

Konstrukce plastového dílu části automobilu a návrh nástroje pro jeho zpracování včetně ověření funkčnosti pomocí simulace v Moldflow

Bc. František Hanáček

Diplomová práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. František Hanáček**
Osobní číslo: **T19868**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce plastového dílu části automobilu a návrh nástroje pro jeho zpracování včetně ověření funkčnosti pomocí simulace v Moldflow**

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 s ohledem na vyrobiteľnost.
4. Provést analýzu procesu vstřikování.
5. Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.
- WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4.
- YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem formy pro výrobu dílu směrového světla. První část je věnována teoretickým informacím ohledně technologie vstřikování, vstřikovacích forem a možnostech jejich konstrukčních řešení. V praktické části je popsán samotný návrh a konstrukce vstřikovací formy, která je následně testována analýzou v programu Moldflow.

Klíčová slova: Vstřikovací forma, technologie vstřikování, konstrukce, Catia, Moldflow.

ABSTRACT

Thesis deals with the design of injection mold for the production of a turn signal light part. The first part is devoted to theoretical information about injection molding technology, injection molds and the possibilities of their solutions. The practical part describes the design and construction of the injection mold, which is then tested by analysis in the program Moldflow.

Keywords: Injection mold, injection molding technology, design, Catia, Moldflow

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi Ph.D. za pomoc, čas a za celkové vedení při zpracování této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 PLASTIKACE	12
1.2 PLNĚNÍ	13
1.3 CHLAZENÍ A DOTLAK.....	13
1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	13
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	16
2.1.1 Tavicí komora	16
2.1.2 Násypka.....	17
2.1.3 Šnek vstřikovacího stroje	17
2.1.4 Zpětný uzávěr šneku vstřikovacího stroje.....	17
2.1.5 Tryska vstřikovací jednotky	19
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	20
3 PLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	21
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	21
3.2 TERMOPLASTY	22
3.2.1 Amorfnní termoplasty	22
3.2.2 Semikrystalické termoplasty	22
3.3 REAKTOPLASTY.....	23
3.4 ELASTOMERY	23
4.1 VSTŘIKOVACÍ FORMA SE DVĚMA DESKAMI.....	25
4.2 VSTŘIKOVACÍ FORMA SE STÍRACÍ DESKOU.....	25
4.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA SE ŠIKMÝMI ČEPY.....	26
4.4 VSTŘIKOVACÍ FORMA SE TŘEMI DESKAMI	27
4.5 VTOKOVÝ SYSTÉM	27
4.5.1 Rozvodné kanály	28
4.5.2 Rozložení vtokové soustavy.....	29
4.5.3 Studený vtokový systém	30
4.5.4 Horký vtokový systém	30
4.5.5 Vtokové ústí	31
4.5.6 Plný kuželový vtok.....	31
4.5.7 Bodový vtok	32
4.5.8 Tunelový vtok	33
4.5.9 Banánový vtok	33
4.5.10 Boční vtok	34
4.5.11 Filmový vtok	34

4.5.12	Vějířovitý vtok	35
4.5.13	Membránový vtok	35
4.5.14	Pavoukový vtok.....	36
4.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY	36
4.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	37
4.7.1	Systemy vyhazovacích kolíků.....	37
4.7.2	Systemy stíracích desek	38
4.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	39
4.9	MATERIÁLY FOREM.....	40
5	ZÁSADY PŘI VOLBĚ VHODNÉHO TVARU VÝROBKU	41
6	BĚŽNÉ VADY VSTŘIKOVÁNÝCH DÍLŮ.....	42
6.1	STUDENÉ SPOJE	42
6.2	DIESEL EFEKT.....	43
6.3	PŘETOKY.....	43
6.4	NEDOTEČENÉ DÍLY	44
6.5	PROPADLINY	44
6.6	JETTING.....	45
7	SIMULAČNÍ SOFTWARE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ MOLDFLOW	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	47
8	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
9	POUŽITÝ SOFTWARE.....	49
9.1.1	Catia V5R20.....	49
9.1.2	Hasco Dako Modul 2018	49
9.1.3	Autodesk Moldflow Synergy 2018	49
10	VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST	50
10.1	MATERIÁL SOUČÁSTI.....	51
10.1.1	Vlastnosti materiálu	51
10.1.2	Doporučené procesní podmínky vstřikovacího procesu	51
11	VSTŘIKOVACÍ STROJ	52
11.1	PARAMETRY STROJE.....	52
12	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	53
12.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	53
12.1.1	Násobnost formy	54
12.2	NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY	55
12.2.1	Tvarové části formy	56
12.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	60

12.4	V TOKOVÝ SYSTÉM	61
12.5	TEMPERACE FORMY	63
13	ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ	67
13.1	VYSÍŤOVÁNÍ.....	67
13.2	PROCESNÍ PODMÍNKY	68
13.3	ANALÝZA PLNĚNÍ A DOTLAKU.....	69
13.3.1	Čas plnění (fill time)	69
13.3.2	Teplota na čele toku taveniny (temperature at flow front).....	69
13.3.3	Rychlost smykové deformace (shear rate, maximum).....	70
13.3.4	Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)	71
13.3.5	Vzduchové kapsy (air traps).....	72
13.3.6	Zatuhlé vrstvy na konci plnění (frozen layer fraction at end of fill) ...	73
13.3.7	Velikost uzavírací síly v čase (clamp force: XY plot)	74
13.3.8	Studené spoje (weld lines)	74
13.4	ANALÝZA TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU	75
13.4.1	Teplota temperačního okruhu (circuit coolant temperature).....	75
13.4.2	Reynoldsovo číslo temperačního média (circuit Reynolds number) ..	76
13.4.3	Účinnost odvodu tepla temperačním systémem (circuit heat removal efficiency)	77
13.5	ANALÝZA SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE	78
13.5.1	Celková deformace (deflection, all effects)	78
14	DISKUZE VÝSLEDKŮ	81
	ZÁVĚR	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

Technologie vstřikování zažila velký rozmach v průběhu druhé světové války, kdy byla snaha a nutnost vyrábět levné výrobky v masovém rozsahu. Byly vyvíjeny nové materiály a technický pokrok dovoval více a více úspěšné aplikace této technologie. [1]

V roce 1946 získal John Hendry patent na jeho šnekový typ vstřikovacího stroje. Jednalo se o revoluci v technologii vstřikování, která umožňovala rychlejší výrobní cykly, rovnoměrnější rozložení teplot, a nižší spotřebu energie. [1]

Technologie vstřikování se, převážně díky rozvoji v minulém století nachází tam, kde je dnes. Možnosti této technologie a její popularita v řadě průmyslových oblastech dokazuje její perspektivnost. Budoucnost technologie vstřikování závisí na vývoji nových materiálů, zlepšení vlastností těch stávajících a použití energicky efektivnějších modifikací vstřikovacího procesu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Co se týká výroby plastových dílů, je technologie vstřikování jedna z nerozšířenějších. Jedná se o cyklický proces rychlého plnění formy polymerní taveninou, kde následně dochází k jejímu chlazení a vytažení z formy již v pevném stavu. V této technologii se jako materiál nejčastěji používá plast, avšak existují speciální modifikace i pro zpracování neplastových materiálů. [1, 2, 7, 13]

Materiál je při procesu vstřikování dopravován do plastikační jednotky stroje, nejčastěji ve formě granulátu nebo prášku. Poté co se materiál roztaví a vytvoří homogenní taveninu, je pod vysokým tlakem vstříknut do dutiny formy. Rychlost a kvalita výroby je poměrně vysoká, ale pořizovací cena stroje a finanční náročnost výroby nástrojů dělají z této technologie vhodnou volbu především pro velkosériovou výrobu. Výhodou je také možnost automatizace celé výroby, kdy po vstřikování často již není potřeba následného zpracování. Kvalita výrobků, zhotovených touto technologií je však výrazně závislá na mnoha aspektech. Materiál musí být plastifikován a vstřikován tak, aby se zabránilo negativním změnám jeho vlastností. Jednotlivé procesní podmínky při zpracování plastů jako třeba tlak a teplota musí být stabilní a při jednotlivých cyklech neměnné. Taktéž jednotlivé díly, především díly vstřikovací formy musí splňovat jistou úroveň kvality. [1, 2, 3, 13]

Při vstřikování jsou plastikační jednotka a forma od sebe odděleny. Plastikační jednotka je vyhřívána na zpracovatelskou teplotou vstřikovaného plastu a forma je temperována na teplotu dostačující k bezpečnému vyhození (termoplasty), případně k zesíťování dílce (reaktoplasty). Technologii vstřikování lze rozdělit na tři základní části. Jedná se o plastikaci, plnění formy, chlazení a dotlak. [1, 2]

1.1 Plastikace

Tato fáze probíhá v plastikační, neboli vstřikovací jednotce. Rychlost toku je řízená zpracovatelskými vlastnostmi materiálu ve fázi plastikace. Jedná se o vlastnosti týkající se reologického chování daného materiálu, teploty válce vstřikovací jednotky, smykových napětí vznikajících ve válci a rychlosti šneku. Základním cílem plastikace je dosáhnout homogenní taveniny pro následné vstříknutí. [2, 3, 12]

1.2 Plnění

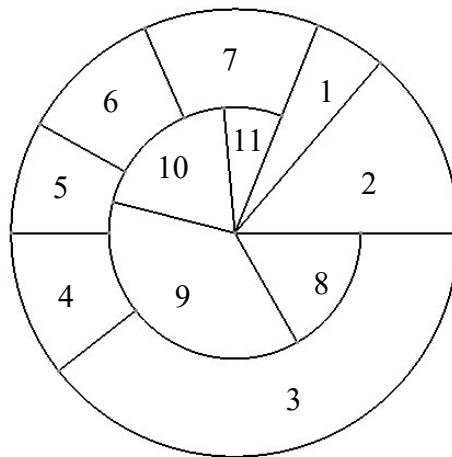
Plnění je fáze, kdy vstřikovací jednotka dodává stanovené množství polymerní taveniny do dutiny formy. Parametry plnění mají na konečný výsledek vstřikování výrazný vliv. Je také nutné, aby rychlosti plnění byly reprodukovatelné, jelikož nepatrné změny mohou výrazně ovlivnit konečný výrobek. Při příliš vysoké vstřikovací rychlosti může dojít k degradaci materiálu nebo k jevu, který se nazývá „jetting“. Ten způsobuje, že se dutina plní úzkým proudem taveniny a nedochází tak k fontánovému toku, což má za následek vizuální vady na dílci. Naopak nízká rychlost může způsobit velký nárůst tlaku vlivem příliš silné zamrzlé vrstvy a nemusí dojít k úplnému zaplnění formy. Nejdůležitějšími parametry pro plnění jsou vstřikovací tlak a rychlost. [2, 3]

1.3 Chlazení a dotlak

Po fázi plnění následuje fáze dotlaku, chlazení a nakonec vyhození. Účelem dotlaku je při stálém působení tlaku dodat ještě do dutiny formy další materiál, tak aby se vyrovnalo smrštění způsobené tuhnutím polymeru. Ideálně by fáze dotlaku a chlazení měli být takové, aby konečné rozměry vstřikovaného dílu splňovaly požadované tolerance. Během této fáze jsou důležitými parametry velikost dotlaku, doba jeho trvání a teplota formy. [2, 3]

1.4 Vstřikovací cyklus

Jedná se o přesně specifikovaný sled jednotlivých operací, které probíhají při každém cyklu identicky. V první části cyklu dojde k uzavření formy a následnému příjezdu vstřikovací jednotky k formě z výchozí polohy. Po příjezdu a řádném dosednutí vstřikovací jednotky nastává samotné vstřikování polymerní taveniny. Poté co tavenina zaplní celou dutinu formy, přichází na řadu ještě dotlak. Po ukončení dotlakové fáze ve formě tuhnutí probíhá již bez tlaku. Následně se vstřikovací jednotka odsune zpátky do výchozí polohy a mezitím se v ní bude připravovat dávka taveniny pro další cyklus. Jakmile vstřikovaný díl dosáhne vhodné teploty pro vyhození, otevře se forma a díl je vyhazovacím systémem vyjmut ven z formy. V této části jsou již forma i vstřikovací jednotka ve výchozí poloze a je možno celý cyklus opakovat. [13]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [8]

1- vstřikování, 2- dotlak a doplňování, 3- chlazení, 4- otevření formy, 5- vyprazdňování formy, 6- příprava formy, 7- uzavření formy, 8- vrácení plastikační jednotky, 9- plastikace, 10- prodleva, 11- přisunutí plastikační jednotky.

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

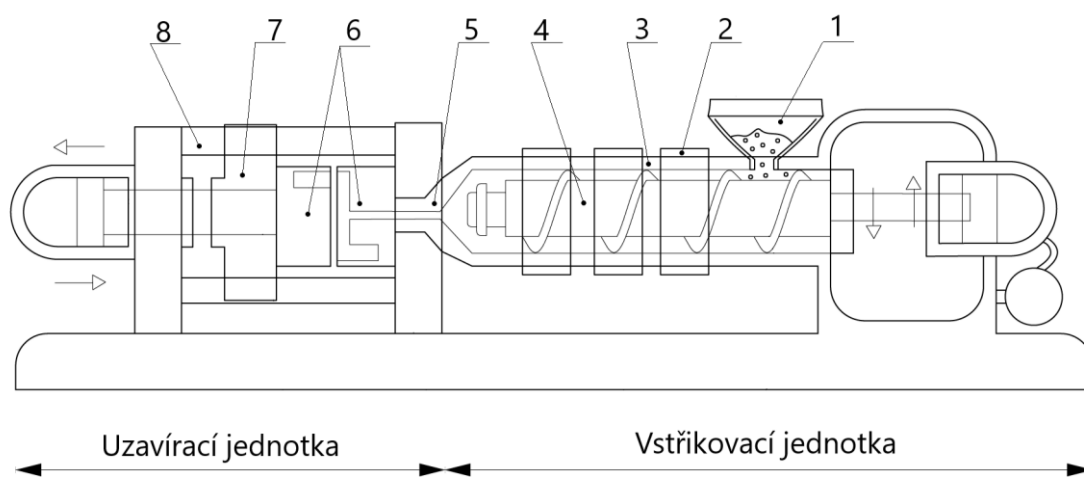
Vstříkovací stroj se skládá z vstříkovací jednotky, která zajišťuje tavení plastu a jeho následné vstříknutí do formy a uzavírací jednotky, která se stará o otevírání a uzavírání formy v průběhu vstříkovacího cyklu. [1]

Vstříkovací i uzavírací jednotka slouží každá svému primárnímu účelu, ale zároveň tvoří jeden funkční celek. Nicméně vstříkovací stroj může být složen takřka z jakékoliv kombinace druhů vstříkovacích a uzavíracích jednotek, jelikož jsou tyto jednotky na sobě vzájemně nezávislé. Existují však jisté zásady, které pomáhají určit, jaká kombinace vstříkovací a uzavírací jednotky je vhodná pro jaké aplikace. Vstříkovací stroje se mohou také dělit dle pohonu a to na hydraulické, elektrické a hybridní. [1, 9]

Hydraulické vstříkovací stroje jsou spolehlivé a přesné. Umožňují plynulé ovládání procesu vstříkování skrze hydraulický obvod s regulací tlaku a objemového průtoku. [10]

Vstříkovací stroje s elektrickým pohonem jsou efektivnější ve využití energie, mají nižší hlučnost a rychlejší upínací desku. [2]

U hybridně poháněných vstříkovacích strojů je používáno obojího pohonu a to jak elektrického, tak hydraulického. Elektrický pohon zvyšuje rychlost a zlepšuje přesnost, zatímco hydraulický pohon přináší výhody vyšších uzavíracích sil a lepší dynamiky. [2]



Obr. 2. Schéma vstříkovacího stroje [16]

1- násypka, 2- topný pás, 3- válec, 4- šnek, 5- tryska, 6- forma, 7- pohyblivá deska, 8- vodící sloupy.

2.1 Vstřikovací jednotka

V ideálním případě by měla vstřikovací jednotka mít objem na dva plné cykly vstříknutí, tedy při jednom vstříknutí by mělo být z její kapacity 50 procent vyprázdněno. Toho je ale dosahováno pouze v ideálním případě, proto je důležité, aby toto množství nebylo méně než 20 procent a ne více než 80 procent kapacity vstřikovacího válce. Maximální objem polymerní taveniny, kterou je vstřikovací stroj schopný vstříknout v jednom cyklu se nazývá vstřikovací kapacita a nejčastěji se udává v cm^3 . [1]

Dalším důležitým parametrem vstřikovací jednotky je plastikační kapacita, která nám udává maximální hmotnost plastu, který je jednotka schopna zplastikovat za jednotku času. Množství vstřikovaného materiálu při jednom cyklu je závislé na teplotní citlivosti vstřikovaného materiálu. Některé materiály jsou velmi citlivé na vysoké teploty a může lehce dojít k jejich znehodnocení. Na druhou stranu jsou i materiály, které jsou na teploty méně citlivé a jsou schopné odolávat delšímu působení vysokých teplot. [1, 3]

Tepelná stabilita je vlastnost, která popisuje schopnost odolávat teplotnímu zatížení na materiál do doby, než začne degradovat. Degradovaný materiál má za následek nekvalitní výrobky se zhoršenými vlastnostmi. Pravidlo 50 procent vyprázdněné kapacity nám zaručí, že se materiál nebude příliš dlouho zdržovat ve vyhřívaném válci vstřikovací jednotky a nebude docházet k jeho degradaci. U materiálů s nízkou citlivostí na vyšší teploty je tedy možné tento poměr snižovat až na již zmíněných 20 procent a naopak u materiálů velmi citlivých na vysoké teploty je možné při vstříknutí dosahovat až 80 procent kapacity válce vstřikovací jednotky. Vstřikovací jednotka musí vykonávat spoustu úkolů a skládá se z mnoha komponentů, které přispívají k její správné funkci. [1, 3]

2.1.1 Tavicí komora

Jedná se o základní a velmi důležitou část vstřikovací jednotky. Je vyráběna ve formě dlouhého válce, na který následně navazuje tryska. Vnitřní povrch válce musí být upraven na vysokou tvrdost tak, aby odolával abrazivním účinkům vstřikovacího procesu. Vnější povrch válce je obklopen topnými pásy. Tyto pásy jsou napájeny elektricky a jsou rozmístěny po celé délce s minimálními rozestupy. Válec je dále rozdělen na tři teplotní zóny a to na zónu vstupní, přechodovou a výstupní. Každá tato zóna má alespoň tři topné pásy v závislosti na celkové délce válce a každá zóna je individuálně ovládána řídicí jednotkou. [1, 2, 13]

2.1.2 Násypka

Jedná se o součást, kde je materiál v podobě prášku nebo granulátu uložen před tím než se dostane do tavicí komory. Násypka je většinou kuželovitého nebo jehlanovitého tvaru pro ideální navedení materiálu do tavicí komory. Dále může být součástí násypky magnet, který zajišťuje, aby se do tavicí komory nedostaly částičky kovu, které se mohou nacházet v materiálu. [1]

2.1.3 Šnek vstřikovacího stroje

Primární funkcí šneku je dopravit materiál z násypky do tavicí komory vstřikovací jednotky. Sekundární funkcí šneku je zamíchání a homogenizace polymerní taveniny uvnitř tavicí komory. Mezi šnekem a válcem se také generuje tření, které generuje teplo, a tedy napomáhá tavení materiálu. Při příliš velkém tření dochází k degradaci materiálu a snížení jeho výsledných vlastností. Z tohoto důvodu nemůže být toto tření použito jako jediný zdroj tepla. [1, 2, 3]



Obr. 3. Šneky vstřikovacího stroje [28]

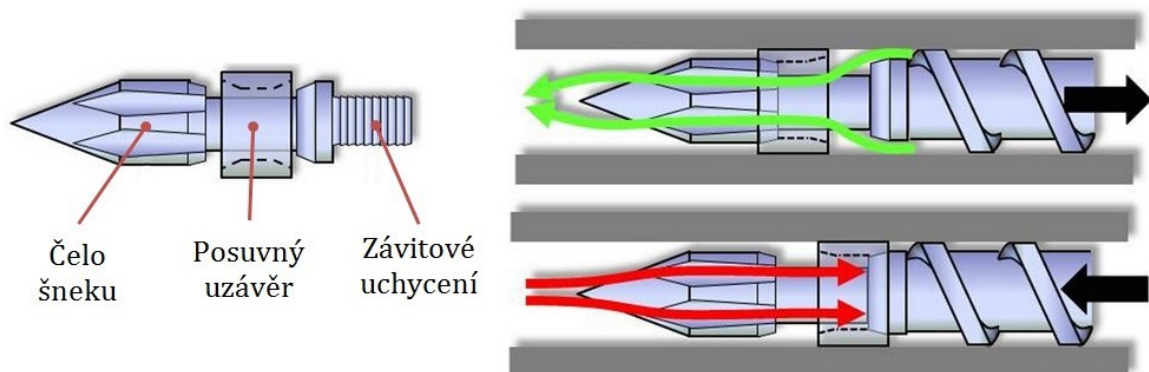
2.1.4 Zpětný uzávěr šneku vstřikovacího stroje

Tato součást zabraňuje unikání taveniny plastu zpátky do tavicí komory a to jak při fázi vstřikování, tak i dotlaku. Ve většině vstřikovacích strojů šnek tlačí taveninu před sebe a zároveň se posouvá zpět. Tímto způsobem tedy vytváří prostor na čele šneku pro dodávanou taveninu. V okamžiku vstříknutí se ovšem začne opět posouvat kupředu a díky zpětnému uzávěru se může chovat jako píst, který vstříkne nashromážděnou taveninu před čelem šneku do formy. Existuje velké množství konstrukčních řešení zpětných uzávěrů a hrotů, avšak mezi nejběžnější patří mechanismus s pohyblivým těsnícím prstencem a mechanismus uzavírání pomocí kuličky. [1,13]

V obou případech zpětných uzávěrů je tok polymerní taveniny silně omezen i v otevřené poloze a u vysoko-hustotních a vysoce teplotně citlivých materiálů může docházet k degradaci polymeru. Proto se v případě vstřikování takových materiálů často zpětné uzávěry vůbec nepoužívají a vzhledem k vysoké viskozitě tepelně citlivějších materiálů také většinou nebývají potřeba. [1]

Mechanismus s pohyblivým těsnícím prstencem

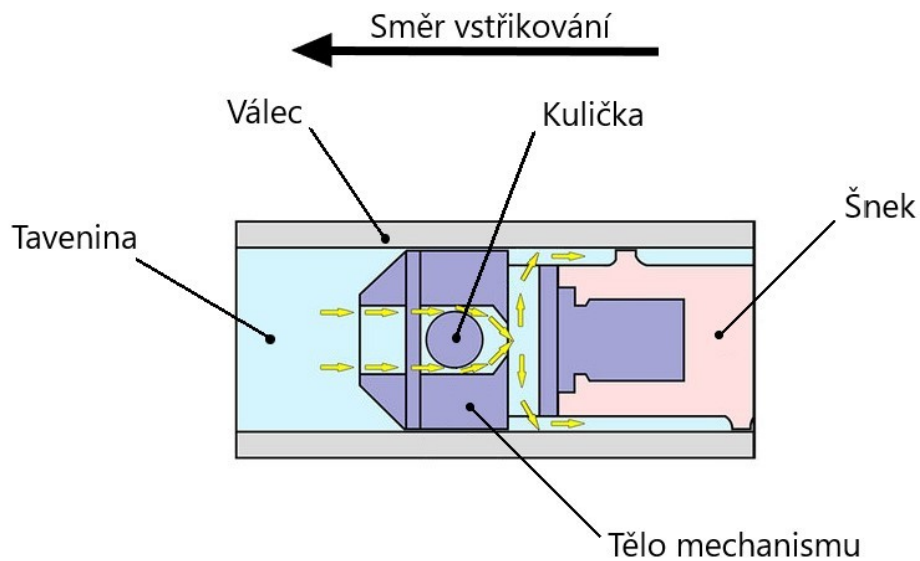
Nejběžnější typ uzavíracího mechanismu. Tento případ zpětného uzávěru se skládá ze tří primárních částí a to hrotu, závitu a pohyblivého těsnícího prstence, který drží taveninu před čelem šneku i za vyšších tlaků. Hrot je upevněn závitem skrze pohyblivý prstenec až do samotného šneku. Tím zpětný uzávěr za pomoci pohyblivého prstence, který se může pohybovat v axiálním směru, zabraňuje tavenině v toku zpátky do šneku. Délka a zkosení hrotu šneku jsou závislé na viskozitě polymeru, který je vstřikován. [1, 11]



Obr. 4. Schéma mechanismu s pohyblivým těsnícím prstencem [18]

Uzavírání pomocí kuličky

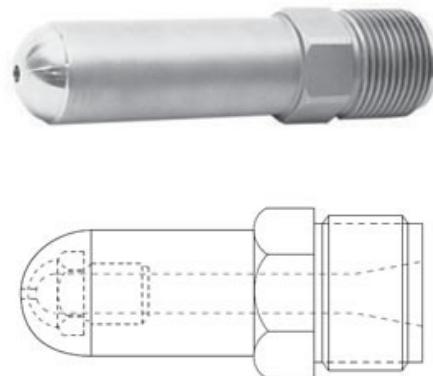
Dalším často používaným typem zpětného uzávěru je uzavírání pomocí kuličky. Funguje podobně jako uzávěr s těsnícím prstencem, ale místo prstence se zde pohybuje kulička, která otevírá průchod polymerní tavenině. V průběhu tavení polymeru je kulička proudem taveniny tlačena dopředu a uvolňuje tak přívodní kanál, kterým se dostává tavenina před čelo šneku. Avšak v okamžiku, kdy se šnek začne pohybovat dopředu je kulička taveninou, uloženou před čelem šneku zatlačena zpátky dozadu, čímž utěsní přívodní kanál taveniny a zabrání vracení se taveniny zpět. [1, 11]



Obr. 5. Schéma mechanismu uzavírání pomocí kuličky [19]

2.1.5 Tryska vstřikovací jednotky

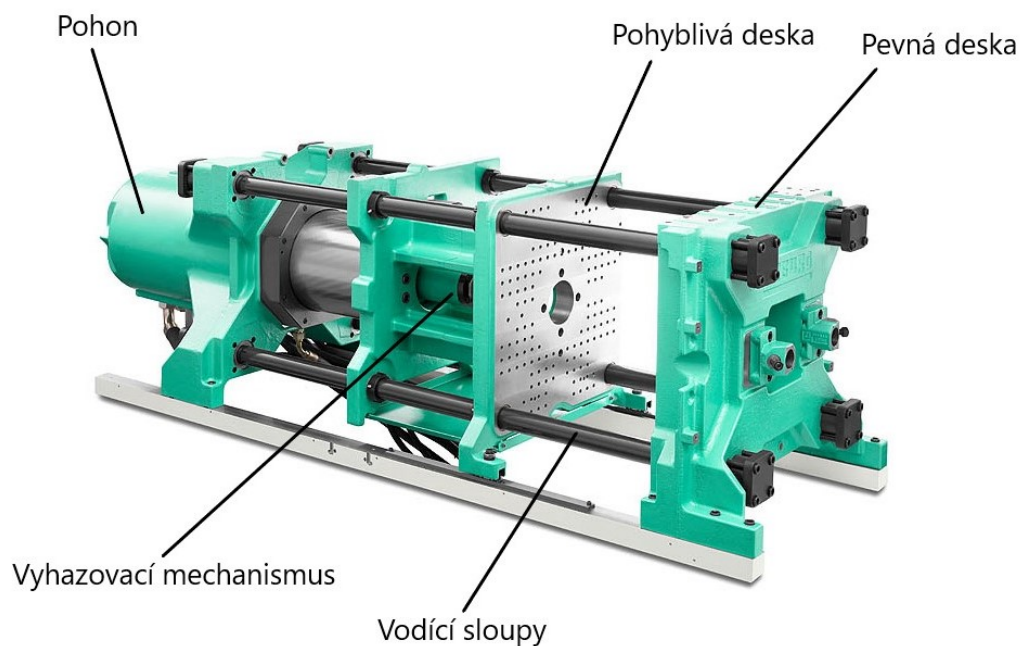
Jedná se o dvoudílný komponent, který je připevněn k čelu válce vstřikovací jednotky. Tryska má vlastní topné těleso, které je řízeno podobně jako topné pásy na válci vstřikovací jednotky. Existuje spousta konstrukcí trysek, které například obsahují uzavírací zařízení ve formě jehel, pružin, posuvných kuliček nebo jejich kombinací. Jejich účel je podobný jako zpětných uzávěrů šneku a používají se například u materiálů, které mají tendenci táhnout vlákno při vstřikování nebo u materiálů, kde se objevuje jev. „drool“, kdy dochází k hromadění materiálu na obvodu výstupu trysky. [1]



Obr. 6. Tryska vstřikovací jednotky stroje

2.2 Uzavírací jednotka

Jedna ze základních parametrů uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je maximální uzavírací síla jakou je schopna tato jednotka vygenerovat. Tato síla se stará o udržení tlaku uvnitř formy v průběhu vstřikování. V případě kdy je tato síla nedostačující, může dojít k přetokům polymerní taveniny do dělicí roviny formy nebo k tlakovým ztrátám ve formě, které mohou způsobit nedotečení taveniny do všech dutin. V opačném případě, kdy je uzavírací síla příliš velká, může dojít k poškození vstřikovací formy a jejích součástí nebo vstřikovacího stroje samotného. [1, 2]



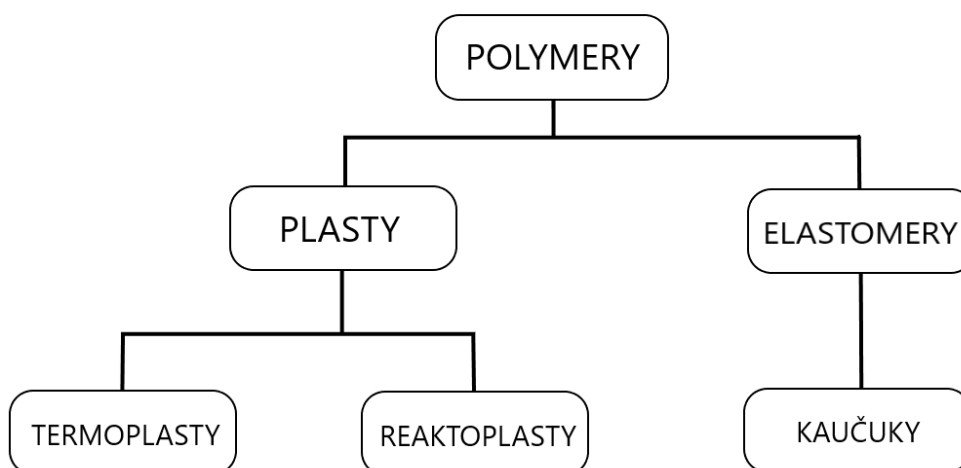
Obr. 7. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje [17]

3 PLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Kvalita, vlastnosti a cena výsledného produktu jsou závislé na správné volbě materiálu. Jelikož existuje obrovské množství polymerních materiálů, je nutné porozumět chování jednotlivých polymerů a zajistit správnou volbu materiálu pro specifické produkty. Základem procesu technologie vstřikování je aplikace a působení tří základních fází a to ohřevu, tlaku a chlazení. Ohřev nám zajistí tavení plastu rozpoříváním jeho molekul. Poté roztavený plast tlakem uveden do toku. Nakonec je zchlazením jednotlivým molekulám tohoto plastu zabráněno v pohybu a plast tak začne tvrdnout v požadovaném tvaru. Zpracovatelské vlastnosti jsou tak zejména odvozovány od jejich chování při působení vyšších teplot. Důležité a nezanedbatelné jsou také reologické vlastnosti taveniny vstřikovaného materiálu, které se odvíjí od molekulární struktury a chemického složení daného polymeru. [2, 3, 14]

3.1 Základní rozdělení polymerů

Plasty jsou tvořeny polymery a dalšími přísadami, které se přidávají ke zvýšení jejich funkčnosti. Reálný obsah polymeru v plastu se může výrazně lišit a pohybuje se mezi 20-100%. Typ použité přísady závisí na použití, pro které bude plast určen. Na trhu existuje celá řada různých materiálů vhodných pro různé aplikace. Polymery lze rozdělit do tří základních skupin a to na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Toto rozdělení je založeno jak na molekulární struktuře, tak na způsobech zpracování, které lze použít. [2, 3]



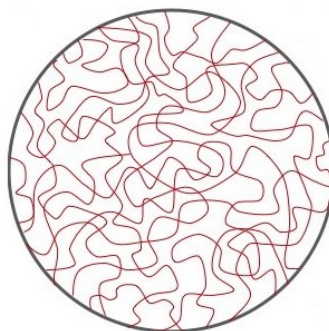
Obr. 8. Základní rozdělení polymerů

3.2 Termoplasty

Jedná se o polymer, který lze po ochlazení opětovným zahřátím převést znovu do tekutého stavu. V technologii vstřikování plastů se jedná o nejpoužívanější a nejrozšířenější skupinu materiálů. Dále je ještě možné termoplasty dělit dle toho jaká struktura v nich vzniká při tuhnutí. Jedná se o struktury semikrystalické a amorfní. [1, 2, 3]

3.2.1 Amorfní termoplasty

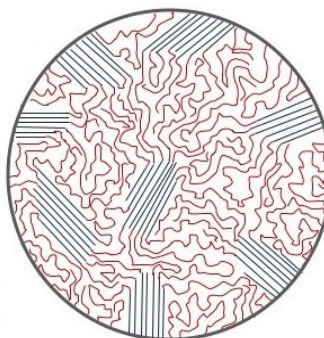
Amorfní materiály mají náhodnou a neuspořádanou molekulární strukturu. U těchto materiálu dochází k tání v širokém rozmezí teplot a proto spíše než k tavení dochází k intenzivnějšímu změkčování v závislosti na teplotě. [1, 2, 3]



Obr. 9. Schéma nadmolekulární struktury amorfního termoplastu [20]

3.2.2 Semikrystalické termoplasty

V případě tuhnutí semikrystalického materiálu molekulární struktura má tendenci být uspořádaná a vznikají krystaly. Velikost těchto krystalických oblastí závisí jak na struktuře samotných uspořádaných řetězců, tak na rychlosti chlazení. Na rozdíl od amorfních mají tyto materiály ostré body tání a mají také díky své struktuře tendenci více se smršťovat. [1, 2, 3]



Obr. 10. Schéma nadmolekulární struktury semikrystalického termoplastu [20]

3.3 Reaktoplasty

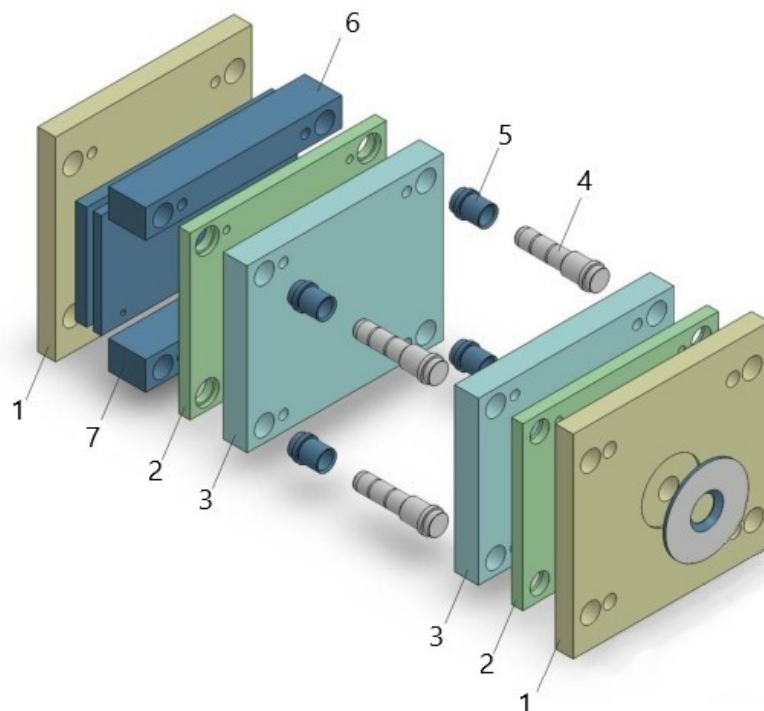
Jsou to materiály, které mění svou strukturu při procesu vstřikování. Před samotným zpracováním se skládají z molekul podobných termoplastům. Ovšem to se mění se zesíťováním molekul, které vytváří velmi hustou síť vazeb. Tím se vytvrdí materiál, zvýší se jeho křehkost a nelze jej již znovu roztavit a použít. Mohou se deformovat pouze elasticky a nemohou se deformovat plasticky. Tuhost reaktoplastů závisí na tom jak hustou má síť molekul daný materiál. Reaktoplasty se často používají tam, kde lze využít jejich pevnosti a trvanlivosti. [2, 3]

3.4 Elastomery

Materiály, které mohou být výrazně elasticky deformovány. Je to způsobeno velkými mezerami mezi jednotlivými řetězci sítě. Elastomery se za pomoci teploty vytvrzují podobně jako reaktoplasty, avšak v případě elastomerů se proces nazývá vulkanizace. [2, 3]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Jedná se o nástroj technologie vstřikování a hraje důležitou roli ve vstřikovacím procesu. Ve vstřikovací formě se odehrávají veškeré formovací procesy vstřikovacího cyklu. Roztavený plast ve formě taveniny je do formy vstřikován pod vysokým tlakem, kde získává tvar dutiny formy. Poté dochází k chlazení, kdy materiál tuhne, dokud nedosáhne požadované tuhosti k vyhození z formy ven. Výsledný výrobek a jeho povrchová kvalita je tedy přímým odrazem kvality formy a to zejména dutiny formy, která je v průběhu vstřikování v přímém styku s materiálem. Kromě zajištění požadovaného tvaru výrobku je důležitou funkcí formy také odvod tepla, které je přivedeno s taveninou do formy. Existuje rozsáhlé množství variant komponentů, modifikací a mechanismů, které se používají ve vstřikovacích formách. Jejich použití je závislé na typu materiálu, který je zpracován a také na výrobku, který je vyráběn. Forma se skládá z řady jednotlivých prvků, které mají svůj vlastní účel. Tyto prvky zajišťují ve formě např. přívod taveniny, chlazení, odformování, vyhazování hotových výrobků atd. [1, 2, 7,13]

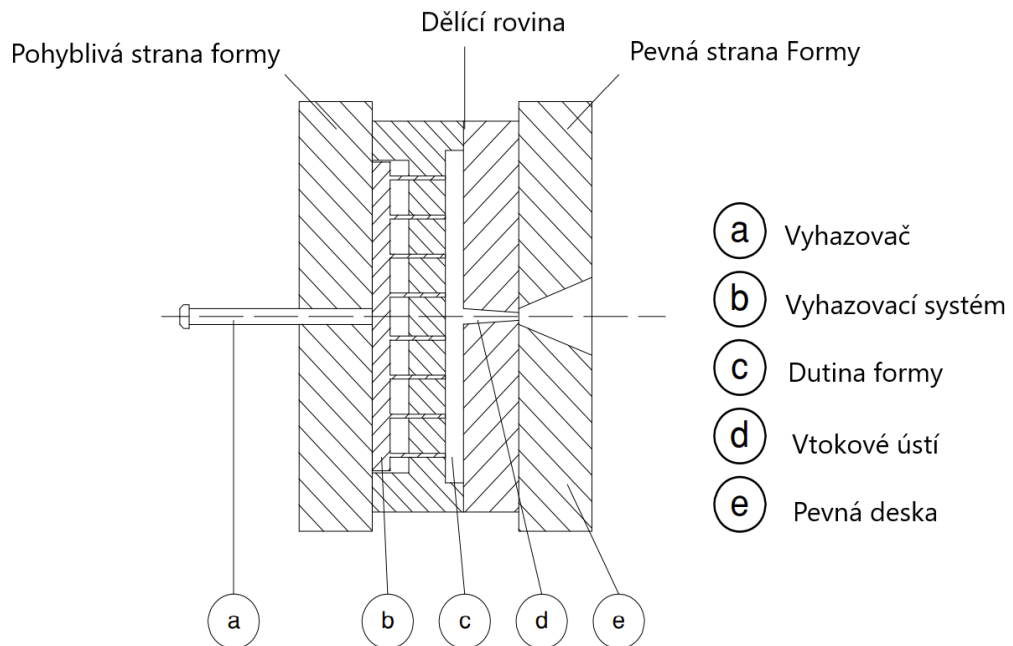


Obr. 11. Rám formy [9]

1- upínací desky, 2- opěrné desky, 3- kotevní desky, 4- vodící čepy, 5- pouzdra vodících čepů, 6, 7- rozpěrné desky

4.1 Vstřikovací forma se dvěma deskami

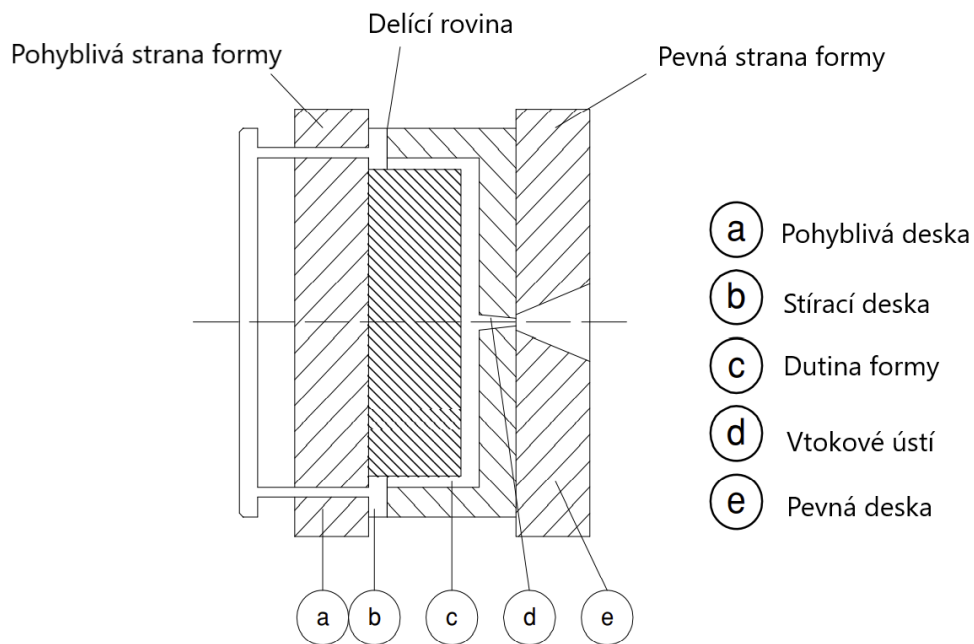
Tento design vstřikovací formy je nejjednodušší z používaných typů. Dutiny formy jsou vytvořeny buď přímo v desce, nebo jsou do desky vloženy jako tvarové vložky, neboli tvárník a tvárnice. Nachází se zde pouze jedna dělicí rovina. Do nepohyblivé poloviny formy se umísťuje vtoková vložka a do pohyblivé vyhazovací mechanismus. [2]



Obr. 12. Schéma dvoudeskové formy [2]

4.2 Vstřikovací forma se stírací deskou

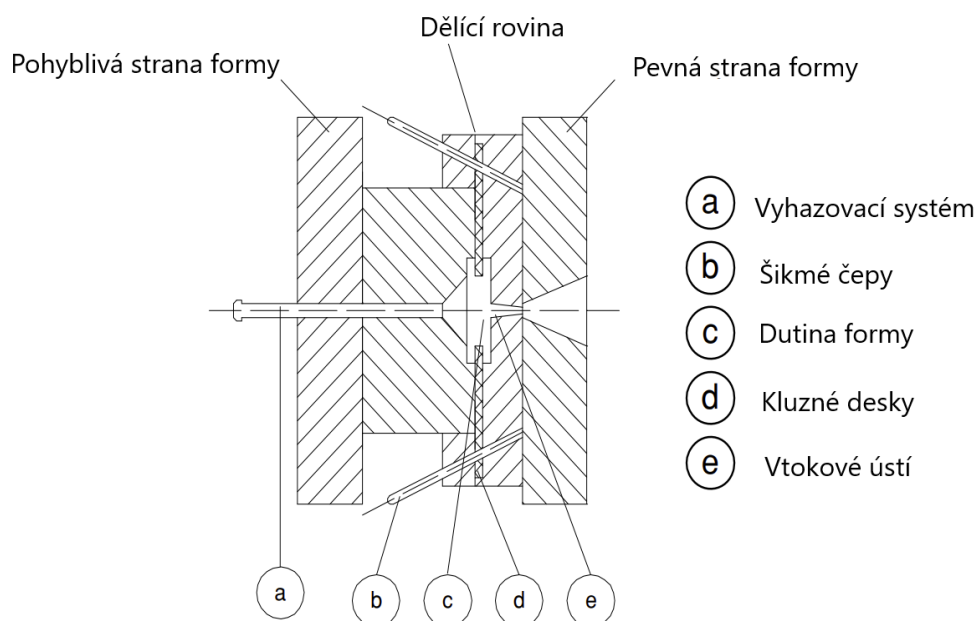
Stírací forma se liší od standartní dvoudeskové formy pouze vyhazovacím systémem. Tento design formy má stírací desku, která se stará o vyhození dílů z formy, zatímco u standartní dvoudeskové formy je vyhazování prováděno nejčastěji za pomoci vyhazovacích kolíků. Stírací deska se od kolíků liší tím, že působí na mnohem větší povrch a tak je vyhazovací síla mnohem lépe rozložena po vyhazovaném dílu a snižuje se pravděpodobnost deformací a stop po vyhazování.[2]



Obr. 13. Schéma formy se stírací deskou [2]

4.3 Vstřikovací forma se šikmými čepy

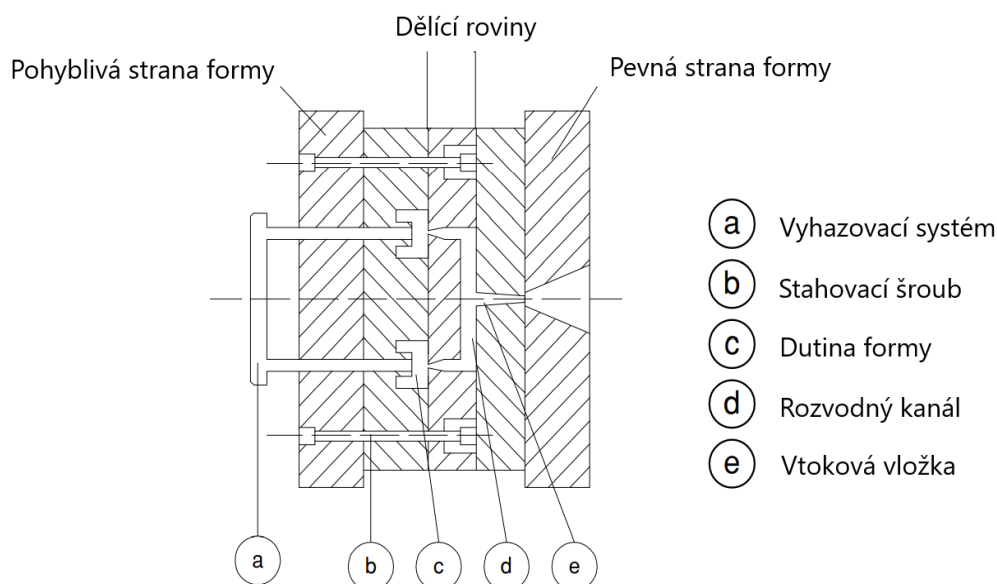
I tento typ vstřikovací formy je zvláštním případem formy se dvěma deskami. Má však v sobě uložené šikmé čepy pro pohyblivé tvarové části. Tyto tvarové části se nejčastěji pohybují v dělicí rovině. Tento typ konstrukce je vhodný pro výrobu dílů s bočními dírami nebo vnějšími závity. [2]



Obr. 14. Schéma formy se šikmými čepy [2]

4.4 Vstřikovací forma se třemi deskami

Používá se obvykle u vícenásobných forem, kde je kladený důraz na automatizaci výroby. Tento typ formy má speciální desku, kterou je nejčastěji veden vtokový systém do jednotlivých tvarových dutin formy. Když se forma otevře, deska se oddělí a odlomí vtokový systém od dílu v dutině formy pomocí mechanismu zpožděného otevření formy. Poté je díl i vtokový systém vyhozen a díl tak již není nutné oddělovat od vtokových zbytků. Úspěšné vyhození vstřikovaných částí závisí na čistém oddělení vtokového systému od samotného dílu. Formy se třemi deskami jsou obvykle dražší než dvoudeskové formy a i cyklus výroby na nich může být delší, zvláště v případech kdy není vtokový systém z formy vyhozen strojně a musí jej operátor vytahovat ručně. [2]



Obr. 15. Schéma formy se třemi deskami [2]

4.5 Vtokový systém

Jeho funkcí je vedení polymerní taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Jeho tvar, rozměry a ústí do tvarové dutiny výrazně ovlivňují proces plnění formy a následně i kvalitu finálního produktu. Design, který je založen zejména na ekonomickém hledisku (snaha o co nejkratší cykly a rychle tuhnutí taveniny) je často nekompatibilní s požadavky na kvalitu. Dvě hlavní části, které je nutno vzít v úvahu, jsou rozvodné kanály a vtokové ústí. [1, 2, 3, 7]

4.5.1 Rozvodné kanály

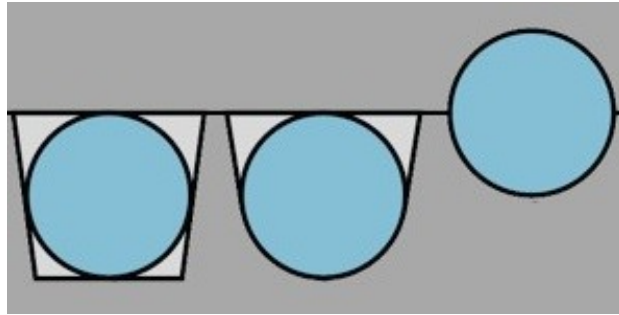
Během návrhu vtokového systému je třeba dbát na mnoho aspektů. Co se týče rozvodných kanálů je nutno brát v úvahu hlavní tři aspekty:

- Tvar kanálu.
- Umístění a rozložení kanálu.
- Rozměry kanálu. [2]

Kromě základních aspektů je nutno myslet i na požadavky na samotný design a funkčnost vtokového kanálu. Co do funkce by měl konstruktér dbát také na následující:

- Vtoky by měli být umístěny tak, aby nedocházelo k vzniku studených spojů.
- Všechny dutiny by se měly plnit taveninou ve stejnou dobu.
- Odpor vůči tečení taveniny by měl být co nejnižší.
- Podíl hmotnosti vtokového systému na celkové hmotnosti vstřikovaného materiálu by měl být co nejnižší.
- Vtokový systém by měl být lehce vyjmutelný z formy.
- Vtok by měl co nejméně ovlivňovat vzhled samotného výrobku, a proto by se vtok měl umísťovat do nepohledových částí dílce.
- Délka rozvodných kanálů by měla být co nejkratší, tak aby se snížily co nejvíc ztráty teploty a tlaku. [2]

Tvary průřezu rozvodných kanálů bývají nejčastěji kruhové, půlkruhové, lichoběžníkové nebo tvaru zaobleného lichoběžníku. Průřezy kulaté a tvaru zaobleného lichoběžníku jsou nejvíce ideální z hlediska minimalizace tvorby zamrzlé vrstvy. Takové kanály mají menší kontakt s povrchem formy a materiál jimi proudící vytváří nejmenší podíl zamrzlé vrstvy. Změnou od ideálního kruhového tvaru se zhoršuje jeho efektivita. Na druhou stranu kanály kruhového a zaobleného tvaru jsou mnohem náročnější na výrobu a především kanály kruhové jsou velmi náročné na přesnost, kdy je nutné, aby obě poloviny kruhového kanálu dosedaly a navazovaly přesně na sebe. [1, 2, 9]



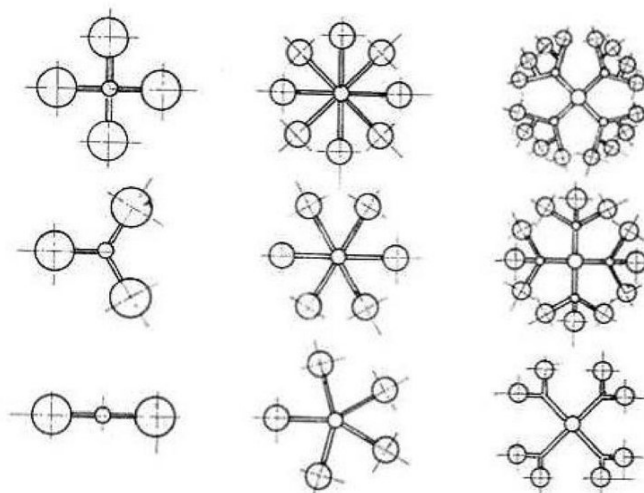
Obr. 16. Vhodné tvary rozvodných kanálů [14]

4.5.2 Rozložení vtokové soustavy

Rozložení rozvodných kanálů závisí převážně na:

- Násobnosti formy,
- Tvaru vstřikované součásti,
- Typu formy,
- Typu a umístění vtokového ústí.

Je nutno dbát na to, aby délka vtokového systému byla co nejkratší a aby vzdálenost, kterou musí materiál urazit od vtokové vložky do vtokového ústí, byla pro každou dutinu stejná. V případech kdy není možné nebo praktické mít stejně dlouhou dráhu kanálu do každé dutiny lze dosáhnout rovnoměrného naplnění dutin změnou rozměru jednotlivých kanálů tak, aby docházelo k plnění dutin ve stejnou dobu. [1, 2, 3, 7]



Obr. 17. Schéma vhodných rozložení vtokové soustavy pro rovnoměrné plnění [21]

4.5.3 Studený vtokový systém

Jedná se o standartní vtokový systém, který je obráběn přímo do desek vstříkovací formy. Materiál v tomto případě prochází z plastikační jednotky do formy skrze vtokovou vložku, která následně vede buď přímo do dutiny formy, nebo do systému rozvodných kanálů. Z těchto kanálů poté vede taveninu do vtokového ústí, kterým se plní samotná dutina formy. Tavenina po následném působení dotlaku tuhne ve vtokovém systému i v dutinách formy a je nutné zajistit vyhození i zatuhlého vtokového systému. [1, 2, 3, 7]

4.5.4 Horký vtokový systém

Oproti studenému vtokovému systému má horký řadu výhod. Tavenina v případě horkých vtoků vstupuje do dutin za lépe kontrolovaných podmínek a regulace teploty je lépe nastavitelná. Výrobky vstříkované horkými vtoky snižují nebo naprosto odstraňují nutnost dokončovacích operací na odstranění vtokových přebytků. Taktéž zvyšují vstříkovací kapacitu stroje o kapacitu horkého vtokového systému. [1, 2, 13]

V bloku horkého vtokového systému je teplota výrazně vyšší než v případě kanálů studených vtoků a proto téměř nedochází k nedotečení polymeru a předčasnému zatuhnutí vtoku. Výhodou horkých vtoků je taktéž úspora materiálu, která může být v některých případech poměrně výrazná. Avšak i tento typ vtokového systému má svá negativa. Mezi ta nejdůležitější patří vysoké náklady na nákup a instalaci zařízení. Také dlouhé dráhy toku a vysoká smyková rychlost mohou zvyšovat pravděpodobnost degradace materiálu. [1, 2, 13]



Obr. 18. Horký vtokový systém [22]

Vyhřívání trysky

Vyhřívání trysky je elektrické. Dále se vyhřívání trysky dělí dle způsobu vyhřívání na přímo a nepřímo vyhřívání. Přímě vyhřívání lze ještě rozdělit na ty s ohřevem vnitřním a na ty s vnějším. Co se týká nepřímo vyhřívání trysky, je jejich funkce založena na přenosu tepla z vyhřívání rozvodu. [1, 13]

Vnitřní vyhřívání je v přímo vyhřívání tryskách zajištěno topným tělískem, které je obtékáno samotnou taveninou. U trysky s vnějším vyhříváním se o výhřev stará topný svazek, kterým tavenina prochází. [1, 17]

Rozvodné bloky

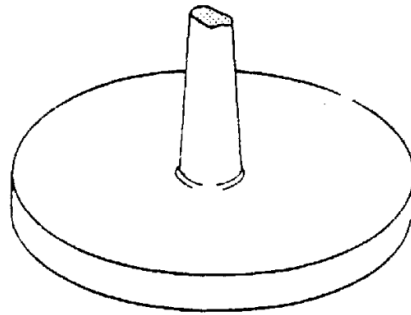
Jedná se o součást horkého vtokového systému, která slouží k rozvodu taveniny z plastikační jednotky do vyhřívání trysky. Tvary a rozměry jednotlivých bloků se odvíjí od tvaru, rozměrů formy a její násobnosti. Vyhřívání rozvodných bloků je zajištěno pomocí elektrických odporových vodičů, které jsou umístěny ve stěnách bloku. Je také nutné, aby byl blok dostatečně odizolován od zbytku formy a nedocházelo k nežádoucím přestupům tepla. [1, 17]

4.5.5 Vtokové ústí

Vtokové ústí je spojení mezi systémem rozvodných vtokových kanálů a tvarovou dutinou formy. Úkolem vtokového ústí je zajistit dostatečný tok taveniny pro zaplnění formy i kompenzaci následného smrštění. Vstřikovací proces a díl samotný jsou přímo ovlivněny typem použitého vtokového ústí, jeho umístěním a velikostí. Existuje také velká řada různých typů vtokových ústí. Typ a poloha vtokového ústí je často dána konstrukcí vyráběné součásti a násobností formy. [2, 7, 15]

4.5.6 Plný kuželový vtok

Tento typ vtokového ústí se používá zejména v jednonásobných vstřikovacích formách. Ve srovnání s bočním vtokem je průtok materiálu přímější a nedochází k tak velkým tlakovým ztrátám. Zároveň se také snižuje se smykové tření v materiálu. Nevýhodou však je, že je nutné tento vtok od hotového dílu odstranit dodatečnými operacemi. Vtok tohoto typu lze ve výjimečných případech použít i ve vícenásobných formách a to s pomocí kombinace horkého a studeného vtokového systému. [1, 2, 15]

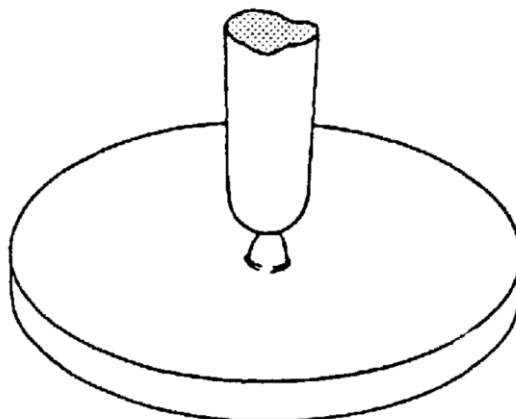


Obr. 19. Plný kuželový vtok [2]

4.5.7 Bodový vtok

Používá se nejčastěji ve vícenásobných formách. Dokončovací operace na odstranění vtoků jsou často úplně eliminovány, protože může docházet k odlomení vtoků již při vyhazování výrobku. Vtokové ústí nesmí být ale příliš úzké, neboť by mohlo dojít k narušení plnění dutiny formy. Taktéž zahřívání materiálu třením, způsobeným vysokým vstřikovacím tlakem může vést k vzniku spálenin na hotové součásti. [2, 13, 15]

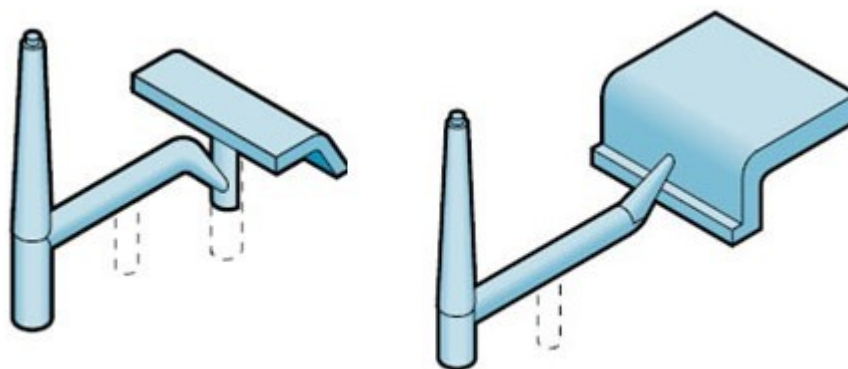
Ústí však nesmí být ani příliš velké, aby se vtok od hotového dílu lehce odlamoval a nezanechával příliš výrazné stopy. Bodový vtok by neměl mít průměr ústí menší než 0,6 mm a větší než 2 mm. Je také nutné mít vhodný vtokový systém tak, aby nedocházelo předčasnému zatuhnutí taveniny. Vtok je vhodné umístit do mechanicky méně namáhaných částí a nepohledových částí dílu nebo tam kde není nutnost hladkého povrchu. [2, 13, 15]



Obr. 20. Bodový vtok [2]

4.5.8 Tunelový vtok

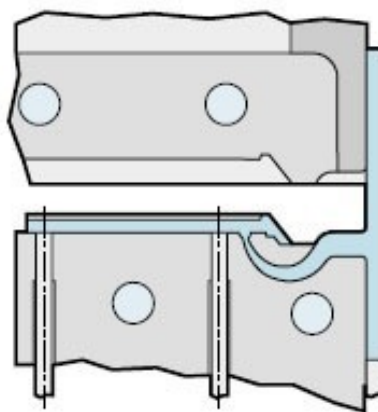
Zvláštní typ bodového vtoku, kdy dochází k plnění dutiny formy mimo dělicí rovinu. Kuželovitý tunelový vtok vede taveninu z rozvodného kanálu do dutiny formy pod úroveň dělicí roviny. Vtokový systém se od dílce odděluje samostatně buď při otevření formy, nebo za pomoci vyhazovacích prvků. O separaci vtokového systému se za pomoci stříhu stará řezná hrana a proto by měla být dostatečně ostrá a schopná kvalitního oddělení vtoku. Z toho důvodu není příliš vhodný tento typ vtoku pro vstřikování materiálů s vláknitým plnivem. [2, 13, 15]



Obr. 21. Tunelový vtok [14]

4.5.9 Banánový vtok

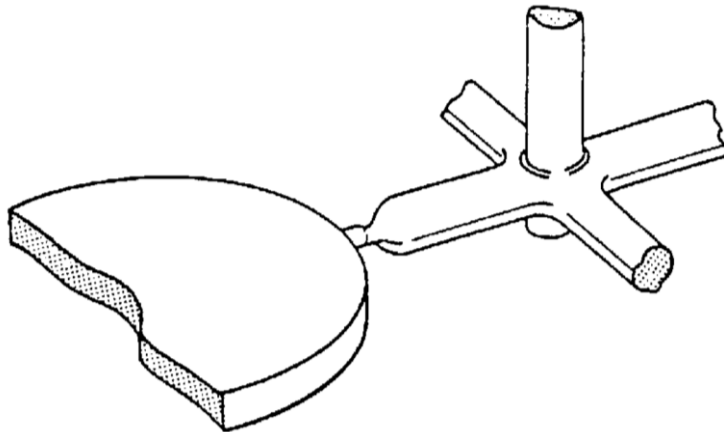
Jeho výhodou je, že umožňuje plnění dutiny formy ze stranu opačné, než ze které je do formy tavenina přiváděna. Nevýhodou však je náročnost a nákladnost výroby tvarově složitého ústí, které se nejčastěji vyrábí pomocí elektroerozivního obrábění. Existují i jednodušší způsoby a to například použití již vyrobených vložek s banánovým vtokem, které se do formy jen vloží. [2, 13, 15]



Obr. 22. Banánový vtok [14]

4.5.10 Boční vtok

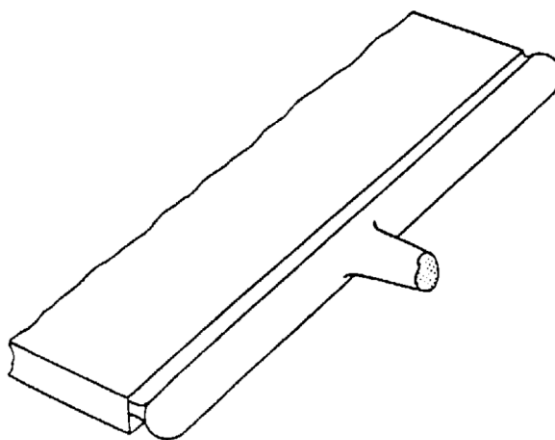
Většinou používán u vícenásobných forem na relativně malé a ploché díly. Velikost ústí bočního vtoku závisí na tvaru a tloušťce vstřikovaného dílu. U silnějších profilů by měla být tloušťka vtokového ústí přibližně 75% tloušťky součásti a šířka stejná jako šířka rozvodného kanálu. [2, 15]



Obr. 23. Boční vtok [2]

4.5.11 Filmový vtok

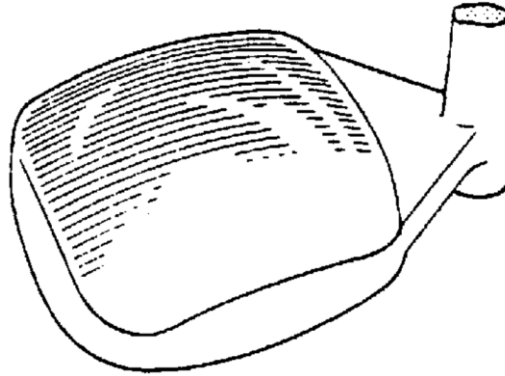
Často používaný případ bočního vtokového ústí, především vhodný pro dlouhé ploché součásti tenkého profilu a umožňuje rychlé a konzistentní plnění dutin větších rozměrů. Šířku vtokového ústí určují rozměry vstřikovaného dílu. V některých případech bývá ústí filmového vtoku i po celé délce dílu. Obvykle je však dostatečující šířka ústí 50% délky boční stěny dílu. [2, 13, 15]



Obr. 24. Filmový vtok [2]

4.5.12 Vějířovitý vtok

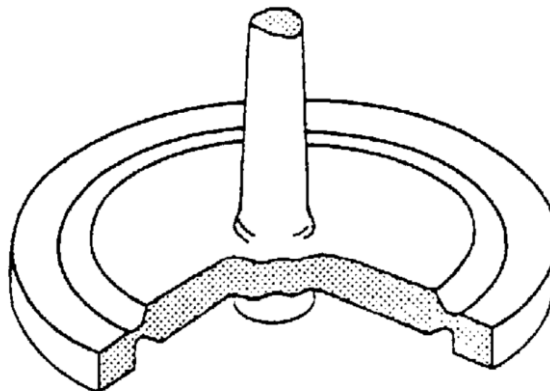
Další variantou filmového vtoku je vějířovité vtokové ústí. Rozšiřuje se směrem od rozvodného kanálu. Používá se často u vstřikování tlustších profilů a umožňuje lepší působení dotlaku. [2, 15]



Obr. 25. Vějířovitý vtok [2]

4.5.13 Membránový vtok

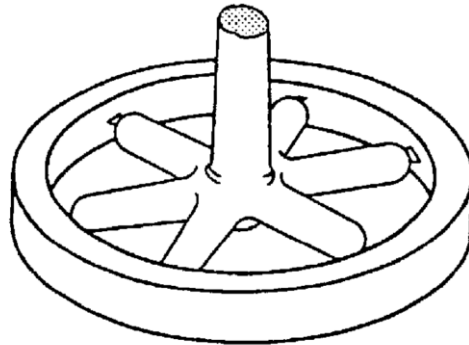
U jednonásobných forem, kde se vstřikuje díl s centrálním otvorem je možné s výhodou použít tento typ vtoku. Vypĺňuje dutinu formy radiálně a rovnoměrně ve všech směrech. Samotné membránové ústí vtoku musí být následně po vstřikování mechanicky odděleno. [2]



Obr. 26. Membránový vtok [2]

4.5.14 Pavoukový vtok

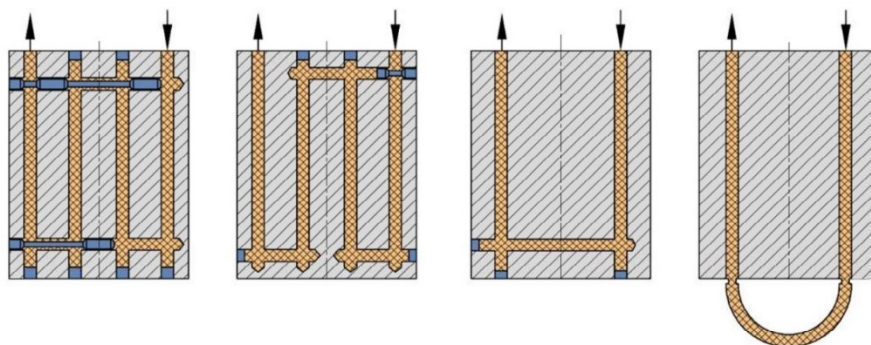
Jedná se o variaci membránového vtoku. Používá se u vstřikování dílů s otvory velkých průměrů a pomáhá tak oproti membránovému vtoku snižovat množství plýtvaného materiálu. Výraznou nevýhodou je však vznik stokových čar v místech, kde se setkávají jednotlivé proudy taveniny. Toto je třeba vzít v úvahu hlavně u vstřikování mechanicky namáhaných dílů, neboť v místě stokových čar může docházet k praskání. [2]



Obr. 27. Pavoukový vtok [2]

4.6 Temperační systém formy

U vstřikování termoplastů je hlavním účelem temperačního systému minimalizovat dobu vstřikovacího cyklu a zajistit rovnoměrné chlazení v jednotlivých částech formy. Proto je temperace forem nezbytná jak z hlediska úspory nákladů, tak z hlediska kvality vstřikovaných dílů. Rovnoměrné chlazení zlepšuje kvalitu finálního výrobku tím, že snižuje smrštění, zabraňuje vzniku vysokého residuálního napětí a zlepšuje odformovatelnost. K chlazení se používají nejčastěji systémy vrtaných kanálů pod povrchem formy, ve kterých cirkuluje voda, olej nebo jiné temperační médium. Oproti vodě má olej výhodu, že jej lze použít i při vyšších teplotách. Temperační médium na bázi oleje je možné použít až do teplot 350 °C, zatímco u teploty nižší než 25 °C je nutné použití směsi vody a glykolu. [1, 2, 13]



Obr. 28. Přehled jednoduchých temperačních okruhů [17]

Důležité je také uspořádání temperačního systému vzhledem k dutině formy a vzdálenosti jednotlivých kanálů mezi sebou. Zvětšení vzdálenosti temperačního kanálu od tvarové dutiny formy vede ke snížení účinnosti přenosu tepla a příliš velký rozptyl mezi jednotlivými kanály vede k nerovnoměrné teplotě dutiny formy. Z těchto důvodů je temperační systém, který hustěji pokrývá dutinu formy vhodnější i při menších průměrech kanálů. V případě vstřikování reaktoplastů dochází ve formě naopak k zahřívání na teplotu potřebnou k zesíťování daného materiálu. [1, 2, 7, 13]

4.7 Vyhazovací systém formy

Poté co materiál zatuhne ve formě a vytvaruje se do požadovaného tvaru, je jej nutné vyjmout z dutiny formy. Vyjmutí zajišťuje vyhazovací systém, který se může skládat z mnoha součástí a existuje velká řada jeho konstrukčních řešení. Zvláštním případem jsou formy kdy se o vyjmutí výrobku stará, buď samotný operátor stroje, nebo je výrobek vyjímán robotem. [2]

Vyhazování je řešeno mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. Vyhazovací systém je nejčastěji uložen v pohyblivé polovině formy. Při otevření formy se díl nachází na téže straně, kde drží buď za pomoci podkosů nebo je držen přídržovačem vtoku. Poté je již možné díl vyhodit za pomoci vyhazovacích elementů. Vyhazovací systémy lze rozdělit dle konstrukce na vyhazování pomocí kolíků, stíracích desek nebo trubkových vyhazovačů. [1, 2, 3]

4.7.1 Systémy vyhazovacích kolíků

Systém vyhazování za pomoci kolíků je konstrukčně nejjednodušším a zároveň nejlevnějším způsobem vyhazování. Z těchto důvodů se jedná o nejrozsáhlejší vyhazovací systém. Jeho výhodou je jednoduchost návrhu a také možnost uzpůsobení řadě různých tvarů vyhazovaných výrobků. Nevýhodou však je vznik stop po jednotlivých vyhazovačích a poměrně malá styčná plocha s vyhazovaným dílem. Proto je nutné, aby čela kolíků byly v kontaktu pouze s nepohledovou stranou dílu a aby byly uloženy v místech, kde nebude docházet k boření vyhazovaného dílu. [1, 2]

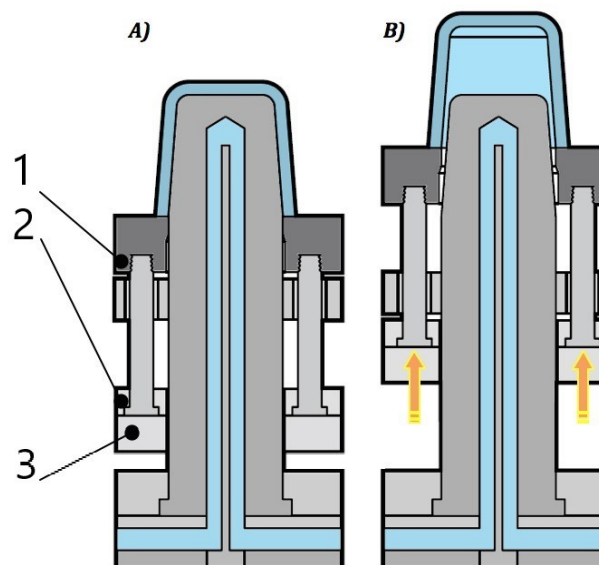


Obr. 29. Vyhazovací kolíky [28]

Podle tvaru funkční části vyhazovacích kolíků je lze ještě dělit na prizmatické a běžné válcové. U prizmatických kolíků je funkční část zúžena, případně je vybroušena do požadovaného tvaru tak, aby kolík co nejlépe splňoval svoji funkci.

4.7.2 Systémy stíracích desek

Vyhazování pomocí stíracích desek je oproti vyhazovacím kolíkům šetrnější, jelikož má větší styčné plochy s vyhazovaným dílcem a je zde tedy mnohem lepší rozložení tlaku. Výhodou je také to, že na výrobku nezanechává stopy. Na podobném principu jako stírací desky fungují i trubkové vyhazovače. Vyhazování pomocí stíracích desek a trubkových vyhazovačů je především vhodné pro díly válcovitého tvaru. [1, 2]



Obr. 30. Schéma stírací desky [14]

1- stírací deska, 2- vyhazovací deska kotevní, 3- vyhazovací deska opěrná

4.8 Odvzdušnění formy

Další důležitý aspekt konstrukce vstřikovací formy je odvzdušnění. V mnoha případech je nutné zajistit kanálky pro únik stlačeného vzduchu a plynů během formovacího procesu. Uvězněný vzduch a plyny v dutině formy mohou způsobit řadu problémů a vad na hotovém dílci. Jedná se především o:

- Nedotečení do částí formy kde je vzduch uzamčen.
- Smrštění, zvlnění dílu.
- Spálená místa (diesel efekt).
- V extrémních případech může dojít u plynů i k leptání povrchu. [2]

Odvzdušnění může být řešeno jak použitím porézních kovů, které umožňují únik plynu, tak již zmíněných kanálků v dělicí rovině, kterými budou vzduch a plyny unikat. Kanálky pro odvzdušnění formy musí být velké tak akorát, aby mohl uniknout vzduch, ale aby nedocházelo k úniku polymerní taveniny. [2, 13]

Tab. 1. Tabulka šířek odvzdušňovacích kanálů pro základní materiály

Typ plastu	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02-0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05
Strukturní pěny	max. 0,1

4.9 Materiály forem

Forma jako celek se skládá se spousty jednotlivých dílu, kde každý díl má jiné požadavky a nároky na kvalitu materiálu z kterého je vyroben. Z tohoto důvodu je ve formě obsaženo mnoho druhů materiálů a jejich tepelných zpracování. Materiál určuje kvalitu a hlavně životnost formy. Také finanční náročnost její výroby je materiálem výrazně ovlivněna. Materiál vždy volíme dle typu zatížení, kterému je součást formy vystavena. Dále je také nutno brát v úvahu, které části jsou v přímém kontaktu s taveninou a případně jestli budeme vstříkovat chemicky agresivní materiály. [1, 13]

U malých a středních forem se některé díly vyrábí z cementačních ocelí, které jsou uvnitř houževnaté a na povrchu tvrdé. Výhodou těchto ocelí je dobrá obrobiteľnosť v žíhaném stavu a nedochází u nich příliš k praskání při kalení. Nevýhodou je ovšem výraznější deformace po tepelném zpracování než u ocelí kalitelných. [13]

Kalitelné oceli se ve formách nejčastěji používají na výrobu tvarových částí při vstříkování abrazivních a chemicky agresivních plastů. Mají poměrně dobrou obrobiteľnosť v žíhaném stavu a vysokou stabilitu po kalení. U zpracování velmi abrazivních plastů se používá chromované ocel. [13]

Povrchová úprava ocelí tvarových částí formy se provádí po předchozím zpracování a slouží ke zlepšení vlastností (chromování, nitridování atd.). Pro desky rámu formy je používáno převážně běžné konstrukční oceli a většinou se tepelně nezpracovávají. Pouze ve zvláštních případech velmi namáhaných desek je používáno cementačních nebo nástrojových ocelí. Materiály vodících prvků a vložek formy jsou převážně nástrojové, cementační nebo cementované a poté zakalené oceli. [13]

5 ZÁSADY PŘI VOLBĚ VHODNÉHO TVARU VÝROBKU

Při návrhu dílu, vyráběného technologií vstřikování, je nutné dbát na jeho funkční spolehlivost a je třeba splnit technologické požadavky kladené na danou technologii. Výrazný je vliv zvoleného materiálu, typ vstřikovacího stroje a celková konstrukce formy. Není proto vhodné pouze kopírovat tvar výrobku vyrobeného jinou technologií. [1, 2, 14]

Důležitou součástí konstrukce vstřikovaného výrobku je také určení polohy dělicí roviny. Jedná se o plochu, ve které na sebe dosedají tvarové části formy. Dělicí rovinu je nutné volit tak aby vyhazování hotového dílce bylo co nejsnadnější a zároveň aby poloha dělicí roviny měla co nejmenší vliv na vzhled nebo funkci samotného dílu. U složitých dílů je často potřeba volit více dělicích rovin. [1, 2, 13, 14]

Co se týká tvarového řešení dílu, technologie vstřikování má řadu omezujících požadavků, které je třeba brát v úvahu. Tloušťka stěn nesmí být příliš malá a musí odpovídat schopnostem taveniny. To znamená, že musí být alespoň taková, aby tavenina byla schopna za daných technologických podmínek zatéct do všech zákoutí dutiny formy. U běžných termoplastů je minimální hranice tloušťky stěn u malých výrobků 0,5 mm. Zároveň je ale důležité brát v úvahu, že tloušťka stěny nesmí být ani příliš velká. U příliš tlustých stěn může docházet k vzniku propadlin a dutin, čemuž se musí předcházet delší dobou chlazení a dotlaku, což zvyšuje ekonomickou náročnost výroby. Obvykle se horní hranice tloušťky stěn pohybuje okolo 6 mm, ale ve výjimečných případech lze vstřikovat i tlustší díly. [1, 2, 14]

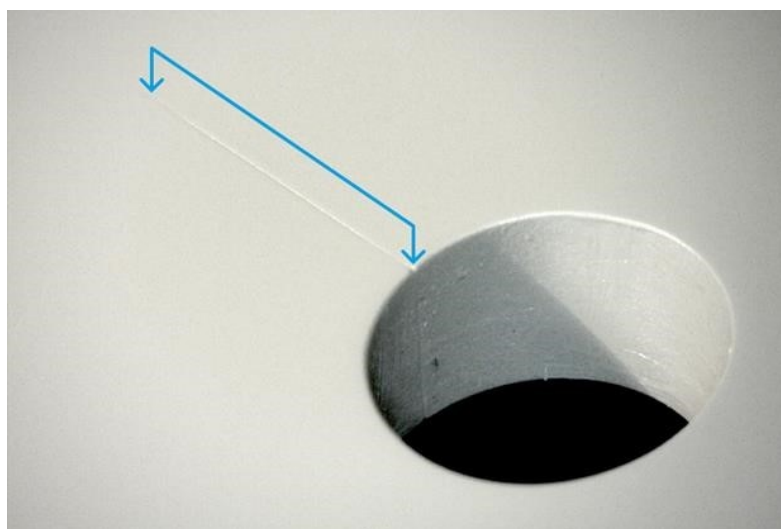
Dalším důležitým bodem je smrštění hotového výrobku. S ním je nutné počítat a hlavně v ose kolmé na dělicí rovinu, kde může být smrštění poměrně výrazným aspektem. Z tohoto důvodu je potřeba při návrhu samotného dílu zvětšit jeho rozměry tak, aby po smrštění dosahoval požadovaných rozměrů. Toto zvětšení je výrazně závislé na typu vstřikovaného polymeru a orientaci dílu. Také je ale nutno vytvořit úkosy pro lepší vyhazování výrobku na plochách, kolmých k dělicí rovině. Pro tvrdé a křehké materiály se většinou volí větší úkosy než pro měkké a houževnaté. [1, 2, 13]

6 BĚŽNÉ VADY VSTŘIKOVÁNÝCH DÍLŮ

Při kontrole vstřikovaných dílů se mohou často projevit různé vady a nedokonalosti. Ty je nutné identifikovat, určit jejich příčinu a následně ji odstranit. Vady mohou být způsobené jak samotným materiálem, nastavenými technologickými podmínkami, tak i konstrukcí výrobku nebo nástroje. [13]

6.1 Studené spoje

Vznikají v místech, kde dochází ke styku dvou nebo více toků taveniny. Čela jednotlivých toků taveniny jsou chladnější než zbytek toku a proto při setkání takových toků dochází ke vzniku studeného spoje. V místě spoje poté dochází jak k vizuální, tak i k pevnostní závadě výrobku. U mechanicky namáhaných dílů je nutno se studeným spojům pokud možno vyvarovat. V případě, že se nelze vyhnout vzniku studeného spoje, je potřeba spoj situovat v mechanicky nenamáhaných místech dílu. Vznik studeného spoje výrazně ovlivňuje samotná konstrukce vtokové soustavy, zejména vtokového ústí. Pro lepší styk dvou čel taveniny v dutině formy lze zvýšit teplotu taveniny a rychlost vstřikování. [1, 4, 13]



Obr. 31. Příklad studeného spoje [23]

6.2 Diesel efekt

Jak již bylo zmíněno v kapitole odvzdušnění formy, tato vada vzniká nedostatečným odvodem vzduchu a plynů z dutiny vstřikovací formy. Poté co je vzduch pod vysokým tlakem uvězněn v dutině formy, dochází k prudkému stlačování a zahřívání, které často vede až k jeho vznícení. Diesel efekt způsobuje lokální degradaci nebo spáleniny na hotovém dílcí. Diesel efektu se lze zbavit lepším odvzdušněním formy nebo snížením vstřikovací rychlosti. [1, 13]



Obr. 32. Příklad diesel efektu [25]

6.3 Přetoky

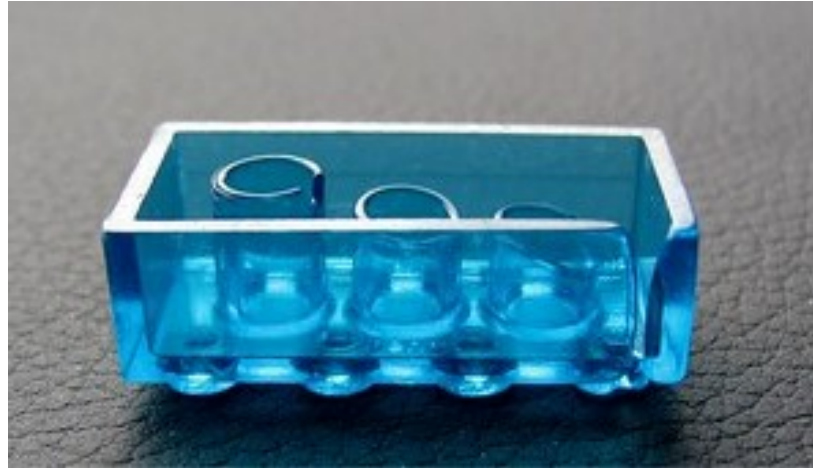
Jedná se o přetečení materiálu mimo tvarovou dutinu formy, nejčastěji do dělicí roviny. Příčiny této vady jsou nejčastěji nedostatečná uzavírací síla stroje, příliš nízká viskozita taveniny nebo nečistoty v prostoru dělicí roviny. [2, 13]



Obr. 33. Příklad přetečeného vstřikovaného dílu [25]

6.4 Nedotečené díly

Vada, která je způsobená příliš malou dávkou vstříkované taveniny, nedostatečným odvzdušněním nebo brzkým zatuhnutím vtokového systému, z důvodu nevhodné teploty nebo nízké teploty taveniny. [1, 2]



Obr. 34. Příklad nedotečeného dílu [24]

6.5 Propadliny

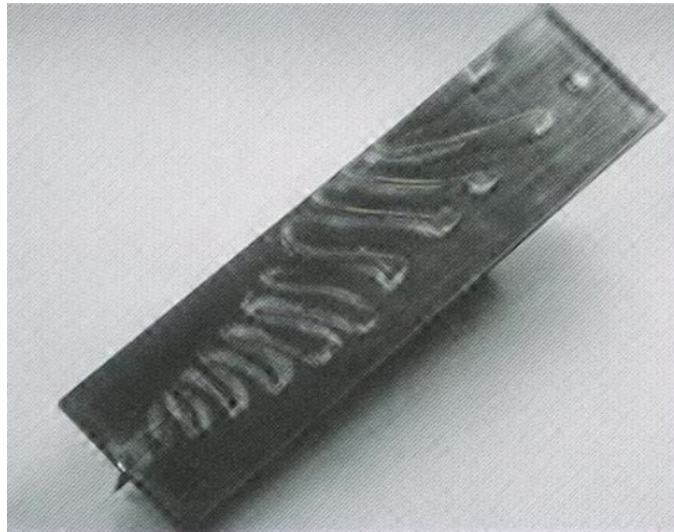
Propadliny se nejčastěji vyskytují v tlustších místech výstřiku. Jsou způsobené pomalým chladnutím taveniny a následným smrštěním. Řešením této vady může být změna konstrukce vstříkovaného dílu nebo zvýšení dotlaku. [2, 13]



Obr. 35. Příklad propadlin na hotovém dílci [25]

6.6 Jetting

Jedná se o vadu, která je způsobena nevhodným návrhem polohy vtokového ústí. Při této vadě teče tavenina do dutiny formy úzkým paprskem, který se nedotýká stěny a je poté na hotovém dílci vizuálně patrný. Řešením je změna polohy vtokového ústí. Vhodné je umístit ústí ke stěně nebo do místa kde dojde k brzkému kontaktu čela taveniny se stěnou dutiny formy. [1, 2]



Obr. 36. Příklad vady jetting [23]

7 SIMULAČNÍ SOFTWARE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ MOLDFLOW

Simulační software je kontrolní a optimalizační nástroj pro odhalování míst, kde může docházet k vzniku výrobních nebo funkčních problémů. Umožňují také simulaci technologických procesů a následnou optimalizaci a odstranění nedostatků. Výhodou je také možnost experimentovat s technologickým procesem bez nutnosti zasahovat do reálné výroby, čímž se minimalizují materiální ztráty s tím spojené. Analýzy a následné optimalizace pomáhají dosahovat lepších užitkových a vzhledových vlastností a přináší také zkrácení výrobních cyklů. To vede ke zvýšení kvality a produktivity výroby. [13]

Softwarová sada Modflow Plastics Insight je celosvětově používaný nástroj pro podrobné simulace vstřikovacích procesů. Obsahuje také řadu modulů pro speciální a nekonvenční způsoby vstřikování plastů. Do této kategorie patří např. vstřikování s podporou vody nebo plynu (WIT, GIT), vstřikování plastů s vláknitými plnivý, vstřikování MuCell apod. [13]

Co se týká postupu při simulacích vstřikování plastů v Moldflow je nejprve nutné vytvořit 3D CAD model vstřikovaného výrobku. Takto vytvořený CAD model se poté naimportuje do softwaru Moldflow a vygeneruje se na něm síť ze specifikovaných prvků. Další důležitou součástí simulace je výběr typu simulace, vstřikování, materiálu a také umístění vtoku. Před spuštěním analýzy je možno ještě upravit a nastavit řadu specifických parametrů jako např. teploty, tlaky, doby působení dotlaku atd. Po samotné analýze procesu je prostor pro kontrolu výsledných hodnot simulace a následnou optimalizaci. Optimalizace se odvíjí od výsledků simulace, kdy konstruktér upravuje tvar modelu nebo podmínky vstřikování tak, aby odstranil nebo minimalizoval všechny vady, které simulace odhalila.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem práce je zhotovit konstrukční návrh nástroje pro výrobu plastové části automobilu a byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobitelnost.
- Provést analýzu procesu vstřikování.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

Literární studie je zaměřena na technologii vstřikování a jsou v ní popsány jak její základní charakteristiky, tak jednotlivé konstrukční možnosti vstřikovacích forem a strojů.

V další části byl zadán typ součásti a následně vytvořen odpovídající model součásti v programu Catia V5.

Po vytvoření modelu součásti byla navrhována a taktéž vymodelována vstřikovací forma na výrobu zadaného dílu. Forma byla zvolena dvounásobná s horkým vtokem a jelikož se jedná o díl který je v automobilu zrcadlově symetrický, byly taktéž dutiny ve formě navrženy na výrobu obou zrcadlových dílů.

Poté byla za pomoci programu Autodesk Modlflow analyzována funkčnost a efektivita temperace, vtokového systému a taktéž procesních podmínek vstřikování dané součásti.

9 POUŽITÝ SOFTWARE

Software, použitý při zpracování diplomové práce byl následující.

9.1.1 Catia V5R20

Program Catia V5R20 byl použit na tvorbu všech modelů a to jak součástí a formy, tak jednotlivých modelů pro analýzu procesu vstřikování.

9.1.2 Hasco Dako Modul 2018

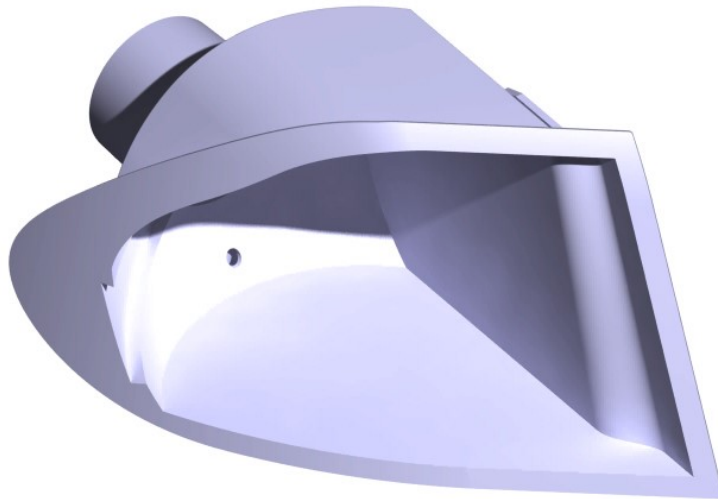
Jedná se o software s rozsáhlou databází normalizovaných součástí pro vstřikovací formy od firmy Hasco. Poměrně velká část normalizovaných dílů byla použita z této databáze, případně stažena přímo ze stránek výrobce.

9.1.3 Autodesk Moldflow Synergy 2018

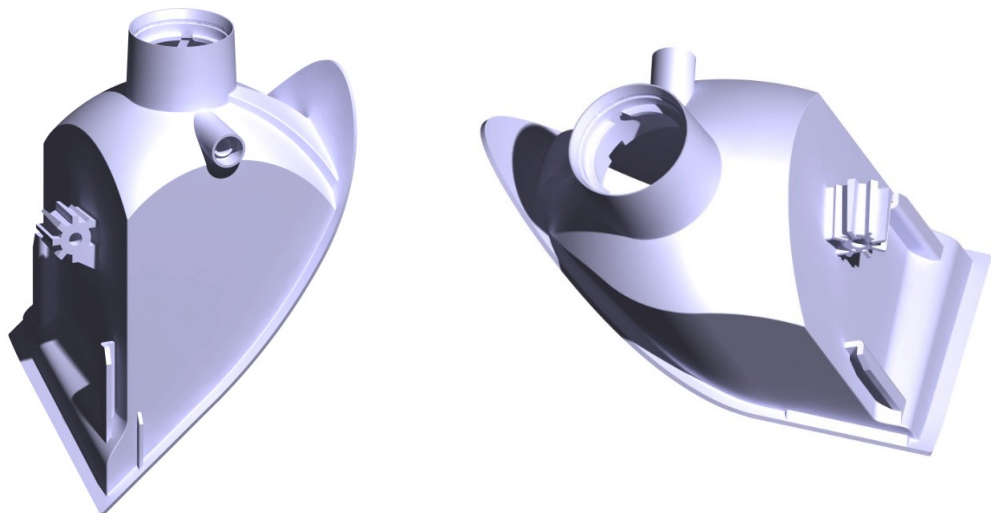
Tento software byl použit pro analýzu vstřikovacího procesu. Výhoda analýzy je převážně v tom, že nám odhalí možné nedostatky návrhu konstrukce formy, které je poté možné odstranit a formu tak vyladit do co nejlepší podoby.

10 VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST

Jedná se o součást automobilu, přesněji část směrového světla. Nejedná se o pohledovou součást, a proto zde nejsou kladeny příliš vysoké požadavky na kvalitu povrchu výstřiku. Ve formě budou vstříkovány dvě součásti najednou a to zrcadlově. Na jeden zdvih vstřikovací formy bude tedy vyrobena jak část levého, tak pravého směrového světla automobilu.



Obr. 37. Vstříkovaná součást



Obr. 38. Vstříkovaná součást (pootočená)

10.1 Materiál součásti

Materiál součásti byl zvolen polypropylen. Přesněji byl zvolen polypropylen společnosti A. Schulman s obchodním názvem Polyflam RPP1058UHF-.

10.1.1 Vlastnosti materiálu

- MFR index toku taveniny: 12 g/10min
- Teplota přechodu: 135 °C
- Hustota taveniny: 0,7751 g/cm³
- Hustota v pevném stavu: 0,92889 g/cm³
- Modul pružnosti v tahu: 1340 MPa
- Modul pružnosti ve smyku: 481,3 MPa
- Poissonova konstanta: 0,392

10.1.2 Doporučené procesní podmínky vstřikovacího procesu

- Teplota povrchu formy: 20- 80 °C
- Teplota taveniny: 200- 280 °C
- Absolutní maximum teploty taveniny: 320 °C
- Vyhazovací teplota: 93 °C
- Maximální smykové napětí: 0.26 MPa
- Maximální rychlost smykové deformace: 24 000 1/s

11 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj byl zvolen od společnosti Arburg a to model Allrounder 920 S. Stroj byl zvolen v závislosti na rozměrech formy, které jsou 896x896 mm.



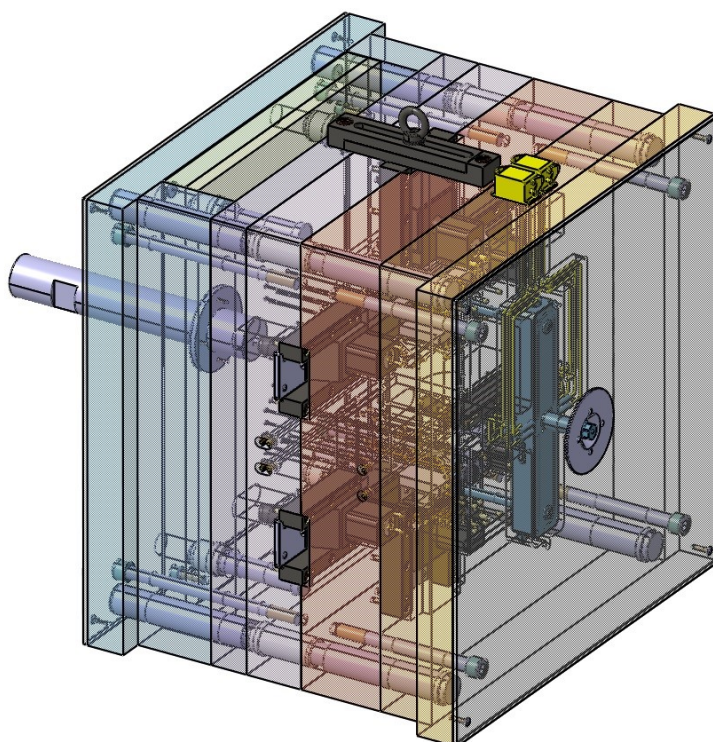
Obr. 39. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 920 S

11.1 Parametry stroje

- Maximální uzavírací síla: 5000 kN
- Maximální výška formy: 1050 mm
- Velikost upínací desky: 1280x1280 mm
- Vzdálenost mezi vodícími sloupy: 920x920 mm
- Maximální vyhazovací síla: 100 kN
- Maximální zdvih vyhazovacího systému: 250 mm
- Průměr šneku: 60 mm
- Poměr šneku: 23 L/D
- Maximální krouticí moment šneku: 51 m/min
- Maximální objem dávky: 792 cm³
- Maximální vstřikovací tlak: 2500 bar

12 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

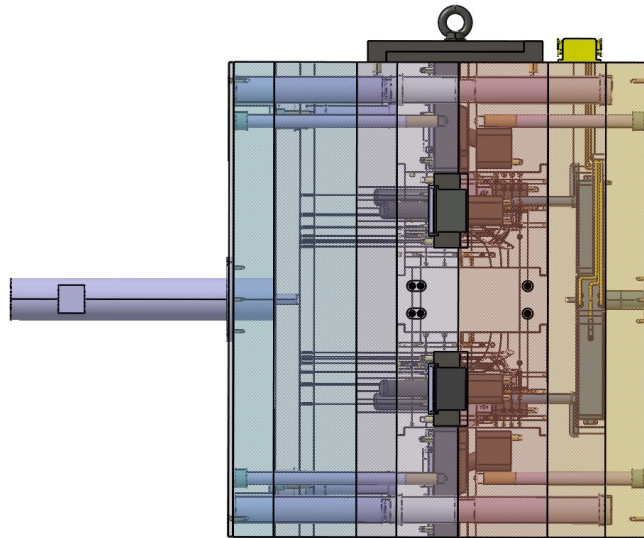
Vstřikovací forma byla zvolena jako dvounásobná s zrcadlově symetrickými výstřiky. Ve formě bylo taktéž použito mnoho různých komponentů převážně z katalogu normálií společnosti Hasco. Nenormalizované díly byly navrženy a vymodelovány čistě pro potřeby dané formy.



Obr. 40. Vstřikovací forma

12.1 Rám vstřikovací formy

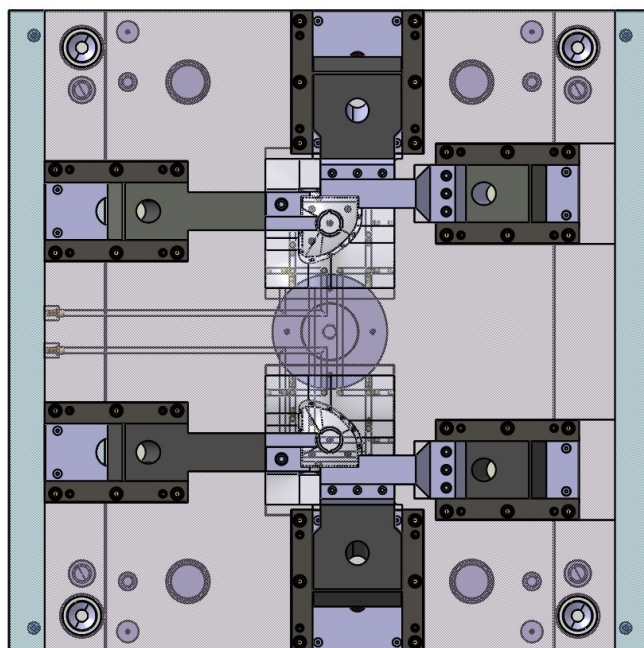
Základní rozměry formy jsou u upínacích desek 896x896 mm a u zbylých desek 796x896 mm. Forma se skládá celkem z deseti základních desek a dvou izolačních. Nachází se zde dvě kotevní desky, dvě opěrné, dvě rozpěrné, dvě upínací a vyhazovací desky kotevní a opěrná. Vstřikovací forma je taktéž opatřena transportním můstkem pro její přepravu. Ten je ukotven do levé opěrné a pravé kotevní desky. Zároveň zajišťuje formu proti otevření při její přepravě.



Obr. 41. Boční pohled na vstřikovací formu

12.1.1 Násobnost formy

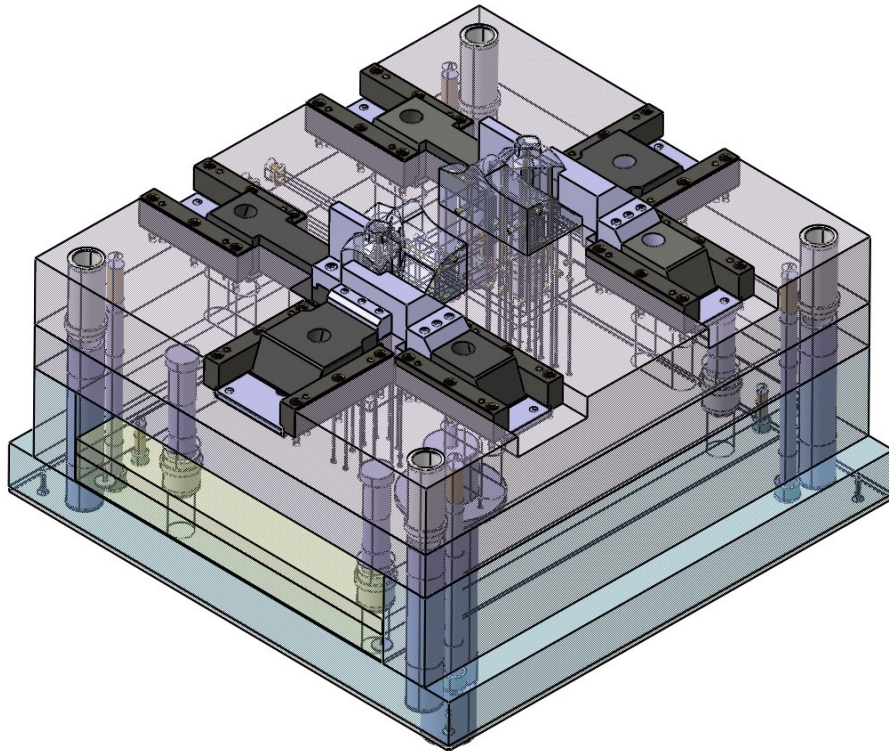
Forma je dvounásobná a na jeden zdvih dokáže vyrobit dvě součásti zrcadlově symetrické. Tedy jeden cyklus je potřeba k výrobě součástí pro jeden automobil v podobě pravé a levé části směrového světla. V závislosti na velikosti součástí a bočních tvarových částí potřebných pro vhodné odformování nebyla zvolena vyšší násobnost formy.



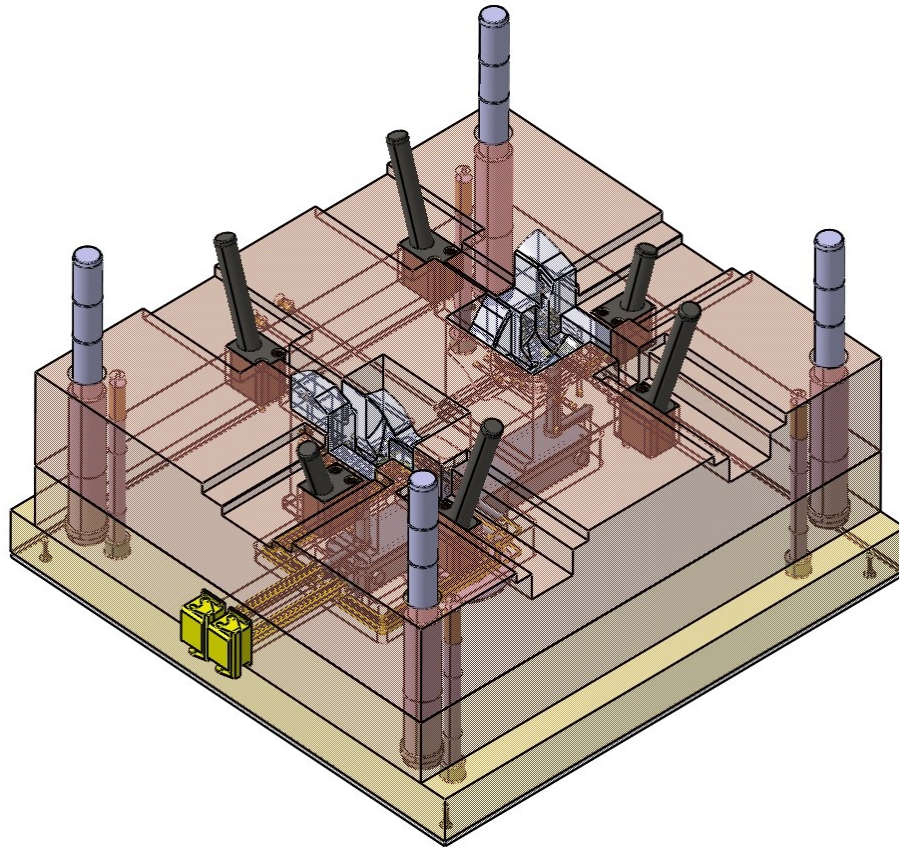
Obr. 42. Čelní pohled do pohyblivé strany vstřikovací formy

12.2 Návrh dělicí roviny

Umístění dělicí roviny bylo dle tvarové složitosti výrobku závislé převážně na bočních otvorech. Boční otvory se na výrobku nachází dva, a proto bylo nutné použít dvě boční posuvné čelisti. Třetí posuvná čelist byla použita, aby mohli být všechny čelisti uloženy na pohyblivé straně formy a bylo možné součást odformovat.



Obr. 43. Levá strana vstřikovací formy

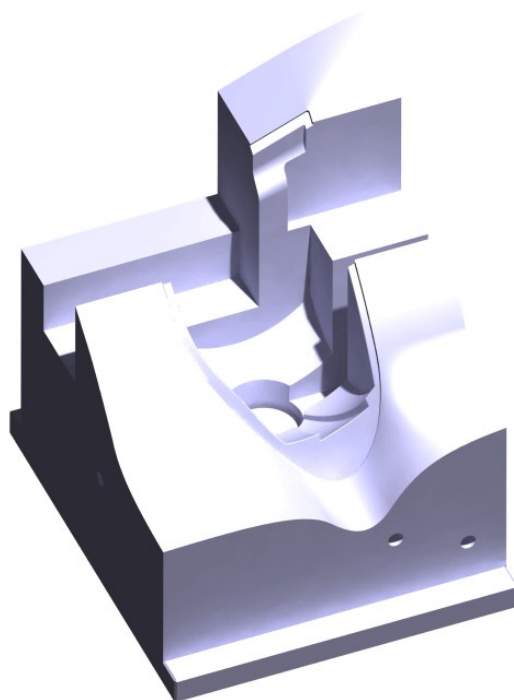


Obr. 44. Pravá strana vstřikovací formy

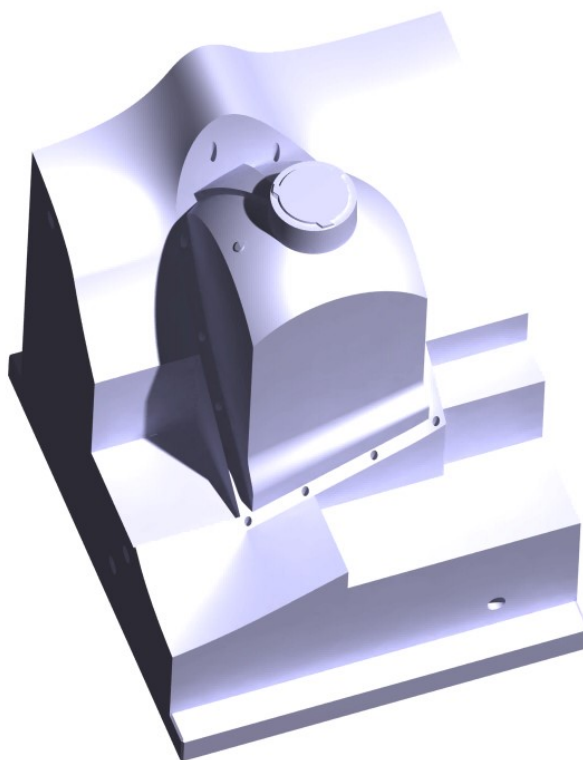
12.2.1 Tvarové části formy

V navržené formě se nachází celkem deset tvarových částí. Každá dutina je tvořena pěti tvarovými částmi a to tvárníkem, tvárnici a třemi posuvnými čelistmi. Obě dutiny jsou tvořeny stejnými tvarovými částmi, jen zrcadlově symetrické.

Tvárník a tvárnice jsou usazeny v kotevních deskách a jejich tvarové části jsou zvětšeny z důvodu smrštění daného materiálu.

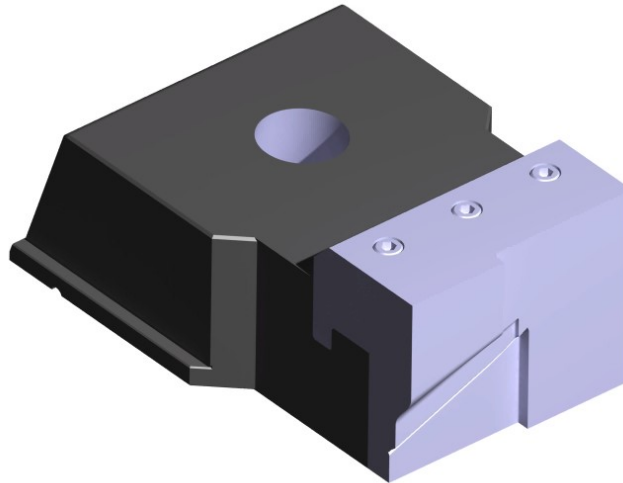


Obr. 45. Tvárnice

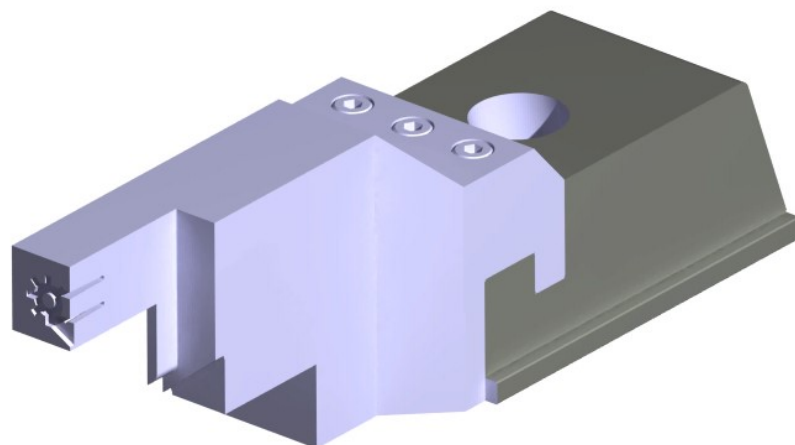


Obr. 46. Tvárník

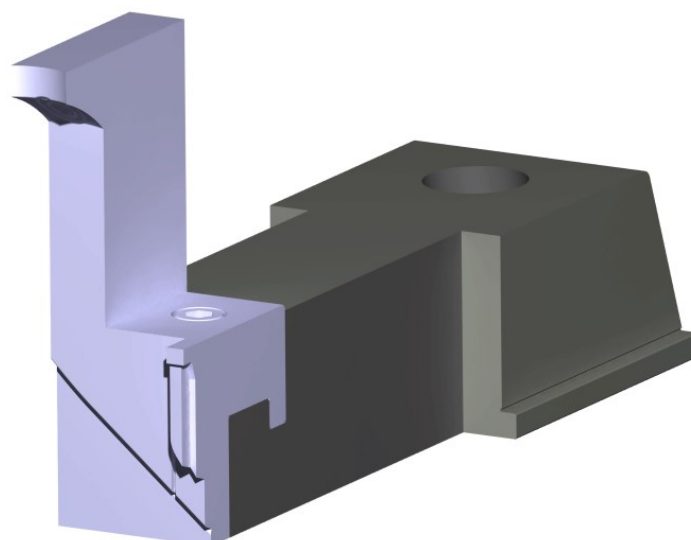
Boční posuvné čelisti jsou ukotveny v levé kotevní desce a jejich pohyb při odformování je zajištěn šikmými kolíky. Tyto kolíky jsou uloženy ve vložkách z normálií Hasco, kde jsou ukotveny pod úhlem 18° . Každá posuvná čelist má taktěž jinou délku šikmého kolíku dle potřebné délky posuvu čelisti pro bezproblémové odformování. Boční čelisti jsou zajištěny posuvným vedením a pohybují se po třecích deskách, které zajišťují lepší vedení a vzájemný pohyb čelistí a zbytku formy.



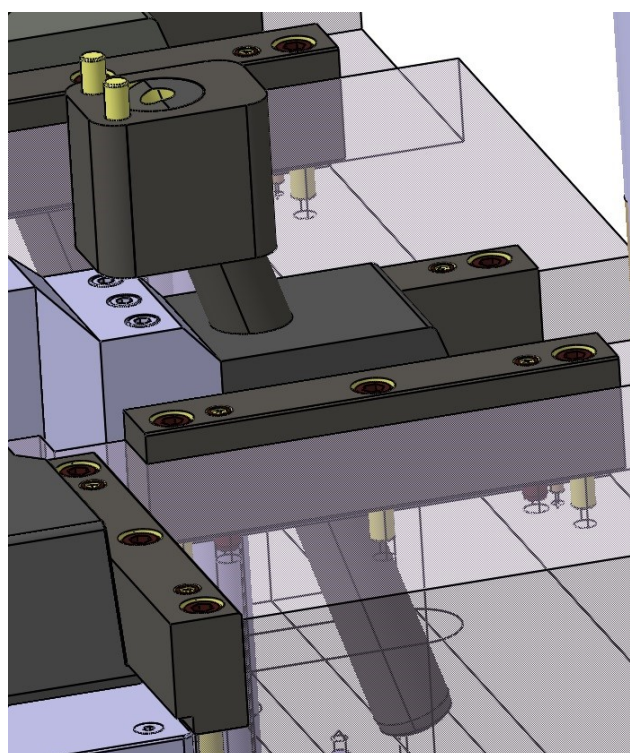
Obr. 47. Boční posuvná čelist 1



Obr. 48. Boční posuvná čelist 2

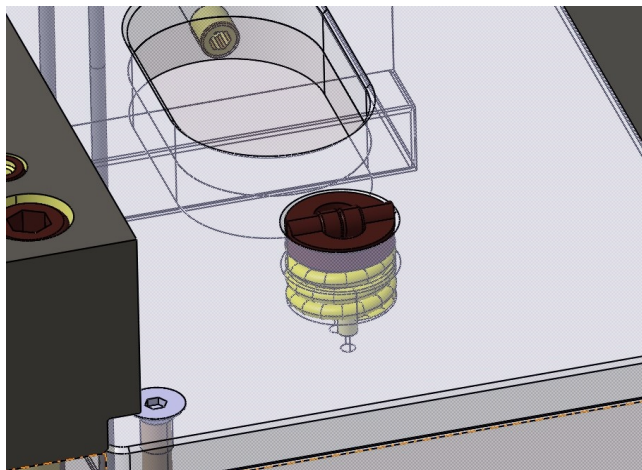


Obr. 49. Boční posuvná čelist 3



Obr. 50. Uložení šikmých kolíků

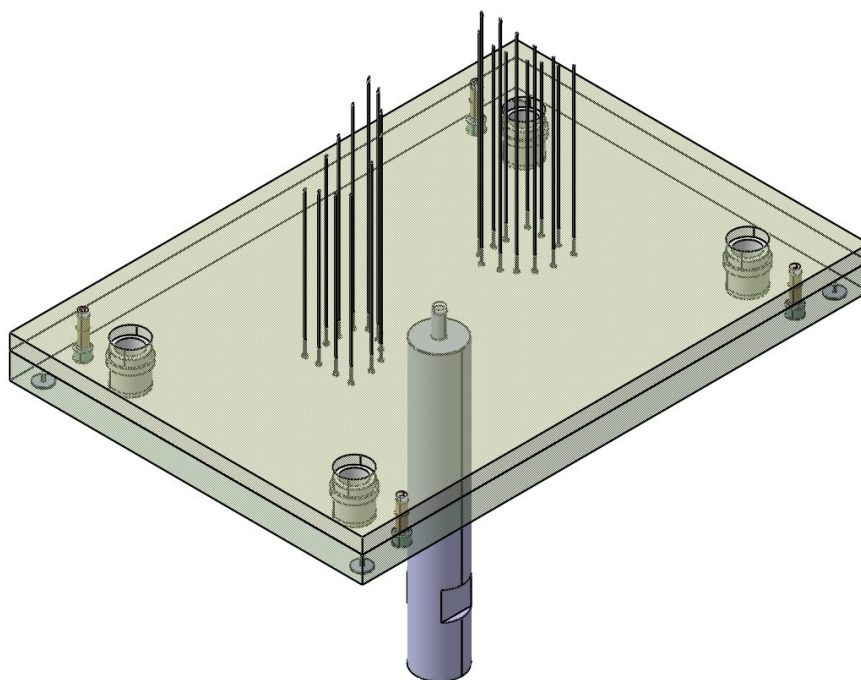
Čelisti, které se při upnutí formy pohybují ve vertikálním směru, jsou navíc zajištěny aretační součásti, která zajistí, aby nedošlo k vypadnutí daných čelistí z formy při odformování.



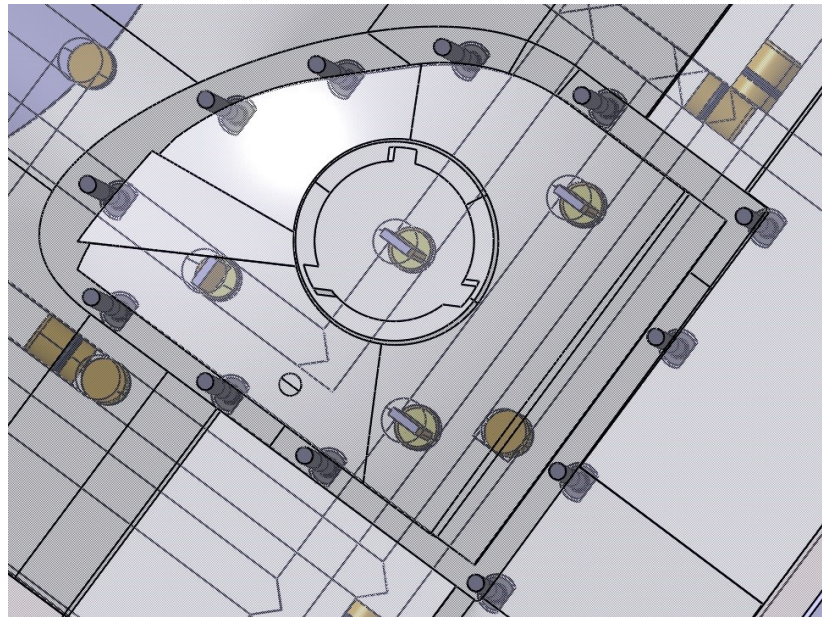
Obr. 51. Aretace posuvné čelisti

12.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je složen z celkem 24 válcových vyhazovacích kolíků, které jsou uloženy v kotevní vyhazovací desce a nacházejí se po obvodu vyhazované součásti. Čela vyhazovacích kolíků jsou zarovnány s povrchem tvárníků. Poté, co je forma otevřena, je hotový díl držen na levé, pohyblivé straně formy. Díl je zde zajištěn bočními pohyblivými čelistmi, které při otevření formy teprve započínají svůj pohyb a stále jistí díl. Po plném otevření a odformování formy a bočních čelistí je iniciován pohyb vyhazovacího systému a hotové díly jsou vyhozeny z formy.



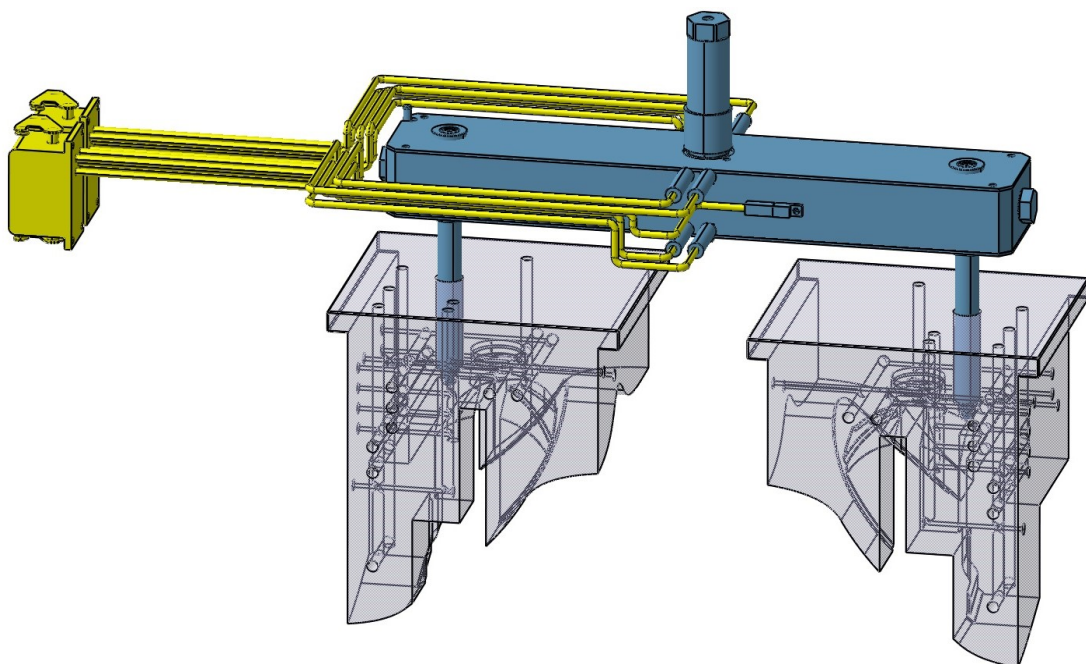
Obr. 52. Vyhazovací systém vstřikovací formy



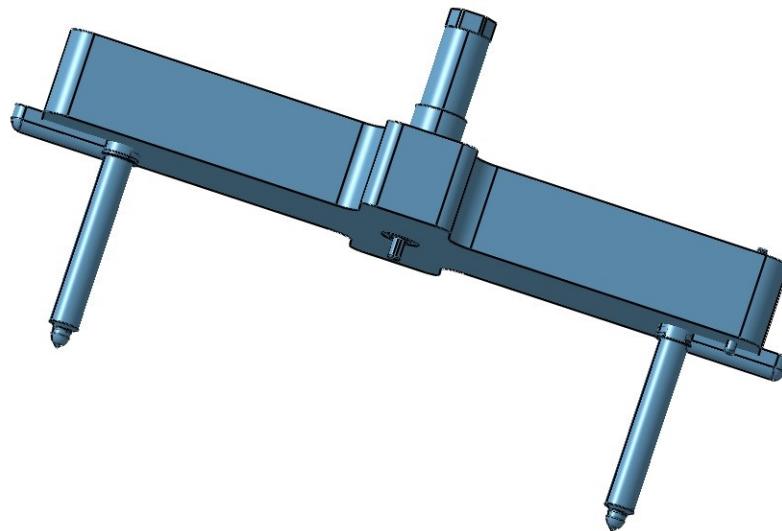
Obr. 53. Detail čela vyhazovacích kolíků v dutině formy

12.4 Vtokový systém

V navržené formě byl zvolen horký vtokový systém, vedoucí přímo do dutiny formy. Horký vtokový systém se skládá z vyhřívaných trysek a horkého rozvodného bloku. Tyto součásti byly použity od firmy Hasco.

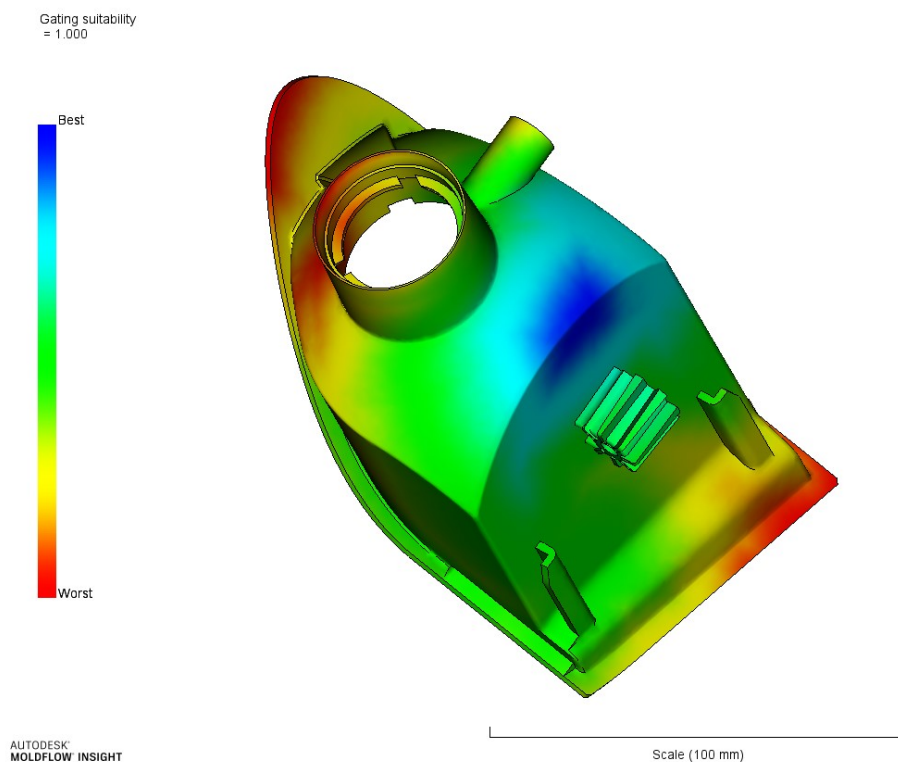


Obr. 54. Vtokový systém

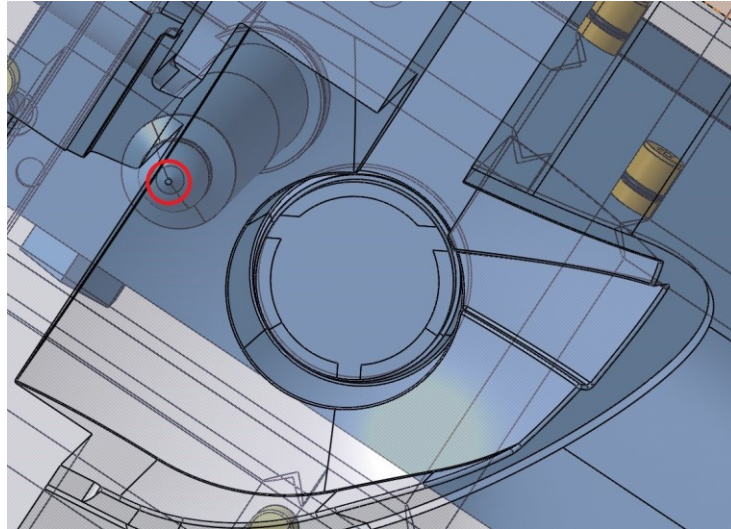


Obr. 55. Model horkého vtoku

Poloha vtoku byla zvolena dle přístupnosti daného místa a také v závislosti na výsledku analýzy polohy vtoku (gate location) v programu Autodesk Moldflow. Na obrázku 56. lze vidět barevné rozlišení od nejlepšího (modrá) po nejhorší (červená) místo umístění vtoku.



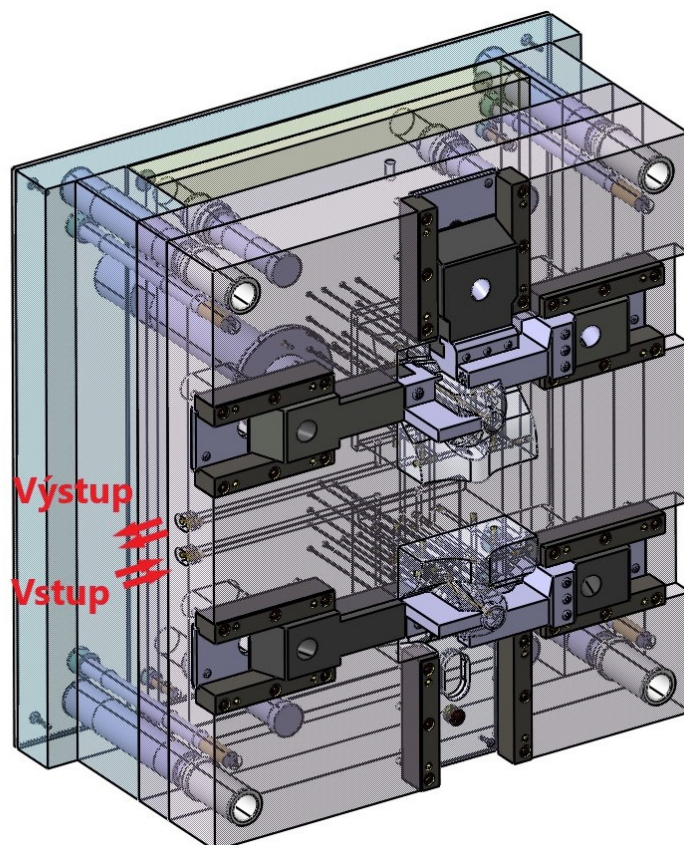
Obr. 56. Grafické vyjádření výsledku vhodnosti umístění vtoku (gate suitability)



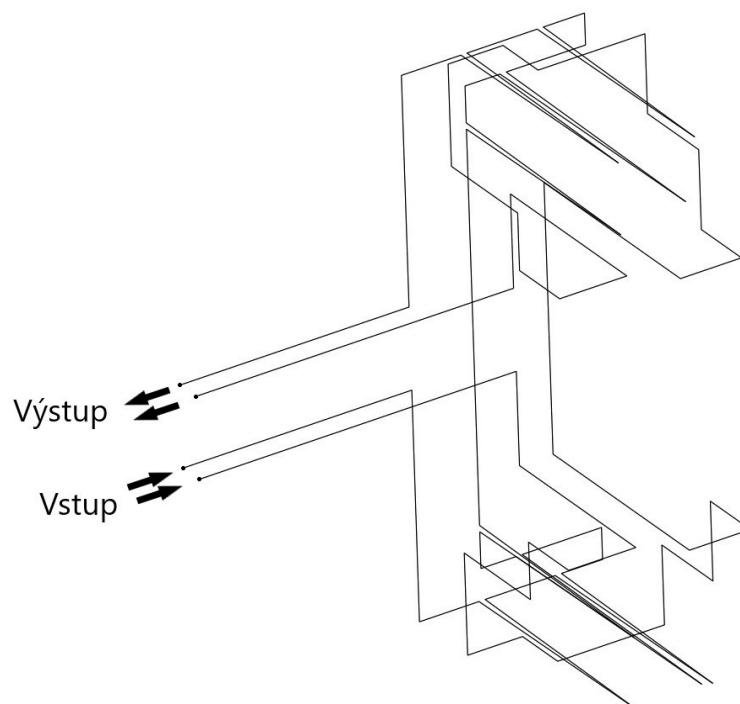
Obr. 57. Detail polohy vtoku v dutině formy

12.5 Temperace formy

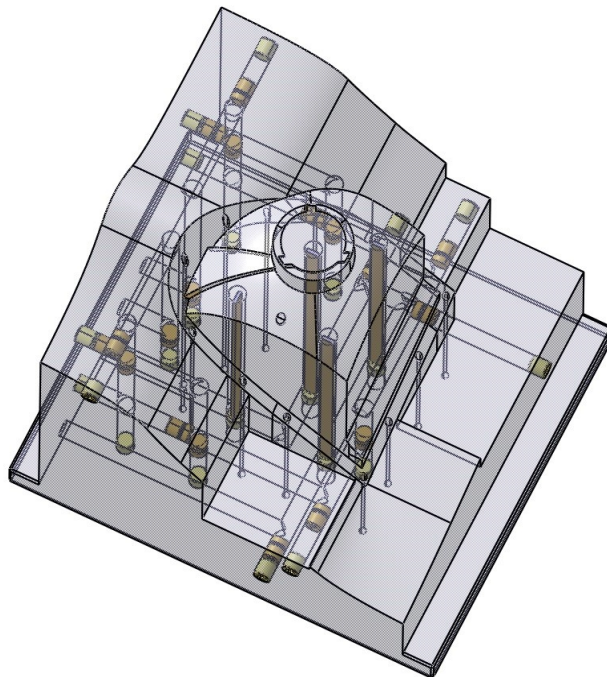
Temperační systém formy je složen ze tří temperačních okruhů. Jedná se o soustavu vrtaných kanálů o průměru 8 mm, přepážek a ucpávek. Dva okruhy se nacházejí na levé, pohyblivé části formy a jeden na pravé. První okruh prochází levou kotevní deskou do tvárníku, kde prochází systémem vrtaných kanálů, poté přechází do druhého tvárníku a nakonec vede skrze kotevní desku opět ven. Druhý okruh na levé straně formy prochází podobně jako první, avšak skládá se nejen z vrtaných kanálů, ale také osmi přepážek. Poslední okruh leží v pravé části formy a skrze pravou kotevní desku vede do obou tvárníc a poté ven.



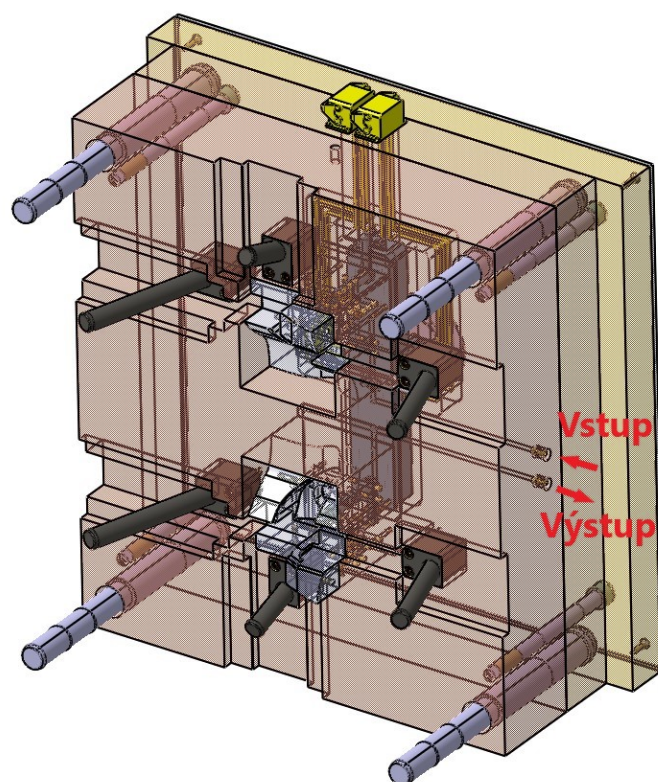
Obr. 58. Vstup a výstup teploty levé strany formy



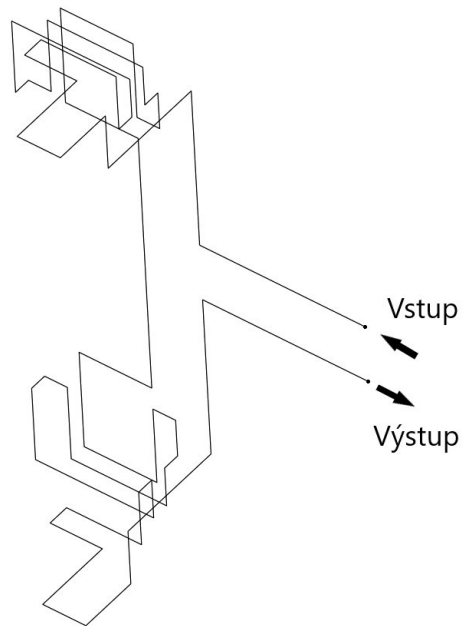
Obr. 59. Trajektorie teploty levé strany formy



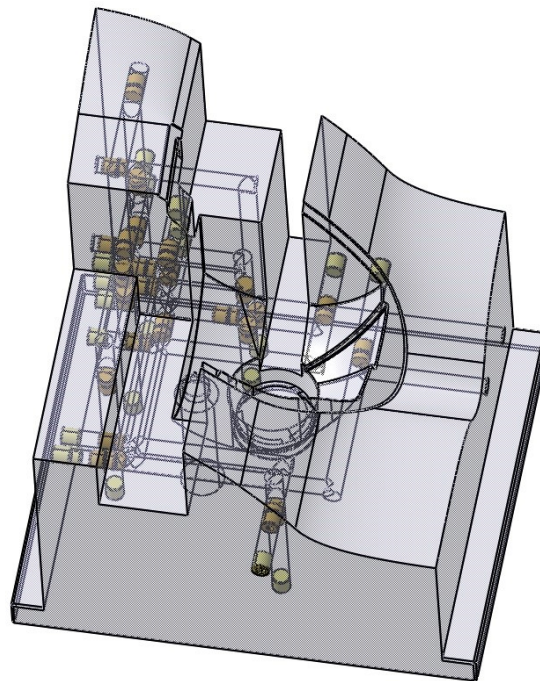
Obr. 60. Sestava temperačních kanálů tvárníku



Obr. 61. Vstup a výstup temperace pravé strany formy



Obr. 62. Trajektorie teploty pravé strany formy



Obr. 63. Sestava temperačních kanálů tvárnice

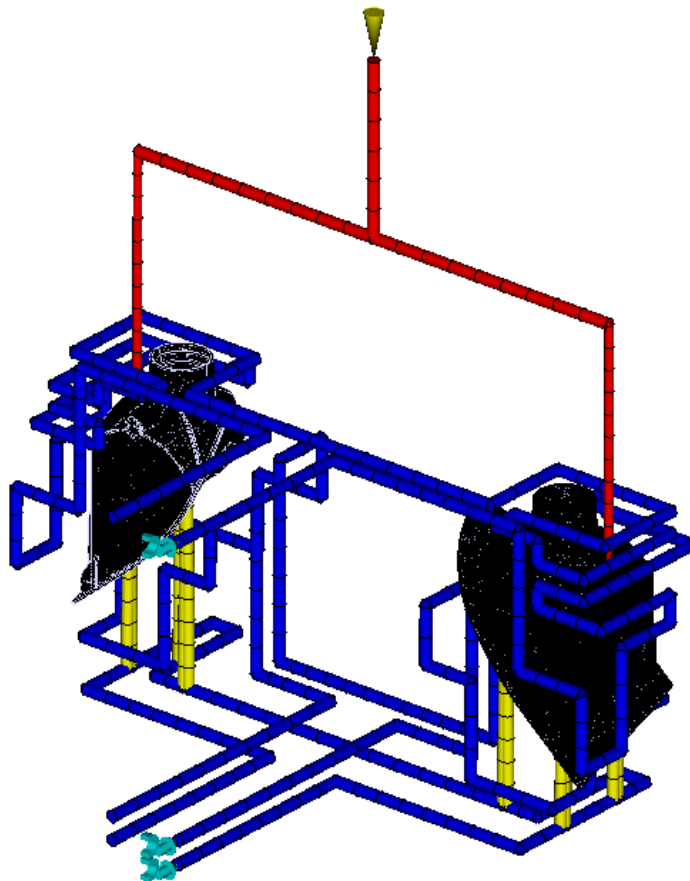
13 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Analýza byla provedena v programu Autocad Moldflow do něhož byl nahrán model součásti, trajektorie vtoku a temperace. Poté byly všechny části vysít'ovány, zadán materiál, zvolen vstřikovací stroj a nastaveny procesní podmínky.

Za pomoci výsledků analýzy bylo zjištěno chování taveniny při procesu vstřikování a následném tuhnutí.

13.1 Vysít'ování

Po vložení modelu a trajektorií do programu Autocad Moldflow byla vygenerována 3D síť za pomoci čtyřstěnnů na modelu součásti a beam elementů na vtokovém a temperačním systému. Za pomoci funkce mesh statistics byla poté zkontrolována kvalita sítě.



Obr. 64. Vysít'ované elementy analýzy

```

Tetrahedras
-----
Entity counts:
  Tetrahedra          1844480
  Connected nodes     335568
  Connectivity regions 2

Volume by element types:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
  Tetra:             101.773 cm^3
  Total:             135.226 cm^3

Volume by components:
  Cavity:            101.773 cm^3
  Inserts:           0 cm^3
  Mold blocks:       0 cm^3

Aspect ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    97.78    10.47     1.19

Maximum dihedral angle: 176.5

```

Obr. 65. Vlastnosti sítě

13.2 Procesní podmínky

Byl zvolen kompletní typ analýzy cool – fill – pack – warp (chlazení, plnění, dotlak, deformace). Procesní podmínky byly voleny s ohledem na materiál, velikost a tvar součásti.

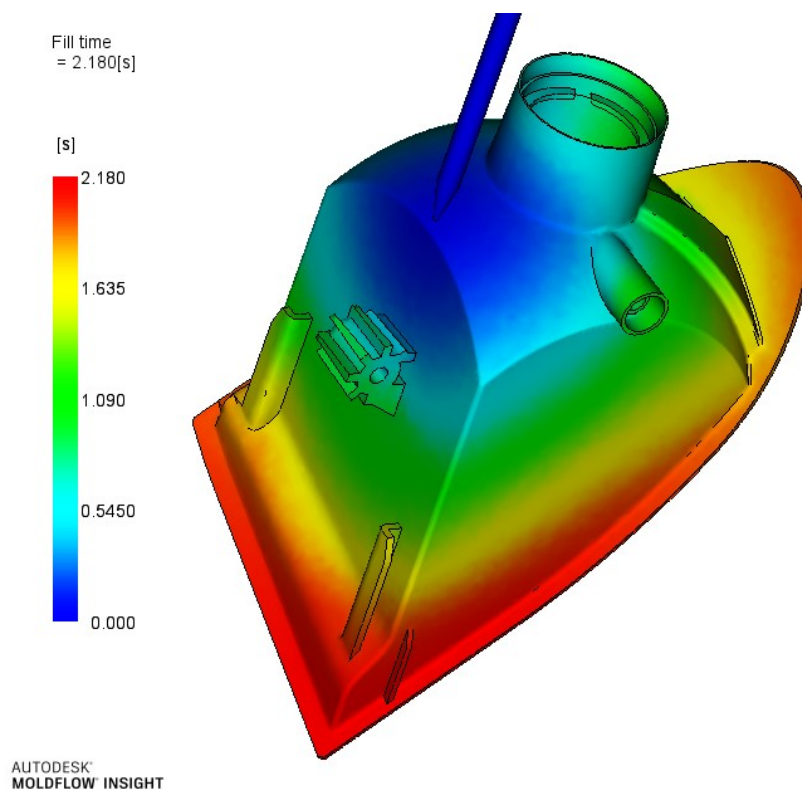
Tab. 2. Tabulka nastavených procesních podmínek analýzy vstřikovacího procesu

Teplota temperačního média	25 °C
Teplota taveniny	230 °C
Teplota povrchu formy	50 °C
Vyhazovací teplota	93 °C
Čas vstřiku	2 s
Čas cyklu	automatický
Čas chlazení	automatický
Dotlak	80 % vstřikovacího tlaku po dobu 10 s
Bod přepnutí na dotlak	automatický

13.3 Analýza plnění a dotlaku

13.3.1 Čas plnění (fill time)

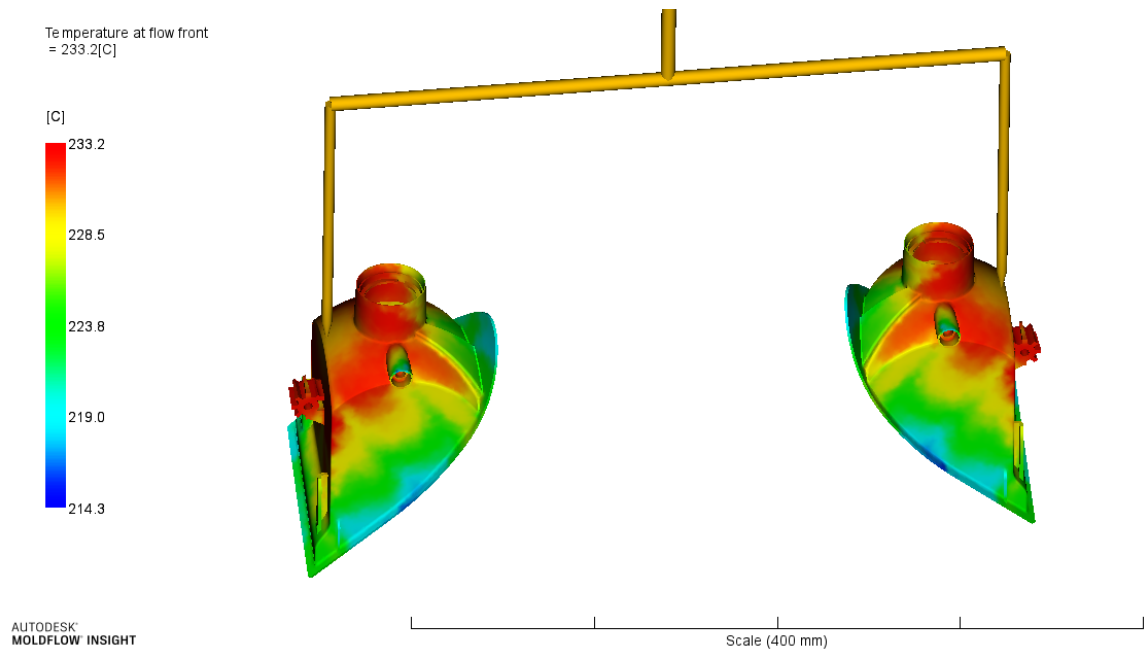
Výsledek analýzy čas plnění graficky znázorňuje plnění dutiny formy v závislosti na čase. Z výsledku vyplývá, že dutina formy je plně zaplněna za 2,18 s. Ze zabarvení součásti lze usoudit, že dochází poměrně k rovnoměrnému plnění dutiny formy.



Obr. 66. Grafické vyjádření výsledku fill time

13.3.2 Teplota na čele toku taveniny (temperature at flow front)

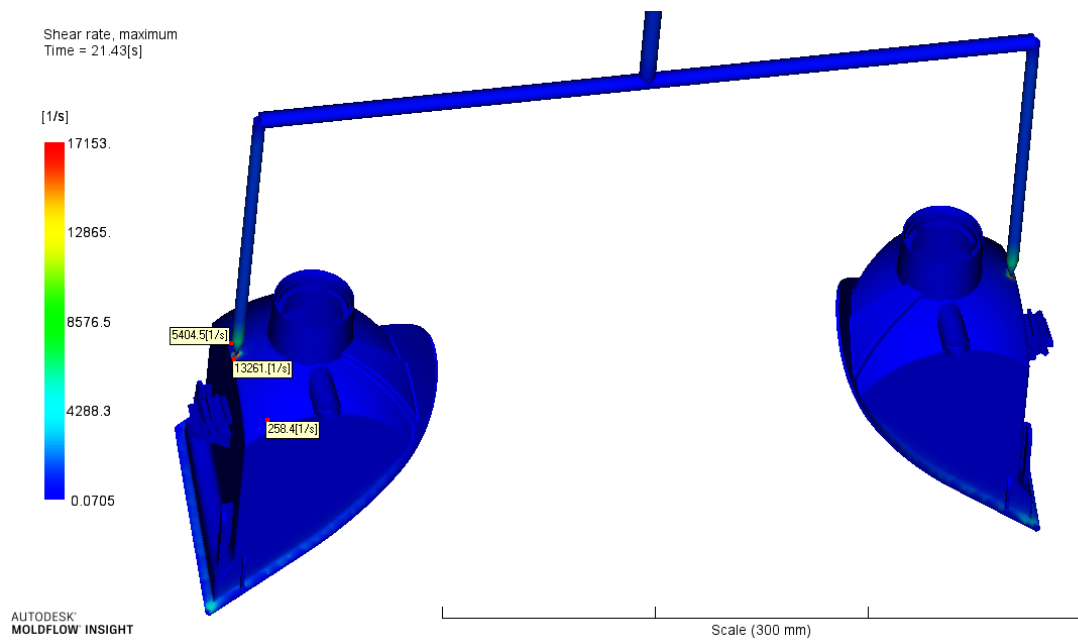
Z daného výsledku lze vidět, že teplota při plnění dutiny formy lehce klesá, avšak je dosaženo plného zaplnění dutiny formy ještě ve formě taveniny. Pro zlepšení daného výsledku by bylo vhodné zvýšit teplotu taveniny, nebo formy.



Obr. 67. Grafické vyjádření výsledku *temperature at flow front*

13.3.3 Rychlost smykové deformace (shear rate, maximum)

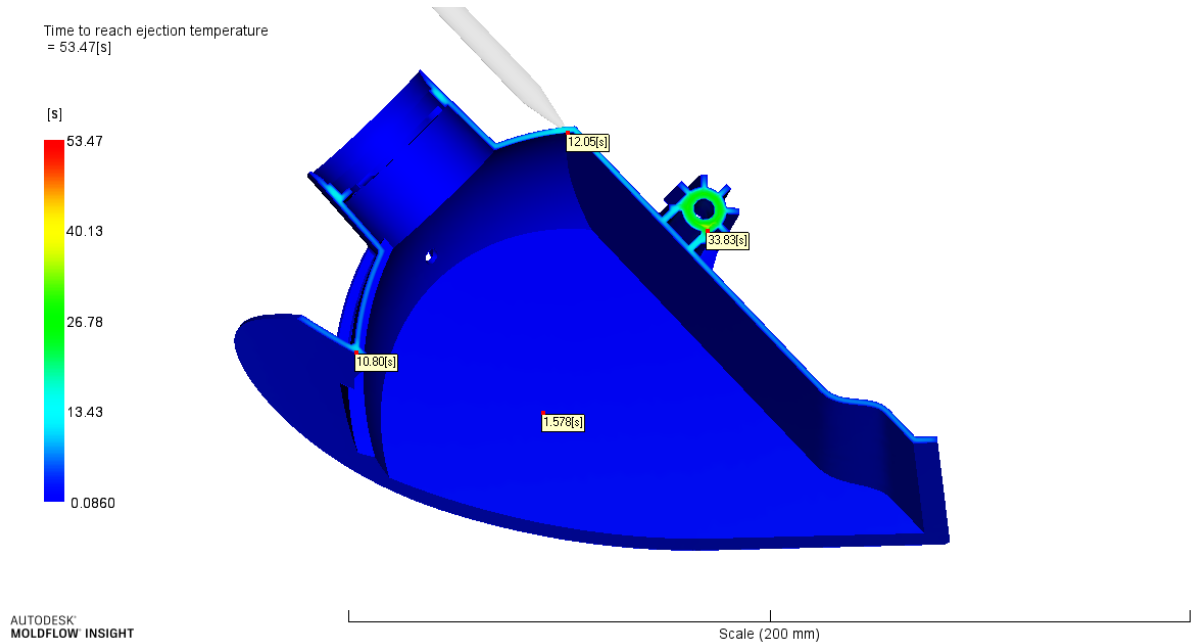
Maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace zvoleného materiálu je 24000 s^{-1} . Z výsledného grafického vyjádření je patrné, že hodnota 24000 s^{-1} nebyla překročena a maximální dosažená hodnota rychlosti smykové deformace se rovná 17153 s^{-1} . Příliš velká hodnota rychlosti smykové deformace může způsobovat vzhledové a mechanické nedokonalosti ve výstřiku. Kdyby byla hodnota příliš velká, dala by se snížit úpravou tvaru a rozměru vtoku, nebo změnou procesních podmínek.



Obr. 68. Grafické vyjádření výsledku shear rate, maximum

13.3.4 Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

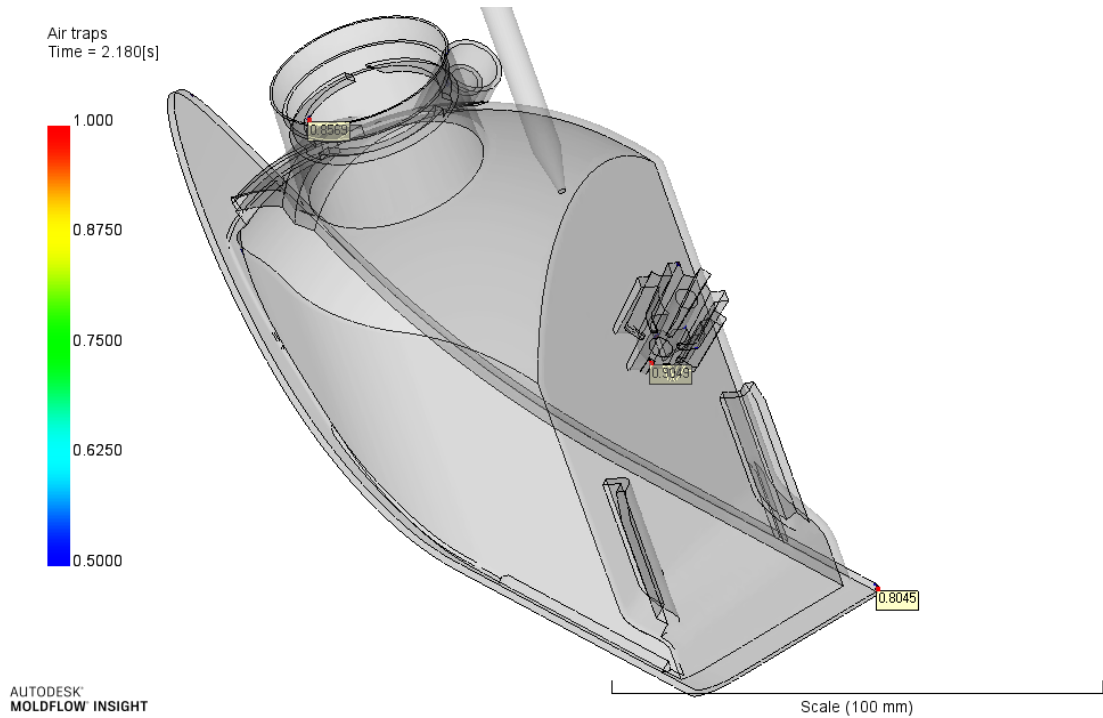
Vstříkovaná součást dle výsledku dosáhne vyhazovací teploty po 53,47 s. Tento čas lze teoreticky zkrátit tím, že se součást vyhodí z formy dříve a zbylé části ztuhnou mimo formu. To je možné díky tomu, že místa, kde dochází k nejpozdějšímu tuhnutí, nejsou místa, která by se při vyhazování mohla bořit a nejsou zde uloženy vyhazovací elementy. Dále by šel tento čas zkrátit například intenzivnějším chlazením.



Obr. 69. Grafické vyjádření výsledku time to reach ejection temperature

13.3.5 Vzduchové kapsy (air traps)

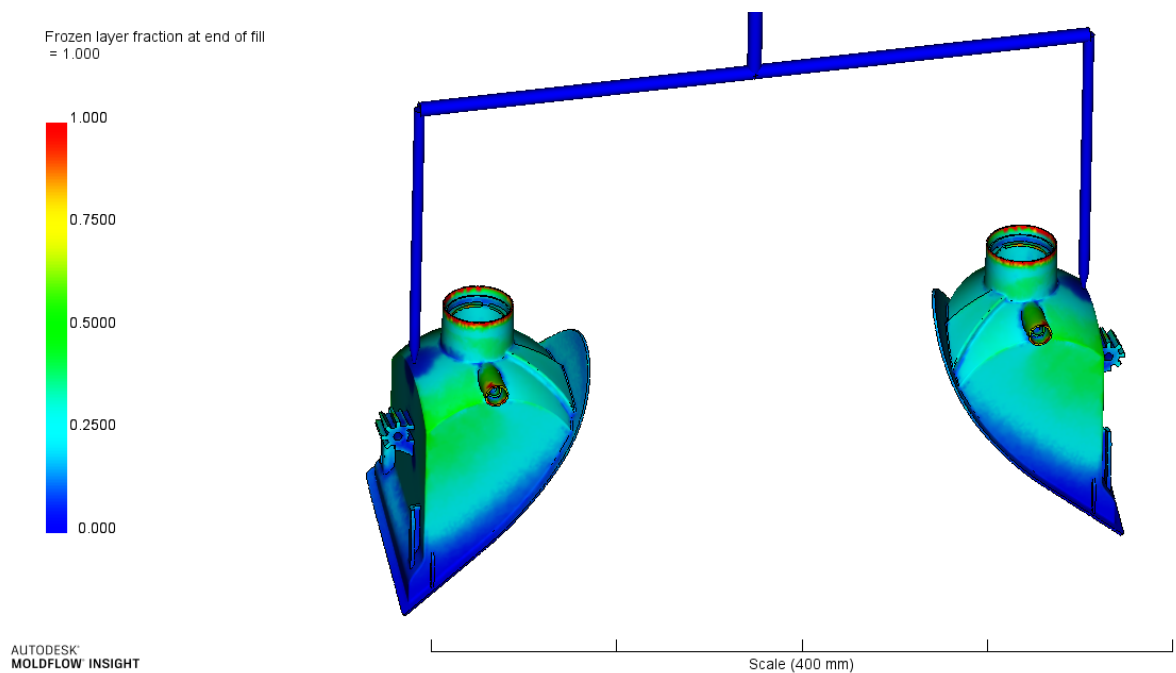
Výsledek vzduchových kapes ukazuje, ve kterých místech dutiny formy může docházet k uzavření vzduchu. V tomto případě se ale všechny polohy těchto možných vzduchových kapes nachází v místech, kde dosedají tvarové části na sebe. Můžeme tedy předpokládat, že vzduch opustí dutinu formy vřelemi mezi těmito částmi. V případě vážnějších problémů s uzavřeným vzduchem v dutině formy lze jako řešení zvýšit rychlost plnění formy, nebo zajistit odvzdušnění pomocí odvzdušňovacích kanálů v místech vzniku vzduchových kapes.



Obr. 70. Grafické vyjádření výsledku air traps

13.3.6 Zatuhlé vrstvy na konci plnění (frozen layer fraction at end of fill)

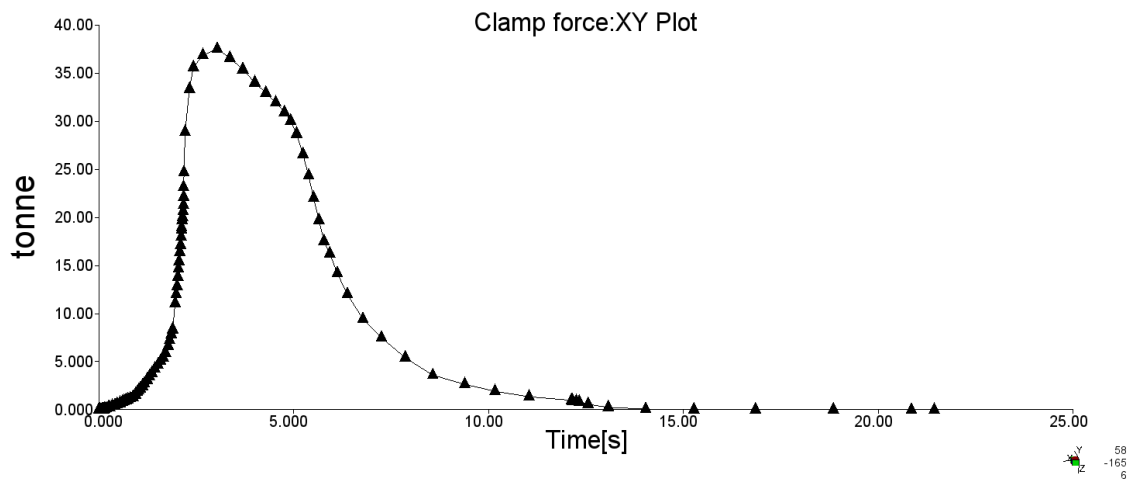
Tento výsledek znázorňuje místa, které již na konci plnění budou zatuhlé a nebudou výrazně ovlivněny dotlakem. Jedná se o místa členitých tvarů a tenkých stěn.



Obr. 71. Grafické vyjádření výsledku frozen layer fraction at end of fill

13.3.7 Velikost uzavírací síly v čase (clamp force: XY plot)

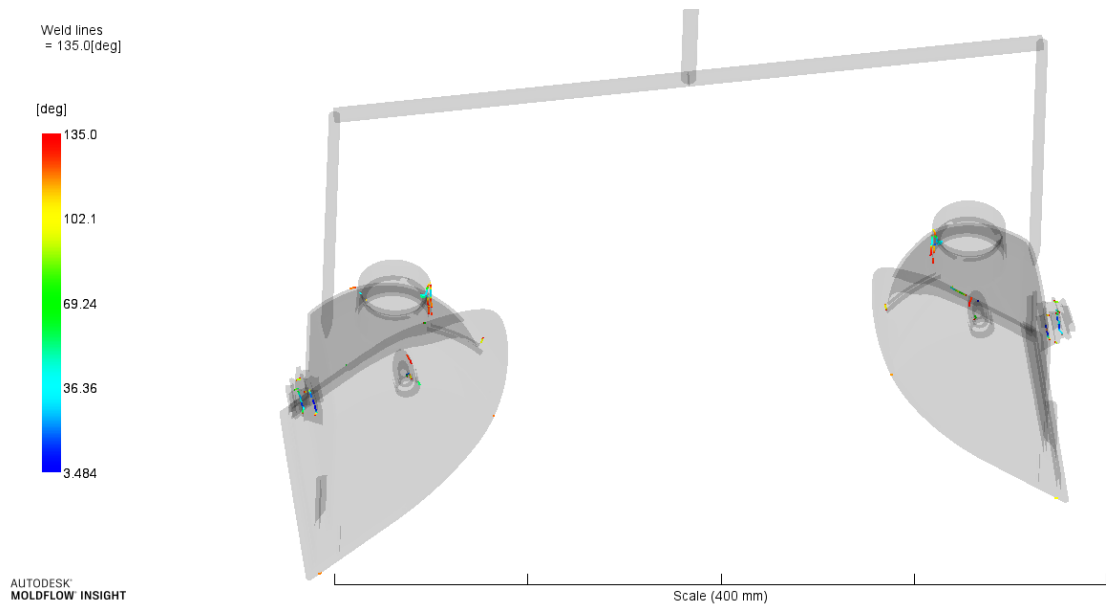
Výsledný graf znázorňuje průběh uzavírací síly stroje během vstřikování. Po počátečním růstu až na maximum 37,49 tun (374,9 kN) následuje dotlak, kdy síla opět postupně klesá.



Obr. 72. Grafické vyjádření výsledku clamp force:XY plot

13.3.8 Studené spoje (weld lines)

Studené spoje jsou místa, kde dochází ke styku čel taveniny. Tyto místa poté mohou mít výrazný vliv jak na mechanické, tak i vizuální vlastnosti výrobku. Na součásti se dle výsledku náchází vyšší množství studených spojů, především v místech členitých tvarů. Pokud se nelze studených spojů zbavit úplně, je vhodné zajistit aby se nenacházely v silně mechanicky namáhaných částech výrobku. Pro snížení negativního vlivu studeného spoje lze zvýšit teplotu formy nebo taveniny, případně změnit polohu vtokového ústí. Na tento díl nebudou mít však příliš vliv, jelikož se nejedná o mechanicky namáhanou součást.

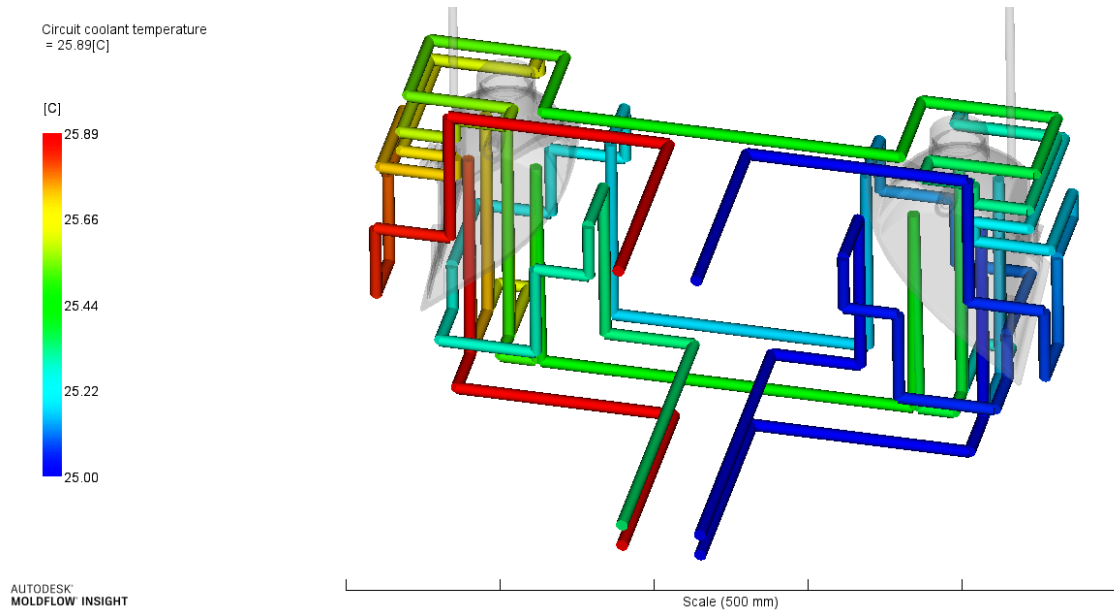


Obr. 73. Grafické vyjádření výsledku weld lines

13.4 Analýza temperačního systému

13.4.1 Teplota temperačního okruhu (circuit coolant temperature)

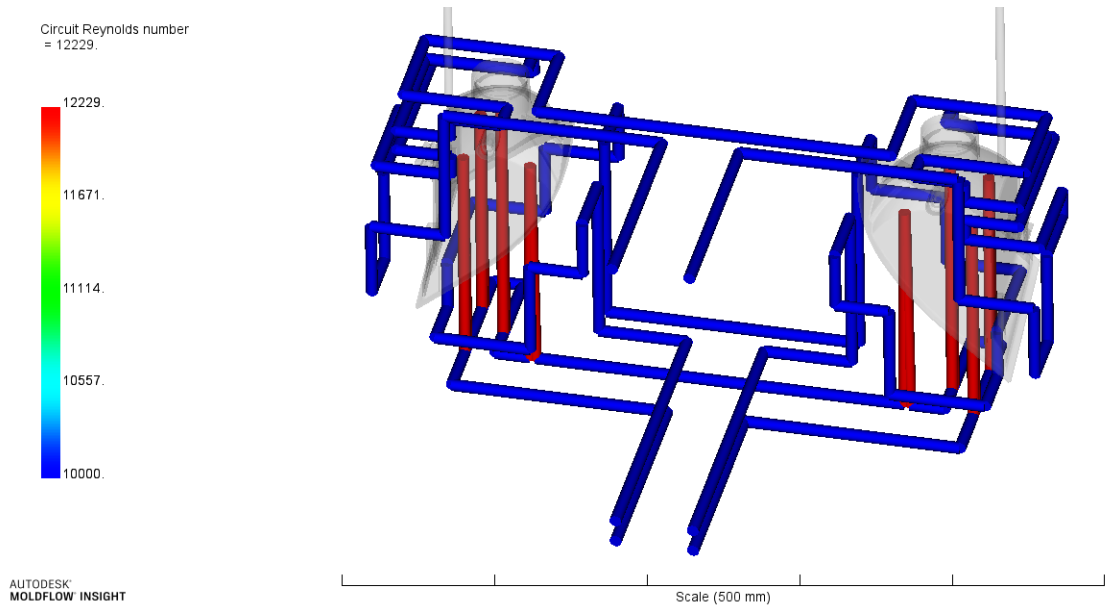
Aby byla zajištěna účinnost temperačního okruhu, neměl by být rozdíl teplot na vstupu a výstupu větší než 3°C . Dle výsledku je patrné, že největší rozdíl na vstupu a výstupu je $0,89^{\circ}\text{C}$. Nejedná se zde tedy o příliš velký teplotní rozdíl.



Obr. 74. Grafické vyjádření výsledku circuit coolant temperature

13.4.2 Reynoldsovo číslo temperačního média (circuit Reynolds number)

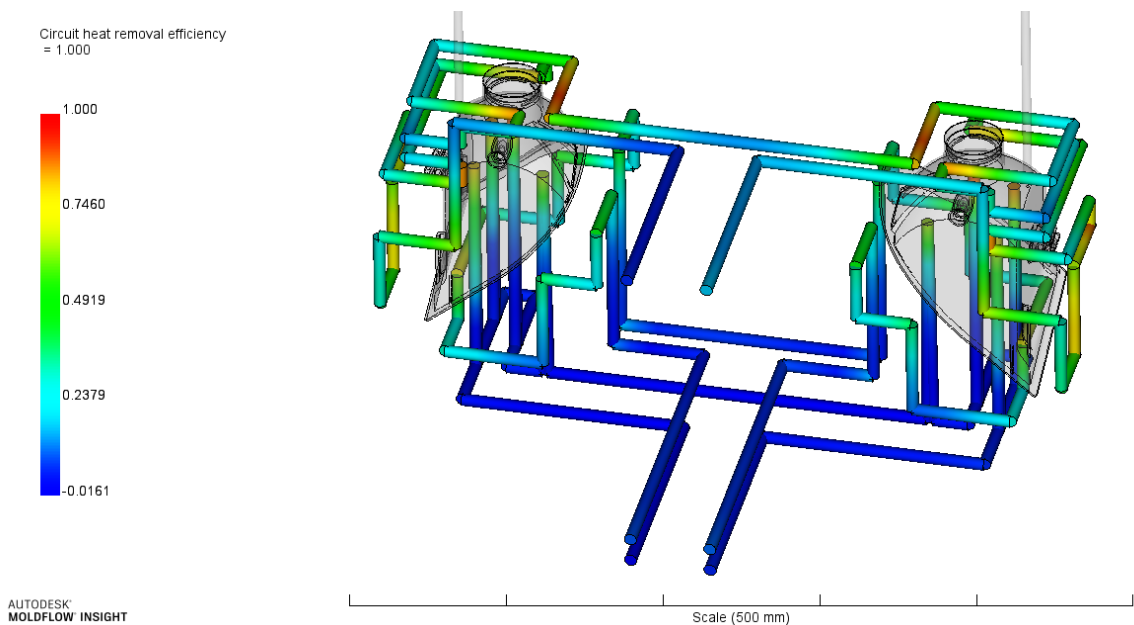
Pro dobrou efektivitu odvodu tepla temperačním systémem je nutné zajistit, aby temperační médium dosahovalo turbulentního proudění. Při hodnotě Reynoldsova čísla 10000 je v systému zajištěno turbulentní proudění a lze říci, že čím větší je hodnota Reynoldsova čísla, tím je efektivita odvodu tepla vyšší. Výsledek analýzy prokazuje stabilní turbulentní proudění ve všech temperačních okruzích.



Obr. 75. Grafické vyjádření výsledku circuit Reynolds number

13.4.3 Účinnost odvodu tepla temperačním systémem (circuit heat removal efficiency)

Tento výsledek analýzy graficky znázorňuje účinnost odvodu tepla temperačním systémem. Dle barev lze porovnat místa s nejmenší účinností (modré) a místa s největší účinností (červené) v temperačním systému formy.

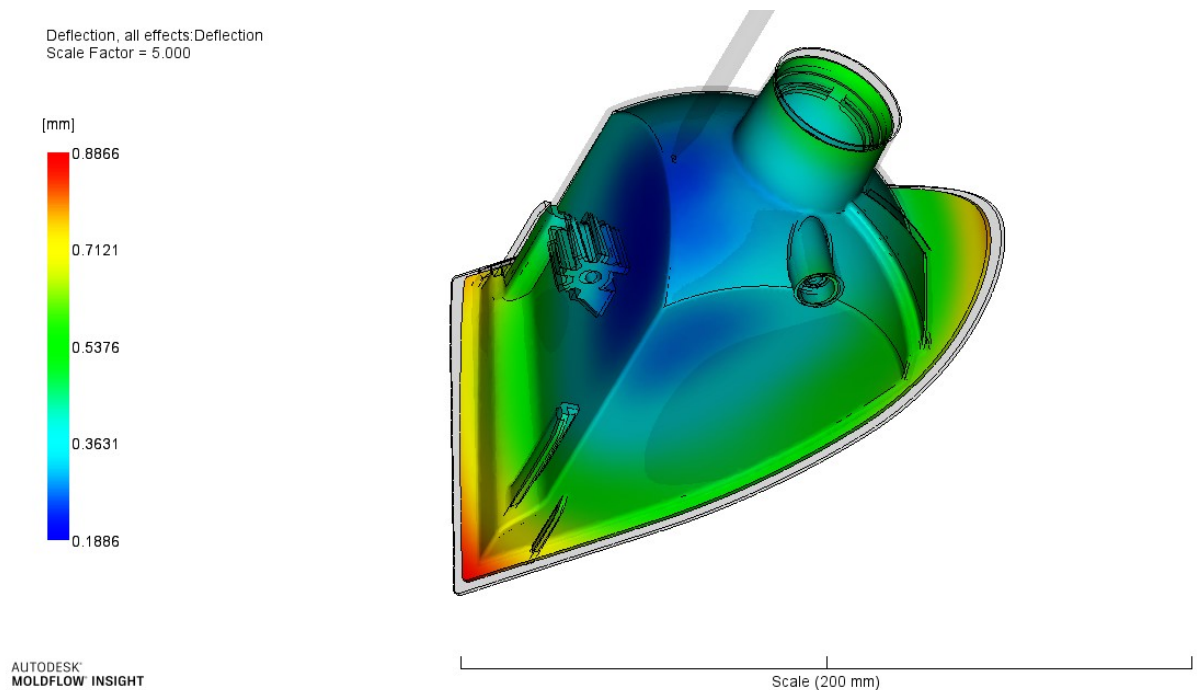


Obr. 76. Grafické vyjádření výsledku circuit heat removal efficiency

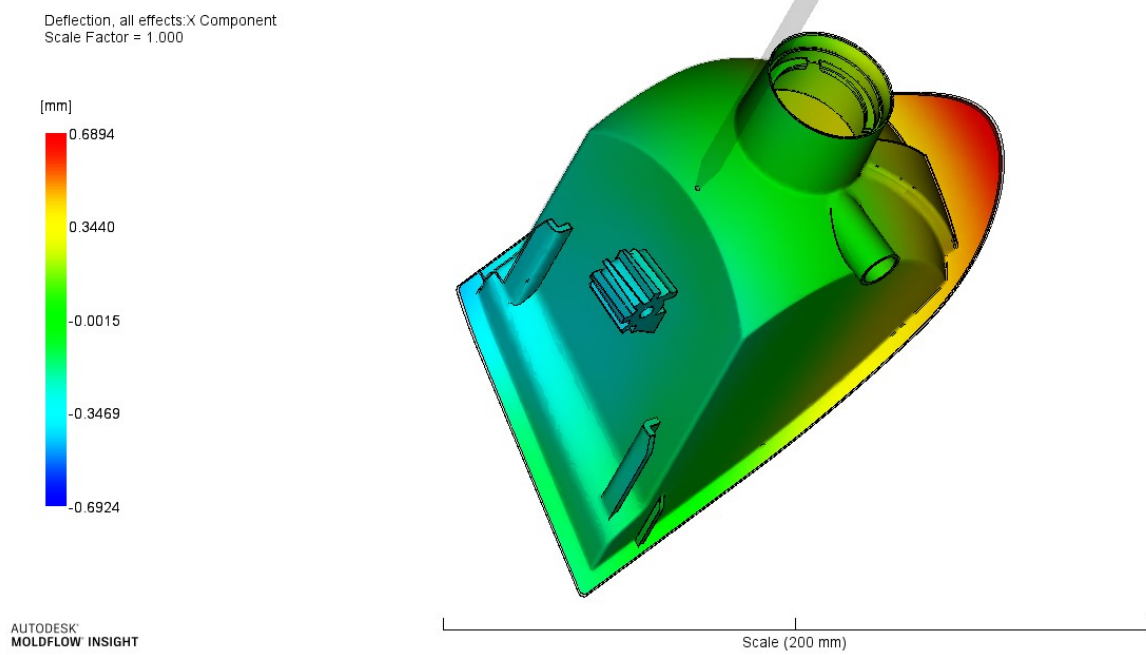
13.5 Analýza smrštění a deformace

13.5.1 Celková deformace (deflection, all effects)

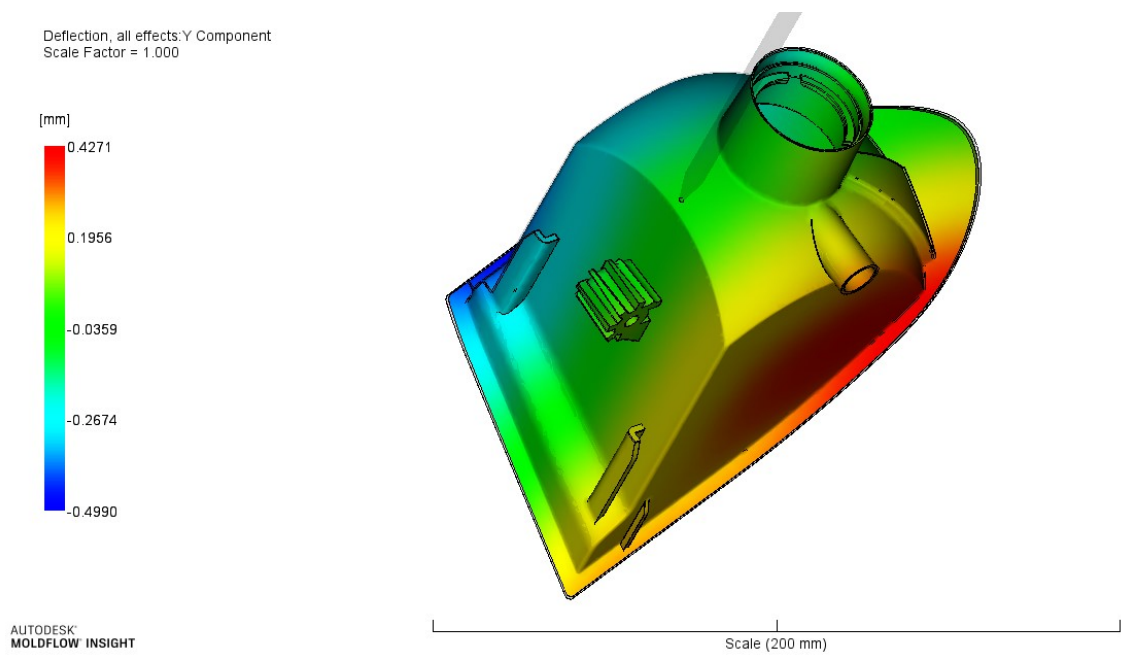
Výsledek reprezentuje hodnotu celkové deformace všech působících vlivů. Mezi tyto vlivy patří například vliv temperačního systému nebo vliv smrštění materiálu. Deformace vlivem teploty se většinou pohybují v poměrně malých hodnotách a nemají tak příliš výrazný vliv na celkovou deformaci. Na druhou stranu smrštění ovlivňuje velikost deformace poměrně velkým způsobem. Výsledné grafické znázornění deformace je 5x zvětšeno pro lepší viditelnost deformace. K největším deformacím dochází v rozích dílu. Maximum celkové deformace dosahuje 0.8866 mm. Tyto deformace však nijak nenarušují funkci součásti. Vliv deformace jde zmírnit např. zvýšenou dotlakovou silou, nebo zvýšením teplot formy a taveniny.



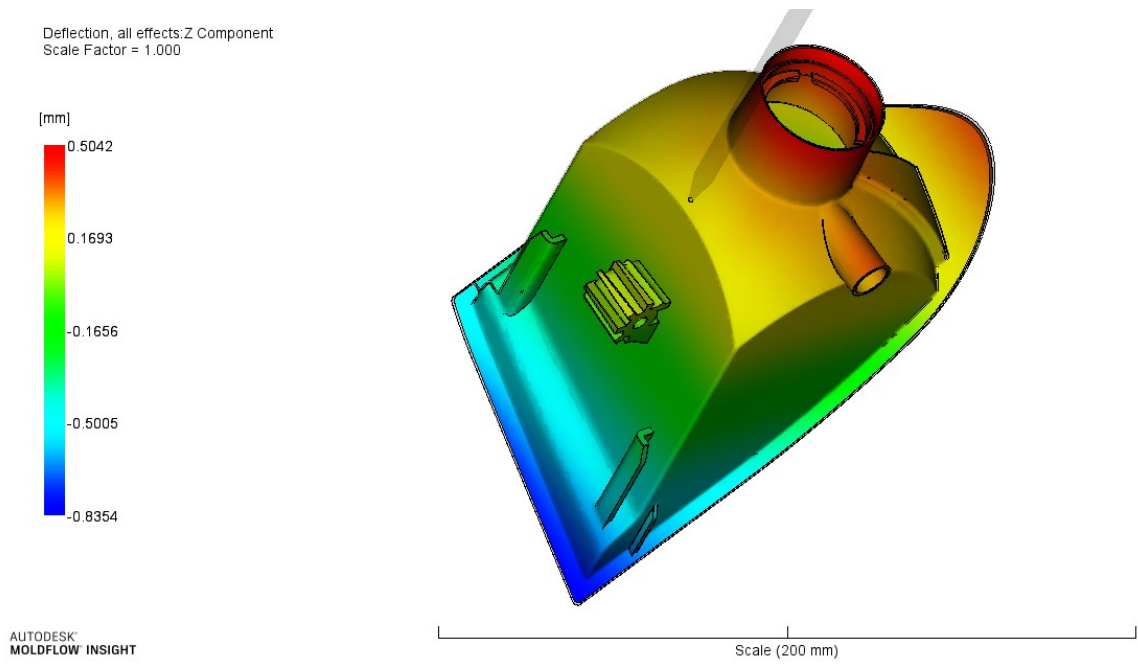
Obr. 77. Grafické vyjádření výsledku deflection, all effects



Obr. 78. Grafické vyjádření výsledku deflection, al effect: X component



Obr. 79. Grafické vyjádření výsledku deflection, al effect: Y component



Obr. 80. Grafické vyjádření výsledku deflection, all effect: Z component

14 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Z výsledků provedených analýz bylo zjištěno, že konstrukční návrh vstřikovací formy vyhovuje požadavkům daného dílu. Poloha vtokového ústí byla zvolena dle analýzy a bylo tak zajištěno rovnoměrné plnění tvarové dutiny formy. Doba plnění dutiny formy byla zvolena tak, aby nedocházelo k příliš velkému růstu smykové rychlosti a tím pádem k překročení maxima daného materiálu. Maximální rychlost smykové deformace zvoleného materiálu je 24000 s^{-1} . Podle analýzy rychlost smykové deformace dosáhla 17153 s^{-1} a tedy nepřekročila maximum zvoleného materiálu. V některých částech vstřikovaného dílu dojde ke vzniku studených spojů. Tyto spoje ovšem nemají vliv na funkci součásti, neboť se jedná o místa, která nejsou mechanicky namáhána.

Temperační okruh, který byl také podroben analýze, splnil požadavky, jak tím že zde docházelo k plnému turbulentnímu toku, tak tím, že nedocházelo k výrazným teplotním rozdílům na vstupu a výstupu. Dále také analýza předkládá účinnost jednotlivých míst temperace v odvádění tepla z dutiny formy.

Poslední část analýz se zabývá velikostmi deformací, které vzniknou na hotové součásti. K největším deformacím dochází v rozích dílu, kde deformace dosahují maxima 0.8866 mm . Tyto deformace příliš nenarušují funkci součásti a jejich velikost vzhledem k velikosti součásti není tak výrazná.

ZÁVĚR

V první půli diplomové práce byla rozebrána teorie technologie vstřikování. Teorie obsahuje základní popis dané technologie, včetně vstřikovacího cyklu a jeho jednotlivých operací. Poté byl představen vstřikovací stroj a jeho jednotlivé části popsány. Velká část teoretické části diplomové práce se také zabývala nástroji technologie vstřikování plastů. Vstřikovací formy byly dopodrobna popsány jak z konstrukčního, tak z funkčního hlediska. Byly také uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých konstrukčních možností. Nakonec byly zmíněny nejčastější problémy a vady, které mohou při technologii vstřikování nastat.

V praktické části diplomové práce byla navrhuta vstřikovací forma na výrobu dané součásti a poté byl vytvořen její model. Návrh se skládal z návržení celkových rozměrů formy, polohy a počtu dělicích rovin, vtokového systému, temperace a vyhazovacího systému. Model byl vytvořen převážně za použití normálí firmy Hasco a nenormalizovaných navržených dílu. Následně byl zvolen materiál a typ vstřikovacího stroje.

Poslední část diplomové práce je věnována výsledkům tokových analýz, které byly zpracovány dle návrhu vstřikovací formy a poté diskutovány.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] M. BRYCE. Plastic injection molding: manufacturing proces fundamentals. Douglas. 1999 SME, ISBN 10: 0872635031
- [2] GOODSHIP, V. ARBURG Practical Guide to Injection Moulding. Shrewsbury: Smithers Rapra, 2017, ISBN: 1-85957-444-0
- [3] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, ISBN 978-80-271-0614-1.
- [4] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, ISBN 978-1-56990-645-3.
- [5] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, ISBN 978-1-56990-619-4.
- [6] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.
- [7] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů. 2.upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999,
- [8] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999,
- [9] LENFELD Petr. 2016. Technologie vstřikování. In: publi.cz [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [10] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. In: ksp.tul.cz [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupný z <http://www.ksp.tul.cz>
- [11] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. Injection molding: technology and fundamentals. Munich: Hanser, c2009, ISBN 978-156990-434-3.
- [12] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, ISBN 9781-56990-420-6.
- [13] MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS, D., RAGAN, E., RUŽBARSKÝ, J. Vstrekovanie a spracovanie pastických hmot. Technická univerzita v Košicích, Fakulta výrobních technológií Prešov, 2008, ISBN: 978-80-553-0102-0

- [14] BOBEK J. 2016. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. In: publi.cz [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html>
- [15] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser, c2007. ISBN 978-1-56990-421-3
- [16] Injection Molding Explained. In: manufacturingsolutionsgroup.com [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <http://www.manufacturingsolutionsgroup.com/injection-molding-explained/>
- [17] Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni- materiály. In: kks.zcu.cz [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: http://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/
- [18] SEIDL, M. 2015. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. In: publi.cz [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/>
- [19] Types of Injection Molding Valves. In: rdray.com [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.rdray.com/trouble-with-traditional-valves>
- [20] BĚHÁLEK, L. Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti. In: publi.cz [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
- [21] BRUMMEL, M. Rozměrově přesné výrobky z plastů. 1. vyd. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
- [22] Direct Industry. In: directindustry.com [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/emp-srl-29080.html>
- [23] 11 Injection Molding Defects And How To Prevent Them. In: intouch-quality.com [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.intouch-quality.com/blog/injection-molding-defects-and-how-to-prevent>
- [24] Everything You Need to Know About Vision Mold Protection Systems. In: hirateinc.com [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.hirateinc.com/everything-you-need-to-know-about-vision-mold-protection-systems-for-your-injection-molding-machine/>
- [25] Injection-Molding Problems in Engineering Thermoplastics. In: documents.basf.com [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://documents.basf.com/1fdf0b89ed395774ae8ea1db681ad9af7ec5c7f0?response-content-disposition=inline>
- [26] PÖTSCH, G., MICHAELLI, W. Injection Molding – An Introduction. Mnichov: Hanser Publisher, 2008, ISBN 978-3-446-40635-3

- [27] REES, H. Mold Engineering 2nd edition, Mnichov: Hanser Publisher, 2002, ISBN 3-446-21659-6
- [28] Products, injection mold technology In: boucherie.com [online]. [cit. 2021-02-24].
Dostupný z: http://www.boucherie.com/en/detail_realisations_385.aspx
- [29] Arburg multi-component [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupný z:
<http://www.arburg.com>
- [30] LINDNER, E., UNGER, P. Injection Molds, 3. vydání, Munich: Hanser, 2002, ISBN 3-446-21448-8
- [31] MENGES G., MICHAELI W., MOHREN P. How to make injection molds. 3. vydání. Munich: Hanser Publishers, 2001. ISBN 3-446-21256-6
- [32] ROSATO, Dominick, ROSATO, Donald, Marlene, ROSATO. Injection molding handbook: manufacturing startup and management. 3. vydání. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2000, ISBN 07-923-8619-1.
- [33] JOHANNABER, Friedrich. Injection molding machines: a user's guide. 4. vydání. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, c2008. ISBN 15-699-0418-9.
- [34] MAIER, C., CALAFUT, T. Polypropylene: the definitive user's guide and databook. Norwich, NY: Plastics Design Library, c1998. ISBN 18-842-0758-8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Polykarbonát
POM	Polyoxymetylén
PS	Polystyrén
ABS	Akrylonitril-butadien-styrén
PA	Polyamid
PBT	Polybutadien-tereftalát
°C	Stupeň celsia
cm ³	Centimetr krychlový
mm	Milimetr
m/min	Metr za minutu
g/cm ³	gram na centimetr krychlový
kN	Kilo newton
MPa	Megapascal
L/D	Poměr délky k průměru
%	Procento
CAD	Computer aided design
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
např.	Například
apod.	A podobně

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus [8]</i>	14
<i>Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje [16]</i>	15
<i>Obr. 3. Šneky vstřikovacího stroje [28]</i>	17
<i>Obr. 4. Schéma mechanismu s pohyblivým těsnícím prstencem [18]</i>	18
<i>Obr. 5. Schéma mechanismu uzavírání pomocí kuličky [19]</i>	19
<i>Obr. 6. Tryska vstřikovací jednotky stroje</i>	19
<i>Obr. 7. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje [17]</i>	20
<i>Obr. 8. Základní rozdělení polymerů</i>	21
<i>Obr. 9. Schéma nadmolekulární struktury amorfního termoplastu [20]</i>	22
<i>Obr. 10. Schéma nadmolekulární struktury semikrystalického termoplastu [20]</i>	22
<i>Obr. 11. Rám formy [9]</i>	24
<i>Obr. 12. Schéma dvoudeskové formy [2]</i>	25
<i>Obr. 13. Schéma formy se stírací deskou [2]</i>	26
<i>Obr. 14. Schéma formy se šikmými čepy [2]</i>	26
<i>Obr. 15. Schéma formy se třemi deskami [2]</i>	27
<i>Obr. 16. Vhodné tvary rozvodných kanálů [14]</i>	29
<i>Obr. 17. Schéma vhodných rozložení vtokové soustavy pro rovnoměrné plnění [21]</i>	29
<i>Obr. 18. Horký vtokový systém [22]</i>	30
<i>Obr. 19. Plný kuželový vtok [2]</i>	32
<i>Obr. 20. Bodový vtok [2]</i>	32
<i>Obr. 21. Tunelový vtok [14]</i>	33
<i>Obr. 22. Banánový vtok [14]</i>	33
<i>Obr. 23. Boční vtok [2]</i>	34
<i>Obr. 24. Filmový vtok [2]</i>	34
<i>Obr. 25. Vějířovitý vtok [2]</i>	35
<i>Obr. 26. Membránový vtok [2]</i>	35
<i>Obr. 27. Pavoukový vtok [2]</i>	36
<i>Obr. 28. Přehled jednoduchých temperačních okruhů [17]</i>	36
<i>Obr. 29. Vyhazovací kolíky [28]</i>	38
<i>Obr. 30. Schéma stírací desky [14]</i>	38
<i>Obr. 31. Příklad studeného spoje [23]</i>	42
<i>Obr. 32. Příklad diesel efektu [25]</i>	43
<i>Obr. 33. Příklad přetečeného vstřikovaného dílu [25]</i>	43
<i>Obr. 34. Příklad nedotečeného dílu [24]</i>	44

<i>Obr. 35. Příklad propadlin na hotovém dílci [25]</i>	44
<i>Obr. 36. Příklad vady jetting [23]</i>	45
<i>Obr. 37. Vstříkovaná součást</i>	50
<i>Obr. 38. Vstříkovaná součást (pootočená)</i>	50
<i>Obr. 39. Vstříkovací stroj Arburg Allrounder 920 S</i>	52
<i>Obr. 40. Vstříkovací forma</i>	53
<i>Obr. 41. Boční pohled na vstříkovací formu</i>	54
<i>Obr. 42. Čelní pohled do pohyblivé strany vstříkovací formy</i>	54
<i>Obr. 43. Levá strana vstříkovací formy</i>	55
<i>Obr. 44. Pravá strana vstříkovací formy</i>	56
<i>Obr. 45. Tvárnice</i>	57
<i>Obr. 46. Tvárník</i>	57
<i>Obr. 47. Boční posuvná čelist 1</i>	58
<i>Obr. 48. Boční posuvná čelist 2</i>	58
<i>Obr. 49. Boční posuvná čelist 3</i>	59
<i>Obr. 50. Uložení šikmých kolíků</i>	59
<i>Obr. 51. Aretace posuvné čelisti</i>	60
<i>Obr. 52. Vyhazovací systém vstříkovací formy</i>	60
<i>Obr. 53. Detail čela vyhazovacích kolíků v dutině formy</i>	61
<i>Obr. 54. Vtokový systém</i>	61
<i>Obr. 55. Model horkého vtoku</i>	62
<i>Obr. 56. Grafické vyjádření výsledku vhodnosti umístění vtoku (gate suitability)</i>	62
<i>Obr. 57. Detail polohy vtoku v dutině formy</i>	63
<i>Obr. 58. Vstup a výstup teploty levé strany formy</i>	64
<i>Obr. 59. Trajektorie teploty levé strany formy</i>	64
<i>Obr. 60. Sestava temperačních kanálů tvárníku</i>	65
<i>Obr. 61. Vstup a výstup teploty pravé strany formy</i>	65
<i>Obr. 62. Trajektorie teploty pravé strany formy</i>	66
<i>Obr. 63. Sestava temperačních kanálů tvárnice</i>	66
<i>Obr. 64. Vysítované elementy analýzy</i>	67
<i>Obr. 65. Vlastnosti sítě</i>	68
<i>Obr. 66. Grafické vyjádření výsledku fill time</i>	69
<i>Obr. 67. Grafické vyjádření výsledku temperature at flow front</i>	70
<i>Obr. 68. Grafické vyjádření výsledku shear rate, maximum</i>	71
<i>Obr. 69. Grafické vyjádření výsledku time to reach ejection temperature</i>	72

<i>Obr. 70. Grafické vyjádření výsledku air traps</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 71. Grafické vyjádření výsledku frozen layer fraction at end of fill.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 72. Grafické vyjádření výsledku clamp force:XY plot</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 73. Grafické vyjádření výsledku weld lines</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 74. Grafické vyjádření výsledku circuit coolant temperature</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 75. Grafické vyjádření výsledku circuit Reynolds number.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 76. Grafické vyjádření výsledku circuit heat removal efficiency</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 77. Grafické vyjádření výsledku deflection, all effects.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 78. Grafické vyjádření výsledku deflection, al effect: X component</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 79. Grafické vyjádření výsledku deflection, al effect: Y component</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 80. Grafické vyjádření výsledku deflection, al effect: Z component</i>	<i>80</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Tabulka šířek odvzdušňovacích kanálu pro základní materiály 39

Tab. 2. Tabulka nastavených procesních podmínek analýzy vstřikovacího procesu 68

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkresová dokumentace.

Příloha P II: CD disk, obsahující elektronickou verzi diplomové práce, výkresy a modely.

