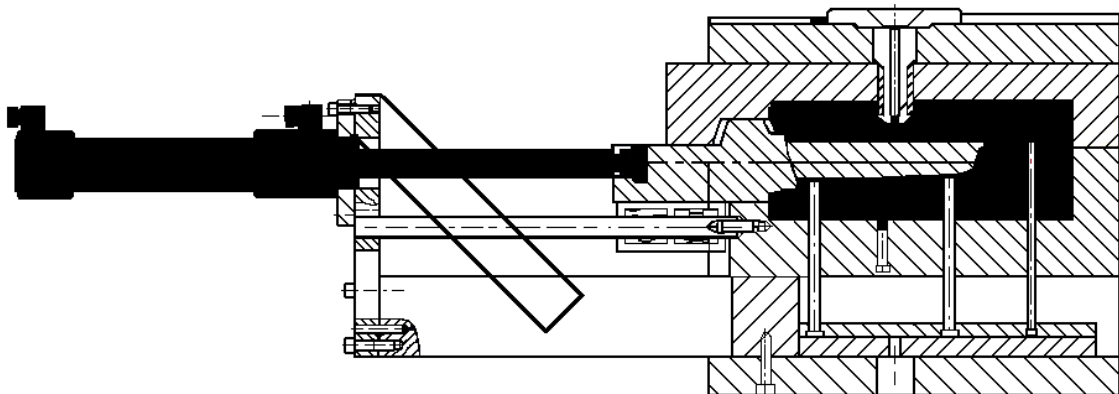
Obdobné otevírání a uzavírání formy, jak u šikmých kolíků zajišťují i lomené kolíky, avšak při otevírání hlavní dělicí roviny umožňují větší zpoždění. Tyto kolíky dosahují menšího sklonu uzavíracích ploch a zajišťují vyšší uzavírací síly. Toto řešení je výrobně nákladnější. Kolíky mají obdélníkový průřez s poměrem stran 1 : 1,5 až 2. [13]



Obr. 15: Vysouvání pomocí lomených kolíků. [13]

Pneumatický tahač se používá v případech, kdy je potřeba pohybu při uzavřené vstříkovací formě například při vytahování jader. Při jejich použití je třeba brát v potaz užití stlačeného vzduchu o hodnotě tlaku 0,4 - 0,6 MPa, neboť může docházet k trhavému pohybu. [13]

Hydraulické tahače používáme na vytahování těžkých nebo dlouhých jader a při postupném vytahování více jader. Ovládání čelistí je možné v jakékoliv fázi se forma nachází, otevřená, uzavřená nebo při otevírání. Tahače jsou ovládány pomocí koncových spínačů řízených elektromagnetickými rozvaděči. Hydraulické válce se připojují buď na hydraulický okruh vstříkovacího stroje nebo na samostatný hydraulický okruh. Ovládání musí být propojeno s pracovním cyklem stroje. [13]



Obr. 16: Vysunutí boční čelisti pomocí hydraulického tahače. [8]

4.5 Temperační systém

Temperační systém slouží k vytvoření homogenního teplotního pole uvnitř vstříkovací formy. Správnou temperací formy lze zkrátit výrobní cyklus při zachování všech technolo-

gických požadavků. To se děje jak vyhříváním, tak ochlazováním celé formy nebo její části. [13]

Vstřikováním se do dutiny formy přivádí tavenina, která se po vstříknutí ochlazuje na tzv. vyhazovací teplotu. Při vstřikování dochází k ohřevu formy, kterou je třeba temperačním systémem udržovat na požadované teplotě. Každý další výrobek je nutné vyrábět za stejných teplot, proto je potřeba přebytečné teplo z formy odvést. Na začátku vstřikování probíhá temperace formy na pracovní teplotu, aby byla zajištěna kvalita výrobku. [13]

Úkolem temperačního systému je nejen zajistit homogenní teplotu formy ale také odvádět teplo vzniklé vstříknutím taveniny do dutiny formy a to tak, aby cyklus trval co nejkratší čas. Má-li vstřikovací forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, lze tímto způsobem zvýšit její tepelnou a rozměrovou stabilitu a snížit nebezpečí deformace při vysokých vstřikovacích tlacích. Nerovnoměrně rozložené teplo v dutině formy vede k rozměrovým a tvarovým úchylkám výrobku. [13]

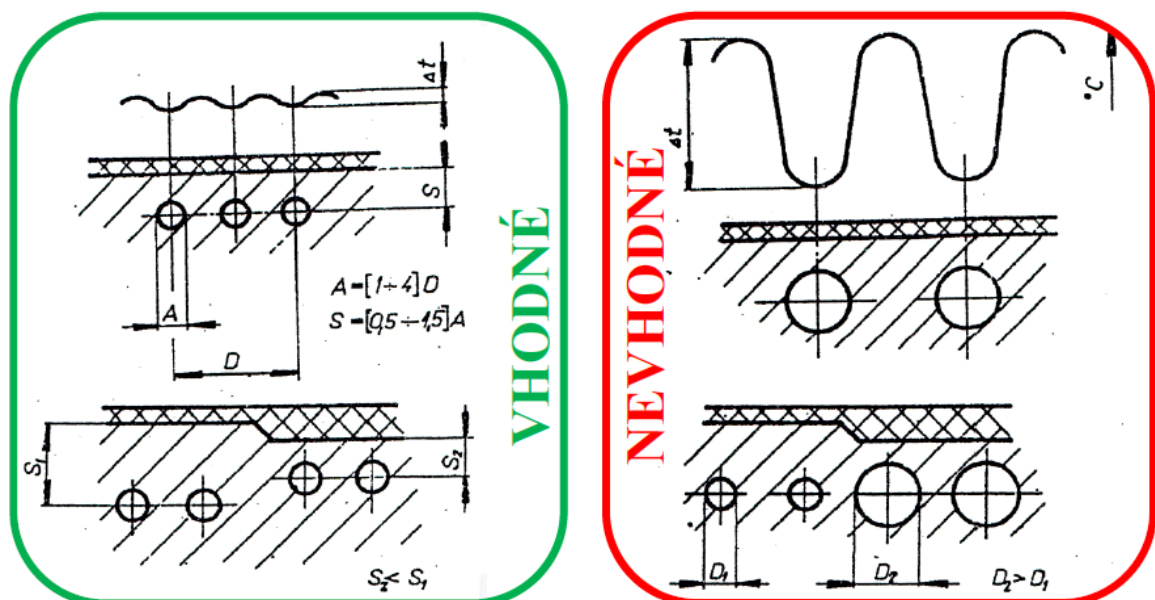
TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

Obr. 17: Doporučené teploty formy, taveniny a vyhazovací teploty. [21]

Během vstřikování nemá forma konstantní teplotu. Po vstříknutí taveniny teplota formy stoupá a poté díky odvodu tepla temperačním systémem klesá. Proto je nutné správné volby velikosti i umístění temperačních kanálů, teploty a rychlosti temperačního média. Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými temperační médium proudí a správnou temperace temperovaných částí. Temperační systém je umístěn jak v pevné části

formy, tak i v pohyblivé části. Temperační okruhy jsou řešeny samostatně dle způsobu zaformování výrobku a dalších technologických a konstrukčních podmínek. [13]

Umístění a rozměry temperačních kanálů jsou voleny v závislosti na konstrukci vstřikovací formy. Je nutné zajistit dostatečnou pevnost a tuhost stěn dutiny. Teplo z formy přestupuje přes povrch temperačních kanálů do temperačního média nebo opačně. Pro lepší odvod tepla je vhodnější použít více menších kanálů s menšími průměry než naopak. Kolem dutiny formy je třeba umístit temperační kanály ve stejné vzdálenosti a rovnoměrně. V případě, kdy dochází ke zvětšení tloušťky stěn výrobku nebo náhlé zvýšení teploty, tak je potřeba temperační kanály umístit blíže k výrobku. [13]



Obr. 18: Vhodné a nevhodné umístění temperačních kanálů. [13]

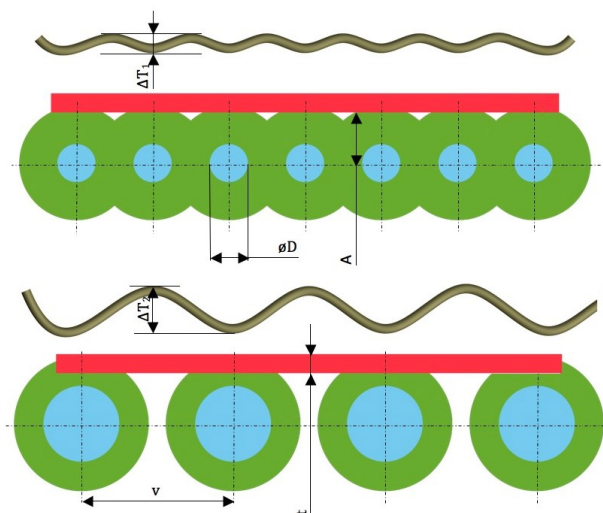
Průřez temperačního kanálu volíme na základě velikosti výrobku, rámu formy a druhu vstřikovaného polymeru. Nejpoužívanější je kruhový průřez, který je vrtaný. Při zvětšení průřezu kanálu se intenzita přestupu tepla zvýší pouze nepatrně, nicméně se navýší množství potřebného média a dojde ke snížení tuhosti formy. Můžeme se setkat také s obdélníkovými průřez, které jsou vyrobeny vyfrézováním drážky. Tyto drážky jsou utěsněny nebo se do nich můžou umístit tenkostěnné měděné trubky, které se pro lepší sdílení tepla zalijí cínem nebo zinkem. [13]

Při návrhu temperačního systému je potřeba zohlednit to, aby byly kanály v ideální vzdálenosti od tvarové dutiny formy a zachovány potřebné tuhosti. Dále by měly být kanály umístěny a navrhnuty tak, aby se teplo odvádělo z míst, kde se forma stýka s proudem

vstříkované taveniny především u vtoku. Tok temperačního média by měl téct od nejteplejšího místa směrem k nejchladnějšímu. Pro jednoduchost výroby je lepší volit kruhový průřez. Důležité je, aby trasa temperačního média nevedla přes mrtvé kouty z důvodu usazování nečistot, neboť se zde začíná tvořit koroze a můžou zarůstají kanály. Je třeba dát pozor na to, aby kanály nebyly umístěny do hran výrobků. Dalším rizikem je volba průměru temperačního kanálu pod 6 mm, protože hrozí ucpání vlivem vodního kamene nebo nečistot v temperačním systému. [13]

TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [mm]	VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [mm]	VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [mm]	PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU $\varnothing D$ [mm]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

Obr. 19: Rozměry temperačních kanálů. [21]



Obr. 20: Parametry temperačních kanálů. [21]

Zvýšit výkon temperačního systému je možné zvětšením rozdílu teplot vstříkovací formy a temperačního média, vznikem turbulentního proudění, vytvořením podmínek pro zvětšení součinitele přestupu tepla změnou vzdáleností temperačních kanálů od dutiny formy nebo zapojením zvláštní větve chlazení. [13]

Temperační média můžeme rozdělit na aktivní, působící přímo ve formě (přivádí nebo odvádí teplo) a na pasivní, které ovlivňují tepelný režim formy. [13]

Mezi aktivní temperační médium můžeme řadit kapaliny, které proudí uvnitř temperačních kanálů a tím dochází k tepelně výměně mezi kapalinou a formou. [13]

Tab. 1: Výhody a nevýhody temperačního média. [13]

Typ média	výhody	nevýhody
voda	vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena ekologická nezávadnost	použitelné do 90 °C, bez úpravy vzniká koroze, usazování kamene
olej	temperace i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla
glykol	omezení koroze a ucpávání systému	stárnutí, ekologická závadnost

Vzduch jako temperační médium lze využít buď volným prouděním při odvodu tepla z povrchu formy a při ochlazování tvarových částí během otevření formy nebo nuceným prouděním za pomoci tlaku. Vzduch z důvodu malé účinnosti je používán pouze tehdy, kdy není možné použití kapaliny z důvodu nedostatku místa (např. chlazení tenkých jader a vyhazovačů). [13]

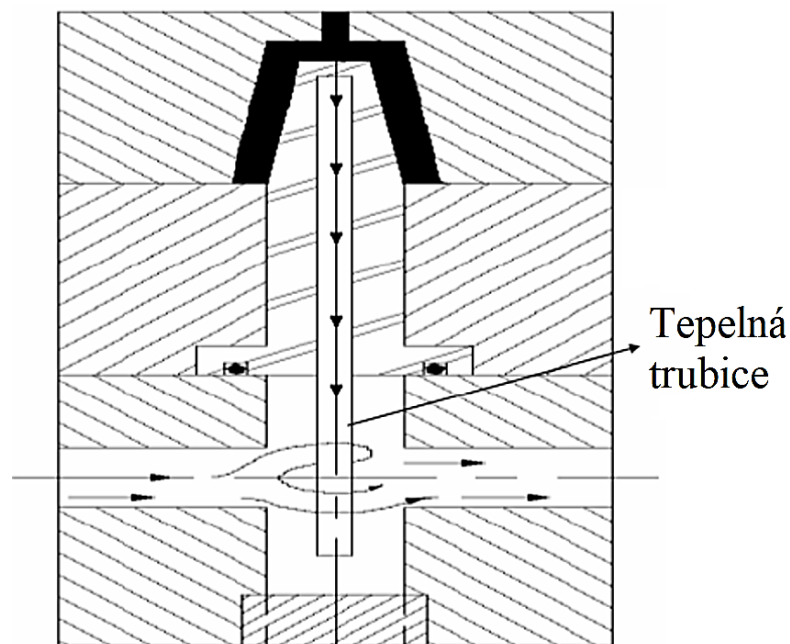
Dalším aktivní temperací jsou topné elektrické články, které se využívají v případech kdy je z důvodu tepelných ztrát do okolí nutné zvyšovat teplotu formy. V praxi se využívají topné patrony nebo prstencová topná tělesa, která umožňují předat značné množství energie do vytápěné části formy. Pro umístění topných článků se využívá podobných znalostí jako u temperačních kanálů. [13]

Pasivními temperačními prostředky se rozumí například tepelně izolační materiály, které brání přestupu tepla do upínacích desek stroje v případech, kdy je nutná vysoká teplota formy. Při volbě izolačního materiálu je zohledněna požadovaná pevnost a tepelná odolnost. Lze použít Sklotextil SI, Sklotextil, ARV nebo azbestocementové desky. Izolačním materiálem lze izolovat i boční strany formy např. azbestem nebo skleněnou rohoží. [13]



Obr. 21: Izolační deska. [22]

Jako další pasivní temperační prostředky můžeme použít tepelně vodivé materiály, které se využívají pro přesun tepla z míst, kde není možné chlazení zabezpečit do míst kde chlazení možné je. Pro tento účel je využívána měď a její slitiny s kobaltem, cínem a dalšími prvky případně hliník a jeho slitiny. Nejúčinnější volbou je tepelná trubice, která využívá výparného tepla. Ve srovnání s čistou mědí lze takto zvýšit odvod tepla až o řád. [13]



Obr. 22: Tepelná trubice. [23]

Temperační kanály jsou propojeny mimo formu přívodními hadicemi. Koncovky zajišťují těsné a bezpečné napojení s minimálními ztrátami. Koncovky hadic bývají buď nasunovací, které se zajišťují zděří, šroubovými spoji nebo stahovací páskou. Aby se předešlo ulomení koncovek při manipulaci s formou, je třeba je zapustit do formy. Z bezpečnostních důvodů bývá vyústění na formě na odvrácené straně od obsluhy a musí odolávat požadovanému tlaku, temperačnímu médiu a dosahované teplotě. Hadice z měkčeného PVC nebo oleji vzdorné pryže s vláknovou nebo textilní kostrou jsou vhodné pro rozvod média do 40 °C. Tyto hadice vydrží tlak do 1 MPa. U větších forem se využívají letecké hadice se šroubovými spoji pro rozvod média nad 60 °C. Pro vyšší teploty temperačního média nad 120 °C se využívají pancéřové hadice z fluorových kaučuků. [13]

4.6 Vyhazovací systém

Při vyhazování dochází po otevření formy k vyhození výrobku z její tvarové dutiny. Tento úkol zajišťuje vyhazovací systém, který je součástí vstřikovací formy a umožňuje automatický výrobní cyklus. Při vyhazování dochází k pohybu vyhazovacího systému vpřed, čímž jsou výrobky vyhozeny a zpět, kdy se systém vrací do výchozí polohy. [13]

Hladký povrch a úkosovitost stěn výrobku zajišťují dobré vyhození. Vyhazování musí probíhat rovnoměrně, aby se výrobek nevzpříčil a nedošlo k jeho poškození. Vyhazovače většinou tvoří funkční část dutiny formy. [13]

Výrobek si většinou nese stopy po vyhazování. Pokud se stopy jeví jako vada, lze tuto vadu dodatečně opravit nebo je možné umístit vyhazovače na jinou stranu kde to vadit nebude. Lze také změnit způsob vyhazování, ačkoli je potřeba změnit konstrukci formy. S výrobkem se vyhazuje i vtokový zbytek, který se při vhodné konstrukci vyhazovacího systému, může oddělit od výrobku. [13]

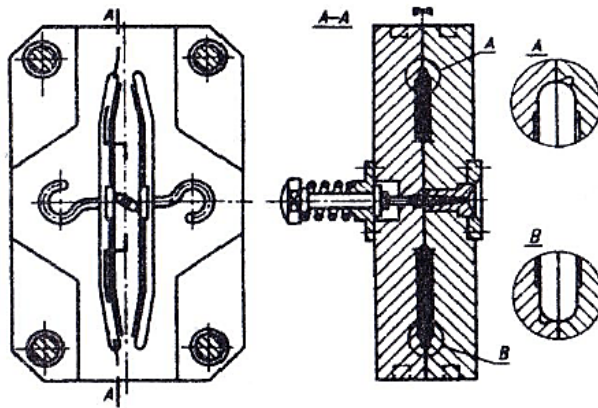
Pro vyhození výrobku z formy musí vhodně zvolený vyhazovací systém vyvodit potřebnou vyhazovací sílu. Výrobek většinou zůstane vlivem smrštění na tvárníku, nicméně může zůstat i na tvárnici. Proto je potřeba zajistit, aby výrobek zůstal na straně, kde jsou umístěny vyhazovače. Vyhazovací síla závisí na velikosti smrštění výrobku ve formě, kvalitě povrchu funkčních ploch a tvarových dutin, členitosti výrobku, na pružných deformacích formy a na technologických podmínkách jako je teplota taveniny, teplota formy, tlak nebo doba chlazení. U mechanického způsobu vyhazování se výpočet vyhazovací síly neprovádí z důvodu předimenzování systému. Při použití pneumatického nebo hydraulického vyha-

zovacího systému je potřebná vyhazovací síla stanovena na základě řady praktických zkoušek. [13]

4.6.1 Mechanické vyhazování

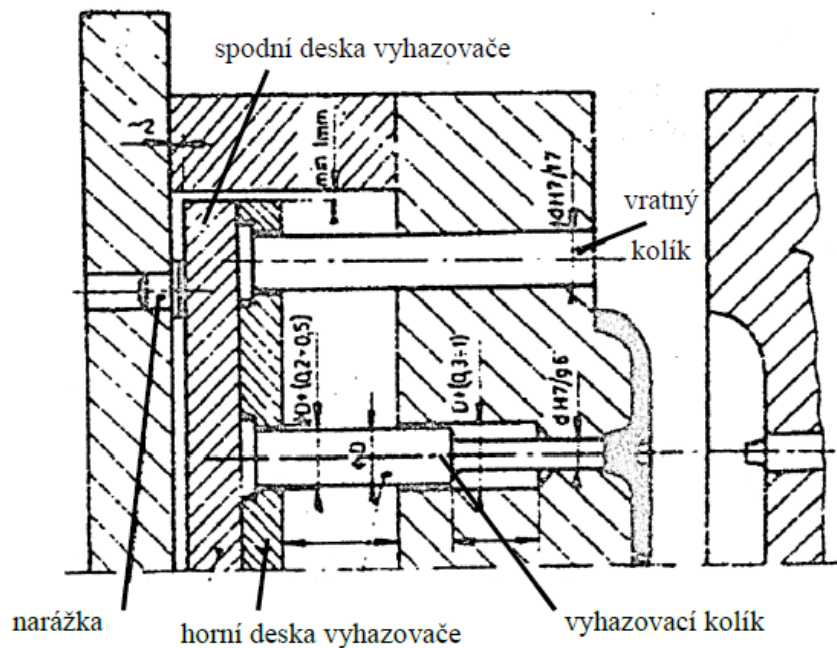
Je to nejpoužívanější způsob vyhazování, který se využívá skoro ve všech aplikacích. Konstruktivní řešení mechanického vyhazování můžeme rozdělit na vyhazování vyhazovacími kolíky, stíracími deskami nebo trubkovými vyhazovači dále na postupné, šikmé nebo speciální vyhazování. [13]

Ve některých případech, kdy je výrobek plyný, nejsou vyhazovače potřeba a stačí jen vyhození vtokového zbytku, se kterým je výrobek spojen. [13]



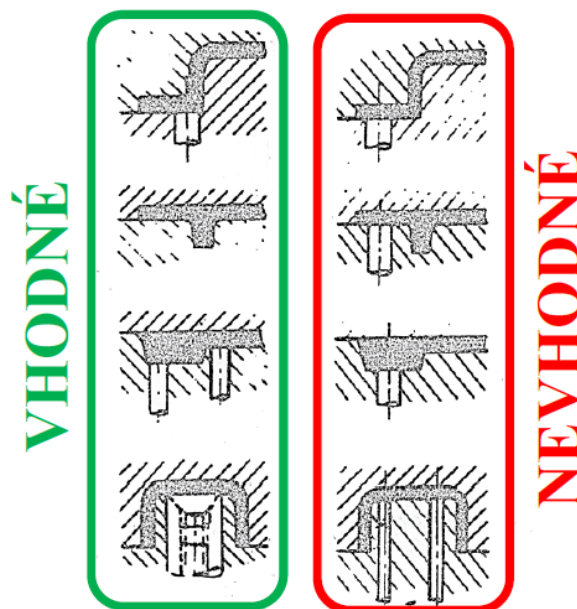
Obr. 23: Vyhazování bez použití vyhazovačů. [13]

Nejpoužívanějším a nejlevnějším způsobem vyhození výrobku je vyhození pomocí kolíků. Použit lze pouze tehdy, kdy je možné vyhazovače umístit naproti ploše výrobku po směru vyhazování. Tento způsob je jednoduchý a má zaručenou funkci vyhazování. [8]



Obr. 24: Vyhazování pomocí kolíků. [13]

Umístění vyhazovacího kolíku by mělo být naproti žebra nebo stěny, tak aby nezpůsobil zborcení výrobku a tím trvalou deformaci. Větší množství vyhazovacích kolíků ovlivňuje tvorbu temperačních kanálů. [8]

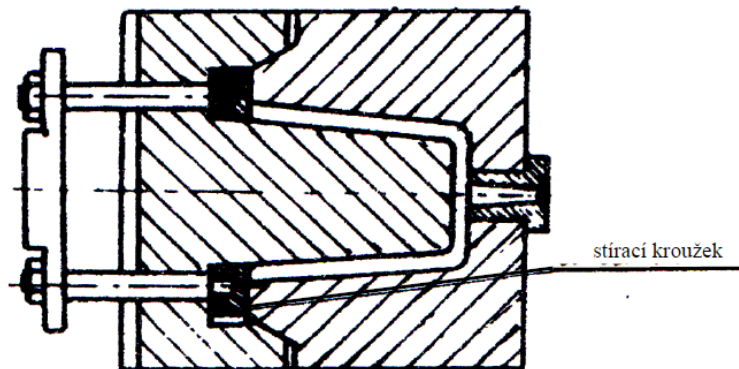


Obr. 25: Vhodné a nevhodné umístění vyhazovacích kolíků. [13]

Mechanické vyhazování je tvořeno vyhazovacím kolíkem, který by měl být dostatečně tuhý a snadno výrobitelný. Může mít i jiné tvary, ale nejčastěji se setkáme s válcovým tva-

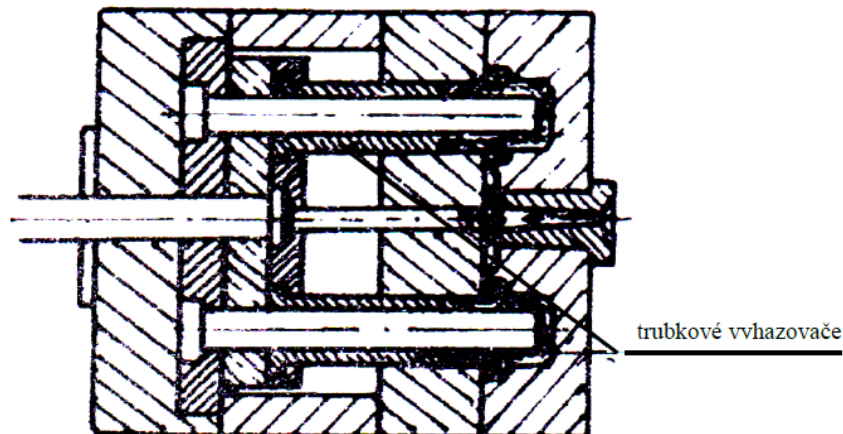
rem. Tolerance vyhazovacích kolíků pro umístění ve formě bývá H7/g6, h6 nebo j6 záleží na jakou funkci a pro jakou viskozitu polymeru jsou použity. Jako od vzdušnění působí vůle v uložení. [13]

Použití stírací desky u mechanického vyhazování se využívá pro stahování výrobku po celém jeho obvodu. K vytvoření stop po vyhazování nedochází z důvodu velké styčné plochy. Stírací deska je velká a deformace výrobku jsou minimální. Vyhazování pomocí stírací desky se využívá u tenkostěnných výrobků, kde může dojít k deformaci nebo u velkých výrobků, které potřebují velkou vyhazovací sílu. Podle konstrukce formy může být pohyb stírací desky vyvozen vyhazovacím systémem nebo ve speciálních případech tahem pevnou deskou při otvírání formy. [13]



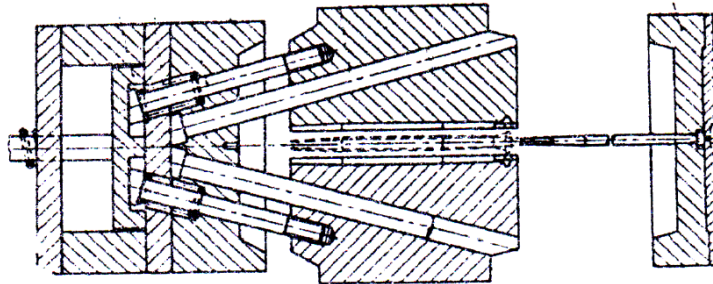
Obr. 26: Použití stíracího kroužku k vyhození výrobku. [13]

Trubkový vyhazovač je speciálním případem stírání tlakem. Má funkci stírací desky a současně pracuje jako vyhazovací kolík. Vyhazovací kolík je umístěn v pevné desce, tvoří jádro a nepohybuje se. [13]



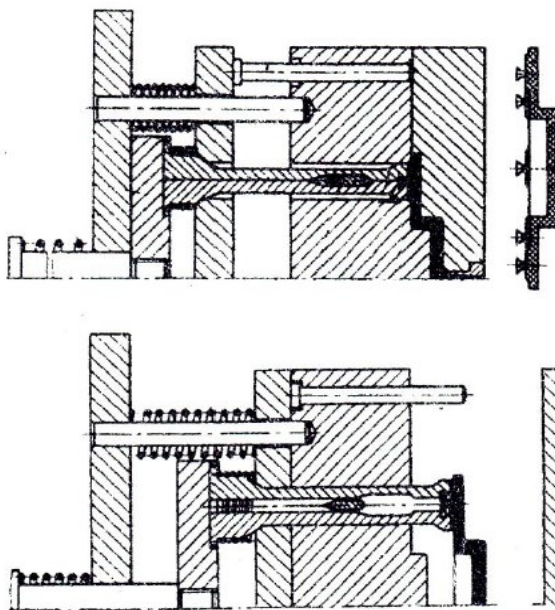
Obr. 27: Použití trubkových vyhazovačů. [13]

Využití šikmých vyhazovačů je speciální formou mechanického vyhazování, kdy vyhazovací kolíky nejsou kolmé na dělicí rovinu, ale jsou umístěny pod různými úhly. Tento způsob se používá k vyhazování malých nebo středně velkých výrobků s plytkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Díky nim nemusí být použita složitá posuvná čelist s klínovým mechanismem. Tento systém vyhazování lze kombinovat s přímým vyhazováním pro to, aby byla zabezpečena funkčnost výrobně jednoduchého vyhazování. [13]



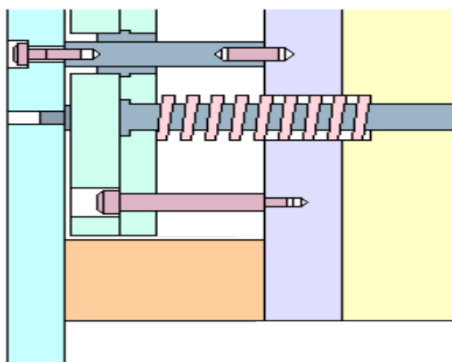
Obr. 28: Použití šikmých vyhazovačů. [13]

Do skupiny mechanického vyhazování taky patří tzv. dvoustupňové vyhazování. Vyžaduje dva na sobě závislé vyhazovací systémy. Výrobky lze vyhazovat s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu a velikostí zdvihu. Používají se i v případech, kdy je potřeba oddělit vtokový zbytek od výrobku. V první fázi se odděluje vtokový zbytek a v druhé fázi následuje vyhození výrobku. [13]



Obr. 29: Použití dvoustupňového vyhazování s odpruženými vyhazovači. [13]

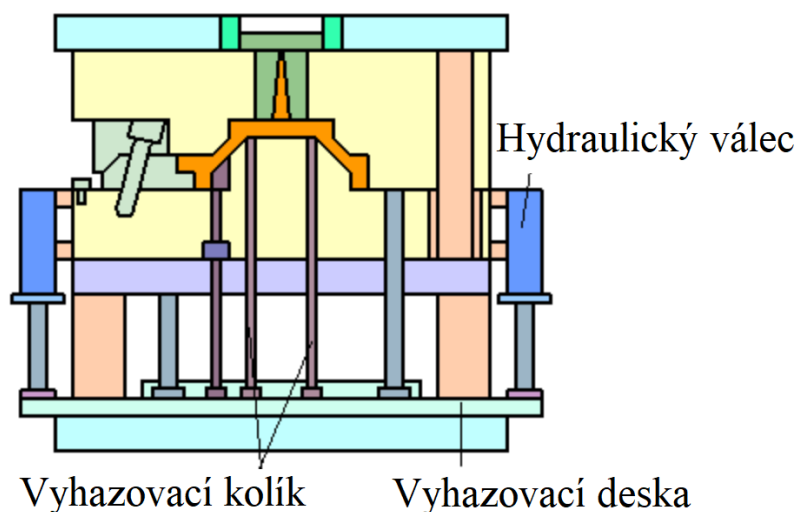
Vracení vyhadzovacího systému lze zajistit různými způsoby. Například pomocí vratného kolíku, který vrací vyhadzovací systém a současně uzavírá formu, dále se může jednat o pružiny, vačky a klíny, které se používají v případech, kdy je potřeba návrat vyhadzovacího systému před uzavřením formy nebo hydraulické či vzduchové vyhadzovače se zpětným chodem. [13]



Obr. 30: Zpětné vracení vyhadzovačů. [24]

4.6.2 Hydraulické vyhadzování

Hydraulické vyhadzování se většinou využívá spolu s mechanickým vyhadzováním. Výhodou je větší flexibilita a pružnější pohyb. Hydraulické jednotky pracující jako vyhadzovače nejsou příliš časté, nicméně pro ovládání bočních čelistí se používají častěji. Pomocí hydraulických vyhadzovačů, které jsou umístěny přímo ve formě, je možné přímo ovládat stírací desky, vyhadzovací kolíky nebo jiné způsoby mechanického vyhadzování. Hlavní vlastností hydraulického vyhadzování je velká vyhadzovací síla s pomalejším a kratším zdvihem. [13]

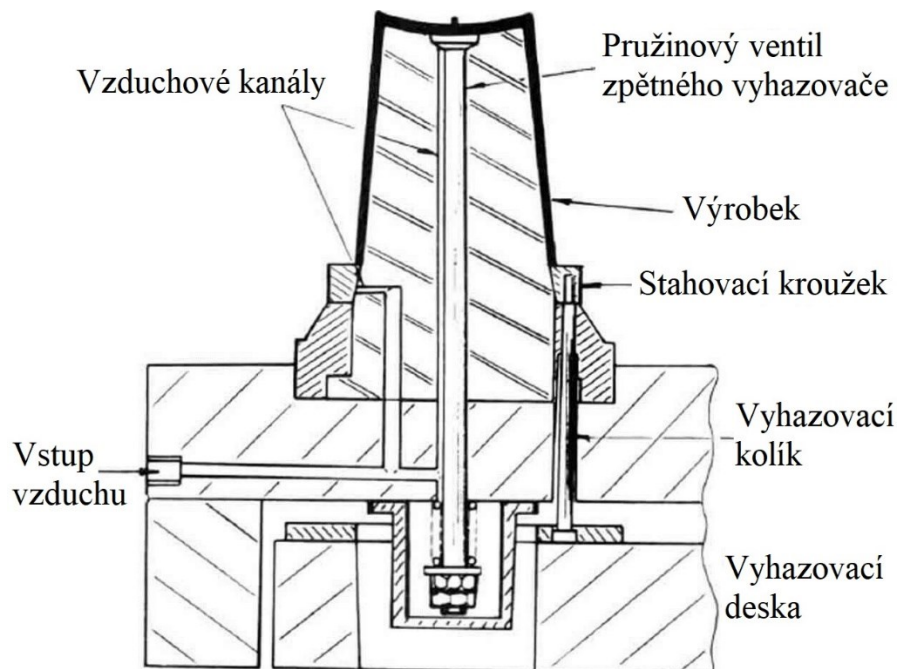


Obr. 31: Hydraulické vyhadzování. [24]

4.6.3 Pneumatické vyhazování

Pro slabostěnné výrobky a výrobky větších rozměrů ve tvaru nádob, které potřebují zavzdušnění, aby nedošlo k jejich deformaci je vhodnou volbou pneumatické vyhazování. Tento způsob vyhazování není moc obvyklý, avšak je velmi vhodný pro výše zmíněné výrobky. Použití mechanického vyhazování u hlubokého dílu je nevhodné, protože by došlo ke zvětšení délky formy z důvodu velkého zdvihu. [13]

Použitím pneumatického vyhazování dojde k oddělení výrobku od tvárníku pomocí stlačeného vzduchu, a to bez vzniku stop po vyhazovači. Prívod vzduchu do dutiny formy je proveden přes jehlový nebo talířový ventil případně různými kolíky. Otevření ventilu probíhá za pomoci tlaku vzduchu a uzavření pružinou. Vzduchové vyhazování je ovládáno vstřikovacím strojem nebo mechanismem formy. Pro vyhození výrobku musí být dostatečně velký tlak vzduchu a zároveň nesmí znečistit pracovní prostředí. Na přesnost výroby formy v oblasti vedení vzduchu jsou kladeny velké nároky. U automatických forem je možné použít kombinace různých vyhazovacích systémů (mechanické nebo mechanické a pneumatické). [13]



Obr. 32: Pneumatické vyhazování. [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavní cíle diplomové práce jsou:

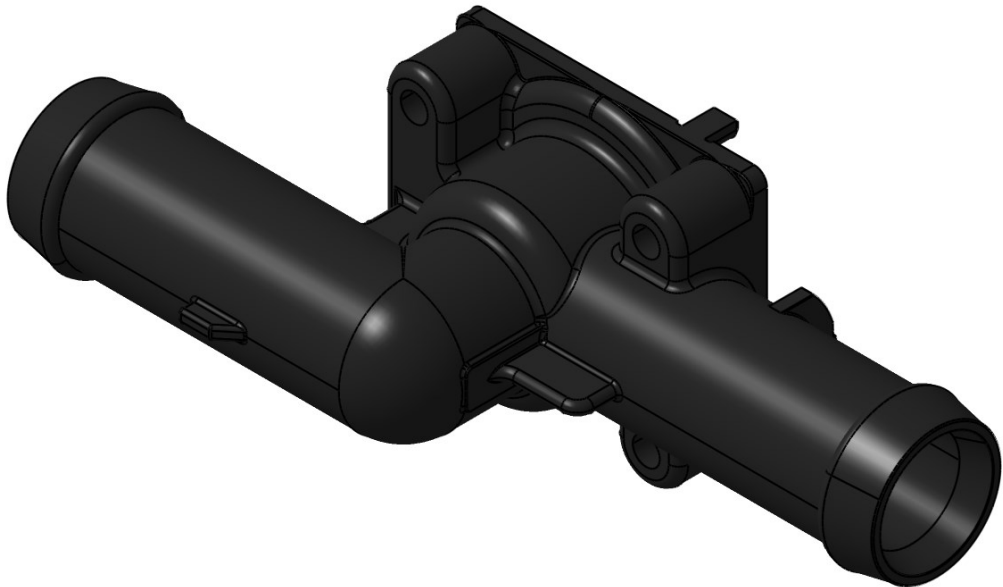
- Vypracovat literární studii pro dané téma
- provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti
- navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl
- nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s výkresy a kusovníkem
- provést analýzu procesu vstříkování

V teoretické části je rozebrána problematika technologie vstříkování. V této části jsou dále popisovány zásady pro konstrukci vstříkovací formy a vstříkovaného dílu, vstříkované materiály a seznámení se vstříkovacím procesem.

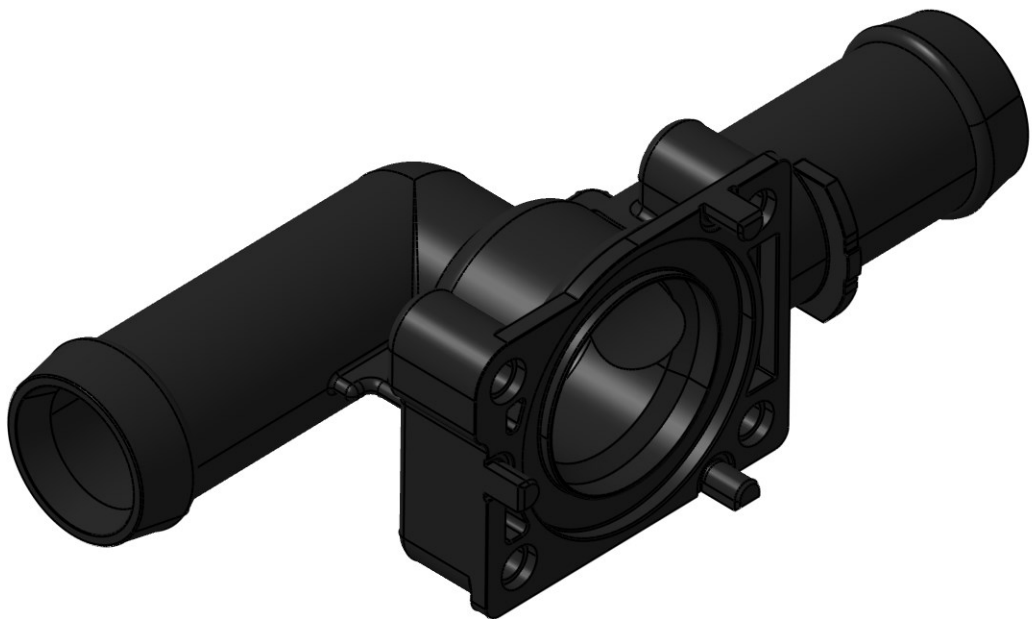
Úkolem praktické části bylo vytvořit model plastového dílu a navrhnout nástroj pro jeho výrobu s tokovými analýzami a dokumentací. Tvorba 3D modelu plastového dílu vychází z již vyrobeného dílu. Pro konstrukci a tvorbu výkresové dokumentace byl použit software CATIA V5R19, do které byly vkládány normalizované díly z katalogů firem HASCO a MEUSBURGER. V závěru práce jsou vyobrazené výsledky z analýzy pomocí softwaru Autodesk Moldflow 2016.

6 KONSTRUKCE PLASTOVÉHO DÍLU

Vstříkovaný díl tvoří součást palivového systému pro automobily. Jedná se o potrubí, které dopravuje palivo. Konstrukce dílu vychází z již vyrobeného dílu poskytnutého vedoucím práce. Díl byl vymodelován v programu CATIA V5R19.



Obr. 33: Model výrobku – pohled 1.



Obr. 34: Model výrobku – pohled 2.

7 VOLBA MATERIÁLU

Volba byla provedena dle reálně používaného materiálu pro tyto účely. Jedná se o materiál polyamid 6 plnění 30 % skleněných vláken, a můžeme ho najít pod označením TECHNYL C 216 V 30 od výrobce RHODIA ENGINEERING PLASTICS.

VLASTNOSTI	NORMA	JEDNOTKA	HODNOTA	
			RH 0 (%)	RH 50 (%)
Fyzikální				
Hustota	ISO 1183-A	g/cm ³	1,35	-
Absorpce vlhkosti (24 h)	23°C ISO 62	%	0,95	-
Smrštění ve formě, podélné	ISO 294-4	%	0,3	-
Smrštění ve formě, příčné	ISO 294-4	%	0,35	-
Tepelné				
Bod tání (DSC)	ISO 3146-C	°C	222	-
Koef. lineár. roztažnosti	23-85 °C ISO 11359	10 ⁻⁵ K ⁻¹	3,2	-
Teplota průhybu při zatížení	0,45 MPa ISO 75-2	°C	217	-
Teplota průhybu při zatížení	1,80 MPa ISO 75-2	°C	205	-
Mechanické				
Pevnost v tahu při přetržení	ISO 527-1A	MPa	190	110
Tažnost při přetržení	ISO 527-1A	%	3,8	4,5
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1A	MPa	9 600	6 200
Napětí v ohybu (max.)	ISO 178	MPa	280	170
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	9 500	5 500
Rázová houževnatost Charpy	23°C ISO 179/1eU	kJ/m ²	100	108
Vrub. houževnatost Charpy	23°C ISO 179/1eA	kJ/m ²	15	31,5
Vrub. houževnatost Izod	23°C ISO 180/1A	kJ/m ²	14	24
Tvrdost Rockwell A	ISO 2039-2	stupnice R	122	113
Elektrické				
Odolnost plaz. proudům	IEC 112	V	550	475
Test žhavou smyčkou	1,6 mm IEC 695-2-1	°C	650	-
Hořlavost				
Třída hořlavosti	1,6 mm UL 94		HB	-

Obr. 35: Vlastnosti materiálu TECHNYL C 216 V30. [26]

Thermoplastics material ×

Microcellular Properties		Optical Properties		Environmental Impact		Quality Indicators		Crystallization Morphology		Stress - Strain		Mechanical Models	
Description	Recommended Processing	Rheological Properties		Thermal Properties		pvT Properties		Mechanical Properties		Shrinkage Properties		Filler Properties	
Mold surface temperature	<input type="text" value="80"/>												
Melt temperature	<input type="text" value="260"/>												
Mold temperature range (recommended)													
Minimum	<input type="text" value="60"/>												
Maximum	<input type="text" value="100"/>												
Melt temperature range (recommended)													
Minimum	<input type="text" value="240"/>												
Maximum	<input type="text" value="280"/>												
Absolute maximum melt temperature	<input type="text" value="300"/>												
Ejection temperature	<input type="text" value="170"/>												
View test information for ejection temperature...													
Maximum shear stress	<input type="text" value="0.5"/>												
Maximum shear rate	<input type="text" value="60000"/>												
Name: <input type="text" value="Technyl C 216 V30 Natural (REP tested) : Rhodia Engineering Plastics"/>													
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Nápověda"/>													

Obr. 36: Procesní parametry materiálu TECHNYL C 216 V30.

8 VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Volba vstřikovacího stroje byla provedena dle rozměrů formy, vstřikovacího tlaku, uzavírací síly a objemu výstřiku. Pro zadaná kritéria byl vybrán stroj ARBURG ALLROUNDER 720 S – 3000 – 1300 (55), jehož parametry byly porovnány s námi požadovanými viz tabulka (Tab. 2).



Obr. 37: Arburg allrounder 720 S.

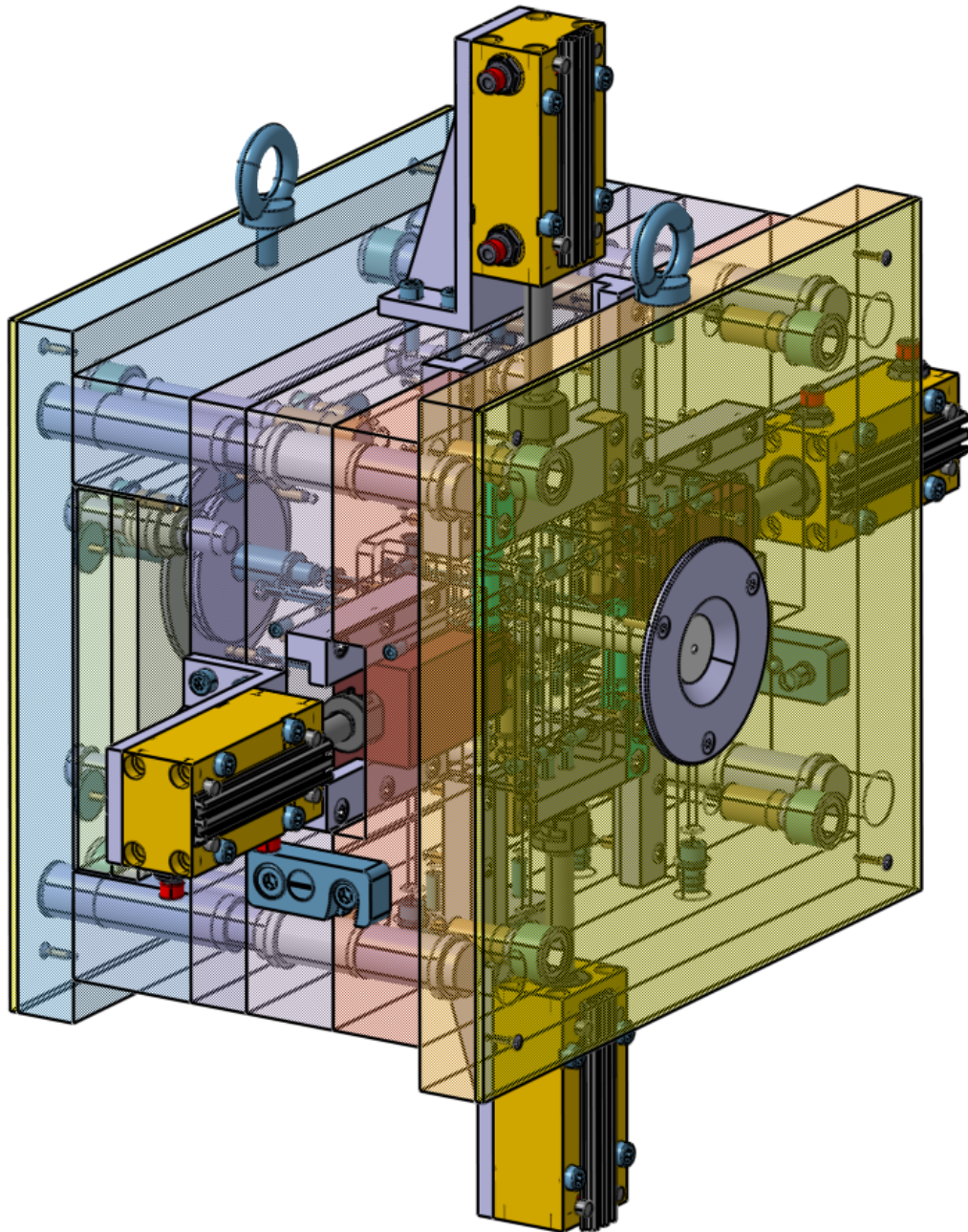
Tab. 2: Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.

Parametry	Požadované parametry	Parametry stroje
Uzavírací síla	600 kN	3000 kN
Objem materiálu	72 cm ³	558 cm ³
Středící kroužek	Ø 160H7 mm	Ø 160H7 mm
* Rozměr formy	780 x 680 mm	720 x 720 mm
Vstřikovací tlak	74 MPa	238 MPa

* Rozměr formy včetně hydraulických tahačů.

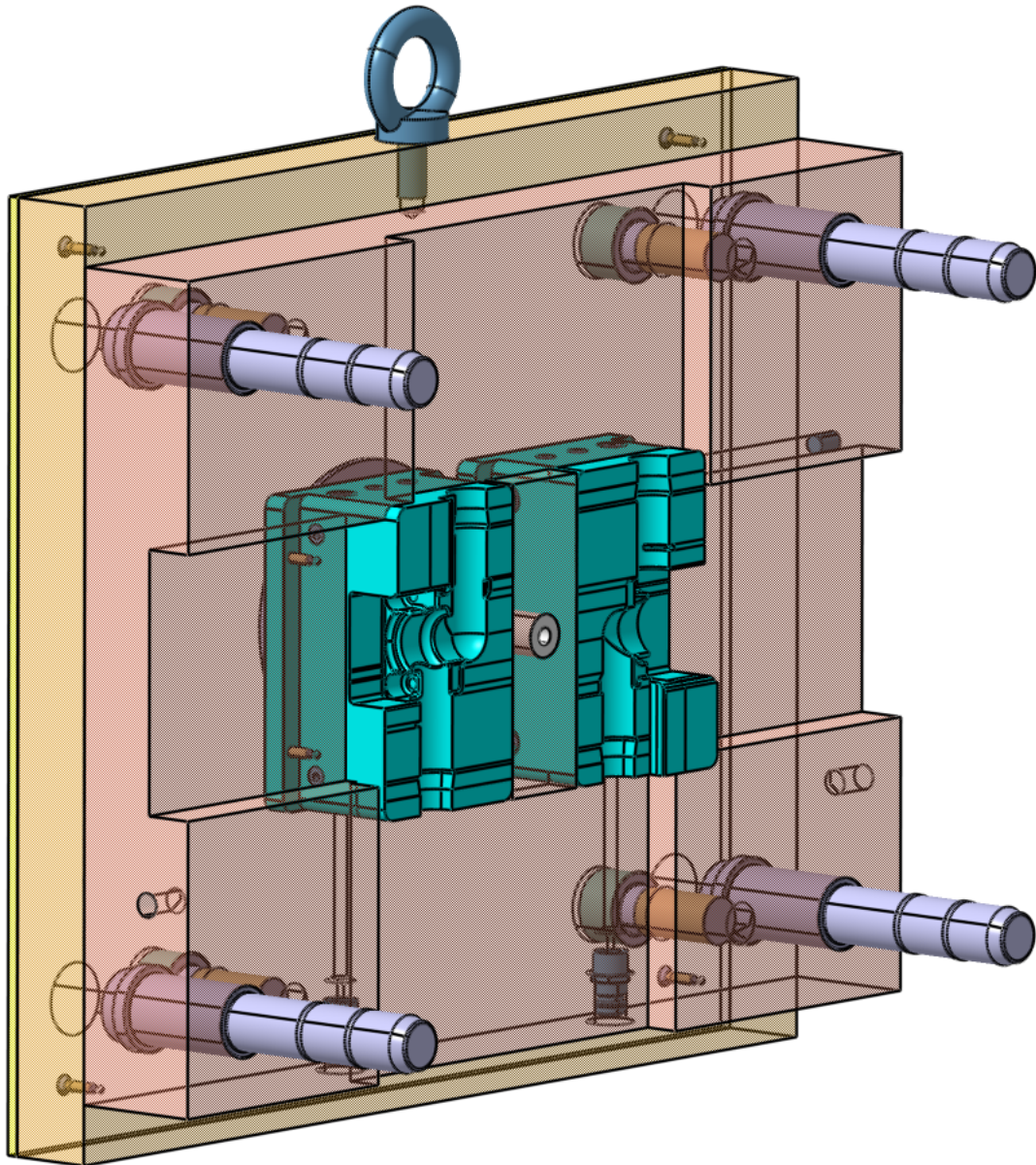
9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh vstřikovací formy byl proveden v programu CATIA V5R19 v modulech Mold Tooling Design, Assembly Design, Part Design a Core and Cavity Design. Do formy byly vkládány normálie od firmy HASCO a MEUSBURGER. Samotná konstrukce formy je tvořena třemi částmi, a to pravou (pevnou) a levou (pohyblivou) stranou formy a vyhazovacím systémem. Vstřikovací forma má rozměry 446 x 396 x 306 mm (š x v x h).



Obr. 38: Vstřikovací forma.

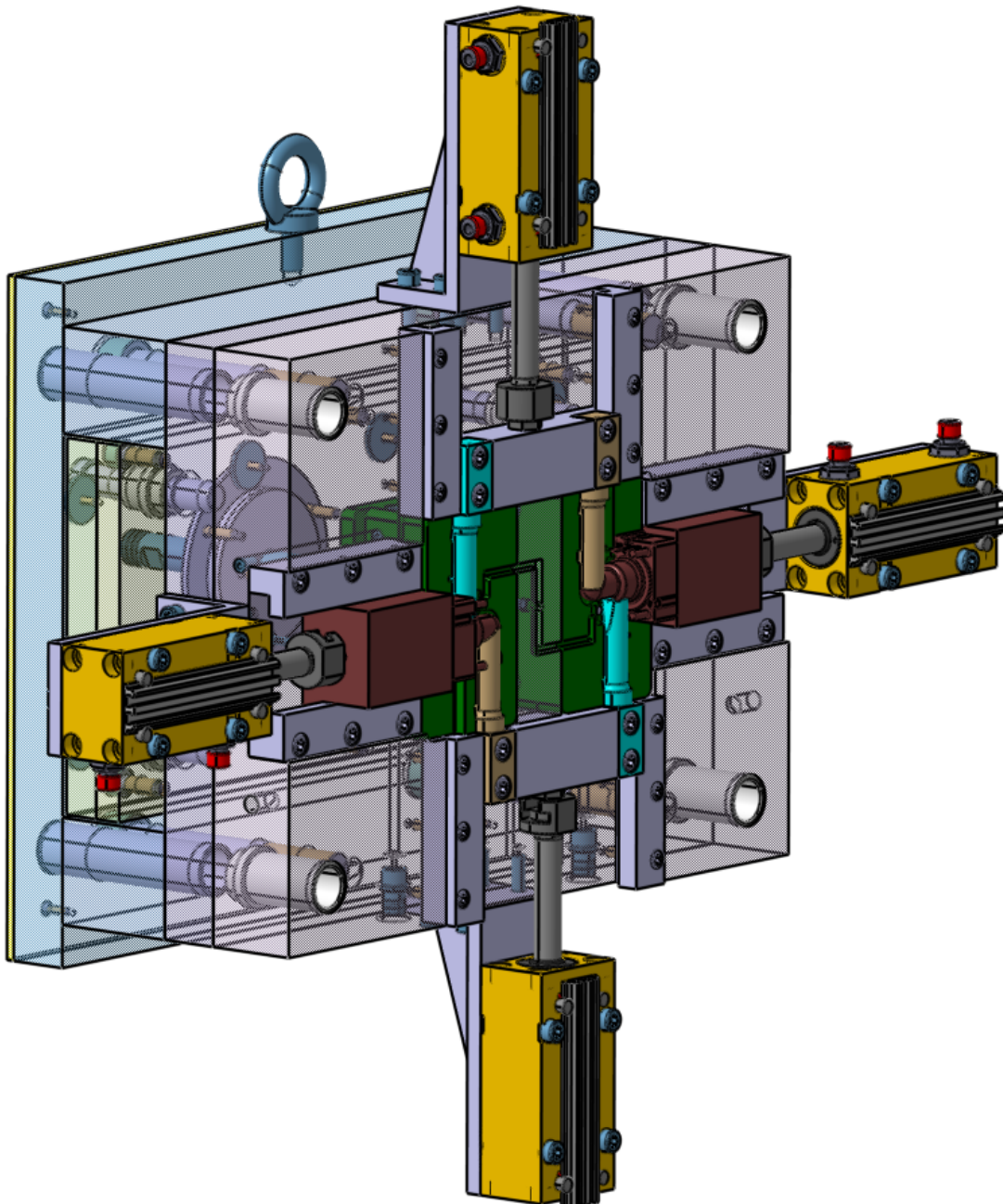
Pravá část formy se skládá ze třech desek – izolační deska, upínací a kotevní deska. Izolační deska nám odděluje formu od rozeřtáté vstřikovací jednotky. V kotevní desce se nachází vtoková vložka a dvě tvarové vložky. Desky jsou k sobě sešroubovány čtyřmi šrouby M20 a jsou opatřeny čtyřmi vodícími čepy, které zajišťují přesný pohyb formy.



Obr. 39: Pravá část formy.

Levá část formy se skládá z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrných desek, podpěrné a kotevní desky. V levé části je i vyhazovací systém, který tvoří dvě vyhazovací desky. V kotevní desce jsou umístěny tvarové vložky a je zde rozveden vtokový kanál. Kotevní deska dále slouží k umístění posuvných jader umožňující vytvoření dutin ve výrobku. Na bocích formy jsou dva hydraulické tahače upevněné na držáku, které vytahují hlavní

jádro z výrobku. Jádra se posunují ve vodičích, které zajišťují přesné navedení jader do tvarové části. Ze spodní a horní strany jsou opět hydraulické tahače, které tahají jednodušší válcová jádra. Na každý tahač jsou připojeny dvě jádra, která se pohybují ve vodičích. Celá část formy je sešroubována čtyřmi šrouby M20, a desky jsou vůči sobě vystředěny čtyřmi středícími trubkami.



Obr. 40: Levá část formy.

9.1 Vtokový systém

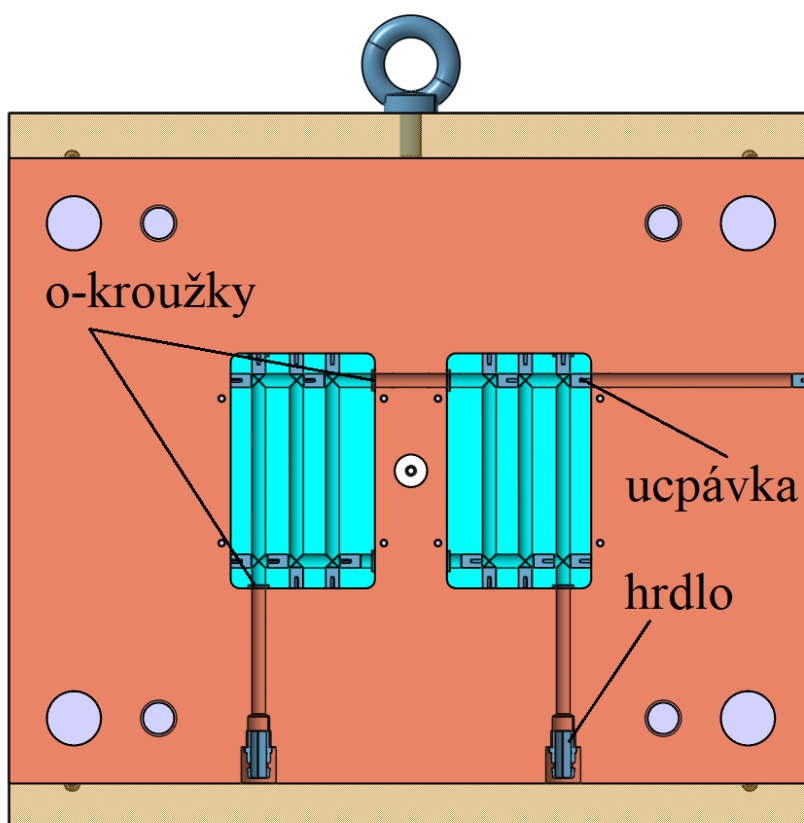
Vtokový systém se skládá z vtokové vložky, rozvodného vtokového kanálu a přídržovače vtoku. Roztavený polymer teče ze vstřikovací jednotky stroje vtokovou vložkou přes rozvodné kanály a vtokové ústí až do dutiny formy. Vtoková vložka má kuželový tvar i s vtokovým ústím, pouze rozvodné kanály jsou lichoběžníkové. Dále je vtokový systém vybaven přídržovačem vtoku, který slouží k udržení vtokového systému na levé pohyblivé části formy.



Obr. 41: Vtokový systém.

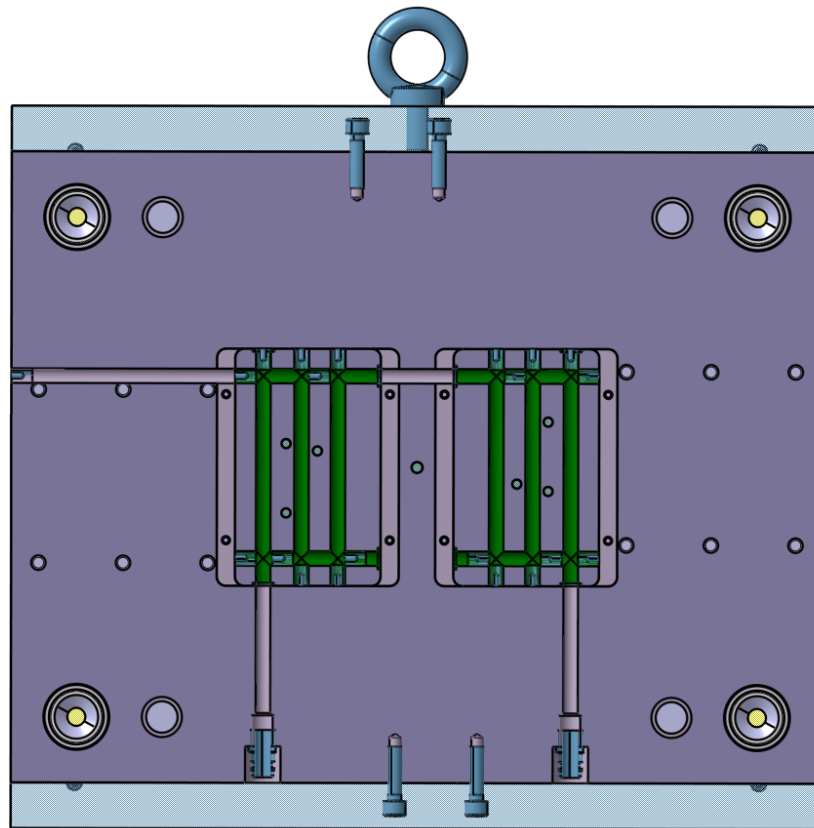
9.2 Temperační systém

K temperaci formy slouží dva temperační okruhy, a to v levé a v pravé části formy. Temperace je prováděna převážně v tvarových vložkách, z důvodu nedostatku místa. Tvarové vložky jsou utěsněny o-kroužky, které zajišťují těsnost spojení tvarové vložky s kotevní deskou. Díry temperačního systému jsou vrtané o průměru 8 mm a v daných místech jsou umístěny ucpávky.



Obr. 42: Pohled na chladící kanálky – pravá část.

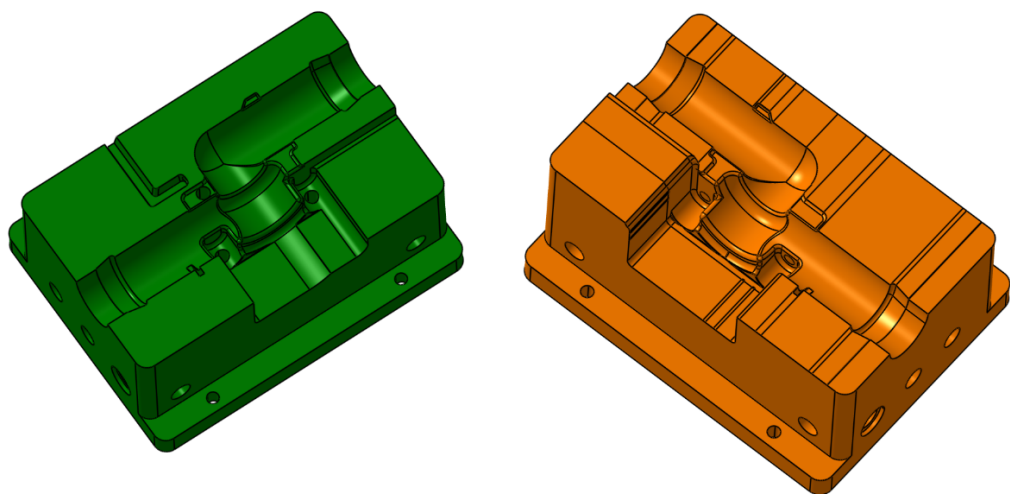
Podobně jako v pravé části formy, jsou temperační kanálky navrženy i v levé části formy pouze ve tvarových vložkách. Tvarové vložky jsou vsazeny do kotevní desky a kanálky jsou utěsněny o-kroužky. Z tvarových desek vede v kotevní desce kanál, který vyústí uje na straně formy. Do vyústění kanálků jsou našroubovány přípojovací hrdla.



Obr. 43: Pohled na chladicí kanálky – levá část.

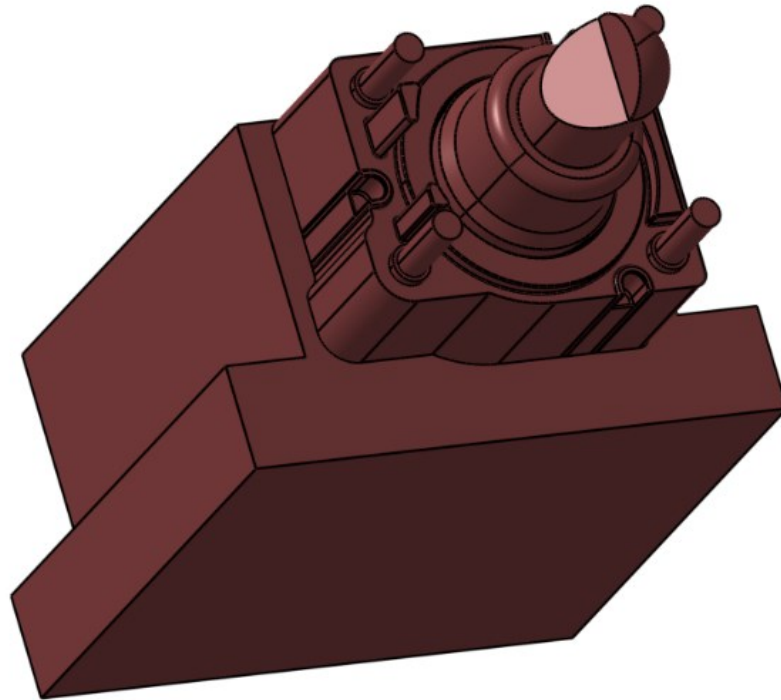
9.3 Tvarové části formy

Tvarové části jsou navrhnuty jako samostatné vložky, které jsou vloženy ze zadní strany desky a uchyceny pomocí čtyř šroubků. Tvárník obsahuje také část vtokového kanálu a díry pro vyhazovače.



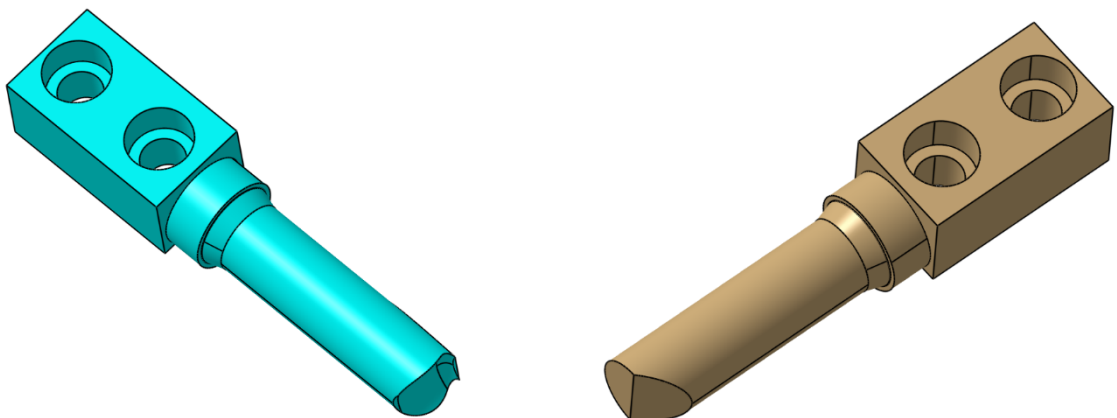
Obr. 44: Tvárník (vlevo) a tvárnice (vpravo).

Další položkou je hlavní jádro, které můžeme vidět na obrázku (Obr. 45). Jádro se pohybuje ve vodítku, vodící část má tvar písmena „T“. Ze zadní strany jádra je závitová díra pro připojení jádra k hydraulickému tahači, který zajišťuje lineární pohyb jádra.



Obr. 45: Hlavní jádro.

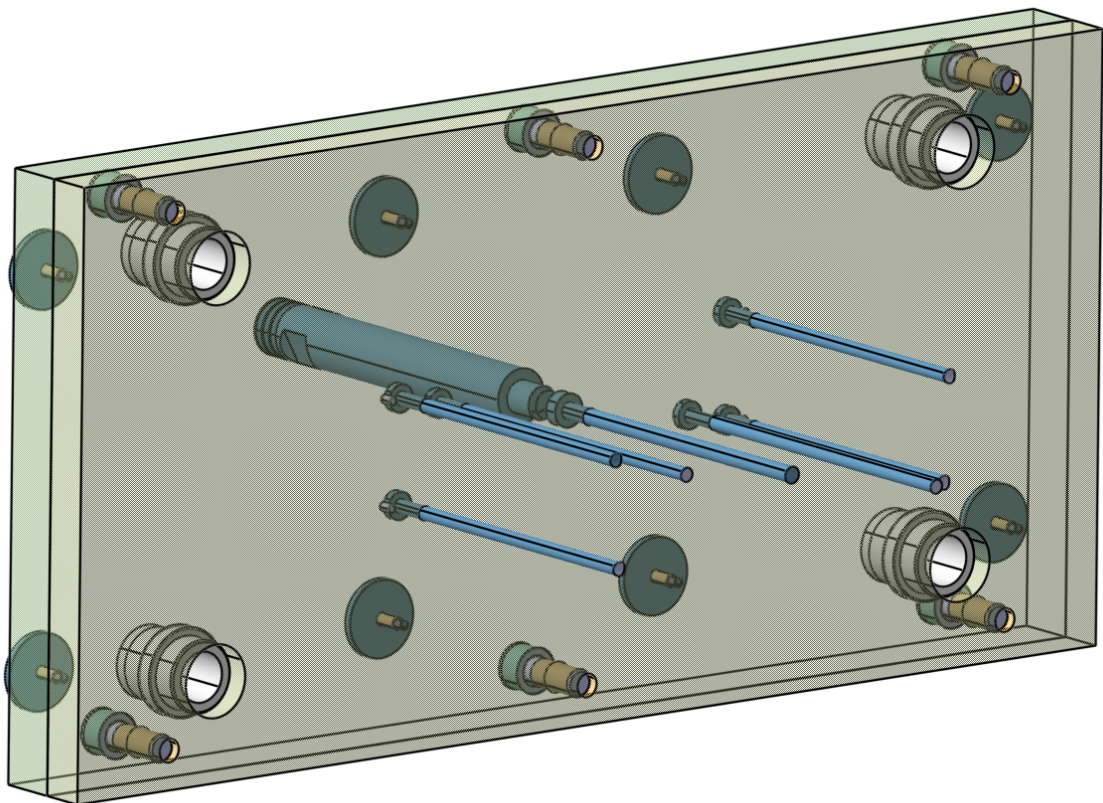
Boční jádra jsou připevněna pomocí dvou šroubů k vodící desce, která se opět pohybuje ve vodítcích. Celá deska je ovládána jedním hydraulickým tahačem, který je připojen k desce pomocí spojky.



Obr. 46: Boční jádra – vlevo spodní jádro, vpravo horní jádro.

9.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výrobku a zbytku vtoku z dutiny formy. Výrobek je vyhazován pomocí třech válcových vyhazovačů o průměru 5 mm a zbytek vtokového systému je vyhozen pomocí válcového vyhazovače o průměru 6 mm. Vyhazovací desky jsou k sobě sešroubovány šesti šrouby M14 a opatřeny osmi dosedovými podložkami. Vyhazovací systém se pohybuje po čtyřech vodících čepích a je ovládán pomocí táhla, které je připevněno k vyhazovací jednotce stroje.



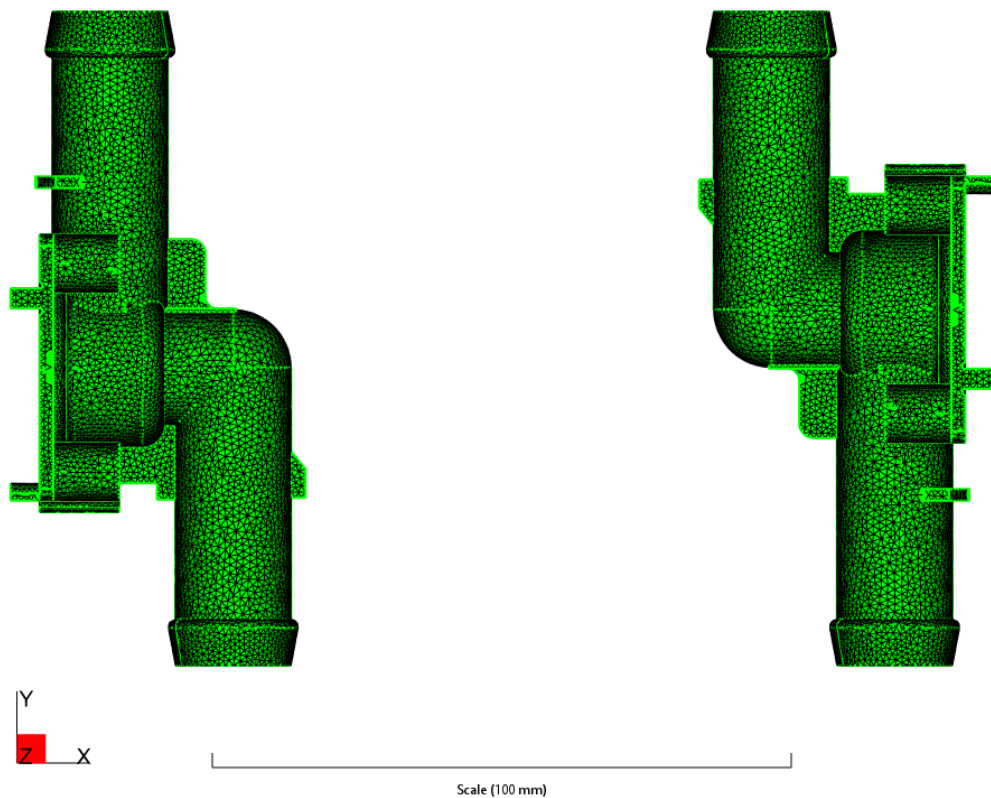
Obr. 47: Vyhazovací systém formy.

10 VÝSLEDKY ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW

Analýza byla prováděna v programu AUTODESK MOLDFLOW.

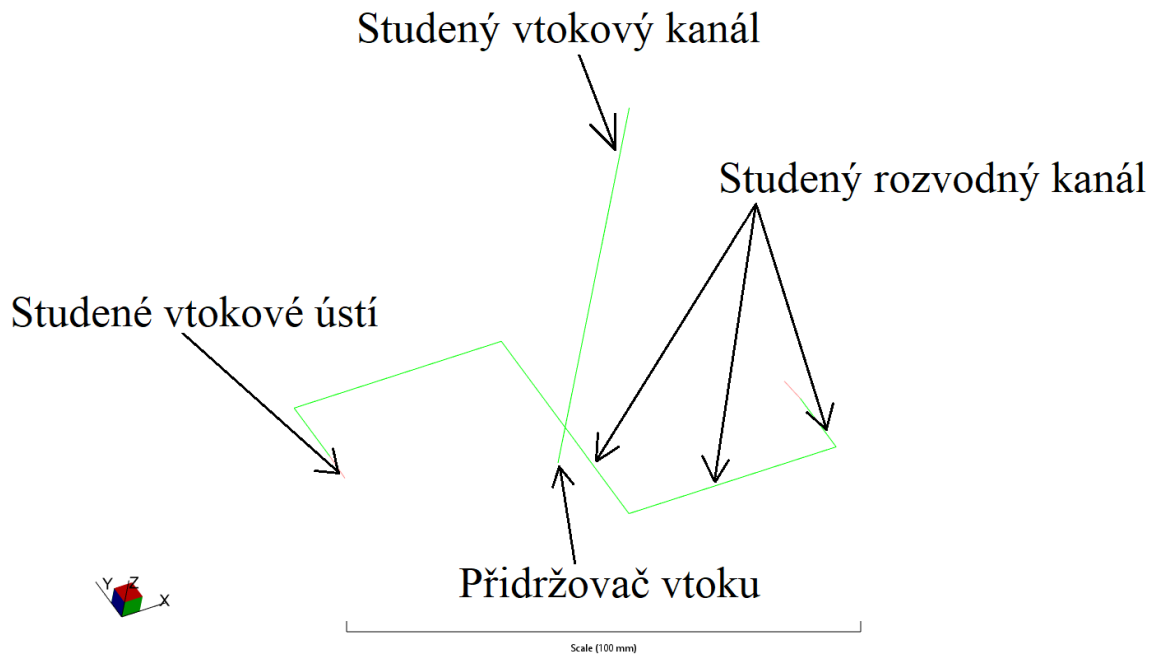
10.1 Nastavení analýzy

V první řadě byly vloženy modely a umístěny stejně jako ve formě. Modely byly vysítovány pomocí sítě typu „Dual Domain“ s délkou hrany 1,2 mm a následně byla síť upravena tak, aby splňovala dostatečnou kvalitu potřebnou pro výpočet.



Obr. 48: Vysítované modely výrobku.

Poté byla vložena trajektorie vtokového systému, která byla propojena s vloženými modely. Dále byly definovány trajektorie vtokového systému viz obrázek (Obr. 49), kde byl zvolen typ trajektorie a rozměry průřezu.

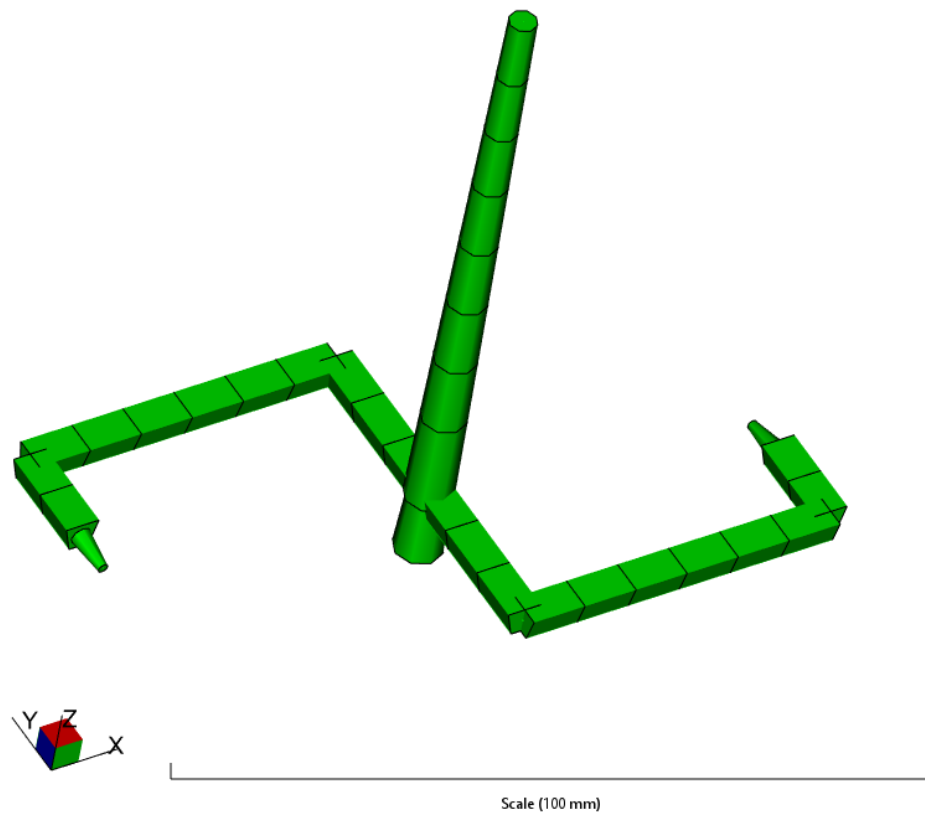


Obr. 49: Definice trajektorie vtokového systému.

Tab. 3: Rozměry vtokového systému.

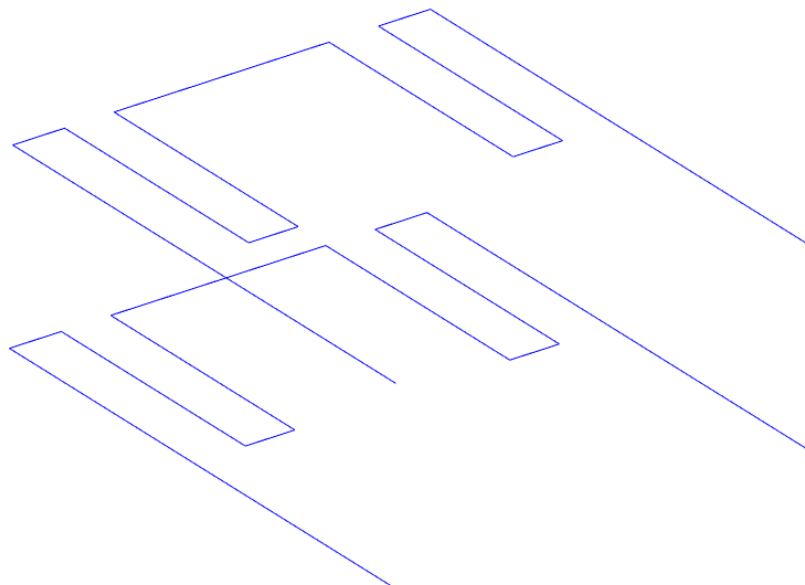
Název	Typ geometrie	Rozměr
Studený vtokový kanál	Kruhová (komolý kužel)	Ø4 – 6 mm
Přidržovač vtoku	Kruhová (komolý kužel)	Ø6 – Ø7 mm
Studený rozvodný kanál	Lichoběžníková	5 x 3 x 4 mm
Studené vtokové ústí	Kruhová (komolý kužel)	Ø3 – Ø 1,5 mm

Trajektorie vtokového systému byla vysítována pomocí „beam elementů“ a byl zkontrolován parametr L/D , který by se měl pohybovat kolem hodnoty 2,5.



Obr. 50: Vysíťovaný vtokový systém.

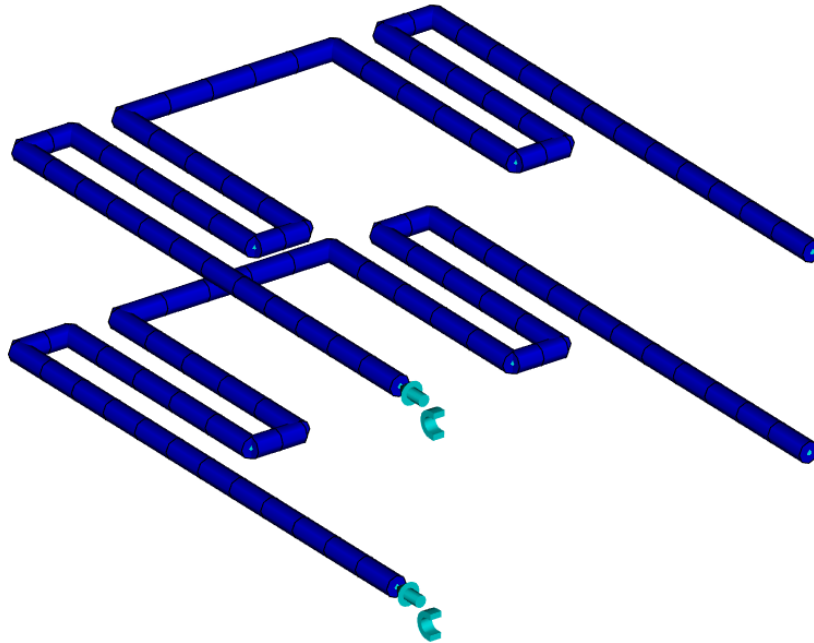
Další část tvoří temperační systém, který byl vložen taky jako trajektorie, u které bylo opět potřeba definovat typ trajektorie a rozměr. Poté byla trajektorie opět vysíťována a zkontrolován parametr L/D .



Obr. 51: Trajektorie temperace.

Tab. 4: Rozměry temperačního systému.

Název	Typ geometrie	Rozměr
Kanál	Kruhová	Ø8 mm



Obr. 52: Vysíťovaná temperace.

10.1.1 Nastavení temperačního média

Pro temperaci byla zvolena emulze etylenglykolu a vody v poměru 2 : 8. Temperační médium je stejné pro oba okruhy. Vstupní teplota média je 25 °C a kontrola chlazení probíhá pomocí hodnoty Reynoldsova čísla, která činí 10000.

 A screenshot of a software dialog box titled "Coolant inlet". The dialog has a close button (X) in the top right corner. It contains the following fields and controls:

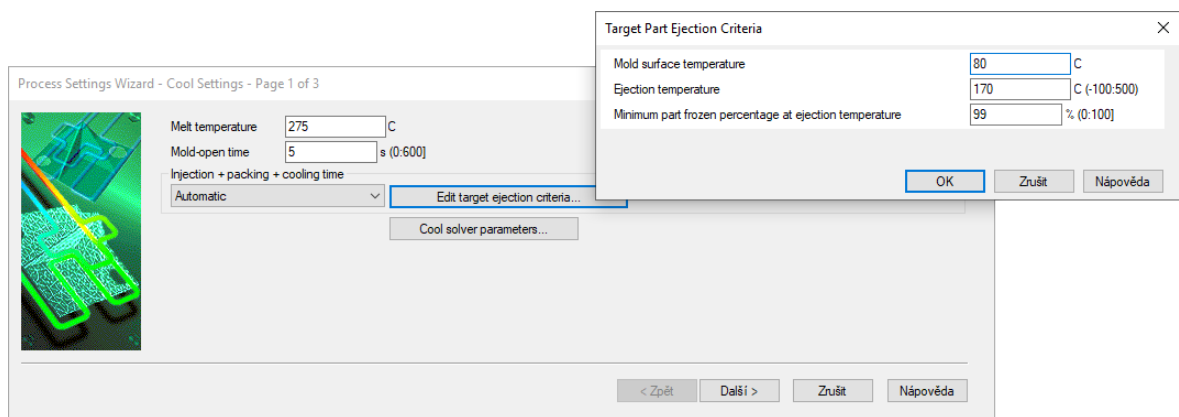
- Coolant:** A dropdown menu showing "Ethylene Glycol/Water 20%-80%", with "Edit..." and "Select..." buttons to its right.
- Coolant control:** A dropdown menu showing "Specified Reynolds number", with "Coolant Reynolds number" set to "10000" and a range "(0:100000)" to its right.
- Coolant inlet temperature:** A text input field containing "25" and a unit dropdown set to "C [-120:500]".
- Name:** A text input field containing "Temperace spodni".

 At the bottom right, there are three buttons: "OK", "Zrušit", and "Nápověda".

Obr. 53: Nastavení temperačního média.

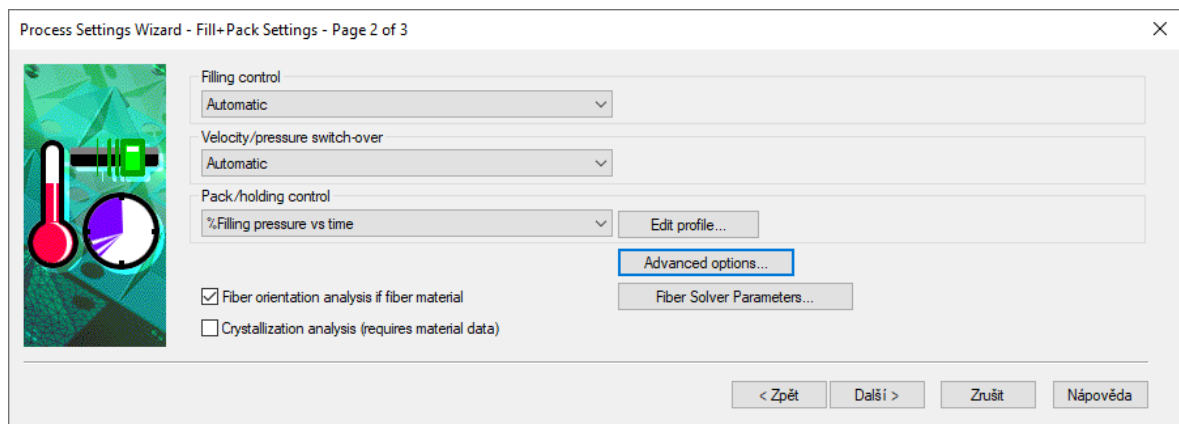
10.1.2 Nastavení procesních podmínek

Nastavení těchto procesních parametrů bylo provedeno v položce Process settings wizard a to nejprve nastavení teploty taveniny (Obr. 54). Kde je možno vidět, že teplota vstřikovaného materiálu (taveniny) je v našem případě 275 °C a doba otevření vstřikovací formy je 5 s. Vstřik, dotlak a čas chlazení je volen automaticky. Cílová kritéria vyhozovací části jsou nastavena tak, že teplota formy je 80 °C, vyhozovací teplota dílce 170 °C a procento zatuhlých vrstev je 99 %.

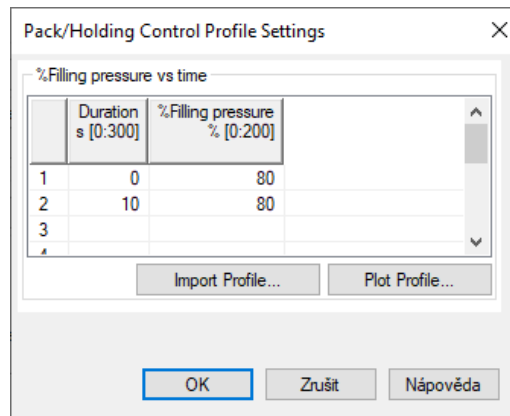


Obr. 54: Nastavení procesních podmínek 1/3.

Následovalo doplnění hodnot pro fázi plnění a dotlaku (Obr. 55), kdy plnění a přepnutí na dotlak bylo nastaveno automaticky. Fáze dotlaku je v našem případě kontrolována podle relativního plnicího tlaku (Obr. 56), kdy každá z procentuálních hodnot představuje na kolik má klesnout tlaková hodnota dotlaku (100 [%] odpovídá maximálnímu vstřikovacímu tlaku) a jednotlivé časy jsou měřeny od konce plnění. Jako poslední je nastavena analýza orientace vláken.

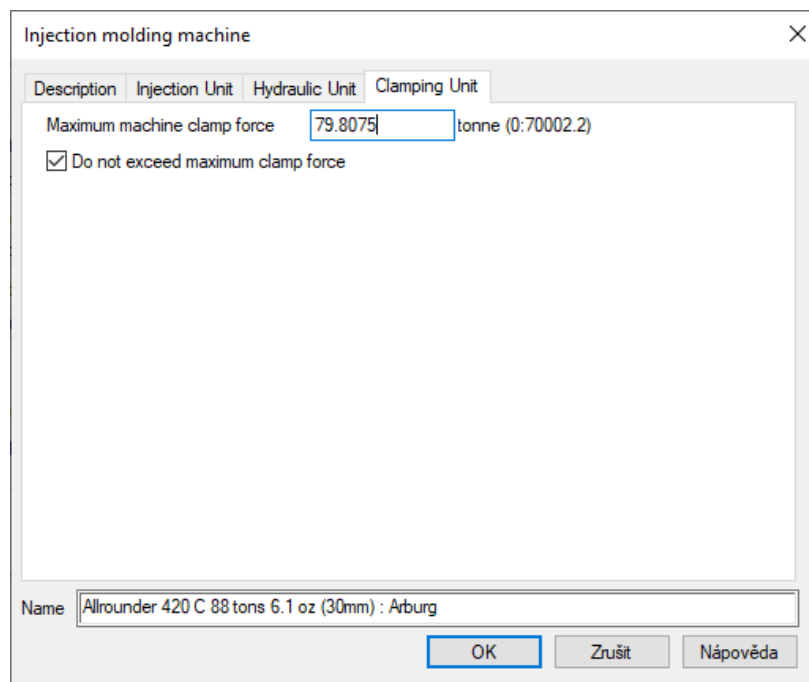


Obr. 55: Nastavení procesních podmínek 2/3.

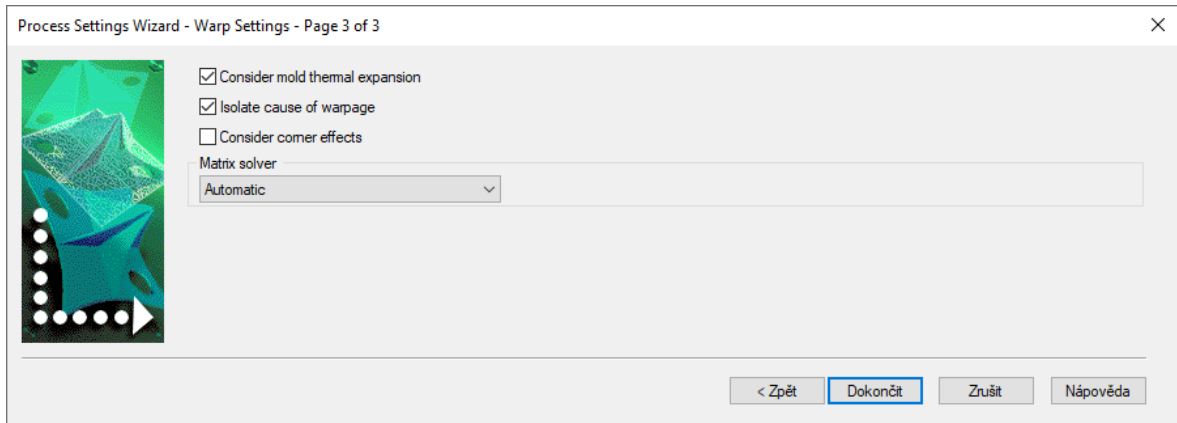


Obr. 56: Nastavení fáze dotlaku.

V poslední záložce nastavování procesních podmínek byl vybrán a definován již zvolený vstřikovací stroj (kapitola 7). Poté došlo k nastavení iteračních kroků a zaškrtnutí položky, aby nebyla překročena maximální uzavírací síla vstřikovacího stroje (Obr. 57). Další položkou v nastavení byl materiál formy, který zůstal defaultní Tool Steel P-20. V posledním kroku nastavení procesních parametrů pak byly zaškrtnuty možnosti sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy a možnost izolovat příčiny deformace (Obr. 58). Výpočtová matice, která slouží pro nastavení výpočtů v programu Autodesk Moldflow byla ponechána na defaultní hodnotě, což znamená automatické nastavení. Jako poslední byl nastaven blok formy, který odpovídá rozměrům skutečné formy.



Obr. 57: Nastavení stroje.

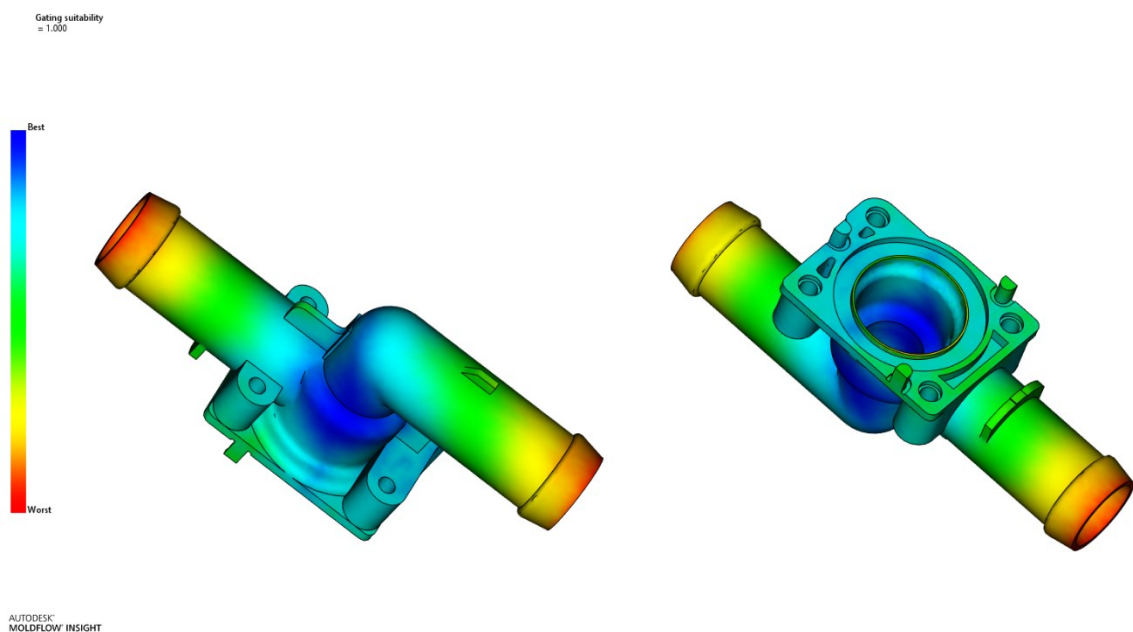


Obr. 58: Nastavení procesních podmínek 3/3.

10.2 Výsledky analýzy

10.2.1 Analýza umístění vtoku

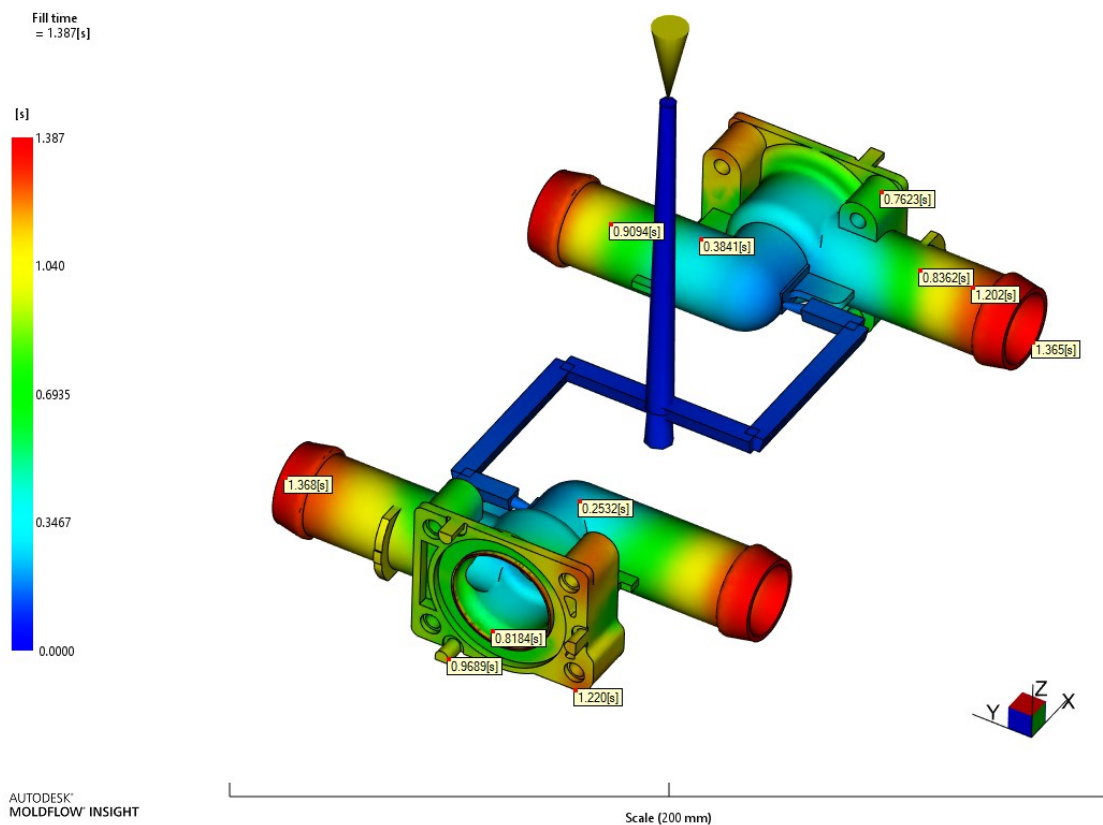
Touto analýzou můžeme zjistit nejvhodnější umístění vtokového ústí. Pro náš výrobek je nejvhodnějším místem umístění vtokového ústí střední část výrobku, která je vybarvena modře a shoduje se s reálným výrobkem. Jako nevhodné umístění vtokového ústí jsou okraje výrobku, které jsou vybarveny červeně.



Obr. 59: Umístění vtoku.

10.2.2 Čas plnění

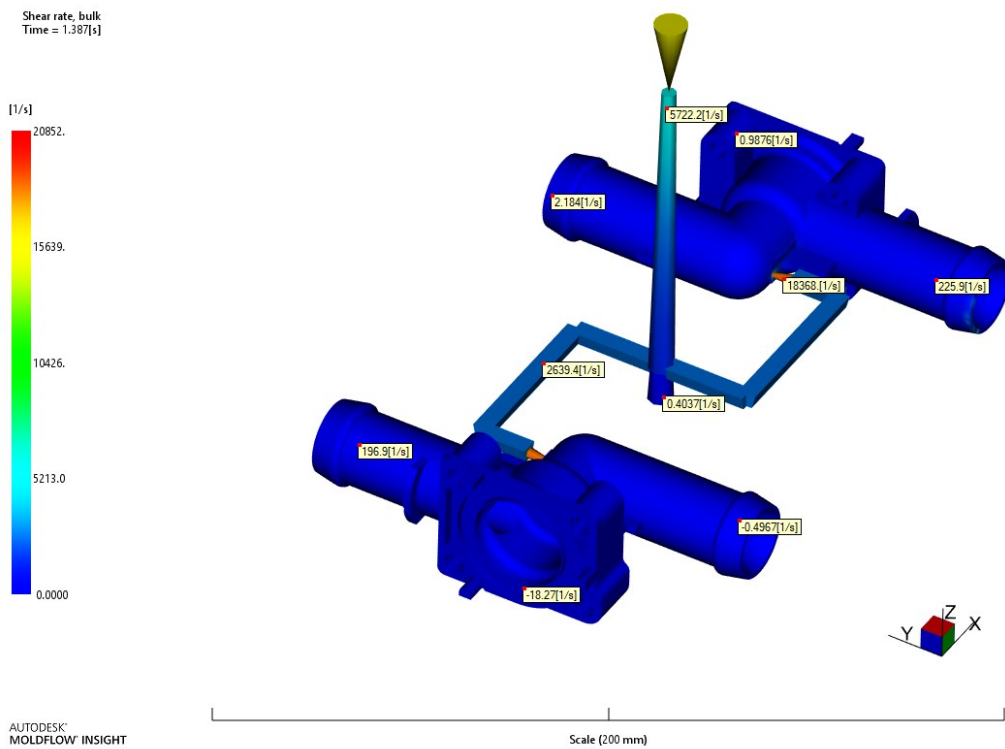
Výsledek analýzy plnění udává čas, kdy vstříkovaný materiál zaplní místo v dutině formy. Celkový vypočtený čas potřebný k zaplnění dutiny formy je 1,4 s. Na obrázku vidíme časový tok taveniny, kdy modře jsou znázorněny místa, která jsou plněna nejdříve, což jsou v našem případě místa okolo vtokového ústí a ve vtokovém systému. Červeně, jsou znázorněna místa, která jsou plněna až jako poslední.



Obr. 60: Čas plnění.

10.2.3 Rychlost smykové deformace

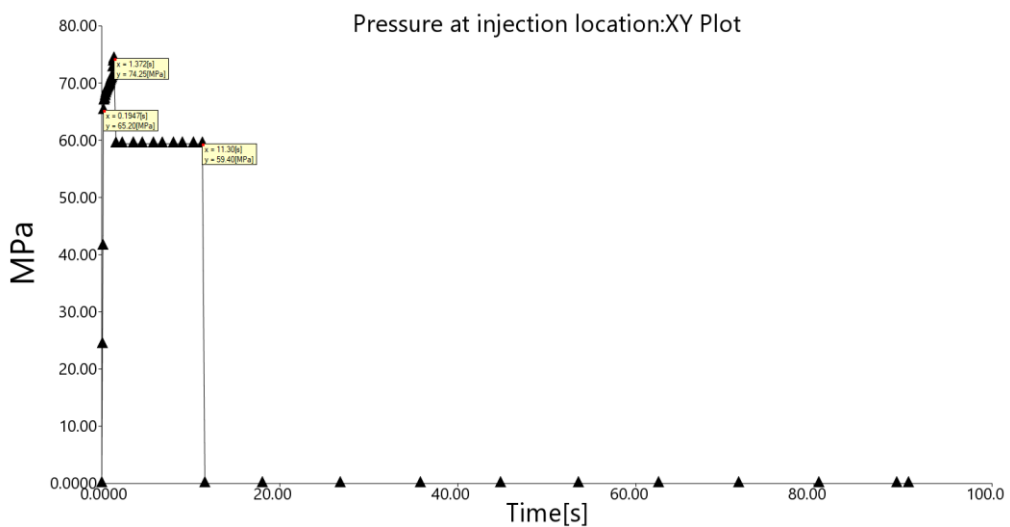
Zobrazené výsledky (Obr. 61) představují hodnoty rychlosti smykové deformace, která charakterizuje intenzitu smykového toku. Pokud by došlo k tomu, že bychom překročili během vstříkování limitní hodnotu, můžeme očekávat problémy tokového chování taveniny a tím pádem i změnu kvality výrobku. Rychlost smykové deformace má maximální hodnotu 20852 s^{-1} v místě vtoku, což splňuje podmínku nepřesáhnout hodnotu 60000 s^{-1} .



Obr. 61: Rychlost smykové deformace.

10.2.4 Průběh tlaku ve vstřikovací formě

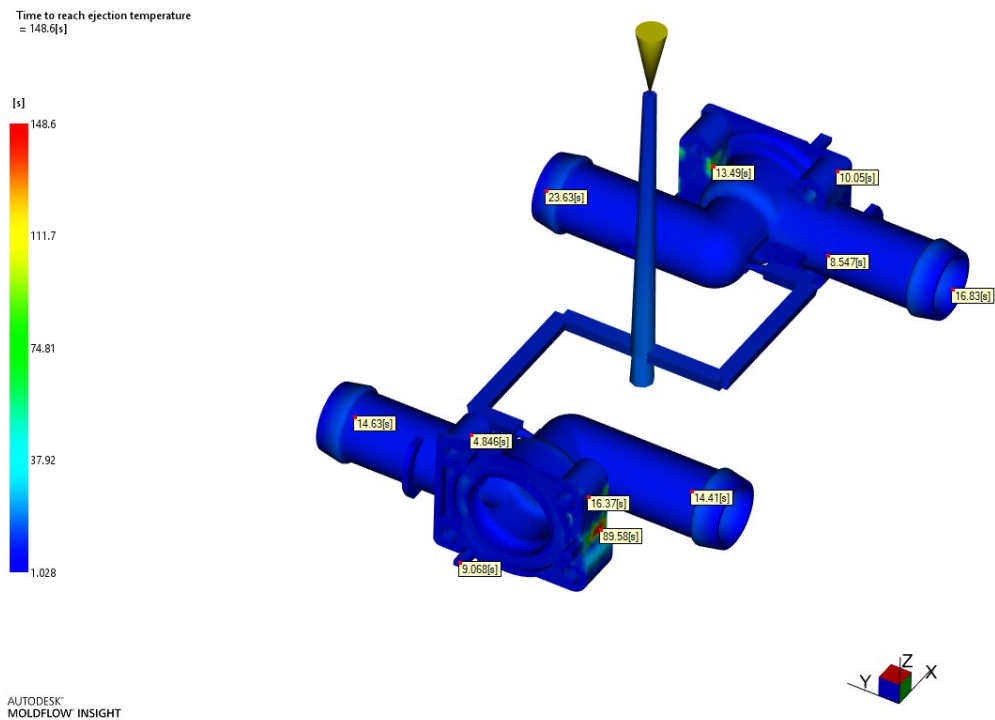
Po vstříknutí taveniny do formy se projeví tzv. tlaková špička, kdy dosáhneme maximální hodnoty tlaku 74,3 MPa. Po fázi vstřikování následuje námi nastavený dotlak. Nakonec tlak klesá až na atmosférickou hodnotu. V našem případě nedochází k překročení maximálního tlaku stroje, který činí 250 MPa.



Obr. 62: Průběh tlaku ve formě.

10.2.5 Čas dosažení vyhazovací teploty

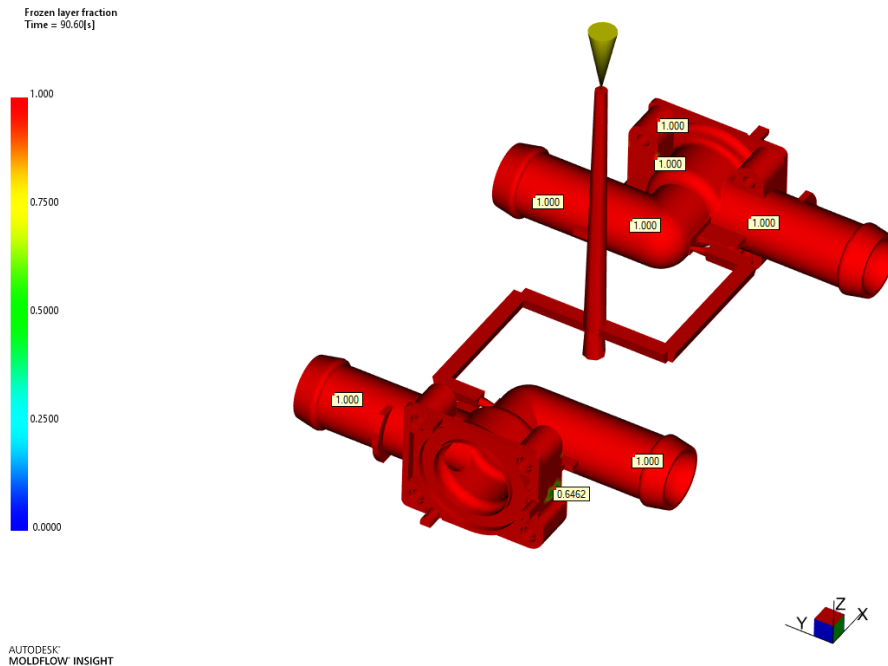
Znázorněné výsledky (Obr. 63) nám udávají informace o době, kdy jednotlivé části výrobku dosáhnou vyhazovací teploty, která činí 170 °C. Vyhazovací čas, jak je možné vidět je přibližně $t = 148,6$ s. Pro snížení této celkové doby bychom museli zvýšit intenzitu chlazení nebo snížit počet zamrzlých vrstev.



Obr. 63: Čas dosažení vyhazovací teploty.

10.2.6 Zamrznuté vrstvy

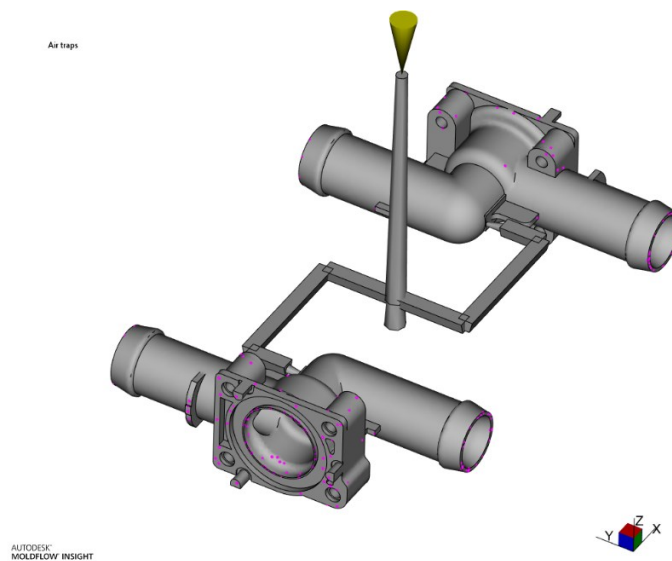
Znázorněný výsledek (Obr. 64) nám ukazuje množství zatuhlých vrstev po konci vstřikovacího cyklu. Z výsledku je patrné, že všechny červené vrstvy, tedy vrstvy zaujímající pozici výrobku a vtokového systému, jsou již zcela zatuhlé a výrobek je možno bez jakýchkoliv obtíží odformovat a vyhodit z dutiny formy.



Obr. 64: Zamrznuté vrstvy.

10.2.7 Vzduchové kapsy

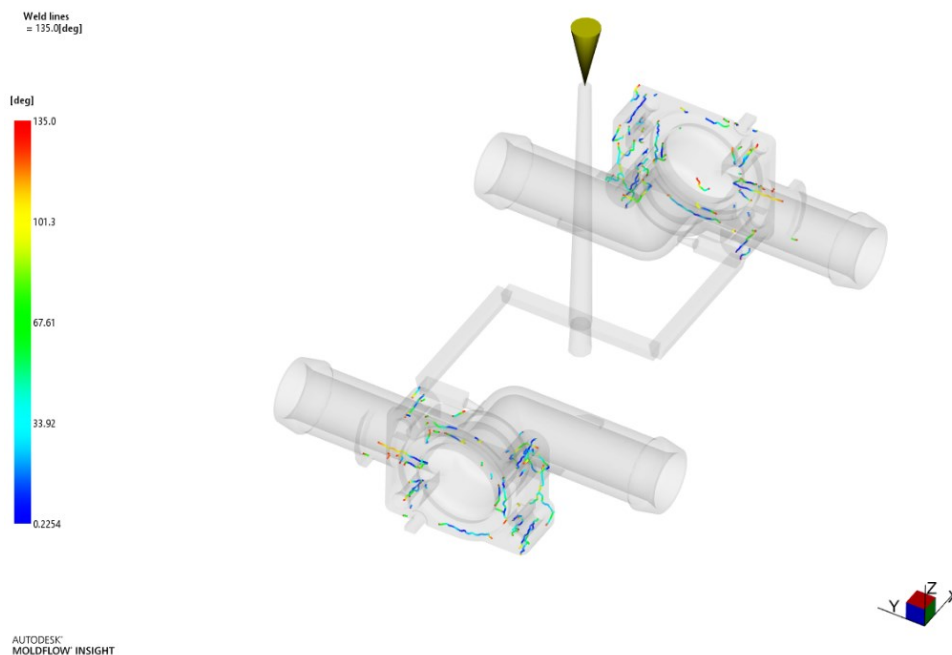
Výsledky analýzy nám zobrazují možná místa, kde by mohlo dojít k nechtěnému uzavření vzduchu, jinak řečeno k tvorbě tzv. vzduchových kapes při vstřikování. To by mohlo zapříčinit vznik vady na výrobku, jak mechanické, tak vzhledové. Jak můžeme vidět, tak uzavřený vzduch se hromadí směrem toku taveniny. V našem případě bude vzduch unikat dělicí rovinou, vůlí kolem tvarových vložek, vůlí kolem jader a vyhazovačů.



Obr. 65: Vzduchové kapsy.

10.2.8 Studené spoje

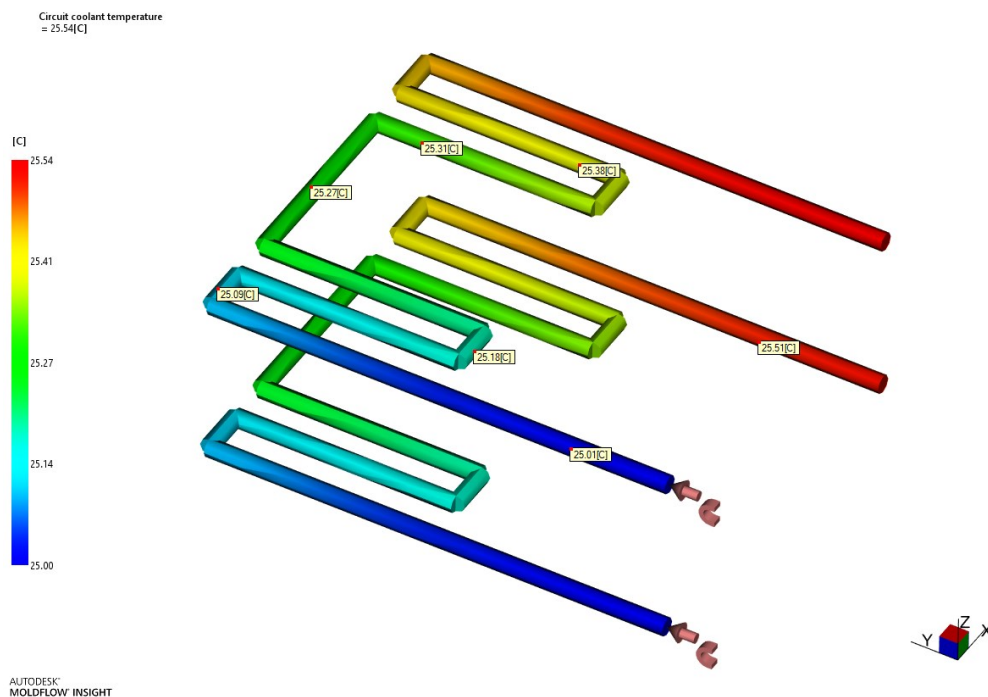
Studené spoje vznikají soutokem dvou a více čel tavenin s nízkou teplotou, nejčastěji při obtékání překážek nebo jader v dutině formy. V takovýchto místech dojde ke zhoršení mechanických vlastností a můžou vzniknout vizuální vady. Výskyt studených spojů podporují i další faktory, jako je nízká teplota formy, nízká teplota taveniny, dlouhá dráha toku taveniny, špatně odvzdušněná forma a další. Vzhledem k tvaru výrobku není možné jejich výskyt úplně eliminovat.



Obr. 66: Studené spoje.

10.2.9 Teplota temperačního média

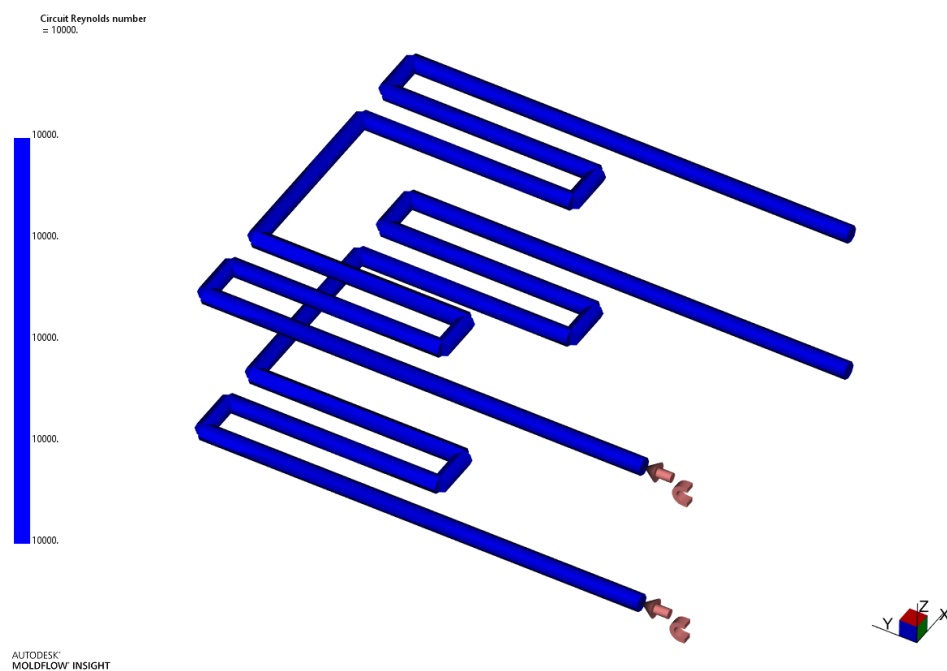
Tento výsledek nám ukazuje průběh teploty v temperačním systému. Teplotní spád temperačního média by dle zásad konstrukce forem neměl překročit hodnotu 5 °C kvůli rovnoměrnému temperačnímu účinku. V našem případě je teplotní spád mezi vstupem a výstupem 0,5 °C, což znamená, že navržený temperační systém je v pořádku.



Obr. 67: Teplota temperačního média.

10.2.10 Hodnota Reynoldsova čísla

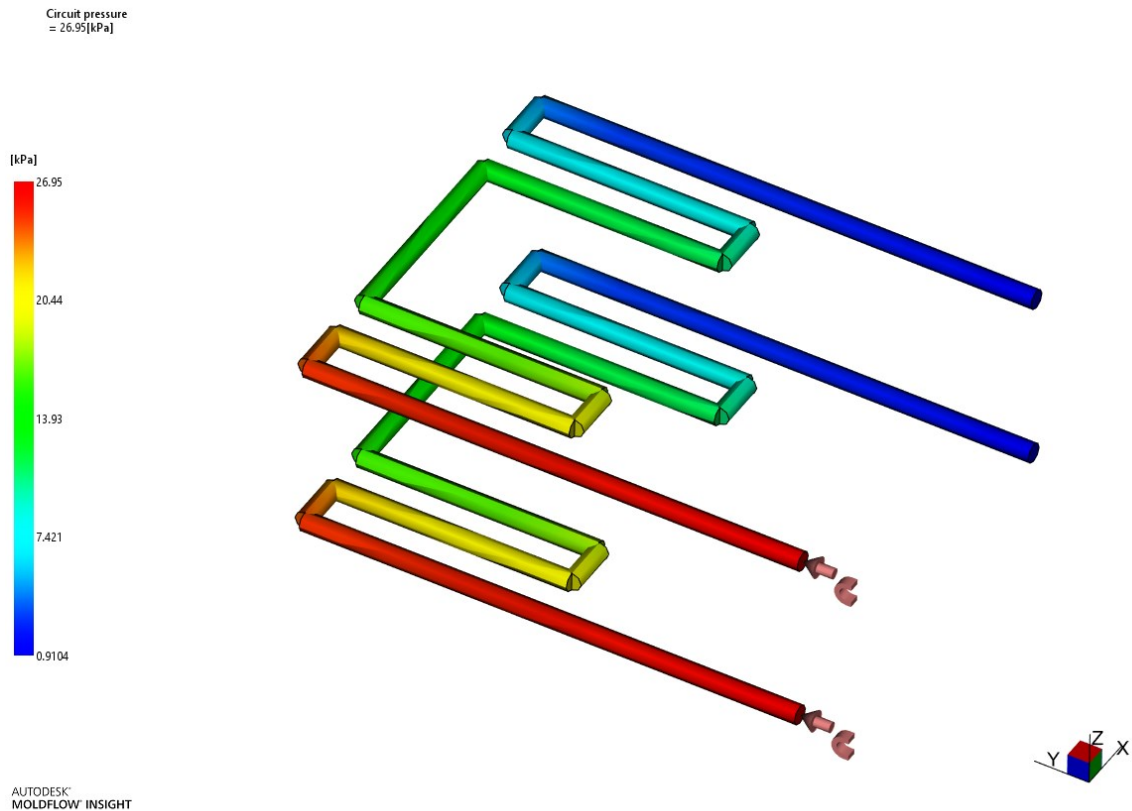
Hodnota Reynoldsova čísla ukazuje představu o druhu proudění temperačního média. Jelikož je v obou okruzích Reynoldsovo číslo rovno 10 000, lze říci, že v obou okruzích dochází k turbulentnímu proudění, což zaručí vyšší přestup tepla než laminární proudění.



Obr. 68: Hodnota Reynoldsova čísla.

10.2.11 Tlak temperačního média

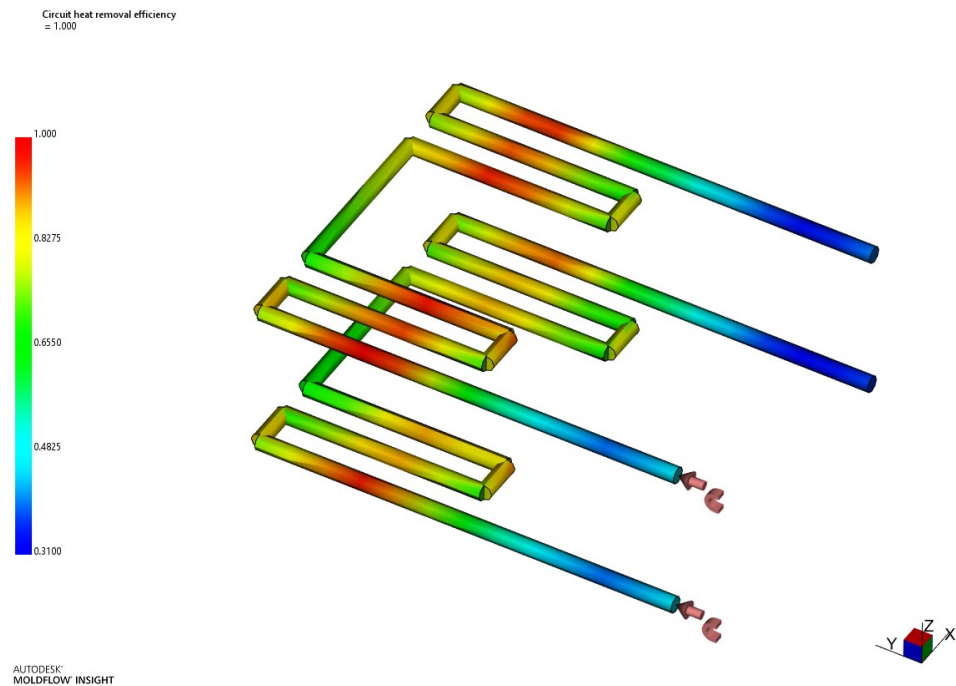
Tento výsledek znázorňuje změnu tlaku v temperačním systému. Tlak má nejvyšší hodnotu na vstupu a směrem k výstupu hodnota tlaku klesá, jelikož temperační kanály jsou různě zakřivené a tlak se tím pádem v temperačních kanálech snižuje. Tlak přirozeně klesá i s rostoucí délkou kanálů. V našem případě tlak na konci neklesá na úplnou nulu, ale dosahuje hodnoty 0,9 kPa, což vyhovuje.



Obr. 69: Tlak temperačního média.

10.2.12 Účinnost odvodu tepla

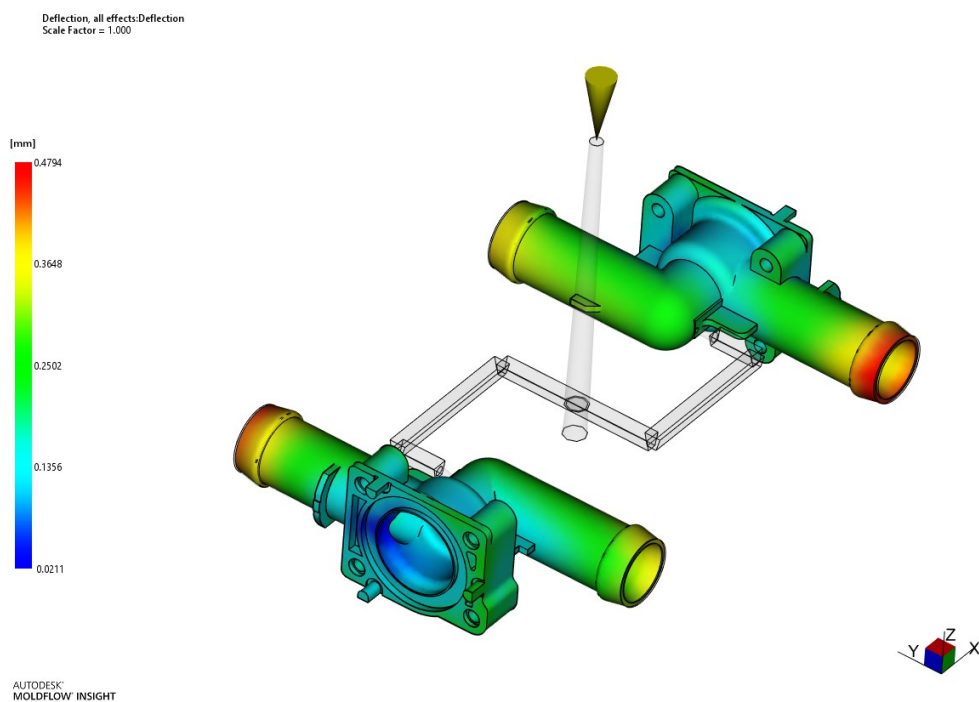
Tato analýza zobrazuje účinnost odvodu tepla pomocí temperačních kanálů. Červená barva s hodnotou 1 ukazuje oblasti s dokonalým odvodem tepla. Nicméně modrá barva ukazuje místa, kde temperační okruh formu ohřívá. Velikost intenzity odvodu tepla závisí na vzdálenosti temperačních kanálů od stěny dutiny formy. Nejintenzivnější odvod tepla je v místech, kde prochází kanálky mezi dutinami.



Obr. 70: Účinnost odvodu tepla.

10.2.13 Celková deformace výrobku

Největší deformace 0,48 mm nám vzniká v oblasti delšího konce výrobku. Velikost deformace by se dala zmírnit použitím vyššího dotlaku. S ohledem na použití výrobku nemá takhle deformace zásadní vliv, protože je výrobek zvětšen oproti finálnímu výrobku.



Obr. 71: Celková deformace výrobku.

ZÁVĚR

V teoretické části je rozebrána problematika technologie vstřikování. V této části jsou dále popisovány zásady pro konstrukci vstřikovací formy a vstřikovaného dílu, vstřikované materiály a seznámení se vstřikovacím procesem.

Úkolem praktické části bylo vytvořit model plastového dílu a navrhnout nástroj pro jeho výrobu s tokovými analýzami a dokumentací. Dle zadání byla navržena vstřikovací forma pro výrobu zadaného dílu. Tato forma byla zadaná jako dvojnásobná se studeným vtokovým systémem. Studený vtokový systém se skládá z lichoběžníkového rozvodného kanálu, kruhového přídržovače vtoku a kruhového vtokového ústí. Jako materiál pro vstřikování byl použit PA6 (TECHNYL C 216 V 30), který se velmi dobře zpracovává za působení tepla a má výborné mechanické vlastnosti. Ke vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj od firmy ARBURG Allrounder 720 S. Uzavírací síla stroje je 3000 kN a průměr šneku 55 mm. Tento stroj byl zvolen s ohledem na objem vstřikovaného materiálu, velikost formy a velikost vstřikovacího tlaku. Polymer o teplotě 260 °C je vstřikován do formy o teplotě povrchu 80°C. Pro temperaci této formy byly použity vrtané chladicí kanály jak ve tvárníku, tak i v tvárnici. Tyto kanály mají průměr 8 mm. Chladicím médiem je v našem případě emulze etylenglykolu a vody v poměru 2 : 8 a teplotě 25°C. Chladicí médium bude kontrolováno pomocí Reynoldsova čísla, které má hodnotu 10000.

Dle výsledků analýz byl výrobek vstříknut v čase 1,4 s při tlaku 74,3 MPa. Po dosažení maximálního vstřikovacího tlaku došlo k přepnutí na dotlak. Maximální celková deformace výrobku je 0,48 mm. Pro vyhazování výrobků byl použit jeden typ vyhazovačů a to válcový. Jeden vyhazovač je pro vyhození přídržovače vtoku a dalších 6 je pro vyhození výrobků. Celkem je tedy ve formě použito 7 vyhazovačů. Po vyhození výrobku z formy je potřeba od těchto výrobků oddělit vtokový zbytek, který vznikne použitím studených rozvodných kanálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 229.
- [2] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály*. Zlín: 2013, 153 s..
- [3] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské*. Zlín: 2013, 177 s..
- [4] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. nezměněné. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická, 1980, 278 s..
- [5] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005, 354 s.. ISBN 80-7080-241-3.
- [6] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [7] HOLÍK, Z. *Výrobní stroje a zařízení - přednášky*. Zlín: 2014.
- [8] OSSWALD, T., G. MENGES. *Material science of polymers for engineers*. 3rd edition. Hanser Publishers, 2012. ISBN 978-1-56990-514-2. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2009. str. 248. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [10] NEUHÄUSL, E. *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování*. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 15. 02. 2012 [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [11] BOBČÍK, L. A. K. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999, 133 s..

- [12] TOMIS, F., J. HELŠTÝN. *Formy a přípravky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické, 1985, 278 s..
- [13] BOBČÍK, L. A. K. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999, 214 s..
- [14] LENFELD, Petr. *Technologie II –Vstřikování plastů*, TU Liberec –Fakulta strojní. Dostupný z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [15] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Bmo: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 199 s.
- [16] RESS, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.
- [17] BRYCE, D. *Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals*. xvii. Dearborn (Michigan): Society of Manufacturing Engineers, 1996, 277 s.. ISBN 08-726-3472-8.
- [18] CAMPO, A. *Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCPDHFIM1/complete-part-design/complete-part-design>
- [19] MÉZL, M. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 2012, 301 s.. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [20] Tváření plastů a výroba forem I. 14220.cz. *14220.cz [online]*. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-i/>
- [21] Temperace vstřikovacích forem. *Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy [online]*. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/08.html>

- [22] *403 Forbidden [online]. Copyright © [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: https://img.alicdn.com/imgextra/i2/2581491889/TB2M8pYemYH8KJjSspdXXcRgVXa_!2581491889.jpg*
- [23] *ResearchGate / Share and discover research [online]. Copyright © [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Jung-Chang_Wang/publication/221927086/figure/fig1/AS:305341154775043@1449810412599/Heat-pipe-thermal-pin-for-mold-cooling-may-regard-as-many-thermal-pins-to-heat.png*
- [24] *Untitled Document [online]. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <http://www.apiwat.ie.engr.tu.ac.th/molddesign/step3/index34.htm>*
- [25] *plastic mold company from China,injection molding part,one stop service,best price [online]. Copyright © [cit. 18.04.2019]. Dostupné z <https://www.plasticmoulds.net/wp-content/uploads/2018/05/11.jpg>*
- [26] *University information system MENDELU [online]. Copyright © [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/student/priloha_zp.pl?download_priloha=25930;lang=sk;studium=39765;zp=31388;verejny=1*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	polypropylen
PE	polyethylen
PS	polystyren
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PVC	polyvinylchlorid
PMMA	polemethylmetakrylát
POM	polyoximethylén
MF	melaninové plasty
PF	fenoplasty
UP	nenasycené polyestery
tj.	to jest
atd.	a tak dále
%	procento
°C	stupeň ceslia
g	gram
min	minuta
MPa	megapascal
p	tlak
v	měrný objem
T	teplota
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
VVS	vyhřívaný vtokový systém
SVS	studený vtokový systém

mm	milimetr
°	stupeň
kN	kilonewton
cm ³	centimetr krychlový
s	sekunda
Ø	průměr
s ⁻¹	reciproká sekunda
kPa	kilopascal

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení polymerních materiálů. [2]	12
Obr. 2: Vstřikovací cyklus. [7]	18
Obr. 3: Rozdíl v průběhu vstřikovacího cyklu u termoplastů. [18]	19
Obr. 4: p – v – T diagram. [9]	20
Obr. 5: Procesní okno. [6]	20
Obr. 6: Schéma vstřikovacího stroje. [20]	21
Obr. 7: Schéma šnekové vstřikovací jednotky. [17]	22
Obr. 8: Řez formou. [6]	25
Obr. 9: Kuželový vtok. [1]	28
Obr. 10: Bodový, bodový tunelový vtok. [1]	28
Obr. 11: Obdélníkový vtok. [1]	29
Obr. 12: Vtokové vložky s různými sedly. [12]	29
Obr. 13: Vtokový systém s rozvodnými kanály. [12]	30
Obr. 14: Vysouvání pomocí válcových kolíků. [13]	32
Obr. 15: Vysouvání pomocí lomených kolíků. [13]	33
Obr. 16: Vysunutí boční čelisti pomocí hydraulického tahače. [8]	33
Obr. 17: Doporučené teploty formy, taveniny a vyhazovací teploty. [21]	34
Obr. 18: Vhodné a nevhodné umístění temperačních kanálů. [13]	35
Obr. 19: Rozměry temperačních kanálů. [21]	36
Obr. 20: Parametry temperačních kanálů. [21]	36
Obr. 21: Izolační deska. [22]	38
Obr. 22: Tepelná trubice. [23]	38
Obr. 23: Vyhazování bez použití vyhazovačů. [13]	40
Obr. 24: Vyhazování pomocí kolíků. [13]	41
Obr. 25: Vhodné a nevhodné umístění vyhazovacích kolíků. [13]	41
Obr. 26: Použití stíracího kroužku k vyhození výrobku. [13]	42
Obr. 27: Použití trubkových vyhazovačů. [13]	42
Obr. 28: Použití šikmých vyhazovačů. [13]	43
Obr. 29: Použití dvoustupňového vyhazování s odpruženými vyhazovači. [13]	43
Obr. 30: Zpětné vrácení vyhazovačů. [24]	44
Obr. 31: Hydraulické vyhazování. [24]	44
Obr. 32: Pneumatické vyhazování. [25]	45

Obr. 33: Model výrobku – pohled 1.	48
Obr. 34: Model výrobku – pohled 2.	48
Obr. 35: Vlastnosti materiálu TECHNYL C 216 V30. [26].....	49
Obr. 36: Procesní parametry materiálu TECHNYL C 216 V30.....	49
Obr. 37: Arburg allrounder 720 S.	50
Obr. 38: Vstříkovací forma.	51
Obr. 39: Pravá část formy.	52
Obr. 40: Levá část formy.	53
Obr. 41: Vtokový systém.	54
Obr. 42: Pohled na chladicí kanálky – pravá část.	55
Obr. 43: Pohled na chladicí kanálky – levá část.	56
Obr. 44: Tvárník (vlevo) a tvárnice (vpravo).	56
Obr. 45: Hlavní jádro.	57
Obr. 46: Boční jádra – vlevo spodní jádro, vpravo horní jádro.	57
Obr. 47: Vyhazovací systém formy.	58
Obr. 48: Vysítované modely výrobku.	59
Obr. 49: Definice trajektorie vtokového systému.	60
Obr. 50: Vysítovaný vtokový systém.	61
Obr. 51: Trajektorie temperace.	61
Obr. 52: Vysítovaná temperace.	62
Obr. 53: Nastavení temperačního média.	62
Obr. 54: Nastavení procesních podmínek 1/3.	63
Obr. 55: Nastavení procesních podmínek 2/3.	63
Obr. 56: Nastavení fáze dotlaku.	64
Obr. 57: Nastavení stroje.	64
Obr. 58: Nastavení procesních podmínek 3/3.	65
Obr. 59: Umístění vtoku.	65
Obr. 60: Čas plnění.	66
Obr. 61: Rychlost smykové deformace.	67
Obr. 62: Průběh tlaku ve formě.	67
Obr. 63: Čas dosažení vyhazovací teploty.	68
Obr. 64: Zamrznuté vrstvy.	69
Obr. 65: Vzduchové kapsy.	69

Obr. 66: Studené spoje.....	70
Obr. 67: Teplota temperačního média.	71
Obr. 68: Hodnota Reynoldsova čísla.	71
Obr. 69: Tlak temperačního média.	72
Obr. 70: Účinnost odvodu tepla.	73
Obr. 71: Celková deformace výrobku.....	73

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Výhody a nevýhody temperačního média. [13]	37
Tab. 2: Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.	50
Tab. 3: Rozměry vtokového systému.	60
Tab. 4: Rozměry temperačního systému.....	62

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výkresová dokumentace