Konstrukce formy pro výrobu technického dílu

Bc. Libor Šťastný

Diplomová práce
2022

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Libor Šťastný**
Osobní číslo:	**T20122**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Konstrukce formy pro výrobu technického dílu**

Zásady pro vypracování

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

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Libor Šťastný**
Osobní číslo:	**T20122**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Konstrukce formy pro výrobu technického dílu**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3
WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4
KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227

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

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 18. února 2022

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

V diplomové práci je hlavním cílem konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. Diplomová práce je rozdělená na dvě základní části, kterými jsou teoretická a praktická část.

Teoretická část práce se zabývá popisem technologie vstřikování, polymerními materiály využívanými touto technologií a zásadami pro konstrukci vstřikovaných výrobků a konstrukci vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek. Výstupem této části je 3D model dílu a návrh vstřikovací formy v 3D softwaru CATIA V5R20, který je následně ověřen v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: vstřikovací forma, technologie vstřikování, polymerní materiály, analýza vstřikování

ABSTRACT

In the diploma thesis, the main goal is the design of the injection mold for a given plastic part. The diploma thesis is divided into two basic parts, which are the theoretical and practical part.

The theoretical part of the work deals with the description of injection molding technology, polymeric materials used in this technology and principles for the design of injection molded products and injection molds.

The practical part deals with the design of the injection mold for a given plastic product. The output of this part is a 3D model of part and the design of the injection mold in the 3D software CATIA V5R20, which is subsequently verified in the Autodesk Moldflow Synergy 2016 program.

Keywords: injection mold, injection molding technology, polymeric materials, injection molding analysis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří mi při této práci přispěli svými znalostmi. Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu prof. Ing. Michalu Staňkovi Ph.D., za pravidelné konzultace, odborné rady a čas, který mi po dobu vytváření této práce věnoval.

OBSAH

ÚVOD **11**
I TEORETICKÁ ČÁST **12**
1 VSTŘIKOVÁNÍ **13**
1.1 POLYMERY 13
1.1.1 Termoplasty 13
1.1.2 Reaktoplasty 15
1.1.3 Elastomery 15
1.2 VÝBĚR TERMOPLASTU PRO VSTŘIKOVÁNÍ 15
1.2.1 Smrštění a tepelná roztažnost 15
1.2.2 Mechanické vlastnosti 16
1.2.3 Chemická odolnost 16
1.2.4 Elektrická izolace 16
1.2.5 Odolnost vůči povětrnostním vlivům 16
1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS 17
1.3.1 Vstřikovací cyklus v p-v-T diagramu 18
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ **20**
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA 20
2.1.1 Šnek vstřikovací jednotky 21
2.1.2 Pracovní válec 22
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA 22
2.2.1 Hydraulická uzavírací jednotka 23
2.2.2 Mechanické uzavírací jednotky (kloubové) 23
2.3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA 24
3 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ **25**
3.1 TLOUŠŤKA STĚN VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU 25
3.2 ŽEBRA 27
3.3 KONSTRUKCE HRAN A ROHŮ 28
3.4 ÚKOSY 28
3.5 POVRCH A TEXTURA 29
3.6 TOLERANCE A PŘESNOST VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ 31
3.7 SMRŠTĚNÍ 32
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA **34**
4.1 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY 34
4.2 DĚLÍCÍ ROVINA 35
4.2.1 Směr otevírání formy 35
4.3 NÁVRH A ROZMĚRY DESEK VSTŘIKOVACÍ FORMY 35

4.4 MATERIÁLY VYUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVACÍ FORMY 36
4.5 NORMÁLIE 37
4.6 VTOKOVÝ SYSTÉM 37
4.6.1 Studený vtokový systém 37
4.6.2 Vtokové ústí 38
4.6.3 Plný kuželový vtok 38
4.6.4 Bodový vtok 38
4.6.5 Tunelový vtok 39
4.6.6 Diskový vtok 40
4.6.7 Filmový vtok 41
4.6.8 Horký vtokový systém 41
4.7 TEMPERAČNÍ SYSTÉM 42
4.8 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 44
4.8.1 Válcový vyhazovač 44
4.8.2 Plochý vyhazovače 44
4.8.3 Trubkový vyhazovač 45
4.8.4 Dvoustupňové vyhazování 45
4.9 ODVZDUŠNĚNÍ 46
5 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ 48
II PRAKTICKÁ ČÁST 50
6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE 51
7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK 52
7.1 MATERIÁL VÝROBKU 54
8 VSTŘIKOVACÍ STROJ 55
9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY 56
9.1 NÁSOBNOST FORMY 57
9.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU A VOLBA DĚLÍCÍCH ROVIN 58
9.3 TVAROVÉ ČÁSTI FORMY 59
9.4 POSUVNÉ TVAROVÉ ČELISTI 61
9.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM 63
9.6 VTOKOVÁ SOUSTAVA 67
9.7 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY 67
9.8 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 68
9.9 VODÍCÍ A UPÍNACÍ PRVKY 69
10 TOKOVÁ ANALÝZA 72
10.1 VYTVOŘENÍ A PARAMETRY SÍTĚ 72
10.2 NASTAVENÍ 74

10.3 ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ (GATES LOCATION – GATING SUITABILITY) 76
11 VÝSLEDKY ANALÝZY MOLD FLOW 78
11.1 ANALÝZA PLNĚNÍ 78
11.1.1 Čas plnění (Fill time) 78
11.1.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk) 79
11.1.3 Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location) 80
11.1.4 Uzavírací síla (Clamp force) 81
11.1.5 Vzduchové kapsy (Air traps) 82
11.1.6 Studené spoje (Weld lines) 83
11.1.7 Propadliny (Sink marks) 85
11.2 VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE 87
11.2.1 Čas dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature) 87
11.2.2 Teplota média v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature) 88
11.2.3 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure) 89
11.2.4 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number) 90
11.2.5 Účinnost temperačního systému (Circuit hear removal efficiency) 91
11.3 VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE 92
11.3.1 Celková deformace, všech vlivů (Deflection, all efects deflection) 92
DISKUZE VÝSLEDKŮ 94
ZÁVĚR 96
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 97
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 101
SEZNAM OBRÁZKŮ 102
SEZNAM TABULEK 105
SEZNAM PŘÍLOH 106

ÚVOD

Technologie vstřikování polymerních materiálů je jeden z nejrozšířenějších způsobů, jejich zpracování, který v posledních letech zaznamenal velký rozvoj. Díly vyrobené technologií vstřikování jsou rozšířeny nejen v domácnostech ale také ve všech odvětví průmyslu. Pro výrobu se využívá vstřikovací stroj, jehož nedílnou součástí je vstřikovací forma. Forma má za úkol zajistit potřebný tvar, vzhled a kvalitu povrchu výrobku.

Forma je konstruována pro každý výrobek individuálně. Při konstrukci se využívá různých konstrukčních a simulačních programů a aplikací, které dovolují simulovat chování formy a materiálu v průběhu vstřikovacího cyklu. Složitost výrobku přímo ovlivňuje složitost komponentů formy a složitost výsledné dutiny formy. Částečným zjednodušením konstrukce a výroby jsou normalizované součásti. Nejznámější firmy dodávající tyto součásti jsou firmy HASCO, DME, MEUSBURGER nebo STRACK.

Po vyjmutí výrobku z formy by měl vyhovovat požadavkům zákazníka, tak aby nebylo nutné dále výrobek upravovat.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je proces, který dokáže vytvářet tvarově složité výrobky v dostatečné toleranci, při velmi dobré ekonomické podstatě výroby. Však před samotným vstřikováním musí být navržena, vyrobena a uvedena do provozu samotná vstřikovací forma.

Principem technologie vstřikování je vtlačení taveniny polymeru do tvarové dutiny formy, kde zchladne na požadovaný tvar. Samotný proces vstřikování lze rozdělit do jednotlivých časových úseků, které společně vytvoří vstřikovací cyklus. [1,2]

1.1 Polymery

Polymery jsou často využívány v běžném životě, a to nejen jako plasty, ale patří do nich i dřevo, bílkoviny, hedvábí a další. Polymery lze rozdělit na syntetické a přírodní.

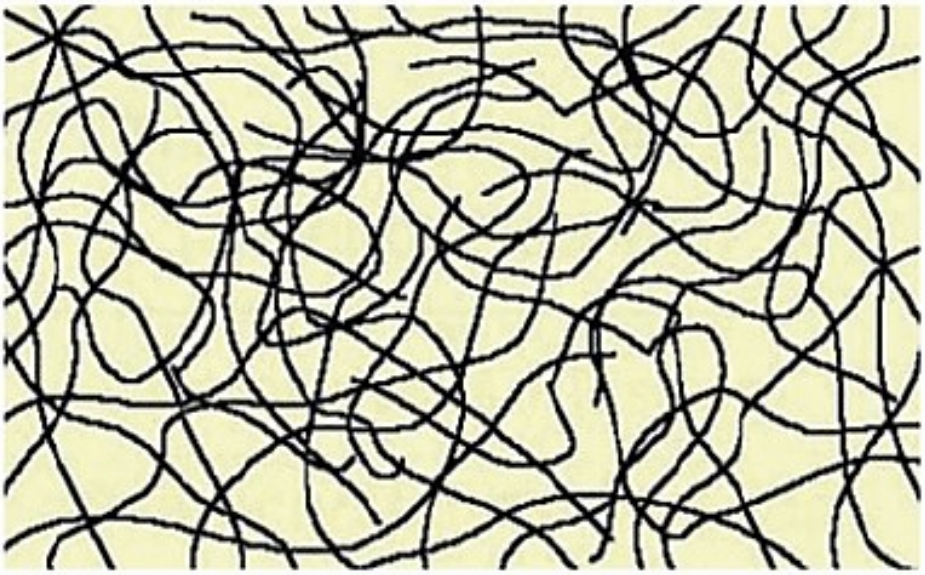
Polymery jsou makromolekulární látky s vysokou molekulovou hmotností. Makromolekula polymeru je vytvořena opakováním malých molekul navázaných na sebe chemickou vazbou. Těmto malým molekulám se říká monomer a proces, při kterém se spojují do jedné makromolekuly se nazývá polymerace. [2]

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou látky, které působením zvýšené teploty měknou a přecházejí do taveniny a ochlazením taveniny opět přechází do pevného stavu. Tento proces lze několikrát opakovat. Díky této vlastnosti lze termoplasty snadněji recyklovat a znovu používat. [2,3]

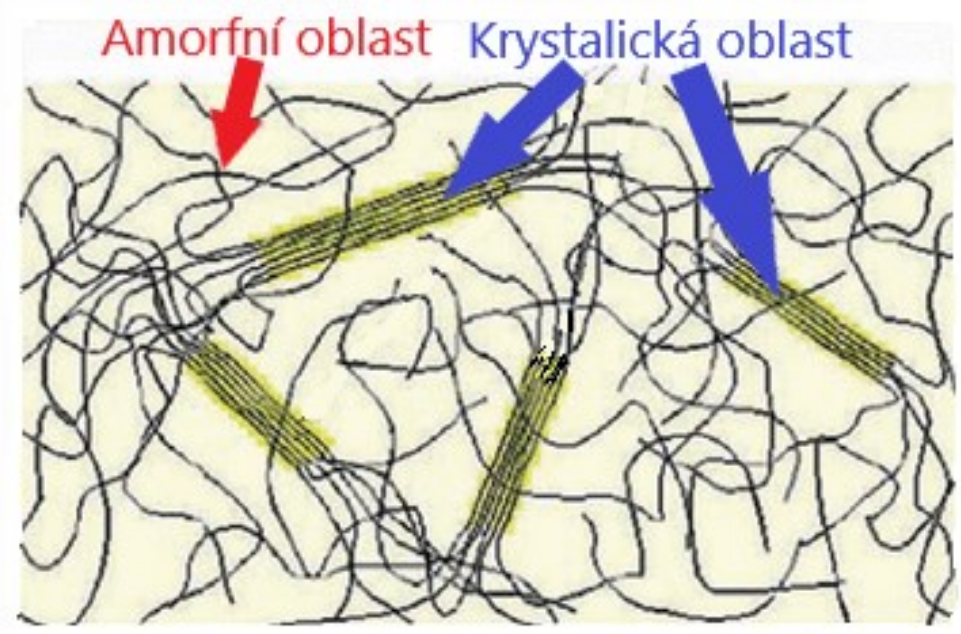
Z hlediska uspořádání makromolekul:

- amorfní termoplasty mají neuspořádanou molekulární strukturu. Struktura se dá přirovnat k talíři špaget. Makromolekulární řetězce jsou náhodně poskládány, vzájemně se řetězce prolínají. Amorfní termoplasty májí vysoce rozvětvené řetězce, ty zabraňují poskládání řetězců. Vyznačují se tvrdostí, křehkostí a nízkým indexem lomu světla. Amorfní struktura způsobuje čirost, transparentnost nebo průhlednost. [2,4]



Obrázek 1 – Struktura amorfního termoplastu [2]

- Semikrystalické termoplasty mají částečně uspořádanou molekulární strukturu. Část molekul se mezi sebou uspořádávají do krystalický struktur, které se nazývají lamely. Mezi lamelami se vždy však nacházejí místa s amorfním uspořádáním molekul. Z tohoto důvodu se nazývají semikrystalické, z důvodu existence jak amorfní, tak semikrystalické oblasti v objemu termoplastu. Charakteristickými vlastnostmi semikrystalických termoplastů patří houževnatost, pevnost a mléčné zakalení, způsobené různým indexem lomu krystalické a amorfní složky plastu. Pevnost plastu roste se stupněm krystalinity. [2,4]



Obrázek 2 – Struktura semikrystalického termoplastu [2]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery jež přechází na pevnou strukturu chemickou reakcí, ke které dochází při zvýšené teplotě, tlaku anebo použitím katalyzátorů. Jednotlivé řetězce mezi sebou vytváří síť. Reaktoplast po zesíťování nelze dále tvářet. Vzniklé vazby zesíťování nelze již rozrušit bez ztráty požadovaných vlastností. Reaktoplasty jsou tvrdé, křehké a chemicky odolné materiály. Zesíťovaná struktura nám způsobuje obtíže při recyklaci. [4,5]

1.1.3 Elastomery

Elastomery jsou polymery, jež se vyznačují velkou pružností za běžných podmínek. Dominantní skupinou elastomerů jsou kaučuky. Pružnost těchto polymerů je způsobena molekulovou strukturou, jež se vyznačuje spojením makromolekul do trojrozměrné sítě. Molekuly těchto materiálů nejsou spojeny pouze mezimolekulárními vazbami, ale také kovalentními vazbami. Tyto vazby vznikají při zahřívání např. kaučuku. Proces síťování se u kaučuků nazývá vulkanizace. Čím déle necháme kaučuk vulkanizovat, tím více můstků obsahuje struktura a tím je výsledná pryž tvrdší. Vulkanizací se obvykle zásadně zlepší vlastnosti kaučuků. Nepoužitelný výrobek z kaučuku se rozemele na regenerát, ten se v malém množství přidává do nových výrobků. [2,3,4]

1.2 Výběr termoplastu pro vstřikování

Stejně jako s jakýmikoliv jinými materiály i u výběru správného polymeru pro vstřikování je nutné posoudit v jakých podmínkách bude výrobek užit, namáhání, jež bude na něj působit a vlastnostech jež vyžadujeme například průhlednost. Proto jsou důležité charakteristické vlastnostmi materiálu. [6]

1.2.1 Smrštění a tepelná roztažnost

Obecně platí, že termoplasty mají velkou tepelnou roztažnost. Při ohřevu se zvětšuje výrobek při chlazení se zmenšuje. Proto je velmi důležité se zajímat o tepelnou roztažnost hlavně pokud výrobek je součástí sestavy s jinými materiály, jako je sklo kovy a keramika, ale i s jiným druhem termoplastu, protože hodnota tepelné roztažnosti není pro všechny termoplasty stejná. Tato vlastnost je ovlivnitelná přidáním anorganických plniv například skelná vlákna. Ty však svojí orientací způsobují anizotropní chování výrobku. [6]

1.2.2 Mechanické vlastnosti

Termoplastické materiály mají velký rozsah mechanických vlastností od elastických až po tvrdé. Avšak i velmi tvrdé materiály mají hodnoty dovoleného napětí výrazně nižší hodnoty než ocel. Termoplasty mohou být také velmi odolné vůči nárazu. Základní mechanické vlastnosti termoplastů se dají ovlivnit přidáním přísad, a to od stužkovacích činidel až po vyztužovací vlákna. V některých případech, zejména u polymerů vyztužených vlákny, můžou být mechanické vlastnosti anizotropní díky účinkům orientace molekul nebo vláken. Na rozdíl od kovů mohou být mechanické vlastnosti termoplastu velmi citlivé i na malé změny v teplotě, rychlosti zatížení a v některých případech i relativní vlhkosti (důležitý faktor pro hydrofilní polymery). [6]

1.2.3 Chemická odolnost

Většina termoplastů disponuje dobrou odolností proti korozi způsobené přítomnost vlhkosti, solí, slabých kyselin a zásad. Avšak termoplasty jsou rozpustné nebo bude bobtnavé v přítomnosti specifických organických rozpouštědel. Obecně platí, že semikrystalické polymery mají větší chemickou odolnost než amorfní polymery. Chemická odolnost musí být pečlivě přizpůsobena prostředí užití výrobku. Například v automobilovém průmyslu musí být odolné vůči palivu a dalším technickým kapalinám se kterými přijdou do styku. Působením hlavně organických chemikálií může dojít k praskání. Tento stav se však v klidovém stavu nemusí vůbec projevit a až do té doby, než dojde k jeho mechanickému zatížení. Po zatížení dojde k projevu praskání anebo selhání výrobku. [6]

1.2.4 Elektrická izolace

Mnoho termoplastů má vynikající dielektrické vlastnosti, proto se využívají jako izolační materiály. V některých případech je však za potřebí určitý stupeň vodivosti. Z tohoto důvodu jsou v těchto specifických případech přidávána plniva, jako jsou vlákna potažená niklem anebo částice nerezové oceli. Jako příklad aplikace může být počítačová skříň, která musí poskytovat schopnost stínění elektromagnetického rušení. [6]

1.2.5 Odolnost vůči povětrnostním vlivům

Mnoho termoplastických materiálů vykazuje nízkou dlouhodobou odolnost vůči povětrnostním vlivům. Zatímco většina těchto materiálů není ovlivněna přítomností vlhkosti při nízké teplotě (s výjimkou plastifikačního účinku pro hydrofilní polymery). Tak při kombinaci ultrafialového záření a oxidace může docházet k zhoršení barvy, průhlednosti a

dalších vlastností v průběhu času vystavení těmto vlivům. To je velkým problémem, pro dlouhodobou venkovní aplikaci dílu. Proto se pro zvětšení odolnosti užívá ultrafialových stabilizátorů a antioxidantů. [6]

1.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus lze pozorovat na vstřikovacím stroji. Vstřikovací cyklus je složen z přesně definovaných po sobě jdoucích kroků. Počátkem vstřikovacího cyklu je bod, kdy stroj začne uzavírat formu. [7,8]

V tomto počátečním bodě dojde k uzavření formy přisunutím pohyblivé části formy. Následně dojde k uzamčení formy. Uzamčení a uzavření formy se od sebe liší velikosti působící síly, kdy při uzamčení působí mnohonásobně větší síla než u uzavření. Uzamykací síla nám zaručuje, uzavření formy po dobu plnění dutiny formy. [7,8]

Jakmile dojde k uzavření formy nastane samotné vstřikování taveniny do dutiny formy. Šnek se během této fáze neotáčí, ale působí jako píst. Po naplnění dutiny dojde k fázi dotlaku, při níž dojde ke stlačení taveniny. Tato fáze slouží pro kompenzaci smrštění. [7,8]

Samotné chlazení začne ihned po styku taveniny a stěny dutiny formy, protože stěny formy mají nižší teplu než tavenina. Chlazení trvá až do samotného vyhození výrobku. Dle hodnoty tlaku lze rozdělit dobu chlazení na dobu chlazení při vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na počáteční teplotě formy, teplotě taveniny, tloušťkou stěny výrobku a provedením temperačního systému. Při chladnutí vstřikovaného materiálu dochází ke smršťování materiálu. Pro kompenzaci smrštění a zamezení vzniku vad, jako jsou propadliny a staženiny, je v některých případech nutné kompenzovat smrštění dotlakem. Dotlak má po dobu chlazení buď konstantní hodnotu nebo se po několika sekundách sníží a dál výrobek dochládá za sníženého tlaku. Aby mohl proběhnout dotlak je nutné, aby před šnekem zůstal určitý objem taveniny tzv. polštář. [7,8]

Po dotlaku musí proběhnout plastikace nové dávky materiálu. Při plastikaci se šnek otáčí a zároveň odjíždí dozadu. Otáčením šneku se pod násypkou nabírá granulovaný materiál. Ten je posouván dále, kde je plastifikován a následně je tavenina dopravena do prostoru před čelo šneku. Pohyb dozadu musí překonat protitlak. Velikost protitlaku ovlivňuje homogenitu roztaveného materiálu a dobu plastikace. Při příliš velké hodnotě protitlaku může dojít k degradaci plastu. K plastifikaci materiálu je nutný ohřev plastu, ten je způsoben jednak převodem tepla z vyhřívaných stěn válce, jednak frikčními teplem, které

vzniká třením plastu o stěny komory a dále samotným hnětením plastu. Samotná tavící komora se může, ale i nemusí odsouvat od formy. Během chlazení se tlak postupně snižuje, až klesne na hodnotu zbytkového tlaku. Při vysokých hodnotách zbytkového tlaku, dochází ke vzniku vnitřních pnutí ve výrobku, tyto pnutí můžou způsobit u křehkých materiálů praskání výrobku. Zbytkový tlak lze ovlivnit zkrácením doby dotlaku. Po zchladnutí výstřiku na vyhazovací teplotu je výstřik vyhozen z formy. [7,8]

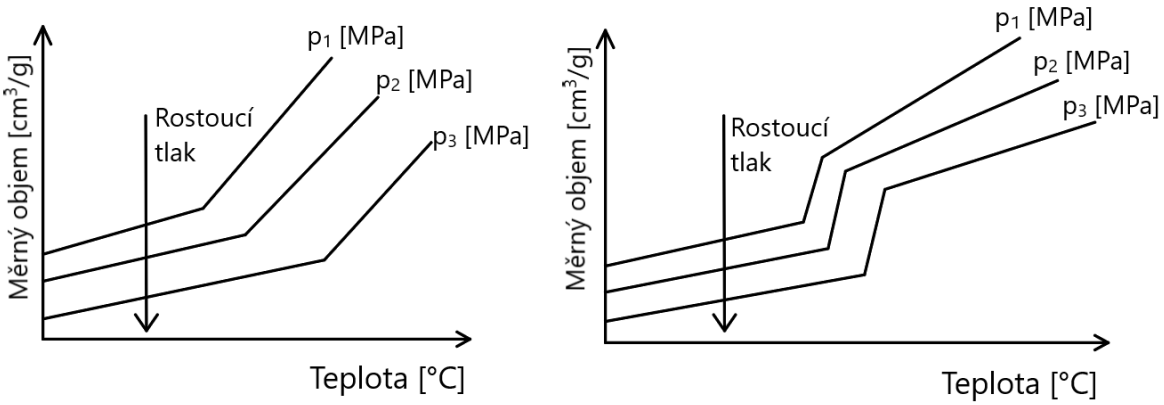
Obrázek 3 – Časový průběh vstřikovacího cyklu

1.3.1 Vstřikovací cyklus v p-v-T diagramu

Termoplasty jsou vysoce stlačitelné v roztaveném stavu a mají i velký koeficient tepelné roztažnosti. V důsledku toho se změní objem, který daná hmota materiálu zaujímá, jak se změnou teploty, tak se změnou tlaku. [6]

Křivky v p-v-T (p – tlak, v – měrný objem, T – teplota) diagramu ukazují, že plastové materiály jsou velmi stlačené při teplotách a tlacích jež jsou během procesu vstřikování dosahovány. Průběh křivek v p-v-T diagramu se liší pro semikrystalické a amorfní termoplasty. Z důvodu odlišnosti vnikajících struktur. [6]

Objemové smrštění plastového dílu lze teoreticky předpovědět, pokud p-v-T vlastnosti polymeru a podmínky zpracování jsou známy. To však v reálném procesu není možné, přesto p-v-T diagramy slouží k určitému odhadnutí smrštění a slouží k pochopení toho, jak různé fáze procesu vstřikování ovlivňují objemové smrštění materiálu. [6]



Obrázek 4 – p-v-T diagram amorfního polymeru (vlevo) p-v-T diagram semikrystalického polymeru (vpravo)

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

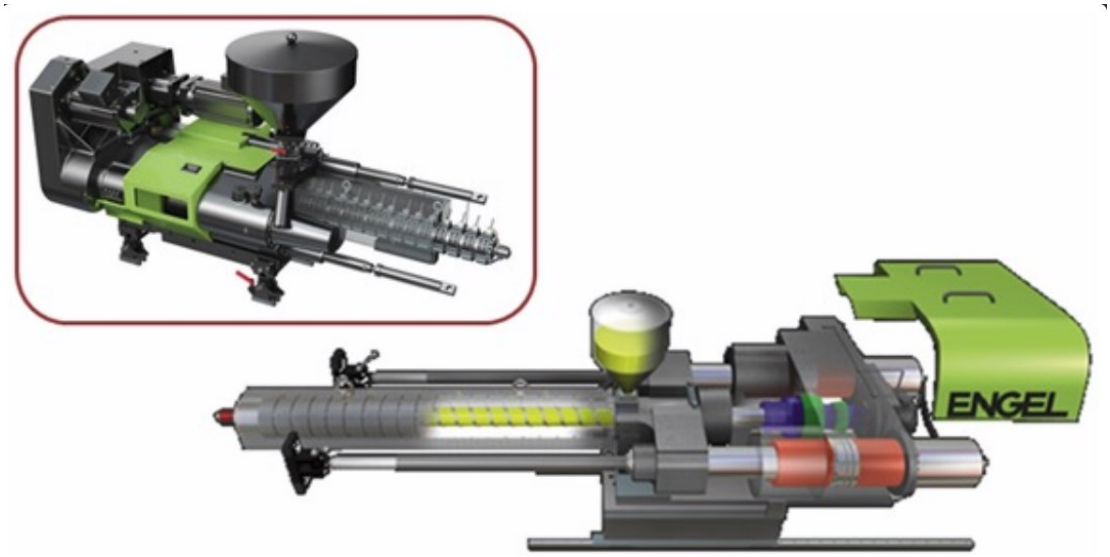
Vstřikovací stroj je primárně určen pro zpracování polymerních materiálů. Ty jsou nejčastěji ve formě granulátu, ale lze se setkat s polymery ve formě prášku či hmoty těstovité konzistence. Vstřikovací stroj lze rozdělit do dvou hlavních částí, a to vstřikovací jednotka a uzavírací jednotka. V některých případech se rozděluje na tři části a k vstřikovací jednotce a uzavírací jednotce je přidána řídící jednotka. [2,9]

Obrázek 5 – Vstřikovací stroj od firmy Arburg [9]

2.1 Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací jednotky pro zpracování termoplastů je přeměna pevného polymeru na taveninu a následná doprava taveniny do dutiny formy. Nejčastěji používaným typem vstřikovací jednotky je šneková. Ohřev ve šnekové vstřikovací jednotce je zajištěn mechanickým zahříváním, způsobeným třením nebo smykem uvnitř pracovního válce a teplem z topných pásů na pracovním válci. Asi 80 % tepla pochází z mechanického zahřívání a 20 % z topných pásů. [2,10]

Vstřikovací jednotka se dá dále rozdělit na násypku a na ní navazující plastikační komory. Plastikační komora je ukončena tryskou. Ta dosedá při vstřikování na vtokovou vložku formy. Šnek je umístěn uvnitř plastikační komory. [2,10]



Obrázek 6 – Ukázka vstřikovací jednotky a jejího pohonu [10]

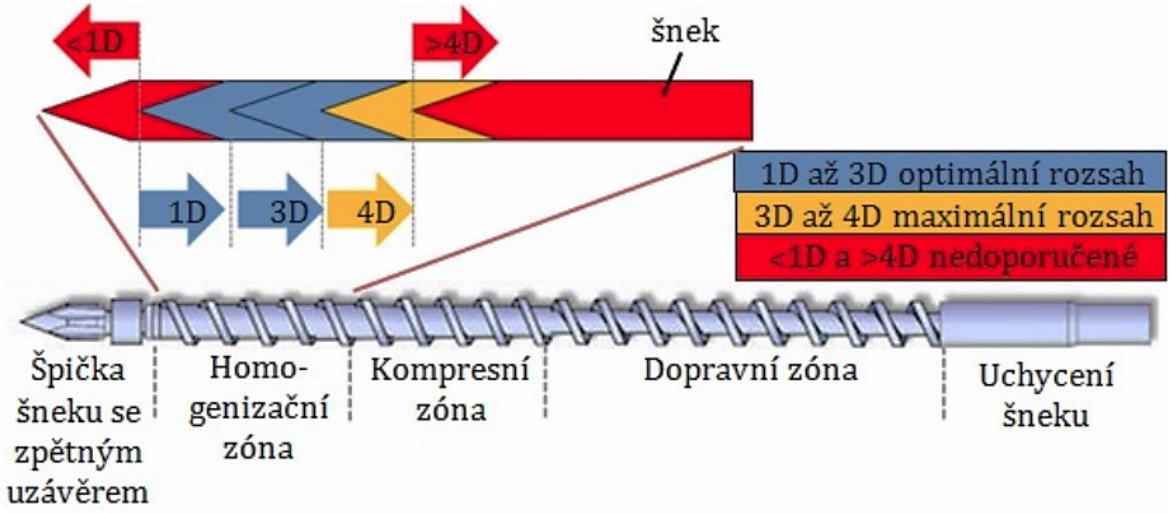
Hlavními parametry pro výběr plastikační jednotky jsou:

- **Vstřikovací kapacita**, jež udává maximální objem taveniny, který je možné v dané vstřikovací jednotce vstříknout do volného prostoru za jeden zdvih šneku. Jedná se tedy o prostor vymezený krajními polohami čela šneku. Nejčastěji je udávána v cm^3. Vstřikovací kapacita tedy udává maximální objem výrobku, který lze danou jednotkou vyrobit. Do objemu výrobku se musí ovšem započítat i objem vtokového systému a objem na dotlak. [10]
- **Plastikační kapacita** udává maximální množství taveniny, kterou dokáže plastikační jednotka schopna za jednotku času připravit pro vstřikování. Tato hodnota je nejčastěji udávána v kilogramech za hodinu, Plastikační kapacita je určena pouze, jako množství materiálu, jež je vytlačeno před čelo šneku a do volného prostoru rotačním pohybem šneku. Množství materiálu je určeno při konstantních otáčkách šneku. Hodnota je spíše orientační pro provedení hrubé kalkulace času, potřebného pro plastikaci vyžadovaného množství materiálu. Rychlost plastikace lze ovlivnit rychlostí otáčení šneku, teplotou, které je materiál vystaven, typem zpracovávaného plastu a geometrií šneku. Hodnota uvedená v katalogu se uvádí při zpracování polystyrénu. [10]

2.1.1 Šnek vstřikovací jednotky

Obecně lze standartní šnek pro zpracování termoplastů rozdělit na tři zóny. Každá z těchto zón má jiný úkol. První zóna, jež se nachází pod násypkou je označována jako dopravní či vstupní. Vyznačuje se tím, že má nejhlubší hloubku závitu šroubovice. Jejím

hlavním účelem je doprava granulátu z násypky do místa tavící komory, kde jsou topné pásy. Během přesunu jsou částice do druhé zóny dopravovaného materiálu stěsnávány, přičemž je vytlačován vzduch. Druhou částí je kompresní zóna. Z toho důvodu, že směrem ke špičce šneku se stoupání i hloubka šroubovice šneku postupně zmenšují. V této zóně jsou částice materiálu intenzivně stlačovány. Posledním pásmem šneku je homogenizační anebo také výstupní pásmo. Úkolem této zóny je zajištění intenzivního promíchání a prohnětení taveniny plastu. To je nutné pro rovnoměrné rozložení teploty taveniny před jejím vstupem do prostoru, ve kterém dochází k hromadění připravené dávky taveniny (mezi tryskou a čelem šneku). [10]



Obrázek 7 – Schématické zobrazení třízónového šneku a schéma s vyznačeným množstvím taveniny zpracovatelného během jednoho posunu dle průměru šneku [10]

2.1.2 Pracovní válec

Pracovní válec je vyroben z upravené oceli, nejčastěji je jeho vnitřní stěna nitridována, aby se dosáhlo velké odolnosti proti opotřebení. Na vnějším stěně válce jsou upevněny topné pásy. Šnek je umístěn dovnitř pracovního válce. [2]

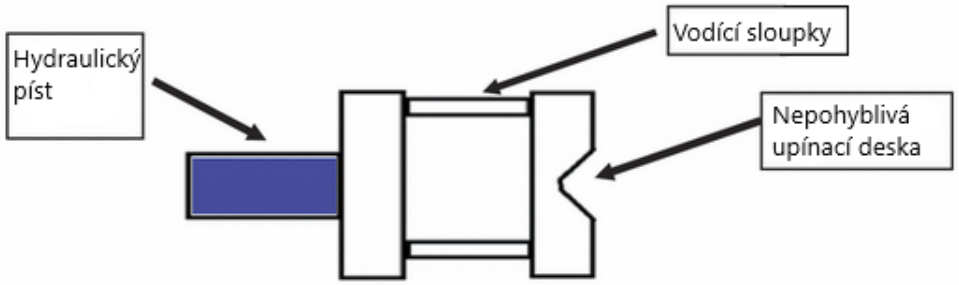
2.2 Uzavírací jednotka

Funkce uzavírací jednotka slouží k otevírání a uzavírání vstřikovací formy, a hlavně k udržení uzavřené formy během vstřikování. Tlak během vstřikování je vysoký z důvodu viskozity taveniny termoplastu, a proto uzavírací síla musí dosahovat velmi vysokých hodnot, vyšších než vstřikovací tlak. Vstřikovací tlak působí po celé ploše dutiny. Potřebná uzamykací síla je dána plochou, na kterou působí tlak taveniny. Tato plocha je vytvořená projekcí vstřikovaného dílu a vtokového systému do dělící roviny vstřikovací formy.

Uzavírací sílu, lze tedy přibližně zjistit z hodnoty vstřikovacího tlaku a velikosti plochy působení síly. Kvůli velikosti uzavírací síly musí být samotná uzavírací jednotka velmi robustní, ale zároveň se dokázat rychle otevřít a zavřít. Uzavírací síla je vyvozena mechanicky, hydraulicky anebo kombinací obou způsobů. Samotná uzavírací jednotka se skládá. [10,11]

2.2.1 Hydraulická uzavírací jednotka

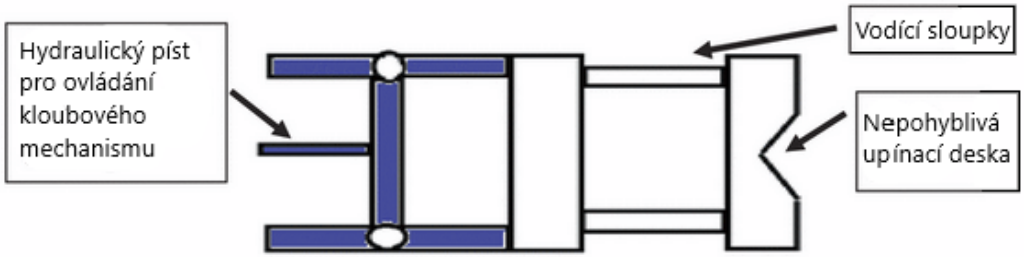
Tento druh uzavírací jednotky působí při uzavírání do středu upínacích desek. Hydraulické uzavírací jednotky mají omezený zdvih délkou hydraulického pístu. Výkon Hydraulických jednotek není natolik ovlivněn teplotou formy, ale i přes zmíněný fakt je nutné zkontrolovat uzavření formy, po dosažení operační teploty formy. Pro zvýšení rychlosti pohybů formy, při delších drahách pohybu a rovnoměrnější rozložení uzavírací sily, mohou být kromě centrálního pístu použity i symetricky rozmístěné menší podpůrné písty. Konstrukce s více písty se využívá především u strojů s vyšší uzavírací silou, jejichž upínací desky dosahují vyšších hmotností. [10,12]



Obrázek 8 – Schématické zobrazení hydraulické uzavírací jednotky [10]

2.2.2 Mechanické uzavírací jednotky (kloubové)

Mechanické uzavírací jednotky využívající kloubový mechanizmus mají jako hlavní výhodu oproti hydraulickým, že mají větší rychlost uzavírání a otevírání a pro vyvození uzavírání je užit menší píst. Kloubové mechanismy se využívají i kvůli jejich téměř ideálním rychlostním profilům. Ten se vyznačuje pomalý rozjezdem formy, následně dojde k velkému zrychlení a opět pomalým dojezdem k pevné straně formy. Touto skutečností je systém nejen rychlý, ale zároveň chrání vstřikovací formu před nabouráním. Uzavírací síla klubového mechanizmu je velice ovlivněna teplotou formy. Po zahřání formy na operační teplotu dojde k jejímu tepelnému roztažení, a to způsobuje problém, jelikož kloubový mechanizmus má maximální uzavírací sílu v přesně definovaném bodě. [10,12]



Obrázek 9 – Schématické zobrazení kloubové uzavírací jednotky [10]

2.3 Řídící jednotka

Hlavním členem řídící jednotky je regulátor, jehož úkolem je zpracování sledovaných aktuálních hodnot, které jsou získávány systémem stroje a porovnává je s hodnotami zadanými obsluhou. Pokud regulátor zjistí odchylku, pokusí se s využitím regulačních prvků v daném systému vyrovnat aktuální hodnoty na požadované. Celý systém je v dnešní době standartně řízen mikroprocesory. Díky tomu lze provést automatickou optimalizaci procesu v průběhu vstřikování. Jednou z velmi důležitou součástí řídící jednotky je komunikační rozhraní, pomocí jehož je možné nastavovat technologické parametry a zároveň v něm lze pozorovat hodnoty sledovaných parametrů. Nejčastěji je pro pohyb v komunikačním prostředí využit dotykový displej či externí klávesnice a myš. Komunikační rozhraní je též vybaveno i porty pro připojení paměťových médií, na která se dají stahovat získaná data z průběhů jednotlivých výrobních cyklů anebo přenášet výrobní programy, které obsahují posloupnosti jednotlivých kroků a operací nezbytných pro proces výroby. Také se zde zobrazují poruchy, ke kterým může dojít během jednotlivých operací. [12]

Obrázek 10 – Komunikační rozhraní od firmy Arburg [13]

3 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukci vstřikovaného výrobku je nutné provádět v souladu s dosažitelnými parametry technologie. Jedno ze základních pravidel pro konstrukci vstřikovaného dílu je, že čím jednodušší součást je tím snadně lze dodržet pevnostní a rozměrové podmínky. Zároveň čím je jednoduší díl, tím jednoduší bude samotná forma a výrobní náklady nebudou také tak vysoké. V reálném světe je však nutné najít kompromis mezi jednoduchostí a požadovanou funkcí. [14,15]

3.1 Tloušťka stěn vstřikovaného výrobku

Tloušťka stěny vstřikovaného dílu významně ovlivňuje vlastnosti výsledného dílu. Mezi tyto vlastnosti patří například mechanická odolnost, smrštění, váha dílu a ekonomii výroby. Zvolení tloušťky stěny je kompromis mezi protikladnými požadavky, jako mu je u volbou mezi pevností a váhou výrobu. [14]

Do samotného výběru tloušťky stěny musí být zařazena úvaha o délce toku taveniny. Délka toku se udává, jako vzdálenost mezi místem vstupu taveniny do dutiny formy a konečného místa vyplnění. [14]

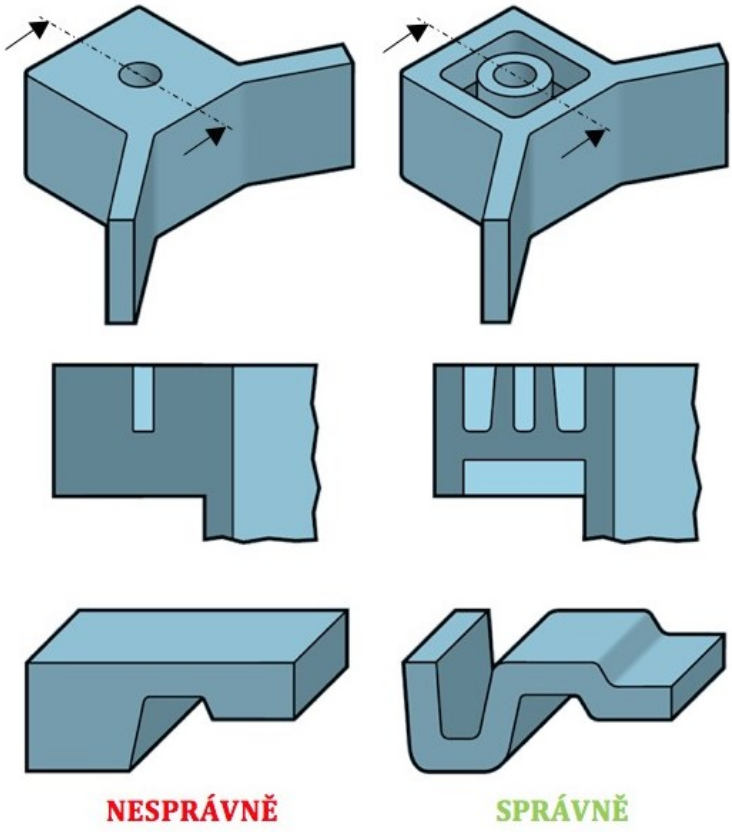
Délka toku taveniny je limitována tloušťkou stěny a typem užitého materiálu. Pokud je tloušťka stěny zvolena příliš malá, může dojít ke vzniku vzhledových vad, vznik velmi vysokých vstřikovacích tlaků anebo k nedoplnění dutiny formy. Při užití větší tloušťky stěn dochází k prodloužení doby chlazení a může dojít ke vzniku propadliny. [14]

Mezi další zásady konstrukce patří vyvarování se náhlé změně tloušťky stěny. Základním problémem u různé tloušťky stěny je rychlost ochlazování. Tlustší stěna se bude ochlazovat pomaleji nežli tenčí stěna. To způsobuje různé velikosti smrštění a tím i geometrickou deformaci dílu anebo vytvoření dutin uvnitř stěn. [1,14]

Na obrázku 11 je vidět různá řešení přechodů tloušťky stěn v případech, kdy některá místa výrobku potřebují odolávat většímu namáhání. Nejhorší návrh konstrukce ukazuje horní levý obrázek, kdy tavenina proudí z tenké části do tlusté části s ostrým přechodem. Toto provedení může vést k nedotoku v místě přechodu anebo k předčasnému zamrznutí v tenké části před dotečením. Tento problém se dá částečně odstranit změnou směru toku, a to tak že se nejprve zaplní tlustá část a následně tenká část, protože je menší pravděpodobnost, že dojde k zamrznutí tlustší části před tenkou. Dalším vylepšením případného přechodu může být pozvolný přechod z tlusté do tenké části. I přes tyto změny

dojde při rozdílu velikosti stěny k různé velikosti smrštění. V některých případech se využívá celkového zvětšení tloušťky stěny, aby nebylo potřeba přechodů v místech většího namáhání. Toto rozhodnutí může vést k nadměrné spotřebě materiálu a prodloužení doby chlazení. Pro to nejlepším řešením, pokud nám to konkrétní výrobek umožňuje je použití tenké stěny s vyztužujícími žebry, [1]

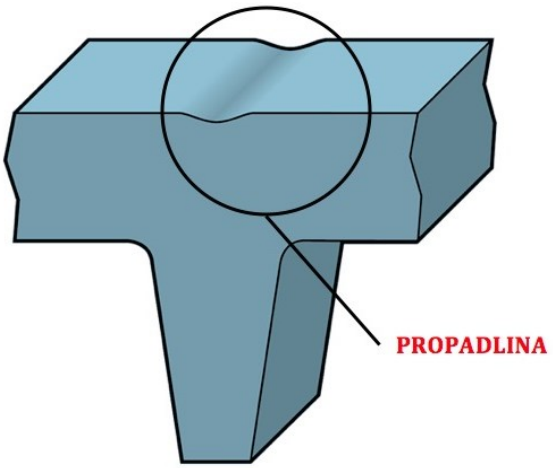
Obrázek 11 – Řešení přechodů tloušťky stěn výrobku [1]



Obrázek 12 – Konstrukční návrh výrobku z hlediska tloušťky stěn [14]

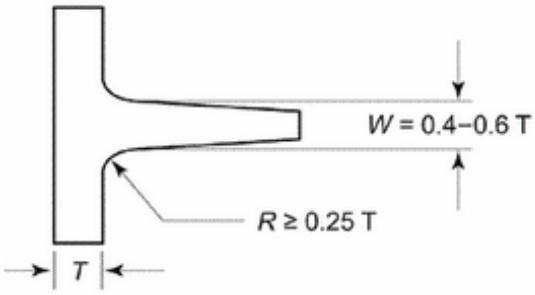
3.2 Žebra

Žebra se při konstrukci umožňují dosahovat vyšší pevnosti a tuhosti dílu bez nutnosti zvětšení tloušťky stěn, nebo k lepšímu plnění dutiny formy. Žebra se tedy dají rozdělit na technická a technologická. Technická žebra jsou žebra, jež slouží pro dosahování vyšší pevnosti a tuhosti dílu. Technologická žebra, mají za úkol zlepšit plnění dutiny formy a brání vzniku povrchových vad. Při návrhu žeber se musí zohlednit vznik propadliny na protilehlém povrchu dílu. Žebra musí být navržena, tak že jsou opatřena minimálním úkosem 0,5 ° na každé straně. Při překročení úkosu 1 ° na každé straně může dojít k problémům s plněním dutiny z důvodu razantního poklesu tloušťky žebra. [14]



Obrázek 13 – Propadlina vzniklá v důsledku žebrování [14]

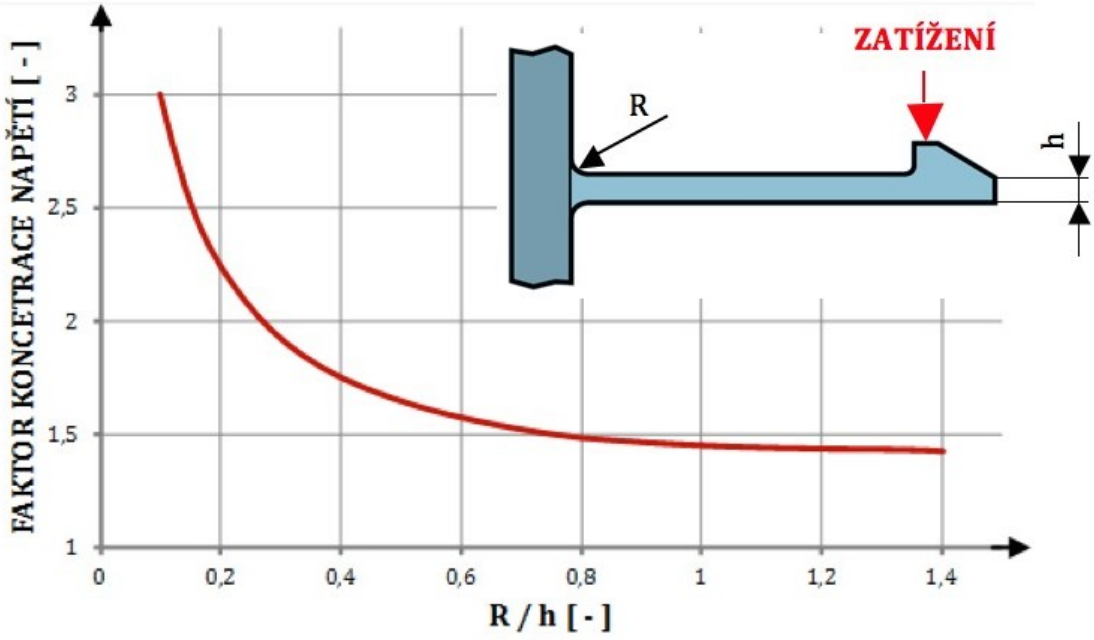
Typický konstrukční návrh žeber je na obrázku 14. V tomto návrhu odpovídá tloušťka žebra 70 % tloušťky stěny a maximální výšce jež odpovídá čtyřnásobku tloušťky stěny a vzdálenost žeber od sebe je deseti násobek tloušťky stěny. Analýzou toho návrhu jsme zjistili že má tuhost ekvivalentní dílu se stěnou větší o 30 %. Díl s o 30 % větší stěnou však potřebuje o 15 % více materiálu než se žebry a cyklus se u něj prodlouží až o 70 % oproti dílu s žebry. [1,15,16]



Obrázek 14 – Typický konstrukční návrh žeber [16]

3.3 Konstrukce hran a rohů

Ostré rohy a hrany jsou často užívány v konstrukci výrobků, aby se maximalizoval vnitřní objem anebo z estetických důvodů. Nicméně vstřikovaný díl by ostré rohy a hrany mít neměl. Jedním z důvodů je koncentrace napětí v oblastech ostrých rohů a hran. To má za následek snížení mechanické odolnosti dílu. Koncentrace napětí klesá s poměrem rádiusu a tloušťky stěny (R/h). A však při užití příliš velkého poměru R/h vede ke zvětšené tloušťky stěny a tím ke vzniku propadlin. Jako doporučená hodnota poměru R/h je 0,15. Další problémem ostrých rohů a hran je v některých případech jejich vytvoření v tvarových částech formy, což by v některých případech vyžadovalo speciální druhy obrábění. Ostré hrany a rohy snižují množství tepla jež předá tavenina dutině formy. [1,14]

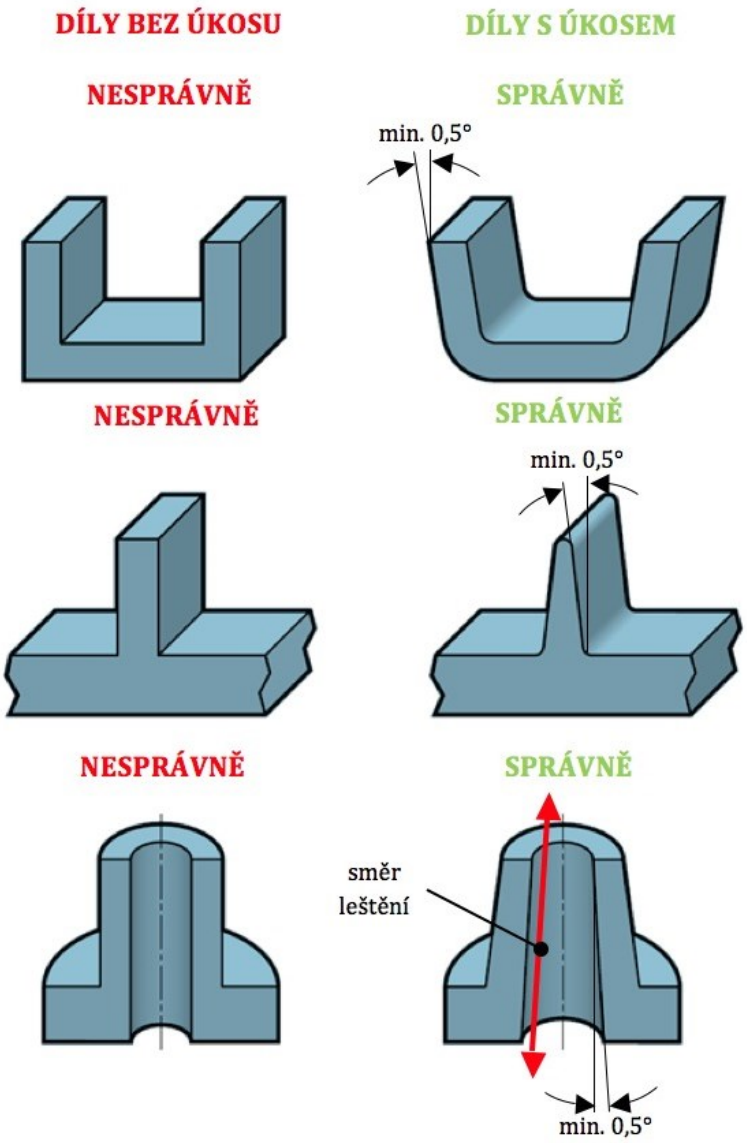


Obrázek 15 – Vliv poměru R/h na koncentraci napětí [14]

3.4 Úkosy

Úkosy na výrobku slouží ke zlepšení odformování. Samotné zaformování dílu je hlavním určujícím prvkem pro umístěný a velikost úkosu. Prvky, jež jsou v dutině formy tvořeny slepými otvory, jako jsou žebra, komíny a výztuhy se zužují směrem ke svému konci. Povrchy tvořené za pomocí pohyblivých jader nejsou obvykle opatřeny úkosem, pokud je daný prvek odformován před otevřením vstřikovací formy. Úkosy jsou rovnoběžné se směrem odformování. Úhel úkosu je obvykle 1 °. V některých případech se užívá i menších úkosů, kdy minimálním úhlem je 0,5 °. U užití menších úhlů je však možnost

poškození dílu a je nutné použití speciální povrchové úpravy dutiny formy. Tyto úpravy ovšem zvyšují výrobní náklady. [1,14]

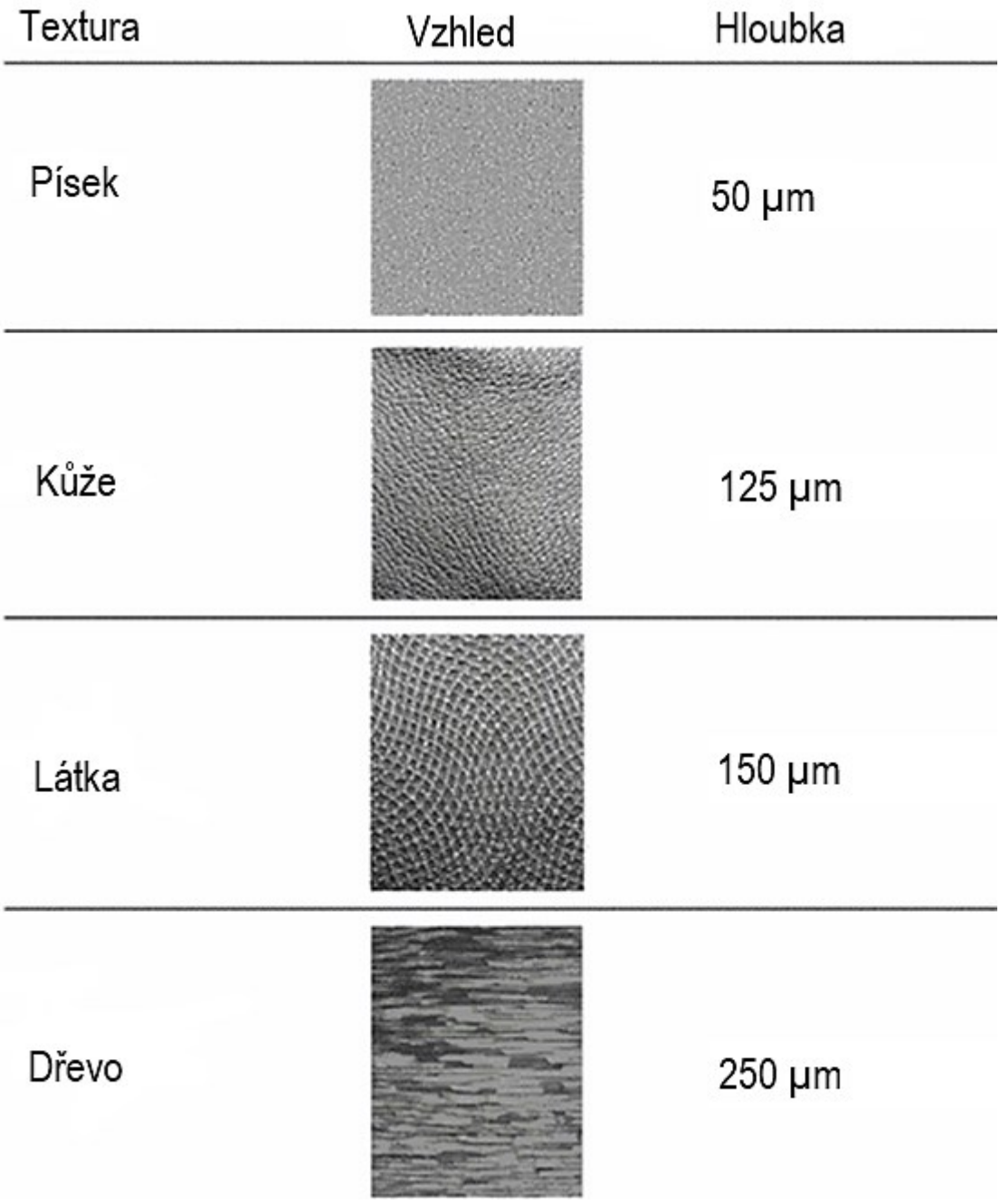


Obrázek 16 – Ukázky návrhů úkosů [14]

3.5 Povrch a textura

Povrch a textura jsou běžně specifikovány konstruktérem. Tyto parametry mají však zásadní vliv na náklady na výrobu vstřikovací formy. Většina společností zabývající se výrobou vstřikovacích forem disponují prostředky pro dodání dílu s vysokou kvalitou povrchu, ale pokud je vyžadována textura povrchu dutiny formy je nutné se obrátit na specializované firmy. Cena konečné formy se může výrazně navýšit s použitím metod jež mají nižší výslednou drsnost povrchu dutiny formy, a to z toho důvodu, že na tento povrch musí být užity technologie s nižší kvalitou vzniklého povrchu. Například povrch je nejdříve

ošetřen hrubým a jemným otryskáním s následným leštěním. S kvalitou povrchu dutiny roste také nutnost bezchybnosti samotného vstřikování, jelikož na leštěných površích jsou vidět veškeré vady vzniklé vstřikováním. Textury se u vstřikovaných dílů užívají z důvodu nápodoby jiného materiálu, jako je dřevo, kůže a další materiály. Dalším důvodem může být, že texturované povrchy nerovnoměrná hloubky, se mohou používat ke skrytí defektů, jako jsou studené spoje, skvrny a jiné nedostatky. Textura také v některých případech slouží ke zlepšení funkce výrobku například pro lepší uchopení. Texturování výrazně zvyšuje náklady na formu. [1]



Obrázek 17 – Ukázka některých druhů textur [1]

3.6 Tolerance a přesnost vstřikovaných dílů

Rozměry dílu dané výkresovou dokumentací jsou pouze teoretické. Při samotné výrobě vznikají díly, jež se od předepsaného dílu odlišují v určitých mezích. Předepisování těchto mezí a tím i přesnosti s níž mají být díly vyrobeny se nazývá tolerování. Mnoho faktorů ovlivňuje přesnost rozměrů vstřikovaných dílů. Jsou to zejména:

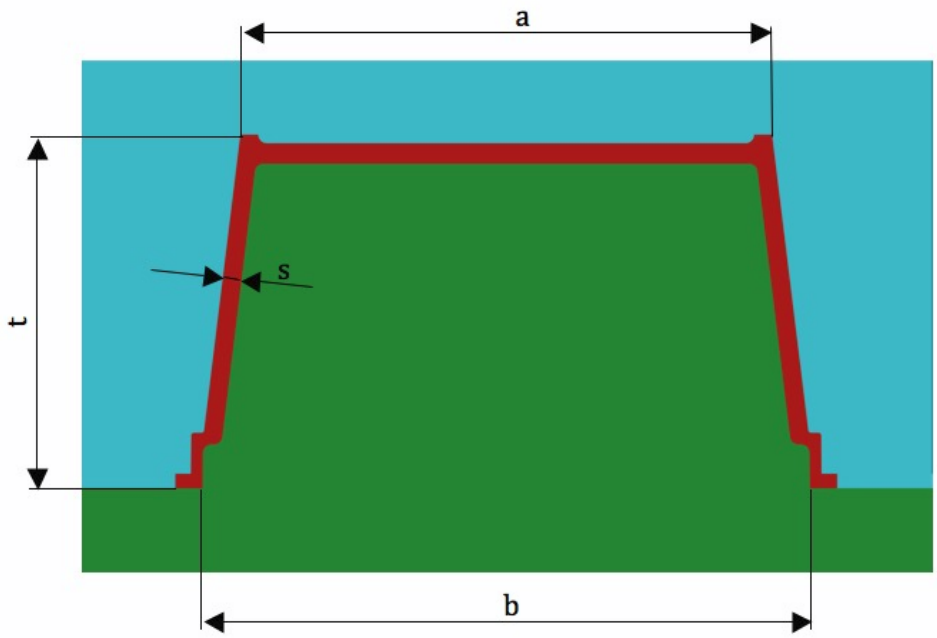
- technologické parametry procesu vstřikování (smrštění je citlivé na změnu některých parametrů, jako je dotlak, teplota formy a další),
- výrobní tolerance dílů formy,
- konstrukce samotného dílu,
- podmínky okolního prostředí – některé materiály jsou rozměrově citlivé na míru vlhkosti. [10]

Aby bylo možné dodržet tolerance je vhodné respektovat doporučení:

- pro díly s úzkým tolerančním polem využít materiálů s nízkým smrštěním,
- na rozměry, jež jsou ovlivněny dosednutím obou polovin formy či pohyblivými čelistmi nepředepisovat úzkou toleranci rozměrů,
- nepředepisovat úzké tolerance na místa, která jsou riziková na deformaci způsobenou principem vstřikování. [14]

Úzké tolerance je tedy vhodné předepisovat pouze, když je to nutné. Vzhledem k fyzikálním principům nelze vstřikováním vyrábět díly ve stejných tolerancích, jako kovové díly. [14]

Rozměry vstřikovaného dílu lze rozdělit na ty jež přímo souvisejí s konturami a tvary vstřikovací formy a rozměry jež souvisejí s rozměry nepřímo. Například jsou to rozměry vzniklé dosednutím obou částí vstřikovací formy či rozměry vzniklé pohybem pohyblivých částí formy. [14]



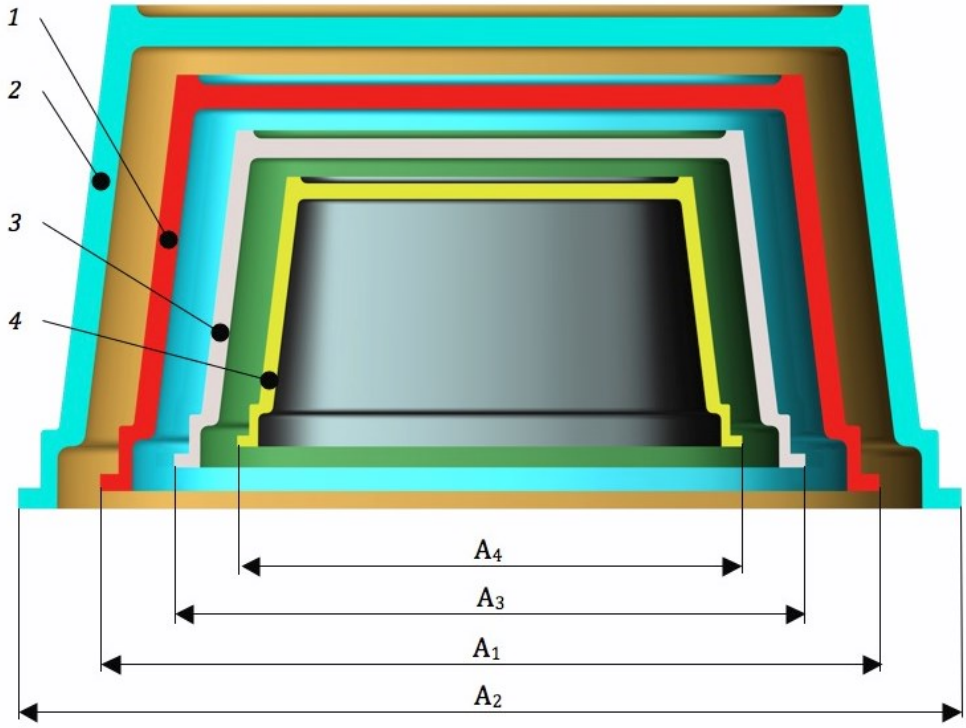
Obrázek 18 – Přímo (a, b) a nepřímo (s, t) související rozměry dílu s rozměry formy [14]

3.7 Smrštění

Smrštění se projevuje u všech termoplastických materiálů. Smrštění je změna rozměru vstřikovaných dílů proti tvarové dutině vstřikovací formy. Velikost smrštění nemusí být ve všech místech a směrech stejná. Smrštění je způsobeno tepelnou roztažností termoplastů. Smrštění amorfních termoplastů je menší než u semikrystalických termoplastů. Tento jev je způsobován změnou struktury při chladnutí termoplastu. Použitím plniv lze velikost smrštění zmenšit. [14,17]

Smrštění se dělí na:

- výrobní – to tvoří 90 % celkového smrštění a je určeno 24 hodin po odformování výrobku,
- dodatečné – tvoří zbylých 10 % a jeho průběh je mnoho násobně delší než u výrobního smrštění.



Obrázek 19 –Změny rozměrů vstřikovaného dílu během procesu vstřikování

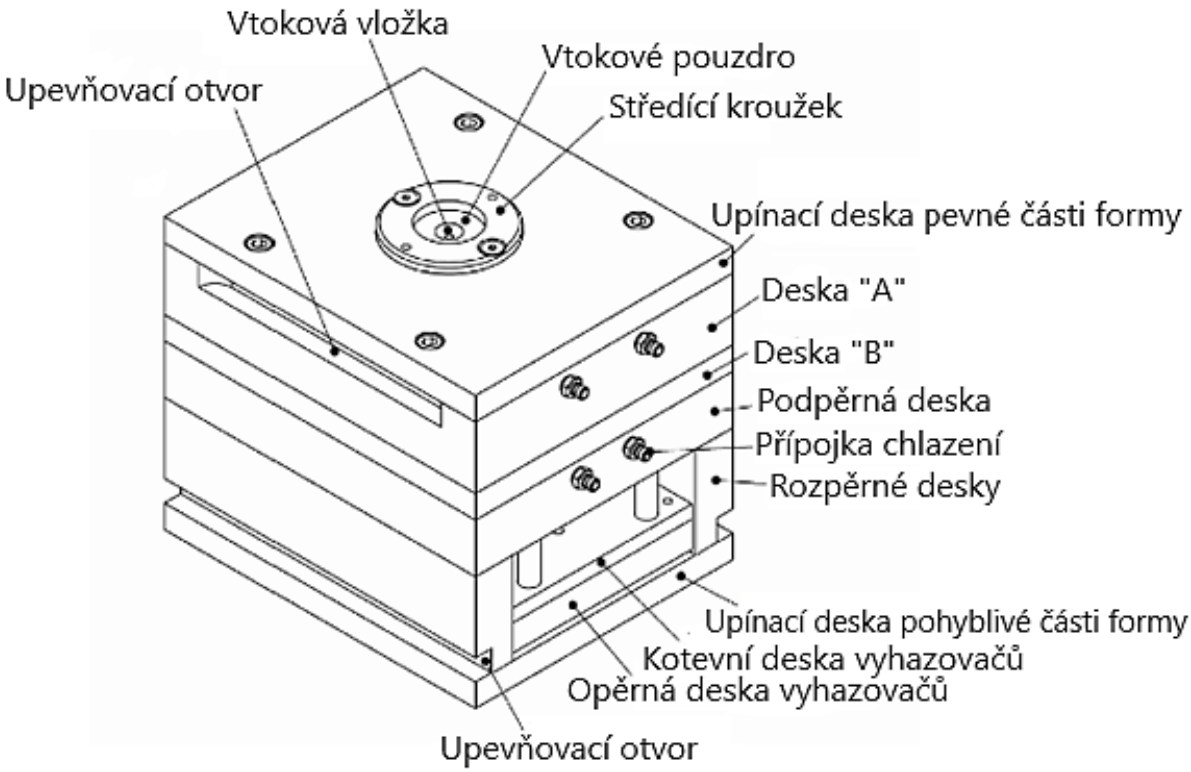
1 – vstřikovaný díl zaformovaný v dutině vstřikovací formy (20 °C),

2 – vstřikovaný díl zaformovaný v dutině vstřikovací formě (60 °C),

3 – vstřikovaný díl ihned po výrobě, 4 – vstřikovaný díl po 24 hodinách po výrobě [14]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je komplexní systém, jež musí splňovat a zohledňovat mnoho požadavků najednou. Primární funkcí vstřikovací formy je doprava taveniny do dutiny formy a její naplnění. Dutina formy má za úkol dát tavenině požadovaný tvar výrobku. Sekundární funkcí je optimální odvod tepla, které je do systému přivedeno taveninou polymeru. Forma má také za úkol zvládnout rychlé, bezpečné a v malém intervalu se opakujícím vyjmutí dílu. [14,18,19,20]



Obrázek 20 – Schéma vstřikovací formy [20]

4.1 Návrh konstrukce vstřikovací formy

Při návrhu konstrukce musí konstruktér vybrat nejvhodnější typ vstřikovací formy a materiály z kterých budou jednotlivé součásti vyrobeny. Desky, vodící čepy a další součásti formy jsou často dodávány ve standardizovaných rozměrech. Díky standardizovaným součástím se značně snižují náklady pro výrobu formy. Volba matriálu součástí ovlivňuje životnost součástí formy a odvod tepla. V konečné fázi návrhu by měl být určen počet dutin, směr otevírání formy a rozměry jader. Návrh formy by měl být co nejjednodušší, a dosahovat co nejmenších rozměrů. [14,18,19]

4.2 Dělící rovina

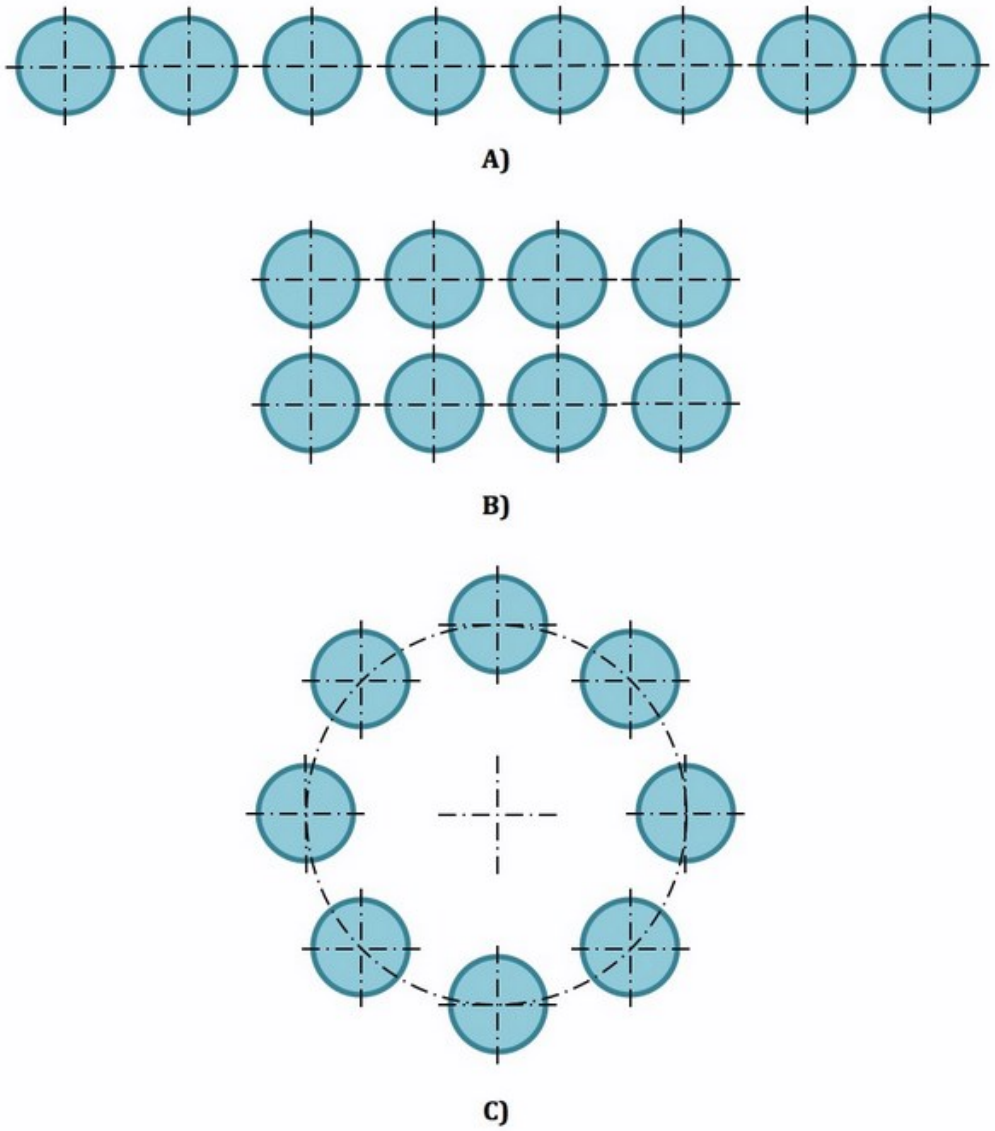
Jde o kontraktní plochu mezi pohyblivou a nepohyblivou částí vstřikovací formy. Primárním účelem dělící roviny je těsné uzavření dutiny formy, aby nedošlo k úniku taveniny při vstřikování. Uzavření dělící roviny je zajištěno uzavírací síly. Dělící rovina může mít i jiný než rovinný tvar, však čím je jednoduší její tvar tím je i jednodušší docílení kvalitního uzavření. Forma může obsahovat hlavní a vedlejší dělící roviny. Hlavní dělící je vždy jedna a je kolmá ke směru otevírání formy, zatím co vedlejší dělící roviny mohou svírat jakýkoliv úhel se směrem otevírání formy a jejich počet není omezen. [1,14]

4.2.1 Směr otevírání formy

Směr otevírání vstřikování je kolmý na hlavní dělící rovinu. Je to z toho důvodu, že veškeré vodící komponenty pohyblivé a nepohyblivé části formy mají osu symetrie kolmou na dělící rovinu. Směr otevírání je tedy prakticky určen, ovšem o směru otevírání formy je nutné uvažovat ve vztahu k umístěný a orientaci dutiny vstřikovací formy. Pokud tedy je směr otevírání vstřikovací formy, je nutné vhodně umístit a orientovat tvarovou dutinu formy. Dutina musí být umístěna tak aby byl vstřikovaný díl odformovatelný a použitý vstřikovací tlak co nejméně namáhal vstřikovací formu. Toho je dosaženo, tak že plocha kolmého průmětu vstřikovaného dílu vzhledem k dělící rovině je minimální a dutina formy musí být orientována, tak aby došlo k plynulému odformování výrobku. [1,14]

4.3 Návrh a rozměry desek vstřikovací formy

Pro určení velikosti desek vstřikovací formy je nutné nejprve navrhnout jednotlivé vložky tvořící dutiny vstřikovací formy. Prvním úkolem je umístění tvarových dutin a ověřit, zda je možné zhotovit kanály temperačního a vtokového systému. Poté lze provést výběr velikosti jednotlivých desek ze standartní nabídky. Velikost desek musí zohledňovat nejen velikost tvarových vložek ale také i místo pro vodící prvky a další nutné součásti. [14]



Obrázek 21 – Rozmístění tvarových dutin
A) umístění v řadě, B) umístění v rastru, C) umístění v kruhu [14]

4.4 Materiály využívané pro vstřikovací formy

Materiály vstřikovacích forem se volí dle ekonomické a účelového hlediska. Z tohoto důvodu je škála materiálu využitých při konstrukci velmi velké. Myšlenkou u výběru materiálu jednotlivých součástí je skutečnost, že forma musí vydržet velké množství cyklů a při co nejmenších nákladech. [14]

Součásti, jež jsou ve styku s polymerní taveninou je nutné použití odolných materiálů, jež mají vysokou hodnotu tepelné vodivosti. Proto se užívají nástrojové oceli s povrchovou úpravou anebo materiály, jež dokážou odolat teplotě a tlaku, jež je součást vy stavena během vstřikování. [14]

Části, jež zaručují vedení vstřikovací formy při otevírání a zavírání, jako jsou vodící čepy, vodící pouzdra a další, jsou během vstřikovacího cyklu namáhány na ohyb, tlak, tření a vzpěrem. Jsou nejčastěji vyráběny z nízkolegované konstrukční oceli a nástrojové oceli. Tyto části jsou také často opatřené povrchovou úpravou, jako jsou povlaky, pro snížení tření. [14]

Desky, jež tvoří rám samotný formy nejsou natolik namáhány, protože většinou plní pouze nosnou funkci. Díky tomu lze pro jejich výrobu využít oceli nízkých tříd. [14]

4.5 Normálie

Normálie se užívají hlavně pro snížení nákladů a urychleni konstrukce a výroby vstřikovací formy. Normálie jsou provedeny v několika velikostních řadách. Firmy, jež se zabývají výrobou normálií HASCO, DME A STRACK a další.

Normalizované součásti, lze snadno kombinovat a sestavovat tak, aby bylo možné vytvořit velikostně různé typy rámů. Vstřikovací forma se tedy nejčastěji konstruuje za pomocí databáze výrobce a pak se tyto součásti od firmy nakoupí. [14,19,20]

4.6 Vtokový systém

Účelem vtokového systému je doprava taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny formy. Zvýšená investice do návrhu a optimalizace vtokového systému povede k menšímu opadu materiálu při vstřikování. Návrh samotného systému se provádí ve třech krocích. Prvním krokem je výběr typu vtokového systému (studený a horký vtok). Druhým krokem je zvolení průběhu vtokového systému. Za třetí průměry jednotlivých částí vtokového systému. [21,22]

4.6.1 Studený vtokový systém

Vstřikovací forma za využití studeného vtokového je forma, u které dochází k chlazení, ztuhnutí a vyhození stokového systému. Přibližně 70 % dnešních forem jsou formy se studeným vtokovým systémem. Studený vtokový systém se většinou skládá z vtokového kanálu, rozváděcích kanálů a vtokového ústí. U forem s pouze jednou dutinou může postačovat pouze vtokový kanál. Formy se studeným vtokem jsou jednoduší na konstrukci a údržbu a zároveň levnější nežli formy s horkým vtokem. Ale po odformování vzniká v tokový zbytek z materiálu vyplňujícího vtokové kanály. [21,22]

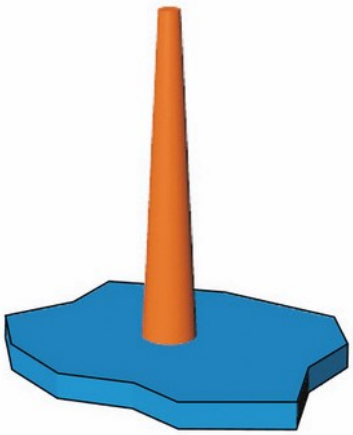
4.6.2 Vtokové ústí

Vtokové ústí je spojovacím článkem mezi výrobkem a vtokovým systémem. Obvykle slouží k oddělení výrobku a vtokového zbytku. Oddělení by mělo nejlépe proběhnout snadno a pokud možno automaticky. Velikost a umístění vtokového ústí ovlivňuje plnění tvarové dutiny. Doporučená tloušťka nebo průměr vtokového ústí by měla být 40 % až 70 % tloušťky stěny výrobku do které vstupuje. Optimální délka vtokového ústí bývá od 0,5 mm až po 1 mm. [21]

Vtokové ústí by mělo být umístěno do místa na výrobku, kde nebude narušovat vzhled dílu. Také by měl být umístěn do nejtlustšího místa dílu, aby materiál proudila tavenina z nejtlustší oblasti k nejtenčí. [21]

4.6.3 Plný kuželový vtok

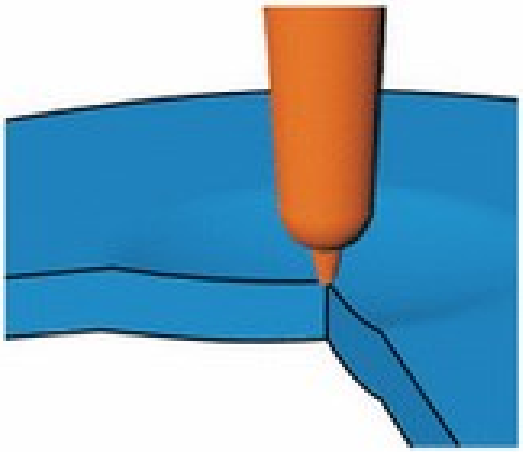
Plný kuželový vtok je zvláštním druhem vtokového systému, protože výrobek je plněn přímo vtokovým kanálem. Využívá se hlavně u symetrických a tlustostěnných výrobků. Jeho nevýhoda je, že pod odformování zůstává spojen s výrobkem a je nutné ho dodatečně odstranit. Výhodou je snadná výroba. [21,23,24]



Obrázek 22 – Ukázka kuželového vtoku [21]

4.6.4 Bodový vtok

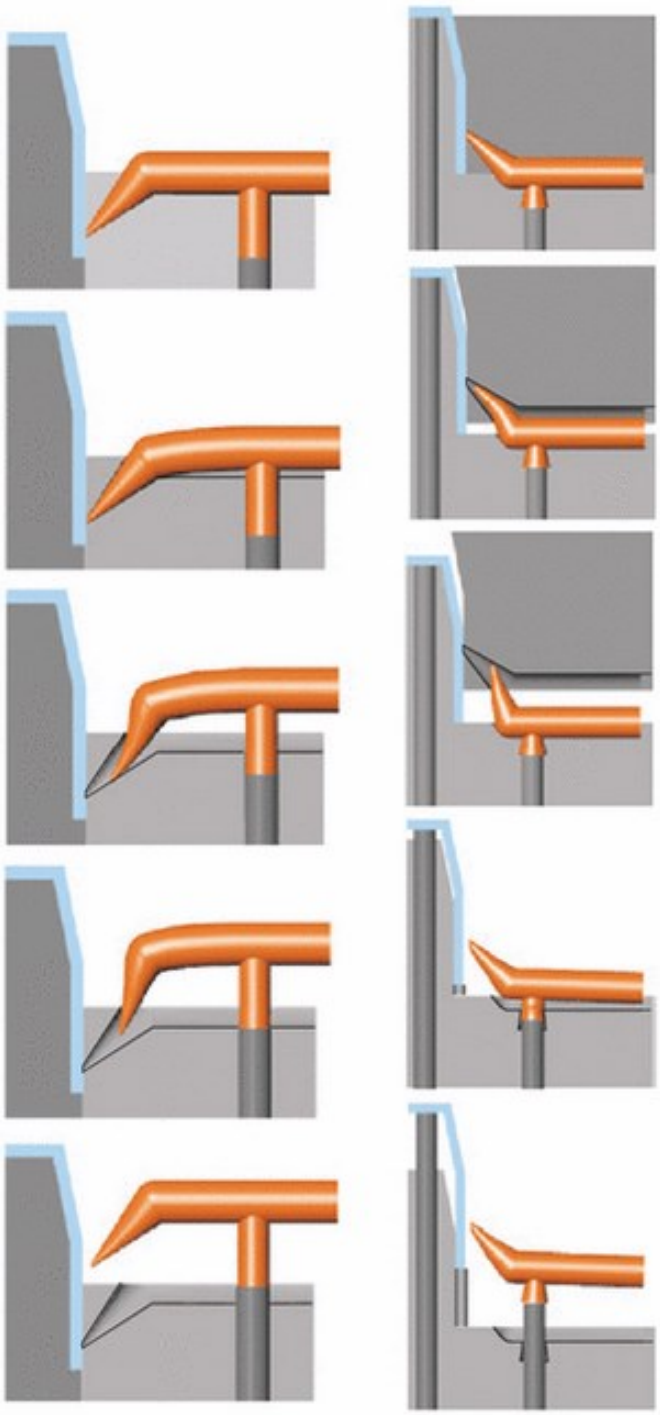
Tento typ studeného vtoku se využívá pro tenkostěnné výrobku. Pro jeho využití je nutné užít tří deskový systém formy. Díky tomuto provedení lze oddělit tokový zbytek a výrobek automaticky. Vzniká však větší stopa po vtoku. [21,23]



Obrázek 23 – Detail bodového vtoku [21]

4.6.5 Tunelový vtok

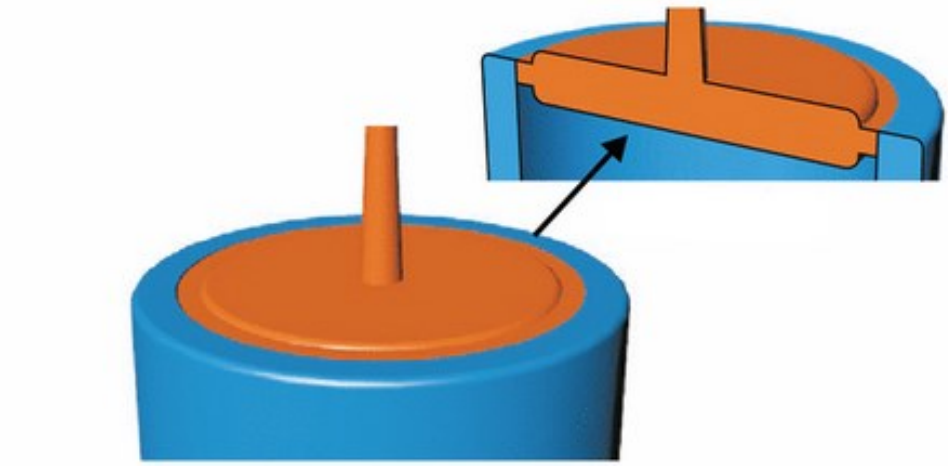
Jeho tvar je kónický a nejmenší průměr má v místě přechodu do tvarové dutiny. Je umístěn ve formě tak, že tulen vycházející z rozvodného kanálu je pod dělící rovinou. Při vyhazování výrobku je vtokový zbytek oddělen. Využívá se pro automatické oddělení vtokového zbytku ve dvou deskovém systému formy. [21,24]



Obrázek 24 – Dva typy provedení tunelového vtoku a způsob jejich oddělení od výrobku [21]

4.6.6 Diskový vtok

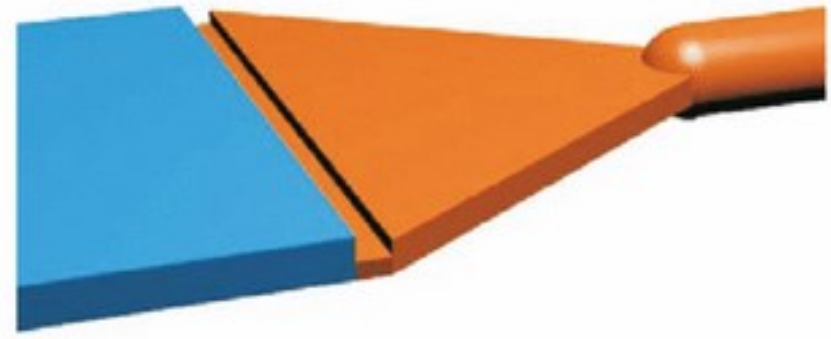
Diskový vtok se používají pro válcové tvarové díly, které jsou otevřené na obou koncích (jako trubice). Tento vtok se využívá pro rovnoměrné plnění rotačně symetrických výrobků a omezení vzniku studených spojů. [21,23]



Obrázek 25 – Diskový vtok [21]

4.6.7 Filmový vtok

S výhodou se užívá pro výrobky obdélníkových tvarů. Využívá se hlavně pro semikrystalické a plněné termoplastické materiály. Díky velkému vstupnímu průřezu dojde k rychlému a rovnoměrnému zaplnění dutiny. V některých případech řeší nutnost použití více vtokových ústí do jedné dutiny formy. Nevýhodou filmového vtoku spočívá v nutnosti oddělit vtokový zbytek až po vyhození dílu. [21]



Obrázek 26 – Filmový vtok [21]

4.6.8 Horký vtokový systém

Horký vtokový systém je sestava vyhřívaných součástí (vtoková vložka, rozvodný blok a trysky). Úkolem horkého vtokového systému je udržení konstantní teploty taveniny, než vstoupí do tvarové dutiny. Potřebná energie, pro zahřívání je dodávána pomocí kabel, jež vedou od zásuvky. [21]

Výhody horkých vtokových systémů proti studeným vtokových systémů:

- snížení množství materiálu – nevzniká nám vtokový zbytek a tím se snižuje množství potřebného materiálu,
- urychlení vstřikovacího cyklu – je to způsobeno nepřítomnosti vtokového zbytku, kdy opadá čas potřebný na jeho chlazení a není třeba plastikova tak velké množství materiálu.,
- potřeba menšího otevření formy pro vyhození – forma se musí otevřít pouze dost na vyhození výrobku a nikoli na vyhození vtokového zbytku,
- není potřeba se zabývat recyklací a manipulací s vtokovými zbytky.

Nevýhody horkých vtokových systémů proti studeným vtokových systémů:

- nutnost dodávání elektrické energie topným částem,
- vysoké pořizovací ceny a cena údržby,
- některé druhy teplotně citlivých materiálů nelze anebo s obtížemi použít. [21]

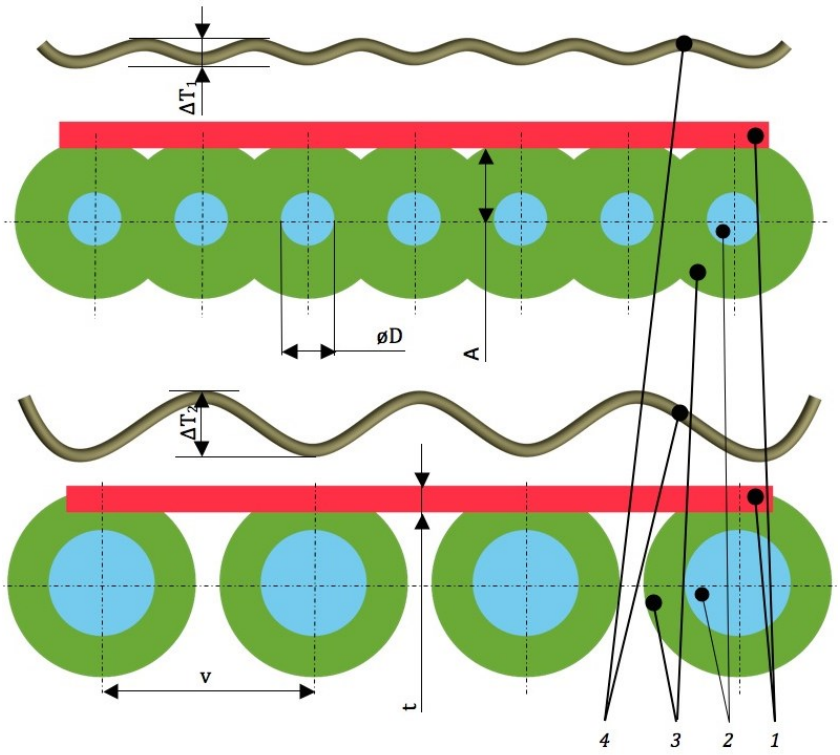
4.7 Temperační systém

Významným faktorem ovlivňujícím kvalitu vstřikovaných výrobků je teplota vstřikovací formy. Pro hlavním úkolem temperačního systému je udržení konstantní teploty během cyklu vstřikování. Temperace formy má také za úkol odvádět teplo při chlazení výrobku a také vyhřívání formy pro dosažení vhodné teploty formy pro vstřikování daného termoplastu. Teplota a její časový průběh ovlivňuje výsledné vlastností, a to nejen mechanických, ale také smrštění, kvality povrchu, u semikrystalických plastů stupně krystalinity. Provedení temperačního systému ovlivňuje i dobu chlazení. [14,21,25]

Tabulka 1 - Doporučené teploty pro technologii vstřikování [14]

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

Při návrhu temperačních kanálů platí zásada, že je lepší mít více kanálů o menším průměru kanálů než menší počet kanálů o velkém průměru. Je to z důvodu průběhu teplotního pole, kdy teplotní pole dosahuje větších výkyvů při užití větších kanál. [14,21,25]



Obrázek 27 – Efekt různého průměru temperačních kanálků

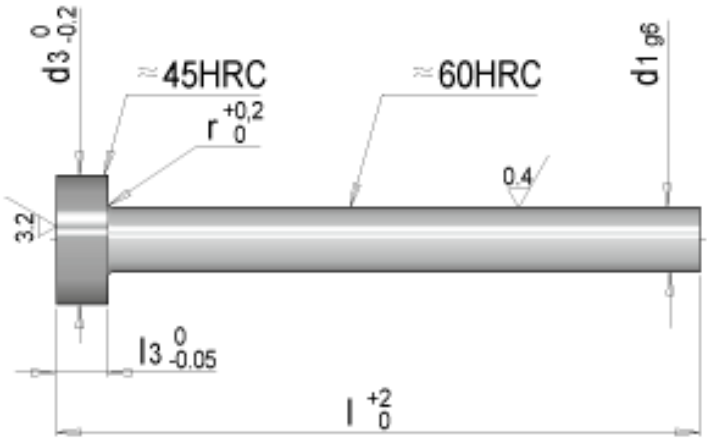
1 – vstřikovaný díl, 2 – temperační kanál, 3 – pole působení temperačního kanálu, 4 – průběh teploty povrchu vstřikovací formy [14]

4.8 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém má za úkol vyhodit vstřikovaný díl z dutiny formy po otevření formy. Složitost vyhazovacího systému se může široce lišit v závislosti na složitosti samotného dílu. Při konstrukci vyhazovacího systému je nutné zvážit velikost a rozložení vyhazovací síly. Sestava vyhazovacího systému je tvořena kotevní a opěrnou deskou, dosedkami, vyhazovači a ovládacím táhlem. Tyto komponenty jsou pojištěny vůči axiálnímu posuvu opěrnou deskou. Dosedky na opěrné desce zajišťují vůli mezi opěrnou deskou a upínací deskou rámu formy. [14,21,26]

4.8.1 Válcový vyhazovač

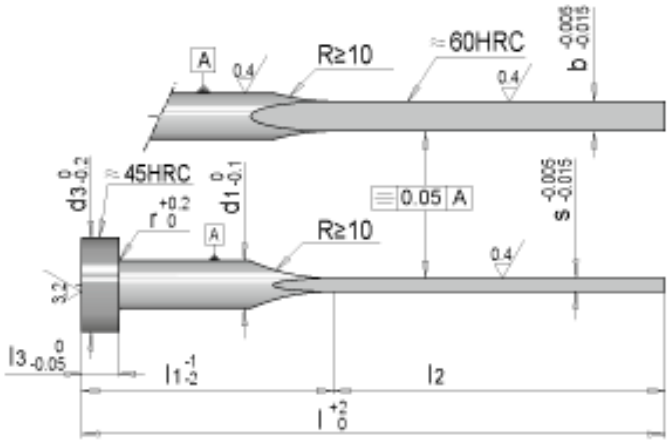
Válcový vyhazovač patří mezi nejpoužívanější druh vyhazovačů. Jedná so o normalizovanou součást s průměry od 0,5 mm až po 25 mm. Ve speciálních případech mohou být rozměry i větší či menší. Délka je standardizovaná, ale očekává se že si ji zákazník upraví na jím požadovanou velikost. [19]



Obrázek 28 – Válcový vyhazovač od firmy Meusburger [14]

4.8.2 Plochý vyhazovače

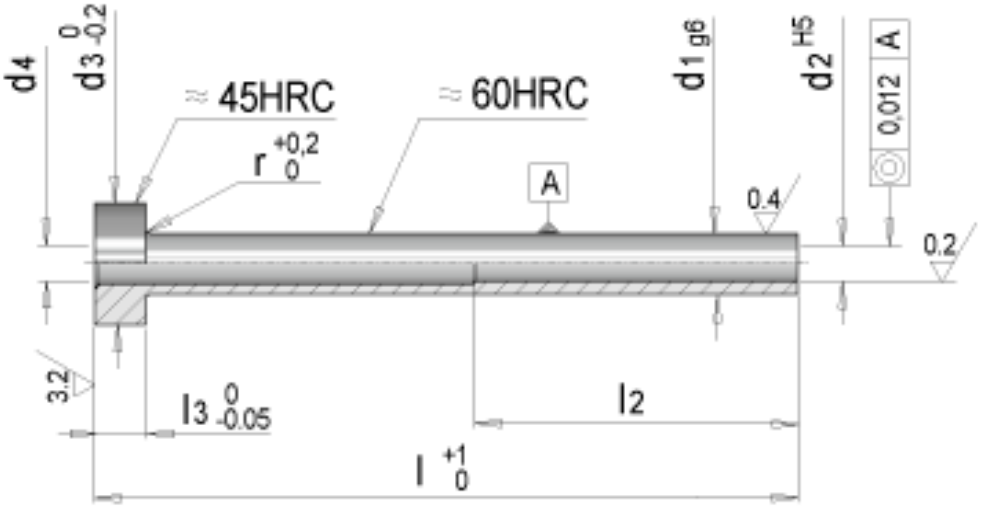
Jejich využití je při vyvození vyhazovací síly do žeber či tenkých stěn. Tyto vyhazovače jsou opět standardizované. Vyhazovač má kulatou spodní část a obdélníkový průřez dotykové části [19]



Obrázek 29 – Prizmatický vyhazovač od firmy Meusburger [27]

4.8.3 Trubkový vyhazovač

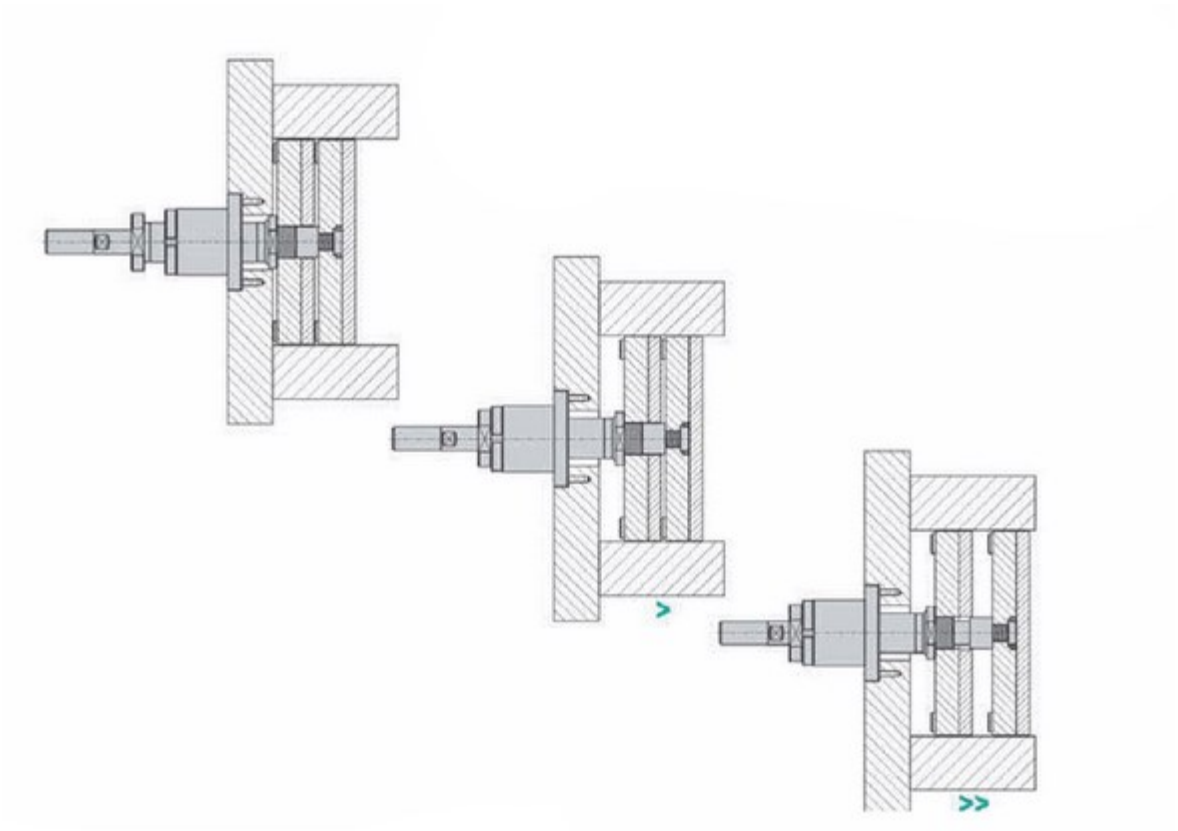
Využívá se ho při odformování kruhových otvorů dílu. Skládá se ze dvou částí, a to nepohyblivého jádra, jež je ukotveno v upínací desce a trubkový vyhazovač je instalován do vyhazovacích desek. Trubkový vyhazovač působí při vyhazování výrobku plošně.[19]



Obrázek 30 – Trubkový vyhazovač od firmy Meusburger [27]

4.8.4 Dvoustupňové vyhazování

Využívá dvou vyhazovacích systémů, které jsou navzájem nezávislé. Umožňuje vyhazovat výrobku s časovým a velikostním rozdílem zdvihu vyhazování. Tento způsob se s výhodou užívá pro tenkostěnné výstřiky, a to za použití kombinace stírací desky a vyhazovacích kolíků. Také se užívá při oddělování vtokových zbytků od výstřiku. Nejprve je skupinou vyhazovačů vtok odstřižen a druhou skupinou se zdvihem vyhodí. [19]

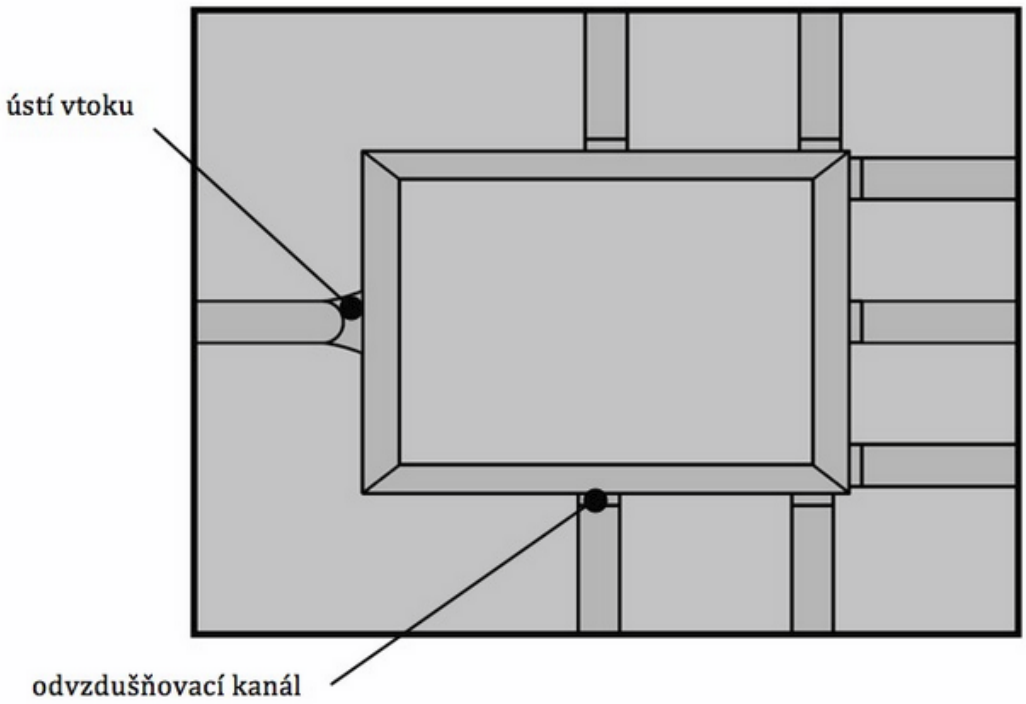


Obrázek 31 – Princip dvoustupňového vyhazování [19]

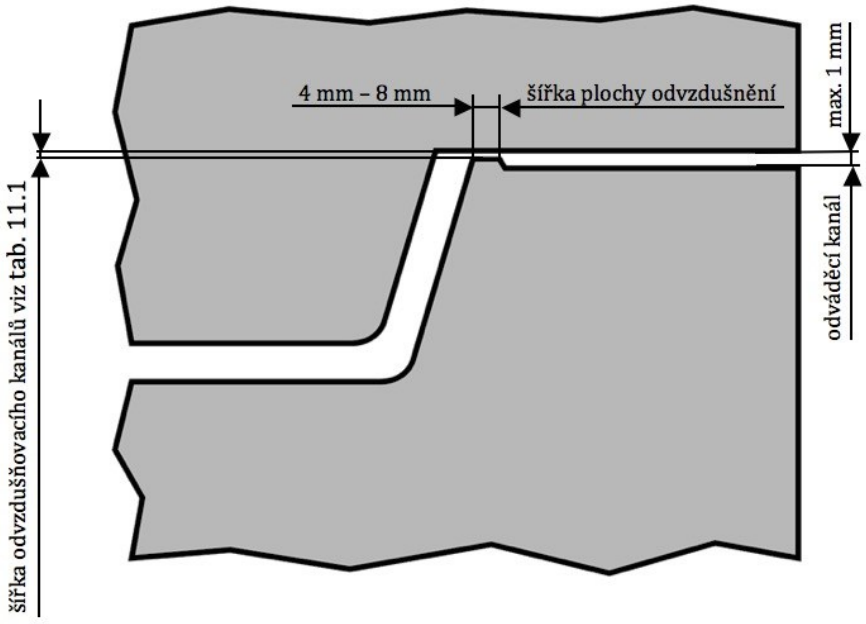
4.9 Odvzdušnění

Při vstupu taveniny do dutiny dochází ke stlačení a následnému vytlačení vzduchu. Ten se snaží uniknout přes dělící rovinu a přes plochy vyhazovačů či jader. To však u většiny forem nestačí, a proto je nutné formu opatřit dalšími konstrukčními prvky pro odvod vzduchu. Odvzdušnění formy se obvykle řeší až po zkoušce plnění dutiny v provozu. [1,10]

Kanály pro odvzdušnění mohou být umístěny podél rozváděcích kanálů vtokového systému, ale největší důležitost kanálů je v místě dutin vstřikovací formy, které je zaplněné jako poslední. Tato místa jsou nejčastěji v největší vzdálenosti od místa vtoku. Pokud by toto místo nebylo dostatečně odvzdušněno mohlo by dojít k neúplnému naplnění dutiny formy anebo až ke vzniku spáleného místa. [14,28,29]



Obrázek 32 – Rozmístění odvzdušňovacích kanálů [14]



Obrázek 33 – Doporučená konstrukce pro odvzdušňovací kanály [14]

5 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Analýza procesu vstřikování jsou dnes již neodmyslitelnou součástí procesu návrhu vstřikovací formy. Mezi dnes nejznámější patří Moldflow Synergy, Cadmould 3D-F a Moldex3D. Díky simulaci se značně zjednodušuje a zkracuje dobu vývoje. V programu lze i optimalizovat samotné parametry vstřikování. [30,31,32]

Simulační softwary umožňují několik typů analýz, kterými mohou být vhodnost umístění vtokového ústí, plnění a dotlak, orientaci vláken plniva, chlazení a deformace způsobené temperací a smrštěním. Při použití simulace pro vhodné umístění vtokového ústí systém vyhodnotí nejvhodnější a nejméně vhodná místa pro jeho umístění. [30,31,32]

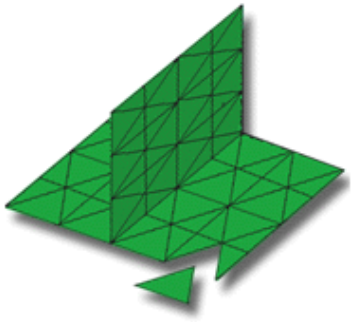
S volnou místa vtokového ústí úzce souvisí i analýza plnění a dotlaku. K spuštění samotného výpočtu je nutné vybrat z knihovny simulačního softwaru vybrat materiál, stroj, materiál formy a temperačními médium. Výsledek této analýzy se sloužívají k vyhodnocení správnosti umístění vtokového ústí a odhalení možných komplikací, jako jsou nedotečení taveniny, místa pro odvzdušnění, místa studených spojů, tlak v dutině nebo správnost vtokového systému. V případě že materiál obsahuje plniva je součástí výsledků i předpokládána orientace vláken plniv. [30,31]

Dalším krokem je konstrukce a provedení simulace temperačního systému. Simulační softwary dokáží navrhnout temperačních kanálů s libovolným médiem, teploty, průtoky a dalšími parametrů. Výsledkem analýzy temperace je sledování jeho účinnosti. [30,31]

Posledním krokem v procesu analýzy je analýza smrštění a deformace výstřiku. Jelikož je smrštění a deformace výstřiku závislá na faktorech jako jsou konstrukce dílu, temperace formy, teplota a druh materiálu, a technologickými podmínkami vstřikování. [30,31]

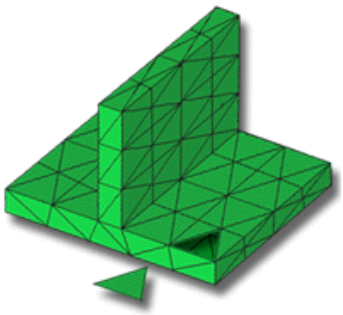
U simulačních softwarů se rozlišují 3 typy sítí Midplain, Dual domain a 3D. Síť Midplain je označována jako 2D síť. [32]

Midplain – Tento druh sítě znamená že síť je tvořena elementy ve středové rovině průřezu součásti. Tato síť je nejméně přesná a je využívána hlavně pro tenkostěnné výrobky, jež mají rovnoměrnou tloušťku stěny u vtokového a temperačního systému. [32]



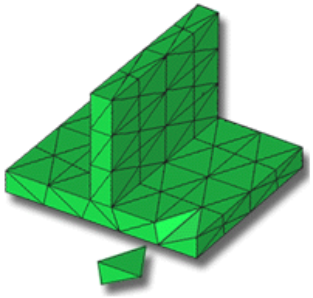
Obrázek 34 – Zobrazení sítě Midplain [32]

Dual Domain – je někdy označována, jako 2,5D síť. Síť je tvořena trojúhelníky, které tvoří jednorozměrný plochy, které reprezentují povrch součásti. Tloušťka dílu je reprezentována vzdáleností protilehlých stěn. Síť tedy připomíná duté těleso. Tento druh sítě se nejčastěji používá, jako kompromis mezi dobou výpočtu a přesností vypočítaných hodnot. [32]



Obrázek 35 – Zobrazení Dual Domain [32]

3D síť – je objemová síť, je tedy tvořená prostorovým prvkem terahedronem. Toto těleso je tvořeno čtyřmi trojúhelníkovými strany. Tato síť má vysokou přesnost, ale doba výpočtu je značně delší než u Dual Domain. Síť má největší využití u výrobku se silnými a stěnami. [32]



Obrázek 36 – Zobrazení 3D sítě [32]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zadanými cíli diplomové práce jsou:

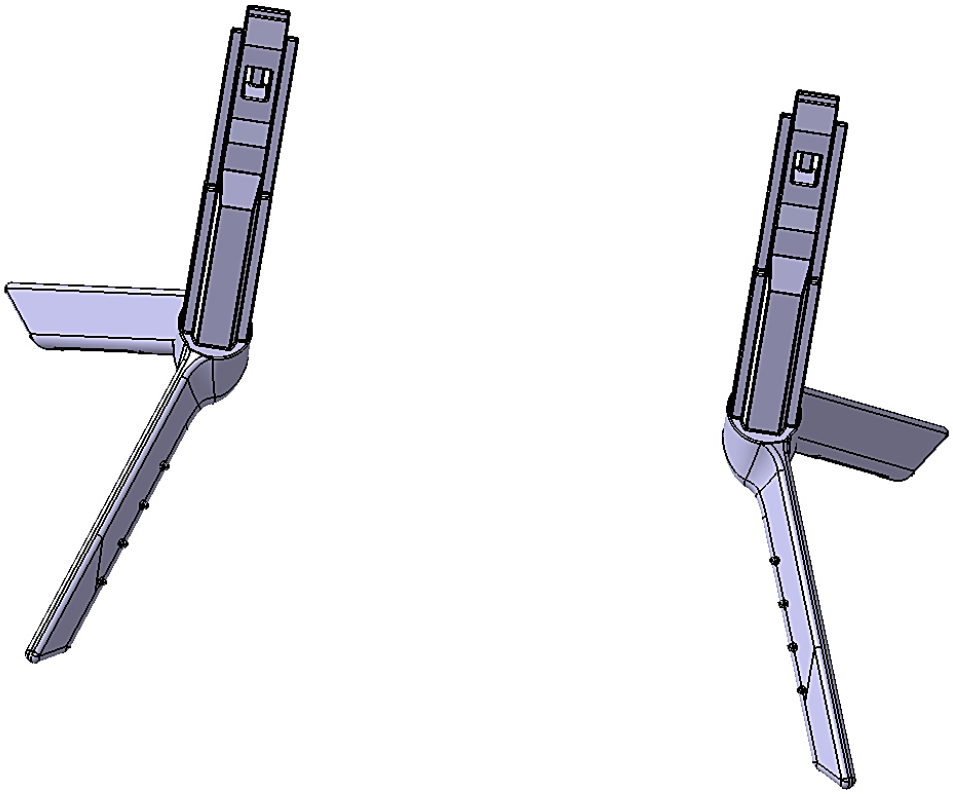
- vypracování literární studie na dané téma,
- provedení konstrukce zadaného technického dílu,
- navržení 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu daného dílu,
- nakreslení 2D výkresů sestavy a příslušných řezů,
- návrh ověřit pomocí analýz.

V první části diplomové práce je hlavním tématem teoretické popsání technologie vstřikování, polymerních materiálu, jež se při ní užívají. Také se zabývá obecným popisem vstřikovacího stroje a vstřikovací formy a popis jejich jednotlivých částí s jejich funkcemi. Na závěr teoretické části je popsána simulace procesu vstřikování.

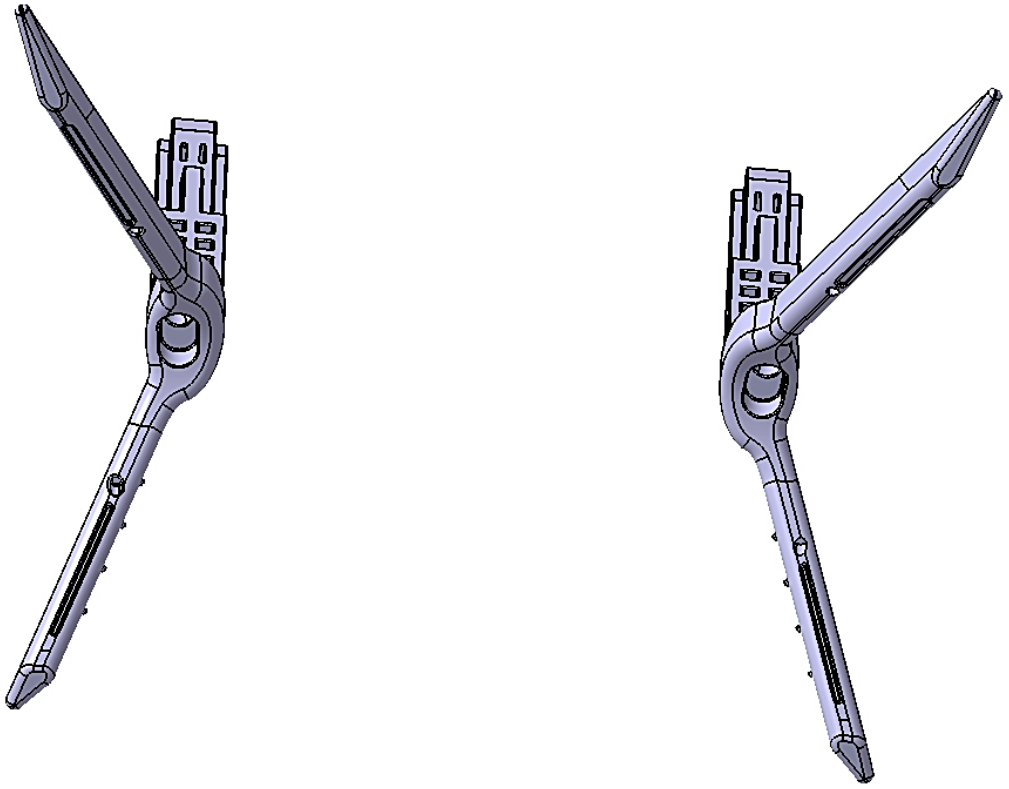
V praktické části je obsaženo vypracování na základě zadaných cílů práce. Prvním cílem bylo vytvoření 3D modelu dílu dle reálné předlohy. Tímto dílem jsou nožičky pro televizi. Následně je popsáno samotné konstrukční řešení vstřikovací formy. A závěrem praktické části bude provedení tokové analýzy a popis jejích výsledků. Pro vytvoření diplomové práce bylo užito programů CATIA V5R20, Autodesk Moldflow Synergy 2016 a online knihovny normálií firem HASCO a EWIKON.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

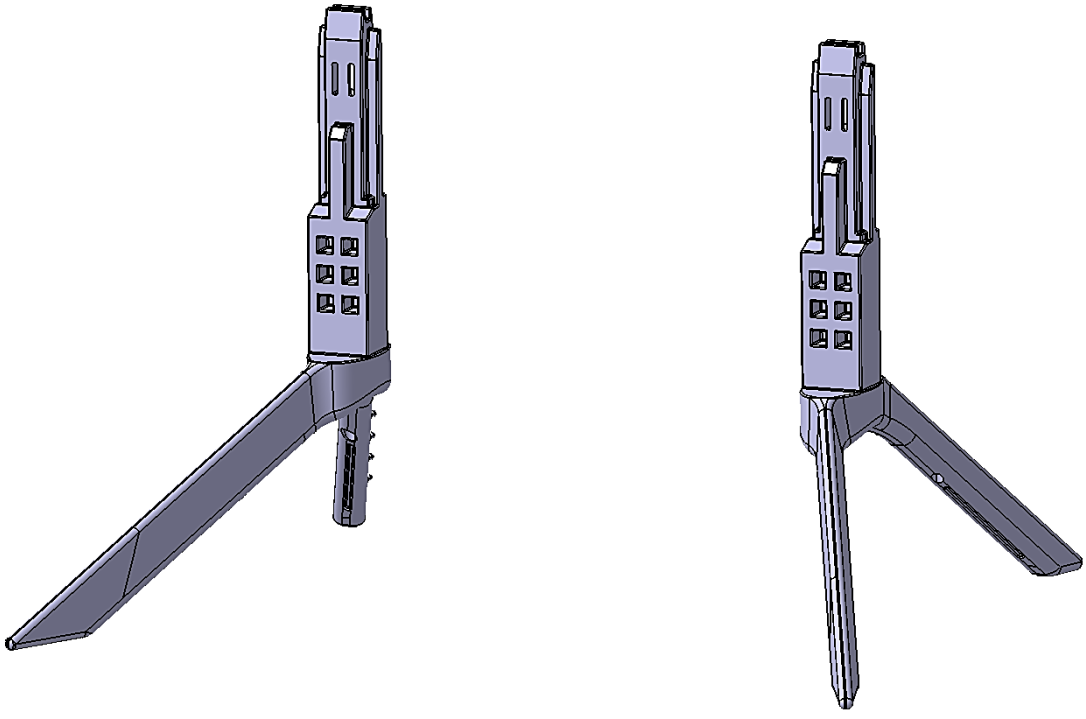
Jedná se o plastové nožičky, jež jsou určeny jako stojan televize. Rozměry dílu jsou 196 mm na výšku 250 mm na délku a na šířku 150 mm. Hmotnost dílu je 90 gramů.



Obrázek 37 – Model pro pravou a levou nožičku



Obrázek 38 – Model pro pravou a levou nožičku



Obrázek 39 – Model pro pravou a levou nožičku

7.1 Materiál výrobku

Jako materiál výrobku byl zvolen Polypropylen plnění z 40 % skelnými vlákny. Je dodáván firmou SABIC a jeho označení je PP Compound G3240A. Byl zvolen pro své mechanické vlastnosti, kdy bude muset nožička odolávat dlouhodobému zatížení. Smrštění materiálu je 0,3-0,5 %, což je zohledněno ve zvětšení dutiny formy. [33,35,36]

Tabulka 2 – Základní vlastnosti materiálu

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Hustota	1220	kg/m³
Teplota formy	20-60	°C
Teplota taveniny	200-260	°C
Vyhazovací teplota	113	°C
Index taku taveniny	11	g/10 min

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Samotný vstřikovací stroj byl vybrán na základě technických parametrů vstřikovací formy. Za vhodný vstřikovací stroj byl zvolen stroj HT Model 500 1920 HiPr od výrobce DEMAG Plastic Group. V tabulce 2 jsou uvedené parametry, podle kterých byl stroj zvolen.

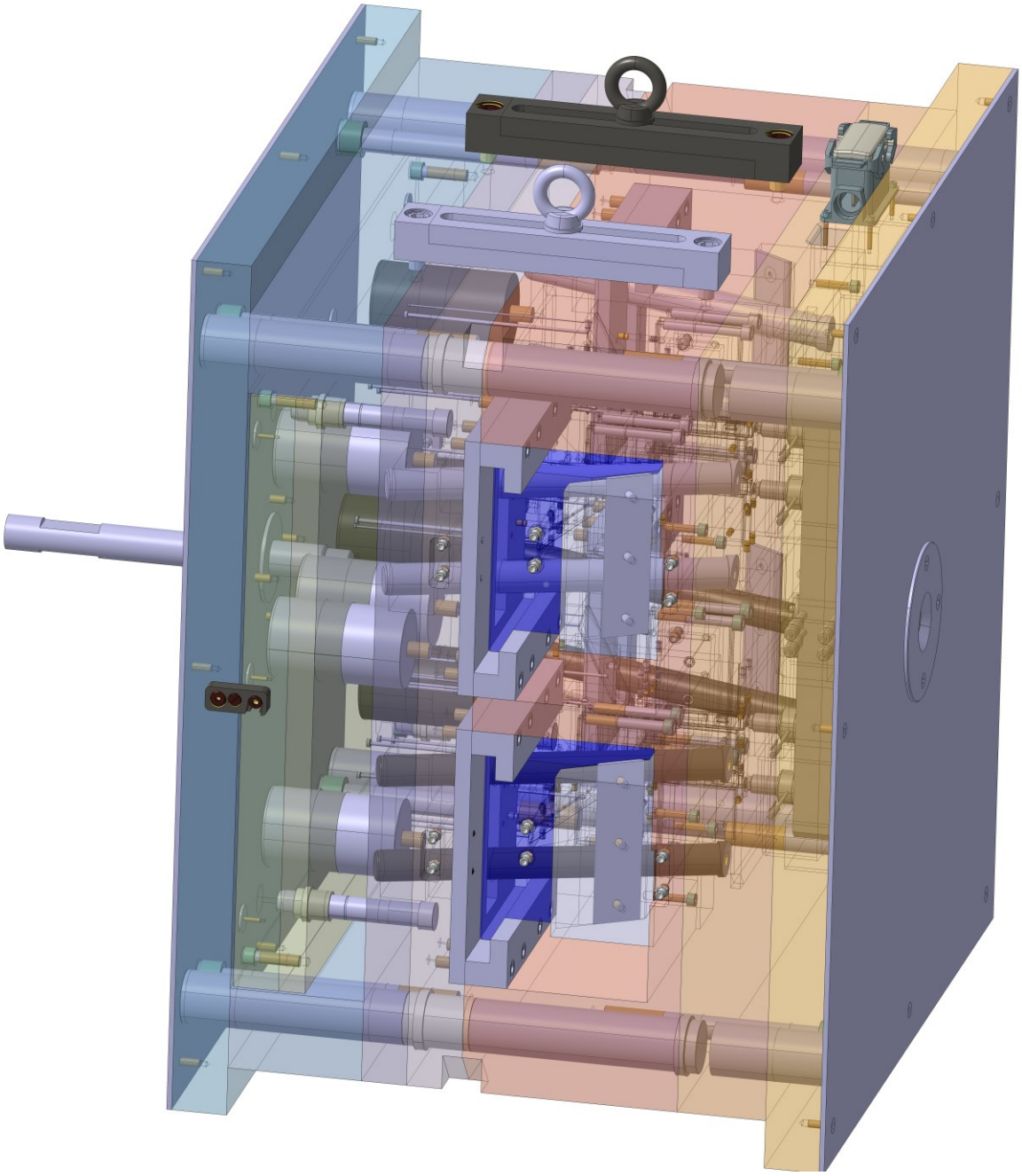
Tabulka 3 – Parametry volby stroje

Parametry	Parametry formy	Parametry stroje
Rozměry upínacích desek	796x896 mm	826x826 mm
Výška formy	670 mm	814 mm
Středící kroužek	160 cm	160 cm
Vstřikovací tlak	287,4 bar	2151 bar
Uzavírací síla	28,32 t	454 t
Objem vstřikované dávky	340 cm^3	840 cm^3

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Základním pravidlem pro konstrukci samotné formy je dosažení co nejjednoduššího provedení samotné formy za zachování požadované přesnosti a vzhledových vlastnostech výrobku. Pro usnadnění konstrukce formy byl využit program CATIA V5R20 a jeho modul Mold Tooling Design. Do kterého byly následně vkládány normalizované díly od firem HASCO a EWIKON. Díky užití těchto normalizovaných dílů nejenže se urychlí konstrukce ale i samotná výroba formy je rychlejší a levnější.

Jako normalizovaná forma byla využita forma s označením Mba5 od firmy HASCO. Forma má rozměry 796x896x670 mm. Forma je rozdělaná na tři hlavní části. První část je pravá strana formy, jež je nepohyblivá a zde je místo příjezdu vstřikovací jednotky a v programu CATIA je označována, jako injection side. Jako další část je levé strana, kdy tato strana se pohybuje spolu při uzavírání a otevírání formy. V programu CATIA je označována jako ejection side. Třetí část je vyhazovací systém, který má za úkol vyhodit výrobek z dutiny formy a je označována, jako ejector system.



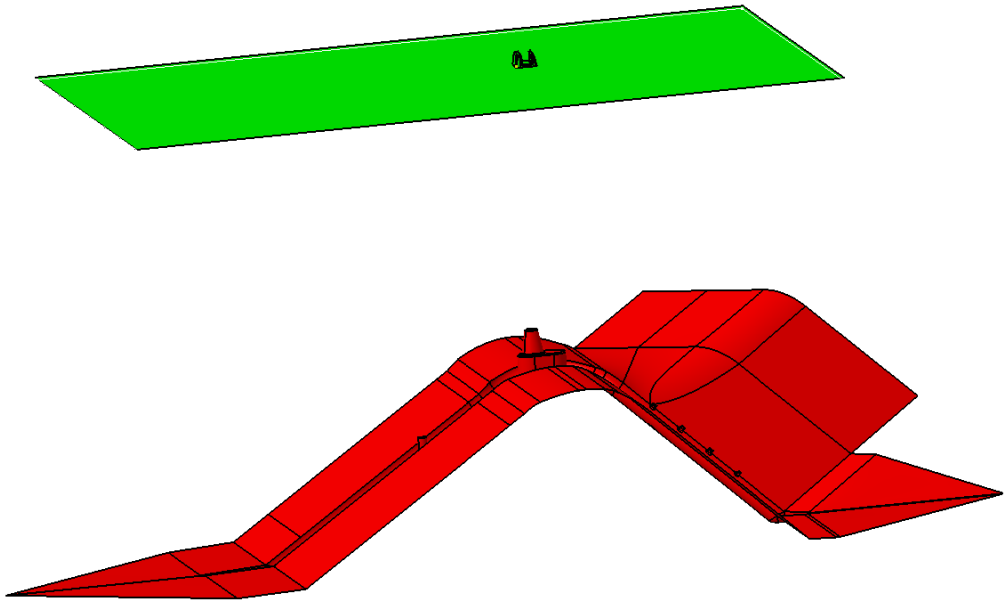
Obrázek 40 - 3D model vstřikovací formy

9.1 Násobnost formy

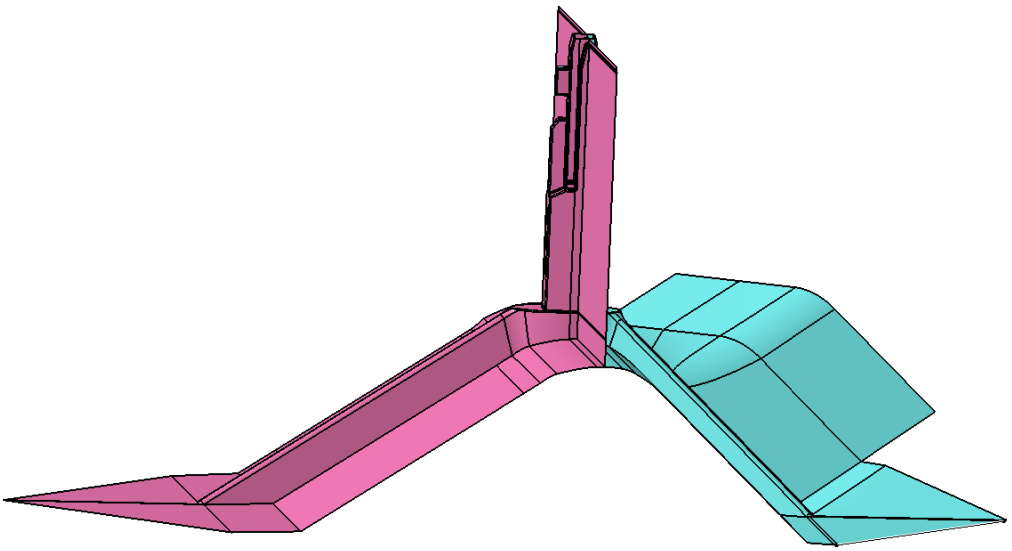
Po konzultaci s vedoucím a uvážením všech činitelů byla zvolena čtyřnásobná vstřikovací forma, což znamená že na jeden vstřikovací cyklus jsou vyrobeny čtyři výrobky.

9.2 Zaformování výstřiku a volba dělících rovin

Velmi důležitou částí návrhu vstřikovací formy je správná volba umístění hlavní a vedlejší roviny a množství vedlejších rovin s ohledem na správnost odformování výrobku z dutiny formy.



Obrázek 41 – Plochy hlavních dělící rovin

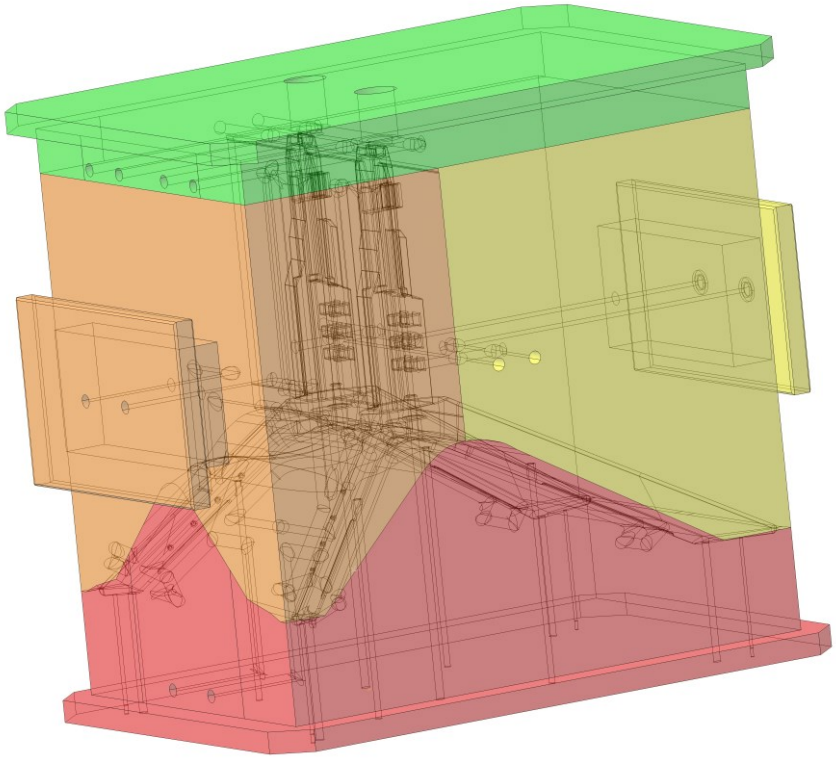


Obrázek 42 – Plochy vedlejších dělících rovin

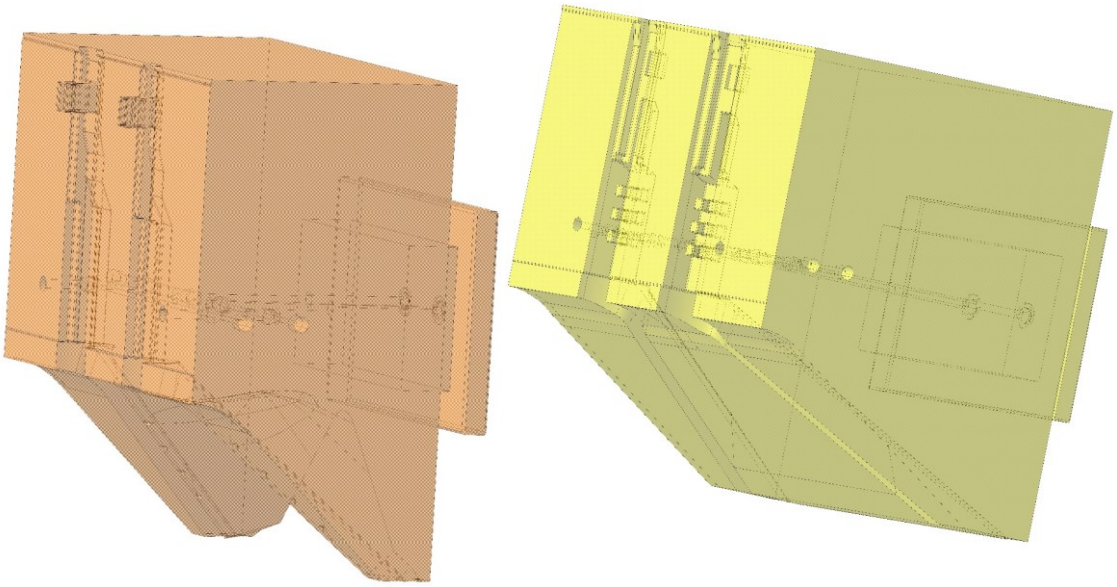
9.3 Tvarové části formy

Výrobek přebírá tvar z tvarové dutiny formy, ta je v tomto případě tvořena tvárnicí (pravá strana formy, nepohyblivá strana), tvárníkem (levá strana formy, pohyblivá strana) a dvěma posuvnými čelistmi.

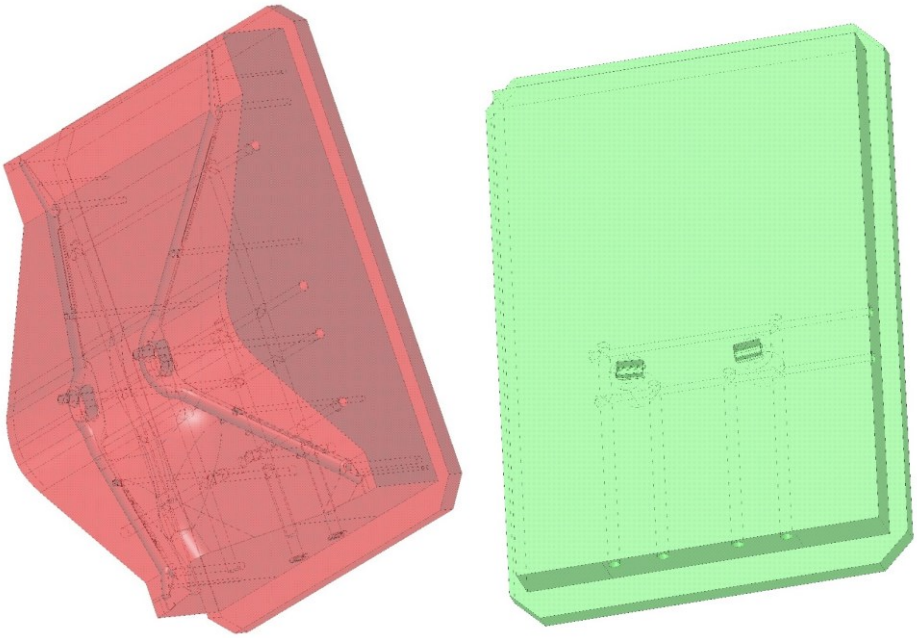
Tvárník a tvárnice jsou konstruovány, jako vložky. Toto řešení bylo zvoleno z výhodnosti pro usnadnění oprav, a to z toho důvodu, že není nutné vyrábět celou kotevní desku z nástrojové oceli, ale je dostačující konstrukční ocel. Tvárník a tvárnice jsou ukotveny osazením a jsou provrtány temperačními kanály.



Obrázek 43 – Součásti tvořící tvarovou dutinu



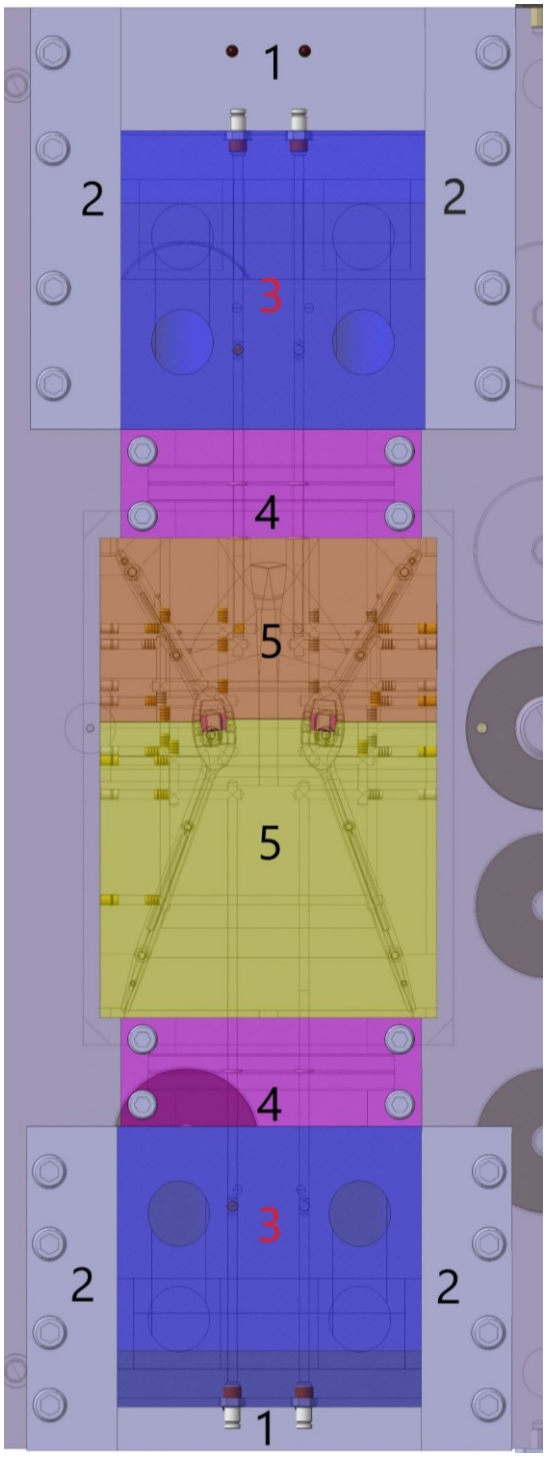
Obrázek 44 – Tvarové čelisti



Obrázek 45 – Tvárnice a tvárník

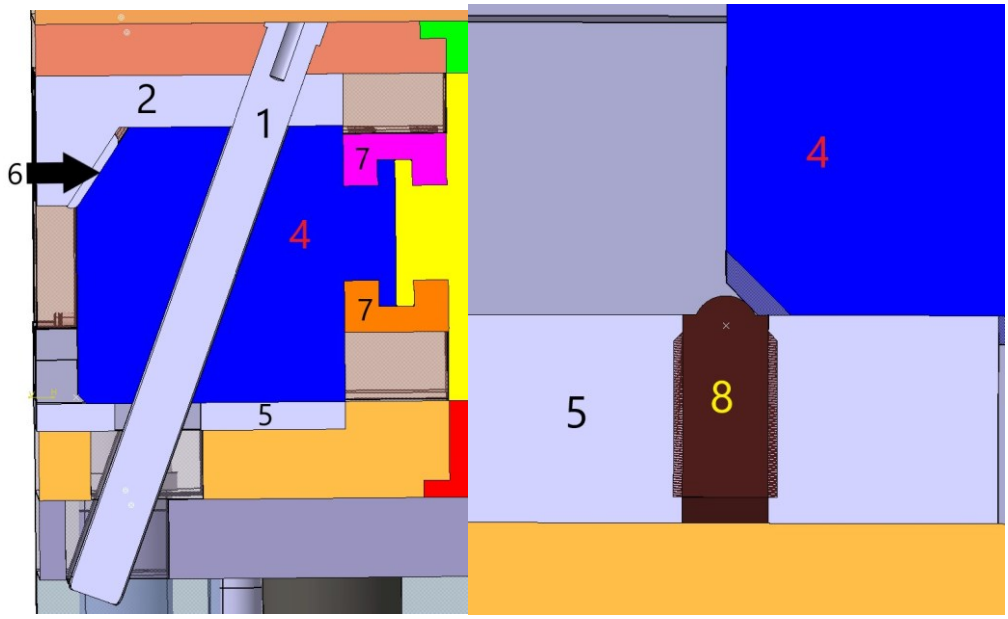
9.4 Posuvné tvarové čelisti

Úkolem posuvných čelistí je odformování děr, které jsou kolmé na směr otevírání formy. Čelisti jsou umístěny na levé straně formy. Tvarová část čelisti je vyměnitelná a k tělu je přidělána pomocí spojovacích částí. Ovládání posuvných čelistí je zajištěno pomocí šikmých válcových kolíků, jež jsou umístěny pod úhlem 20 °. Když dochází k otevírání formy jsou tvarové čelisti nuceny k posuvnému pohybu šikmou válcovou plochou. Pohyb je zajišťován pomocí vodících lišt a kluzných desek. Otevřenou polohu zajišťuje zámek.



Obrázek 46 - Tvarové čelisti

1 – kluzná deska, 2 – vodící lišty, 3 – tělo tvarové čelisti, 4 – spojovací součást, 5 – tvarová vložka



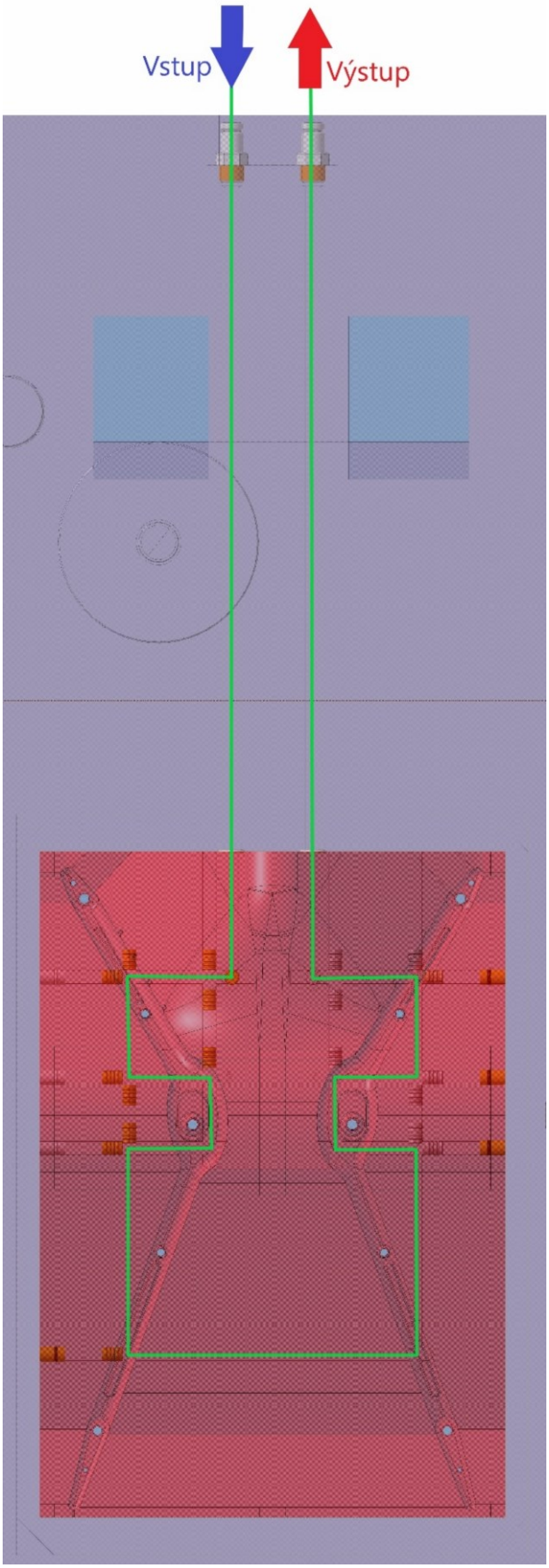
Obrázek 47 – Popis tvarové čelisti

1 – vodící čep, 2 – dosedací kostka, 3 – vyměnitelná tvarová část, 4 – tělo, 5 – kluzná deska, 6 – kluzná vložka, 7 – Spojovací součásti, 8 – zámek

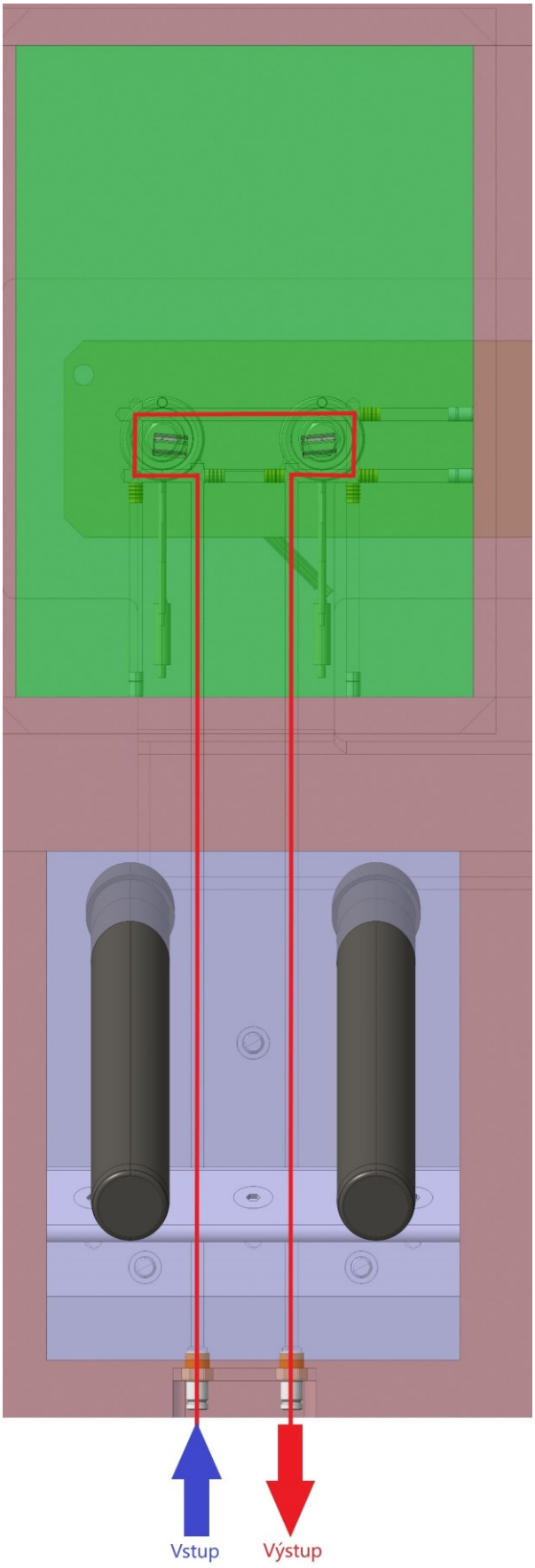
9.5 Temperační systém

Hlavním úkolem temperačního systému je odvod tepla dodaného taveninou a díky tomu udržení konstantního teplotního pole vstřikovací formy. Ovlivňuje i samotné plnění formy a chladnutí vstřikovaného materiálu. Pro odběr tepla z formy jsou vrtány temperační kanálky o průměru šest milimetrů, kterými bude proudit temperační médium.

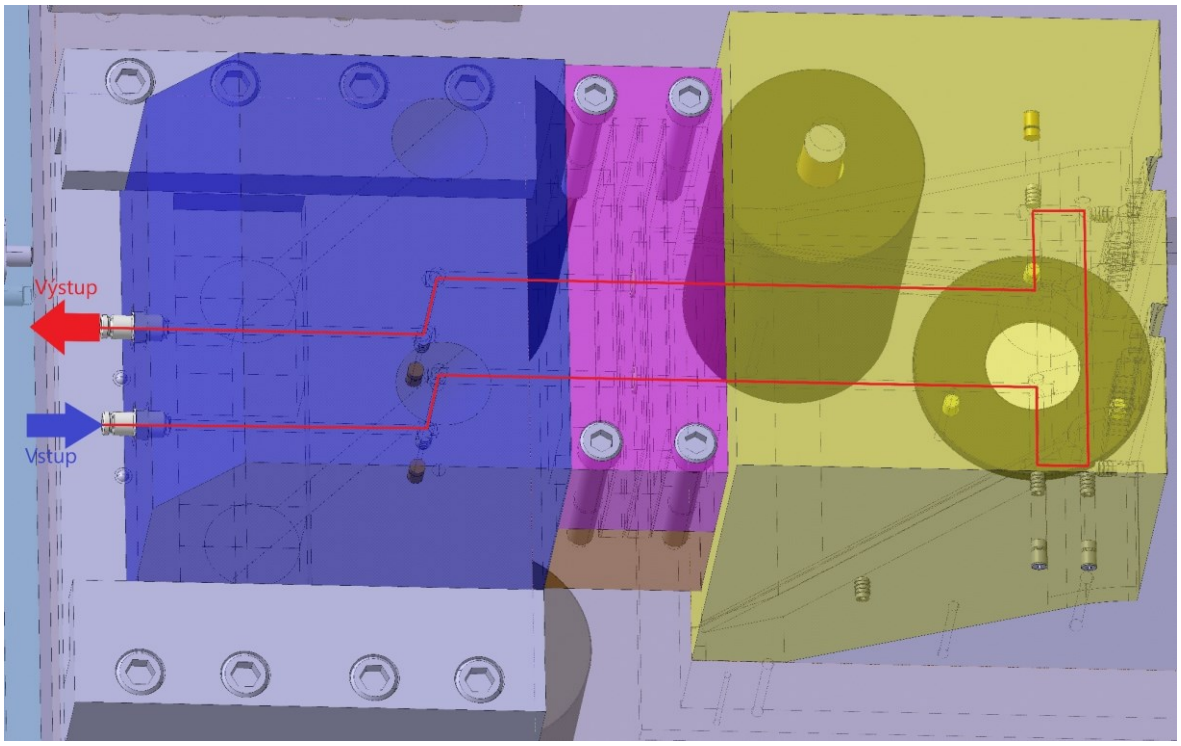
Ty se nacházejí na pravé i levé straně formy, a i v samotných čelistech. A jsou samostatné pro každou část, což znamená že forma má dvanáct temperačních okruhů. Okruhy jsou uzavřeny ucpávkami a pro dobré utěsnění jsou na přechodech součástí těsnící o-kroužky. Okruhy jsou uzavřeny za pomocí vnitřních a vnějších ucpávek. A připojení hadic je zajištěno pomocí nátrubky Z81/9/10x1.



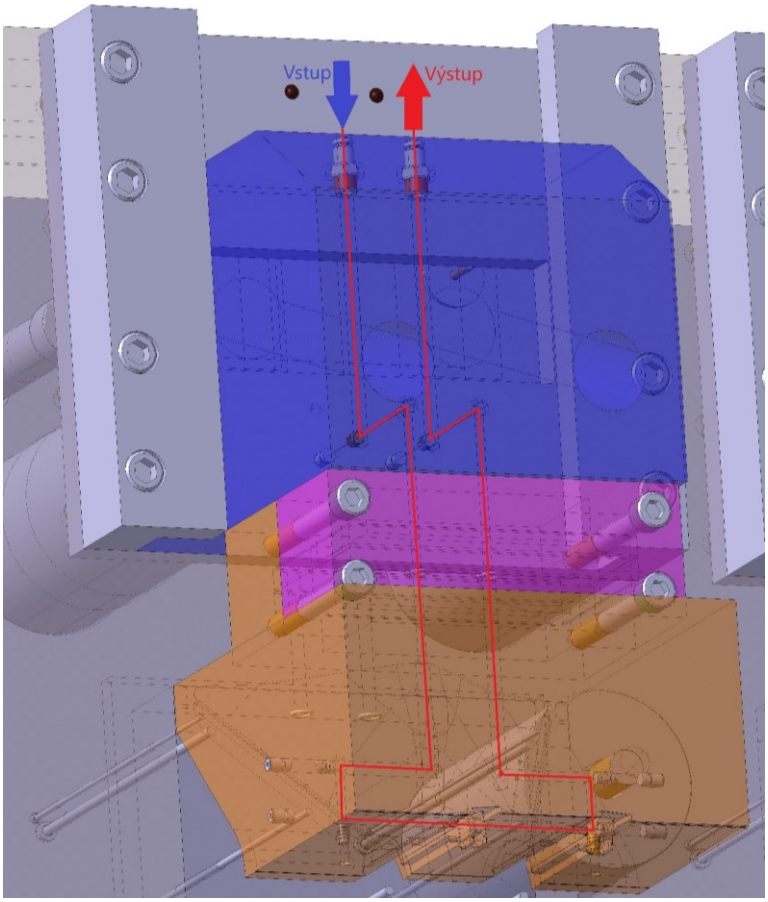
Obrázek 48 – Temperace na levé straně vstřikovací formy



Obrázek 49 – Temperace pravé strany vstřikovací formy



Obrázek 50 – Temperace tvarových čelistí

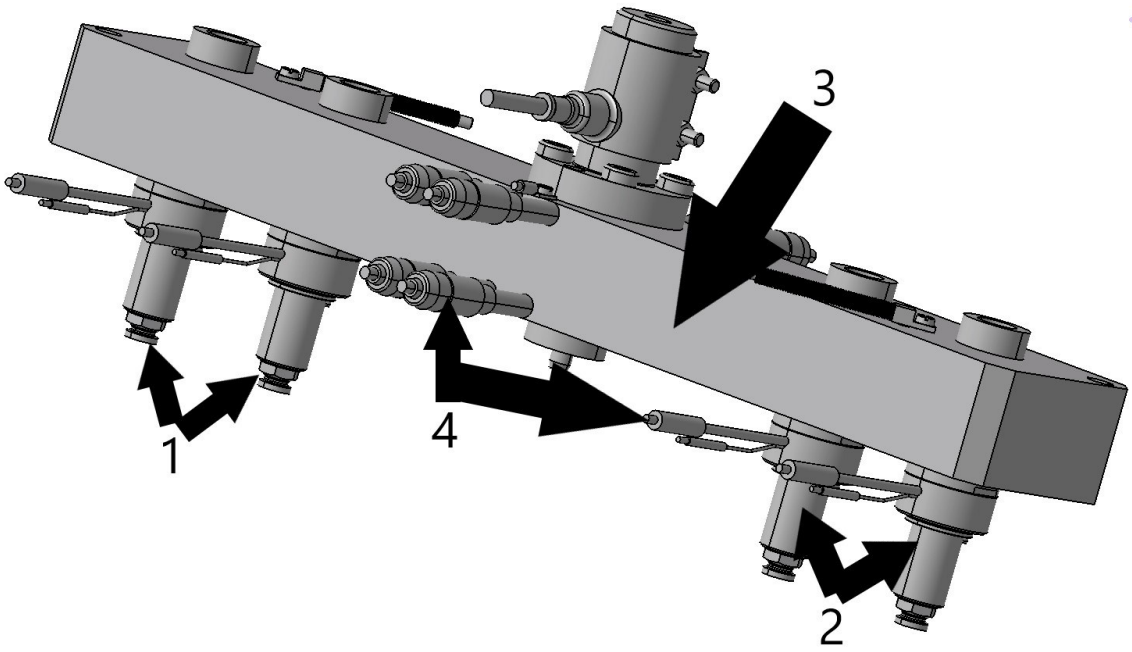


Obrázek 51 – Temperace tvarových čelistí

9.6 Vtoková soustava

Úkolem vtokové soustavy je doprava taveniny z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny vstřikovací formy. Jako první podmínka výběru vtokového systému je úvaha, zda použít vyhřívaný či studený vtokový systém. Pro tuto konkrétní formu byl zadán vyhřívaný vtokový systém.

Vtokový systém byl zvolen od firmy EWIKON a to rozvodný blok s označením 73461-04-V001 a užité trysky jsou typu B2-19076-W4. Samotný vtok je složen z vtokového rozvodného bloku, jež má za úlohu rozvést taveninu do trysek. Následně tavenina jde z trysky do ústí toku a pokračuje do tvarové dutiny formy. Blok je opatřen taky konektory pro zapojení do zásuvky.



Obrázek 52 – Vyhřívaný vtokový systém
1 – vtokové ústí, 2 – tryska, 3 – rozvodný blok, 4 – konektory

9.7 Odvzdušnění formy

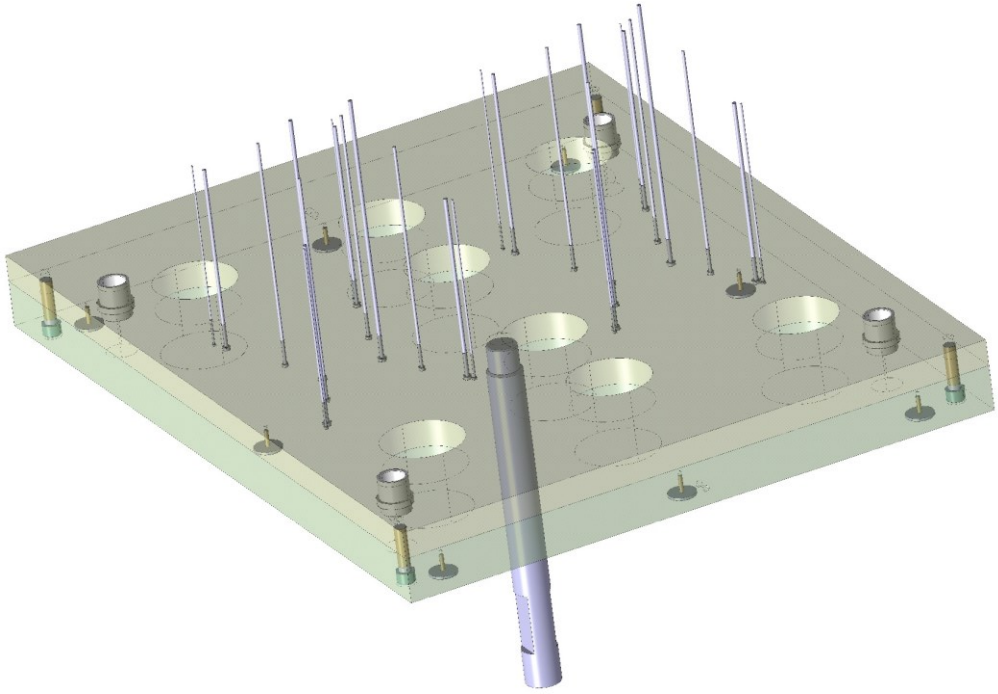
Při plnění tvarové dutiny formy dochází ke stlačení vzduchu čelem taveniny. Vzduch se díky stlačení zahřívá na vysokou teplotu, což může způsobit degradaci vstřikovaného polymeru. Takto způsobená degradace má za následek nejen vzhledové vady ale i poškození samotné funkčnosti výrobku. Pro tento případ se předpokládá, že stlačovaný vzduch stačí unikat přes vůle dělících rovin a okolo vyhazovačů.

9.8 Vyhazovací systém

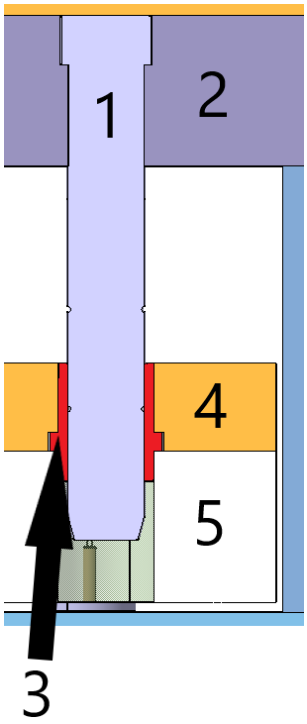
Vyhazovací systém má za úkol vyhození hotového výrobku z tvarové dutiny formy. Vyhození jedné dvojice výrobků zajišťují válcové vyhazovače, a to dva vyhazovače Z40/4x315, čtyři vyhazovače Z40/3x250, dva vyhazovače Z40/3,5x200, dva vyhazovače Z40/4x200, dva vyhazovače Z40/2x200 a dva vyhazovače Z40/1,5x200. Pro ukotvení vyhazovačů slouží opěrná a kotevní deska. Stopy po vyhazovačích vznikají na nepohledové straně výrobku.

Pro správné vedení vyhazovacích desek jsou určeny čtyři vodící čepy, jež jsou ukotveny v levé opěrné desce. Ty zasahují ve vyhazovacích deskách do vodících pouzder. Ze spodní strany opěrné desky jsou umístěny dorazové podložky, které zabraňují úplnému dosednutí opěrné desky a upínací desky. Pohyb vyhazovacího systému je zajištěn hydraulický systém vstřikovacího stroje za pomocí táhla.

V deskách vyhazovacího systému jsou umístěny otvory pro podpěrné válce, jež zvyšují tuhost opěrné desky a zároveň tyto otvory odlehčují vyhazovací desky.



Obrázek 53 – Vyhazovací systém vstřikovací formy

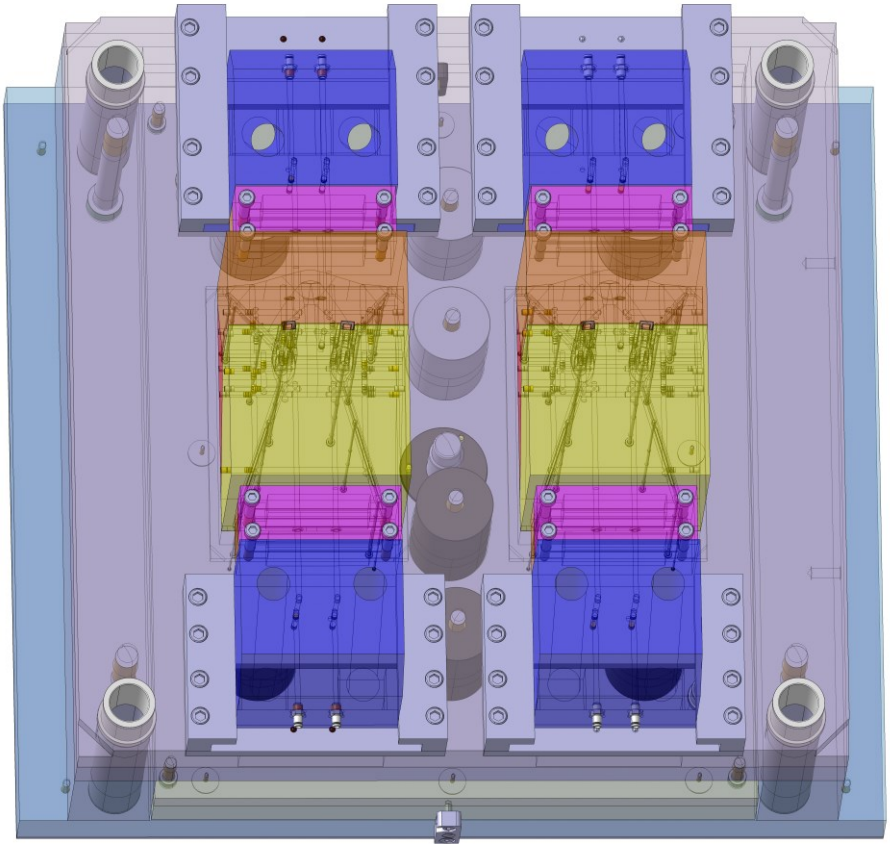


Obrázek 54 – Uložení vodících čepů vyhazovacího systému

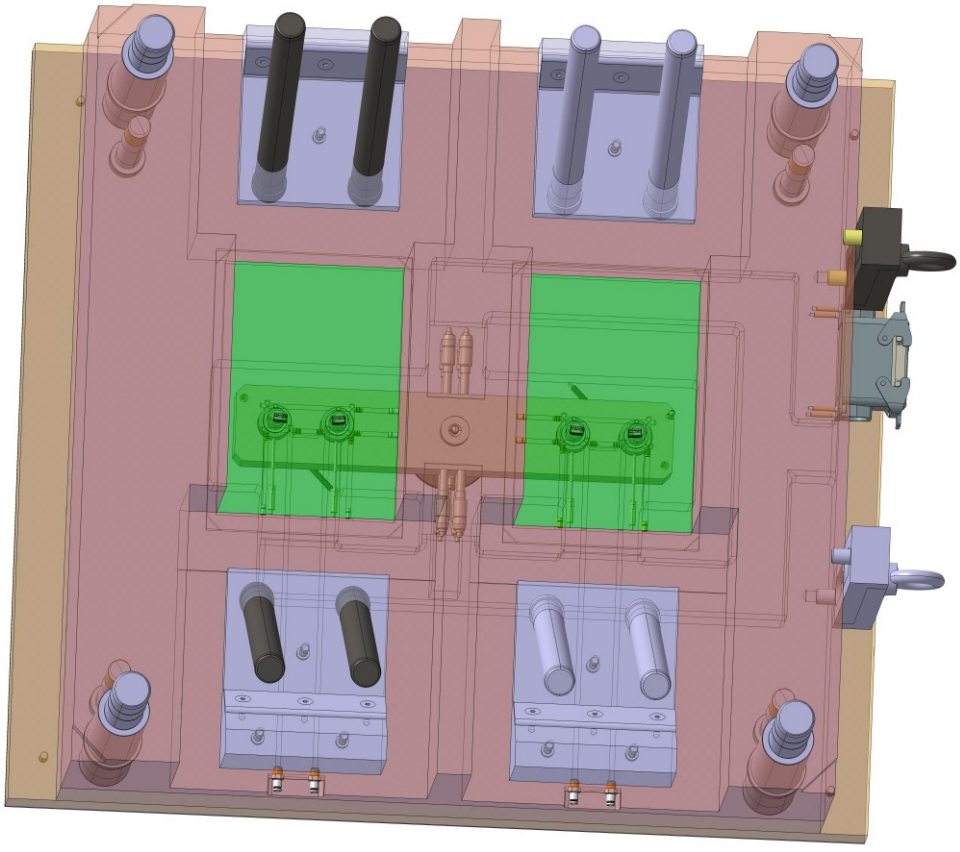
1 – vodící čep, 2 – opěrná deska, 3 – vodící pouzdro, 4 – kotevní deska, 5 – opěrná deska

9.9 Vodící a upínací prvky

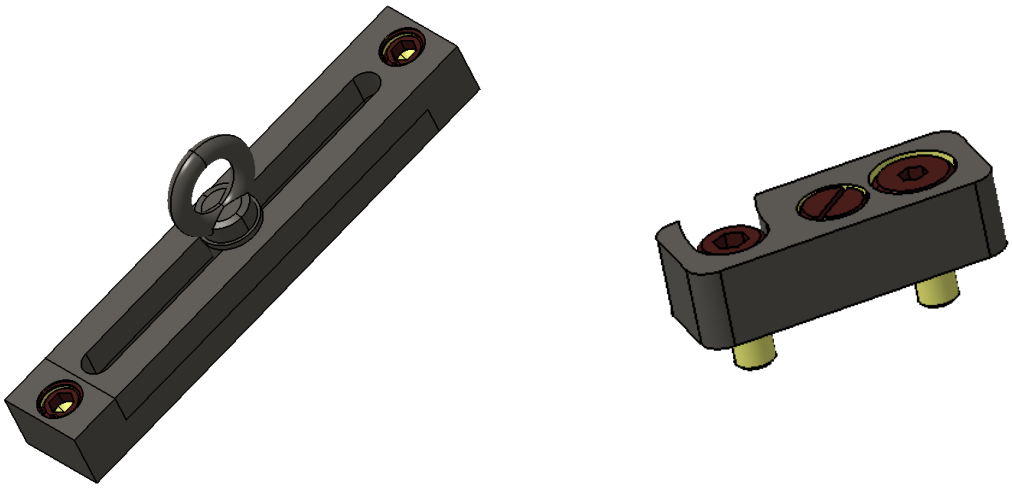
Rozměry a konstrukční provedení jednotlivých vodících prvků se odvíjí od normálií firmy HASCO. Vedení pravé a levé strany formy je zajištěno vodícími čepy Z00/196/40x155 a vodící pouzdra Z10/56/40. Pro vystředí desek slouží středící trubky pro pravou stranu je Z20/54x200 a pro levou stranu Z20/54x120. Desky jsou spojeny za pomocí šroubů. Upínací desky jsou opatřeny přesahy pro umístění upínacích prvků. Upínacími součástmi mohou být například šrouby, jež se zašroubují do závitů na upínací desce vstřikovacího stroje. K vystředění formy slouží středící kroužky od firmy HASCO typu Z7540/4x17. Pro snadnější manipulaci a uzamčení dělící roviny při použití jeřábu je forma vybavena dvěma nosiči Z703 a uzamčení vyhazovacího systému je zajištěno transportní pojistkou Z73/16x25x63.



Obrázek 55 – Levá strana vstřikovací formy



Obrázek 56 – Pravá strana vstřikovací formy



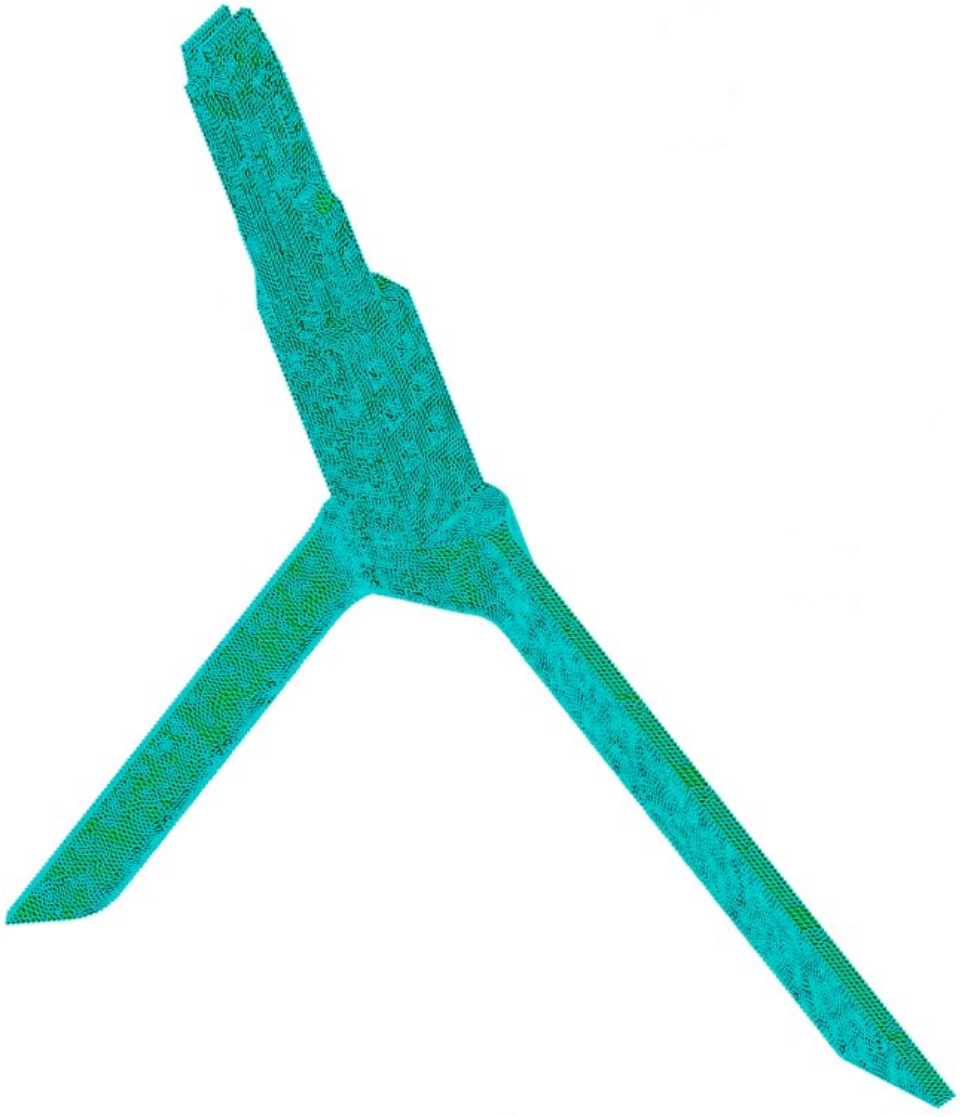
Obrázek 57 – Nosič formy Z70/3 vpravo, transportní pojistka Z73/16x25x63 vlevo

10 TOKOVÁ ANALÝZA

V zadání diplomové práce je jedním z úkolů provedení ověření vstřikovací formy pomocí analýzy průběhu vstřikování. Pro analýzu byl využit program Autodesk Moldflow Synergy 2016. Výsledkem analýzy byly získány hodnoty pro vhodné umístění vtokového ústí, pro proces plnění, dotlaku a deformaci výrobku. Před samotnou analýzou, byl model zbaven všech rádiusů, jež jsou menší než 2 mm.

10.1 Vytvoření a parametry sítě

Model výrobku byl vysíťován 2,5D sítí (Dual Domain Mesh). Samotná síť se skládá z velkého počtu trojúhelníkových elementů. Délka strany trojúhelníku je 1,15 mm.



Obrázek 58 – Pokrytí modelu sítí

Pro kontrolu vytvořené sítě byly v programu Moldflow zjištěny vlastnosti a kvalita vytvořené sítě. K zobrazení těchto parametrů slouží nástroj „Mesh statistic“, který zobrazí statistiku trojúhelníkových elementů sítě.

```
Entity counts:
    Triangles             111064
    Connected nodes       55528
    Connectivity regions 2

    Invisible triangles             55532

Area:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
    Surface Area:        541.834 cm^2

Volume by element types:
    Triangle:   156.51 cm^3

Aspect Ratio:
    Maximum    Average    Minimum
       9.55       1.50       1.16

Edge details:
    Free edges                    0
    Manifold edges                166596
    Non-manifold edges            0

Orientation details:
    Elements not oriented         0

Intersection details:
    Element intersections         0
    Fully overlapping elements    0

Match percentage:
    Match percentage              75.5%
    Reciprocal percentage         73.2%
```

Obrázek 59 – Statistika vytvořené sítě

Důležité parametry a jejich nutné hodnoty:

• Triangles – počet trojúhelníkových elementů sítě

• Connected nodes – počet uzlů sítě

• Connectivity regions – počet vysíťovaných objektů

• Surface area – plocha objektů

• Volume – objem objektů

• Aspect ratio – hodnotí rovnostrannost trojúhelníků maximální hodnota má být do 15

• Free edges – volné hrany – hodnota musí být 0

• Manifold edges – počet spojených hran

• Non-manifold edges – počet nepropojených hran – hodnota musí být 0

• Elements not oriented – počet neorientovaných elementů – hodnota musí být 0

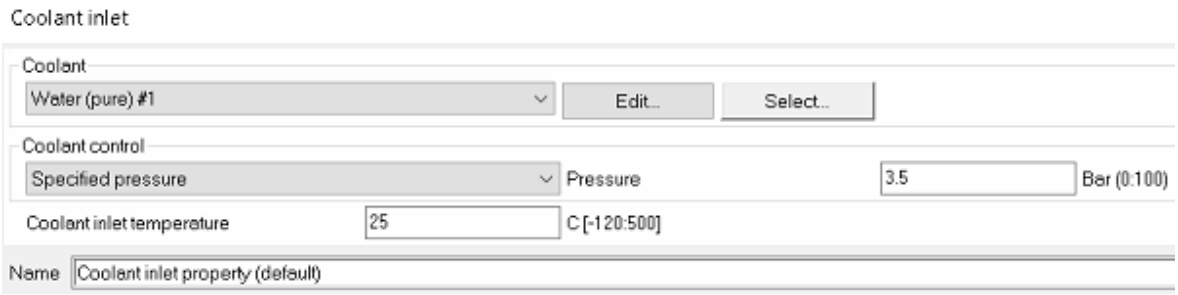
• Element intersections – počet protínajících se elementů – hodnota musí být 0

• Fully overlapping elements – počet překrývajících se elementů – hodnota musí být 0

• Match and Reciprocal percentage – hodnotí kvalitu sítě

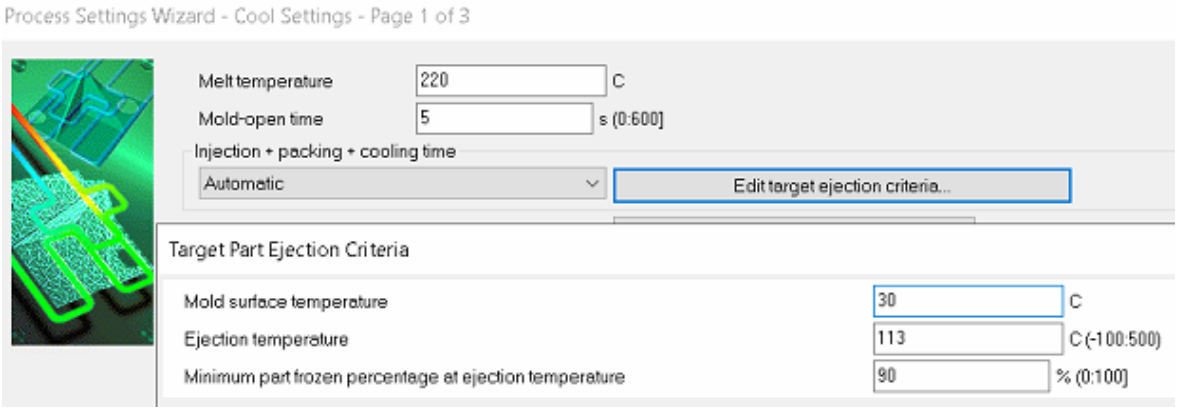
10.2 Nastavení

Po vytvoření sítě výrobku dojde k přiřazení vstřikovaného materiálu, jímž je SABIC PP Compound G3240A. Následně dojde k nastavení temperačního média, kterým je voda s teplotou 25 °C, a tlak temperačního media je 3,5 bar.



Obrázek 60 – Parametry pro temperační medium vstřikovací formy

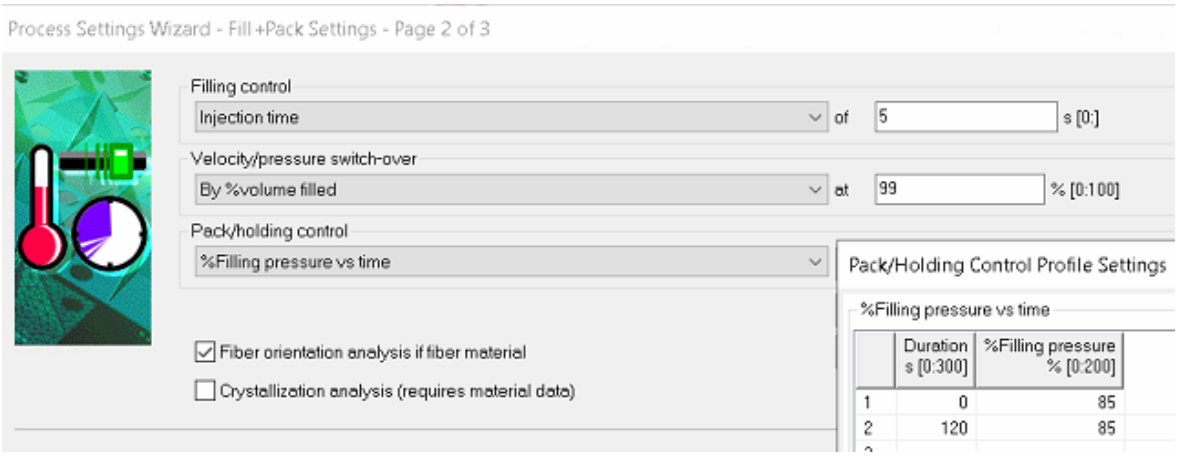
Následně dojde k nastavení procesních parametrů vstřikovacího procesu. Tyto hodnoty jsou navrženy dle doporučených hodnot, od výrobce vstřikovaného materiálu a výrobce vstřikovacího stroje. V první části nastavení dojde k nastavení teploty taveniny, jež je 220 °C, čas otevření formy 5 s. V dalším podmenu lze nastavit teplotu formy na 30 °C, vyhazovací teplotu na 113 °C a minimální procento zatuhlé taveniny před vyhozením výrobku na 90 %.



Obrázek 61 – Procesní parametry taveniny a formy

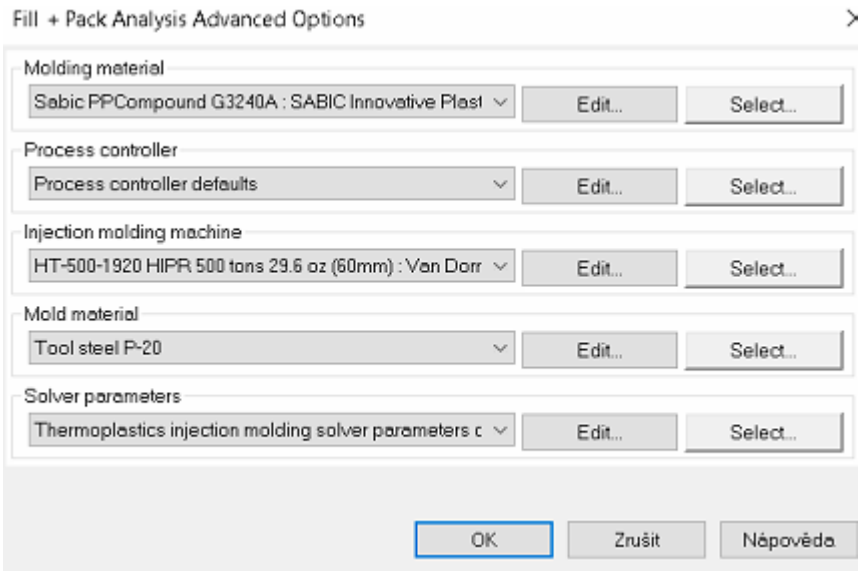
Dalším nastavením procesu vstřikování je nastavení parametrů pro kontrolu plnění, přepnutí na fázi dotlaku, velikost dotlaku a orientaci vláken vstřikovaného dílu.

Kontrola plnění je řízena dle vstřikovacího času, jež je 5 s. Přepnutí na dotlak je řízeno procentuálním zaplněním dutiny formy, jež je 99 %. Dotlak je nastaven na 85 % vstřikovacího tlaku.

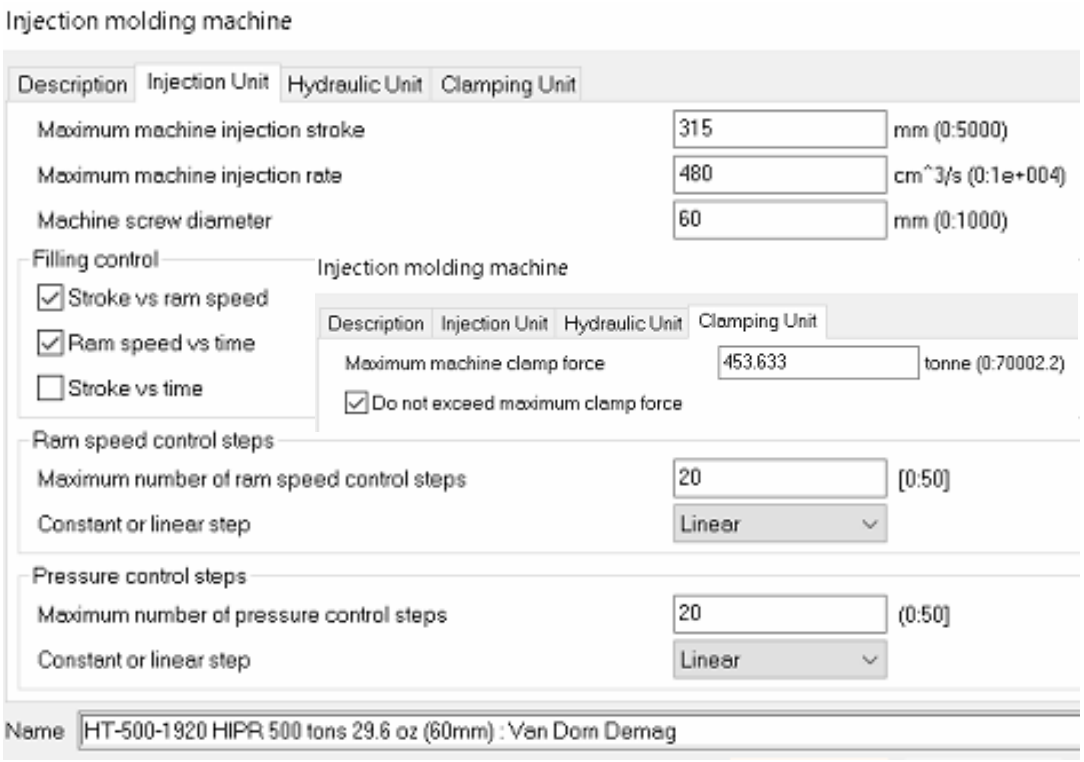


Obrázek 62 – Parametry kontroly plnění a dotlaku

V dalším kroku je vybrán vstřikovací stroj, kterým je HT Model 500 1920 HIPR a parametry jeho kontroly a samotný materiál formy.

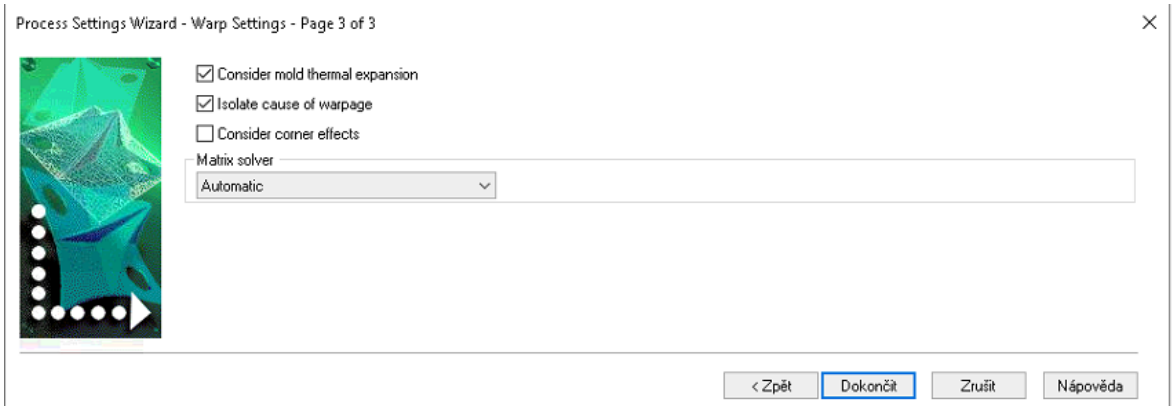


Obrázek 63 – Nastavení vstřikovacího stroje a výběru materiálu formy



Obrázek 64 – Nastavení kontroly vstřikovacího stroje

Poslední fází nastavení výpočtu analýzy je zvolení parametrů, jako jsou zahrnutí teplotní roztažnost formy, rozdělení vlivů deformace a rohové efekty.



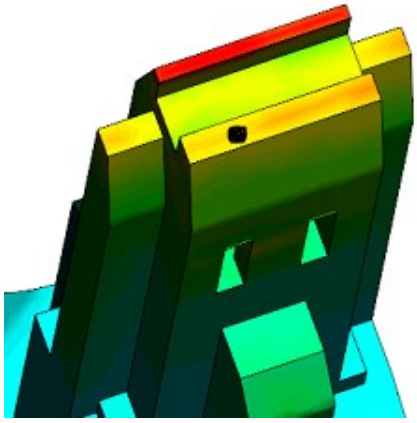
Obrázek 65 – Nastavení parametrů výpočtů

10.3 Analýza umístění vtokového ústí (Gates location – Gating suitability)

Výsledkem této analýzy je grafické vyjádření místa, které se jeví jako nejvhodnější pro umístění vtokového ústí. Nejvhodnější místa pro zvolení vtoku jsou vyjádřena sytě modrou barvou, naproti tomu místa, která jsou k umístění vtoku vhodná nejméně, jsou vyjádřena sytě červenou barvou. Z výsledků této analýzy je pak možné odvodit, jakým

způsobem bude voleno místo vtoku, tvar vtoku a s tím související dělící rovinu. Je však nutné zvážit odformování výrobku, vznik studených spojů a nutnost rozlišit pohledové a nepohledové plochy. V tomto případě je umístěno vtokové ústí to místa s vhodnosti okolo 20 %, toto místo bylo zvoleno z důvodu odformování výrobku.

Obrázek 66 – Vhodnost umístění vtokového ústí



Obrázek 67 – Umístění vtoku označené černou tečkou

11 VÝSLEDKY ANALÝZY MOLD FLOW

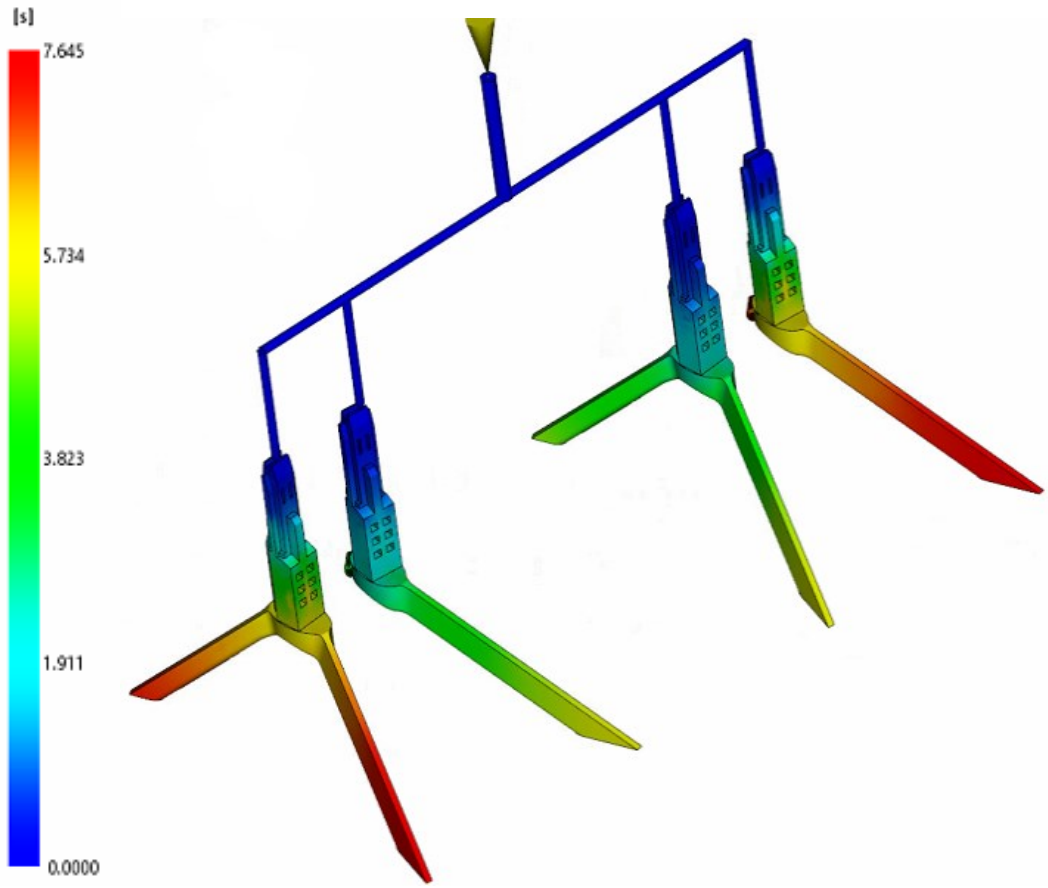
V následujících podkapitolách diplomové práce budou rozebírány výsledky analýzy procesu vstřikování, jež byla provedena v programu Autodesk Moldflow Synegry 2016. Výsledky se zabývají chlazením a tokovým chováním při procesu vstřikování.

11.1 Analýza plnění

Obsahem podkapitoly je rozbor vybraných výsledků z oblasti plnění a dotlaku. Tyto oblasti jsou čas plnění, rychlost smykové deformace, vstřikovací tlak v místě vtokového ústí, uzavírací síly, vzduchové kapsy, studené spoje a propadliny.

11.1.1 Čas plnění (Fill time)

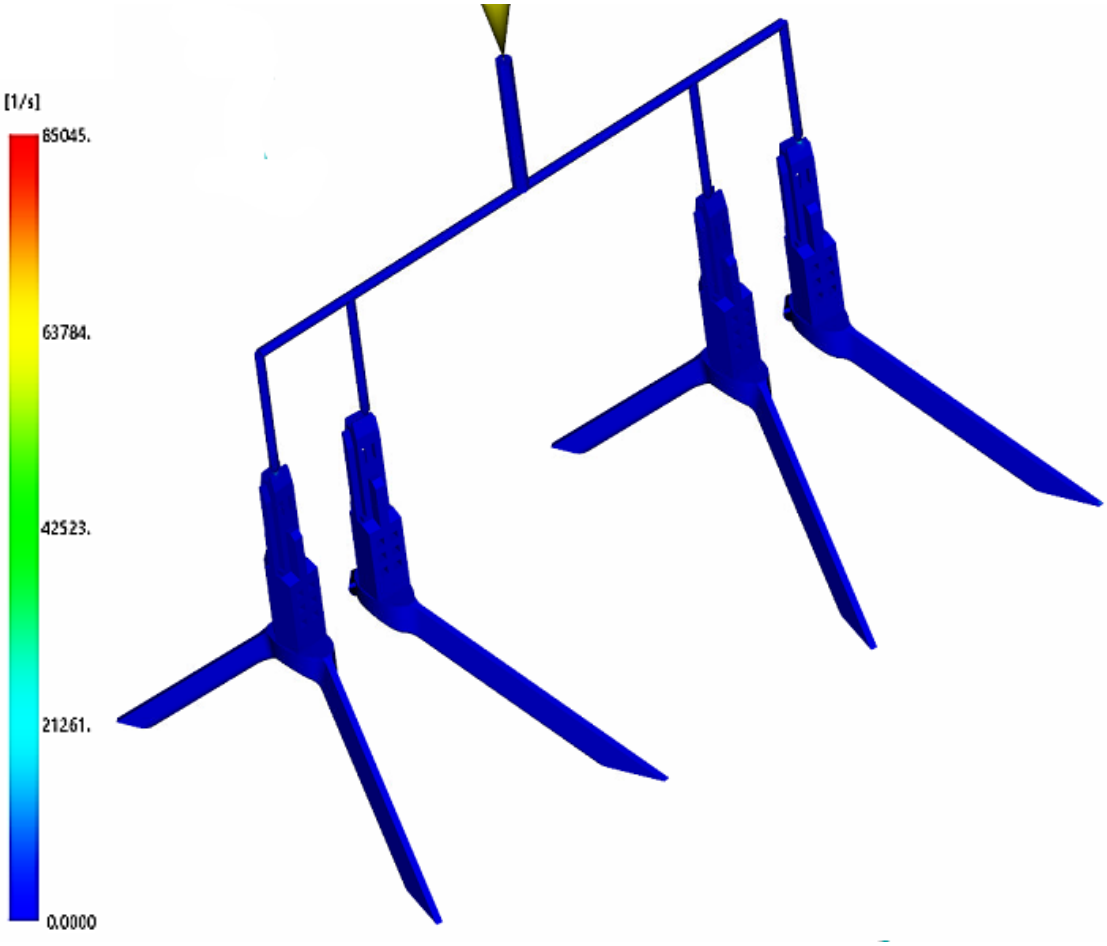
Výsledek analýzy času plnění vyjadřuje časový průběh zaplnění tvarové dutiny formy taveninou. Doba potřebná pro zaplnění dutiny je 7,645 s. Červená místa označují oblasti, které jsou při vstřikování zaplněny jako poslední. Ty se nacházejí od vtokového ústí nejdále. Naopak modrá barva označuje místa, která jsou zaplněna nejdříve. Díky užití vyhřívaného vtokového systému není zapotřebí před plněním tvarové dutiny formy vyplnit vtokový systém, a proto je proces plnění rychlejší. Z výsledku lze vyčíst, že celá dutina formy byla zaplněna, a plnění dutiny probíhá symetricky.



Obrázek 68 – Čas plnění (Fill time)

11.1.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

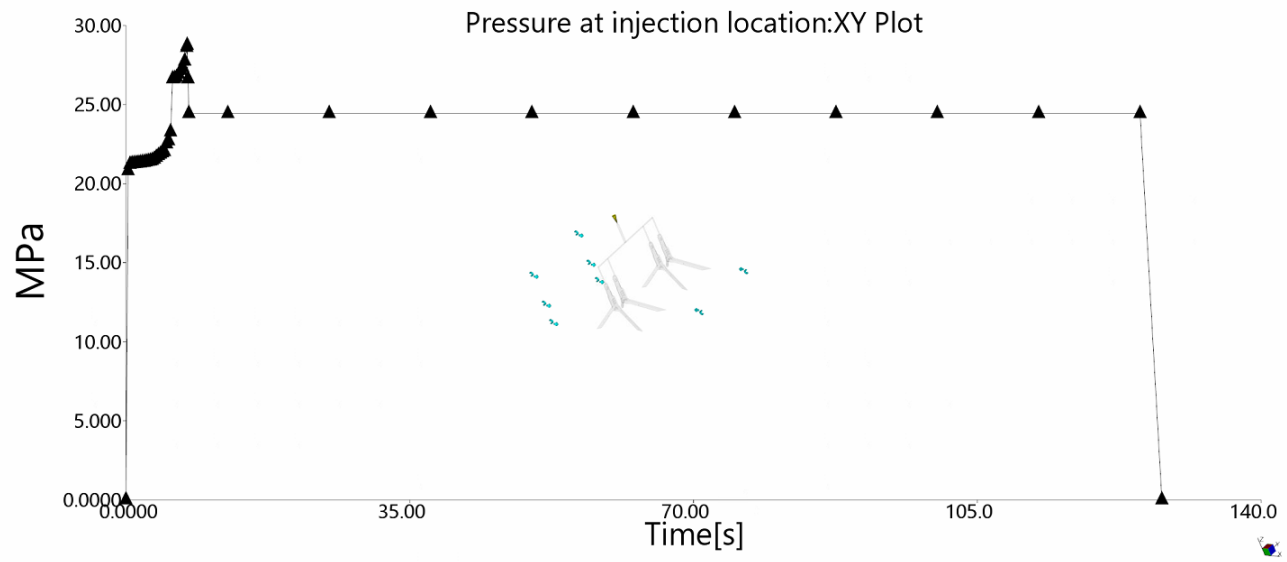
Rychlost smykové deformace je velmi důležitý parametr při procesu vstřikování. Každý vstřikovaný materiál má mezní hodnotu rychlosti smykové deformace. Při překročení této hodnoty dochází k degradaci polymeru, což vede ke vzniku povrchových vad na výstřiku a ztráty některých mechanických vlastností. Nejvyšší hodnota rychlosti smyké deformace je v samotném v tokovém ústí. Materiál je SABIC PP Compound G3240A má maximální dovolenou hodnotu rychlosti smykové deformace 100000 s^{-1}. Z analýzy vyplývá, že maximální dosažená hodnota rychlosti smykové deformace je 85045 s^{-1}, což je pod mezní hodnotou 100000 s^{-1}.



Obrázek 69 – Rychlost smykové deformace

11.1.3 Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location)

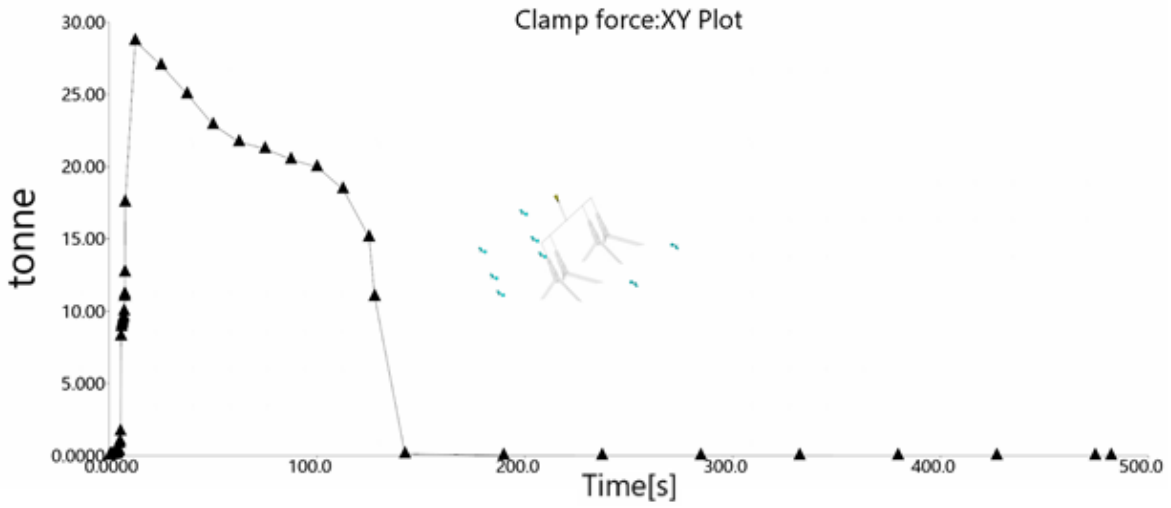
Tento výsledek je zobrazen jako graf závislosti vstřikovacího tlaku na době vstřikovacího cyklu v místě vtokového ústí. Lze z něj vyčíst, jak tlak během vstřikování rostl a kdy byl přepnut na dotlak. V okamžiku přepnutí na dotlak byla hodnota tlaku maximální a to 28,74 MPa. Následně dojde k přepnutí na dotlak a ten má hodnotu 24,43 MPa. Po ukončení fáze dotlaku, tlak klesá na nulu a probíhalo už jen chlazení.



Obrázek 70 – Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí

11.1.4 Uzavírací síla (Clamp force)

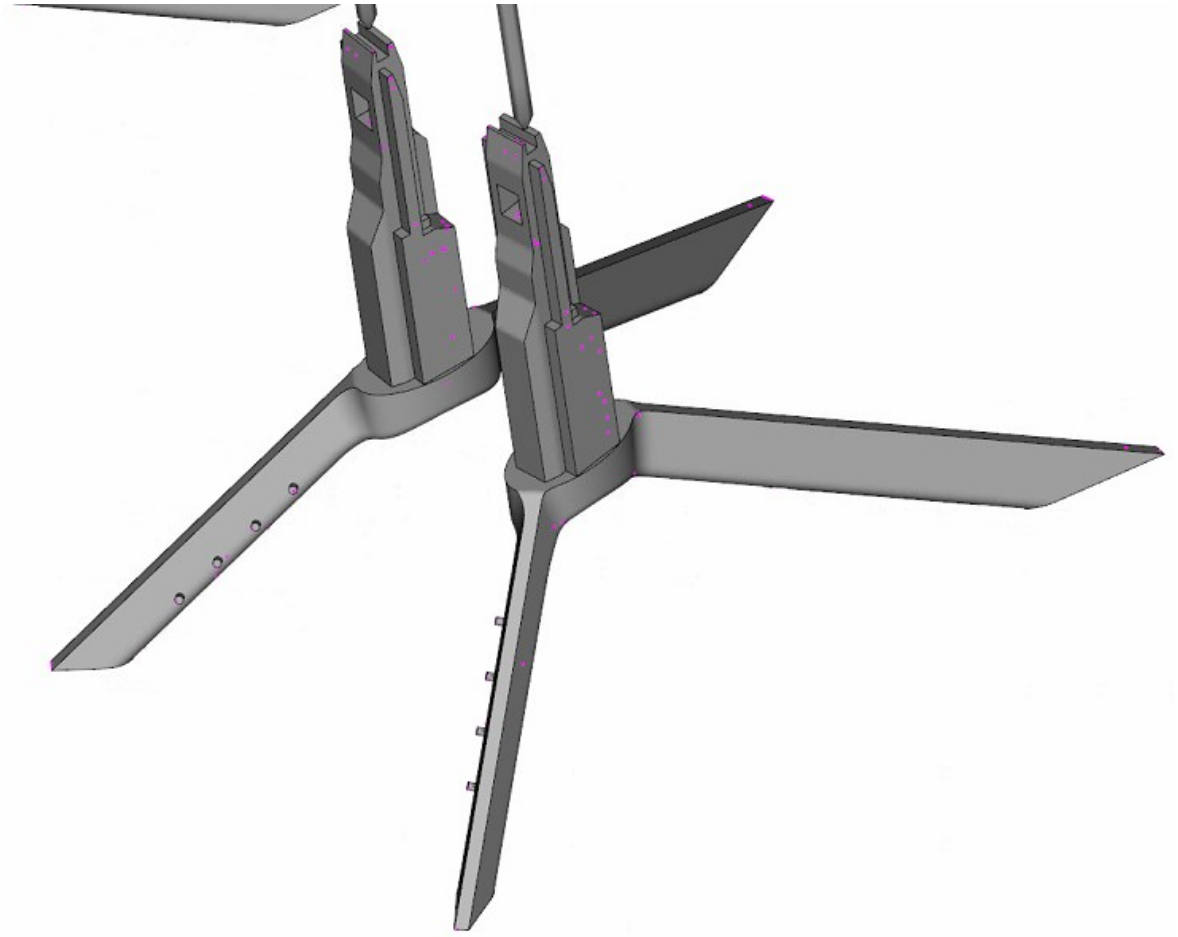
Jedná se o analýzu, která ukazuje, jestli je vybraný stroj schopný vyvinout potřebnou uzavírací sílu. Při vstřikování taveniny do dutiny dochází k vzniku velké síly, která má snahu vstřikovací formu otevřít. Vstřikovací tlak taveniny tedy klade odpor proti uzavírací síle, která nesmí být překročena. Z výsledku analýzy vyšla maximální uzavírací síla 28,32 tun. Udává se, že uzavírací síla během vstřikování by neměla překročit 80 % z maximální uzavírací síly vstřikovacího stroje, jež je 453 tun, která nebyla překročena a stroj tedy vyhovuje.



Obrázek 71 – Uzavírací síla

11.1.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

Tato analýzy zobrazuje, ve kterých místech je největší pravděpodobnost uzavření vzduchu, který následně může negativně ovlivnit kvalitu výrobku. Vzduch obecně z tvarové dutiny odchází vůlí mezi pohyblivými částmi formy nebo dělícími rovinami. I přes tuto skutečnost může v určitých místech docházet k vytváření vzduchových kapes, ve kterých může dojít k dieselovu efektu, při kterém vlivem velkého stlačení vzduchu, dojde ke zvýšení jeho teploty až do takových hodnot, že způsobí spálení materiálu v daném místě výrobku. Aby se tomuto efektu předešlo, zavádí se v kritických místech odvzdušňovací kanálky.

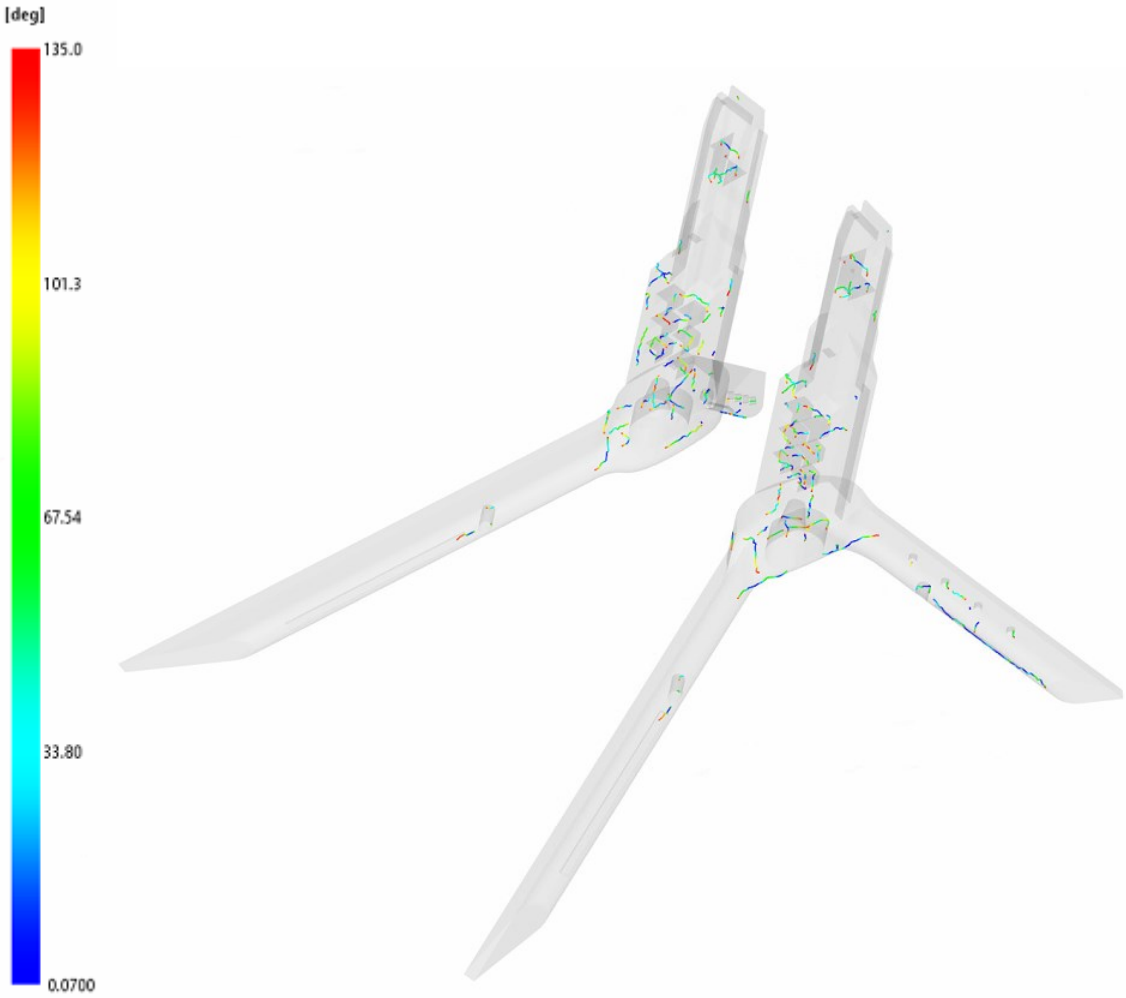


Obrázek 72 – Vzduchové kapsy

Obrázek 73 – Vzduchové kapsy

11.1.6 Studené spoje (Weld lines)

Studené spoje vznikají při spojení dvou chladných čel taveniny. V místě studeného spoje má výrobek snížené mechanické i estetické vlastnosti a může docházet k jeho snadnějšímu porušení. Z konstrukčního hlediska by studené spoje neměly být v místech, ve kterých dochází k větším mechanickým namáháním výrobku.

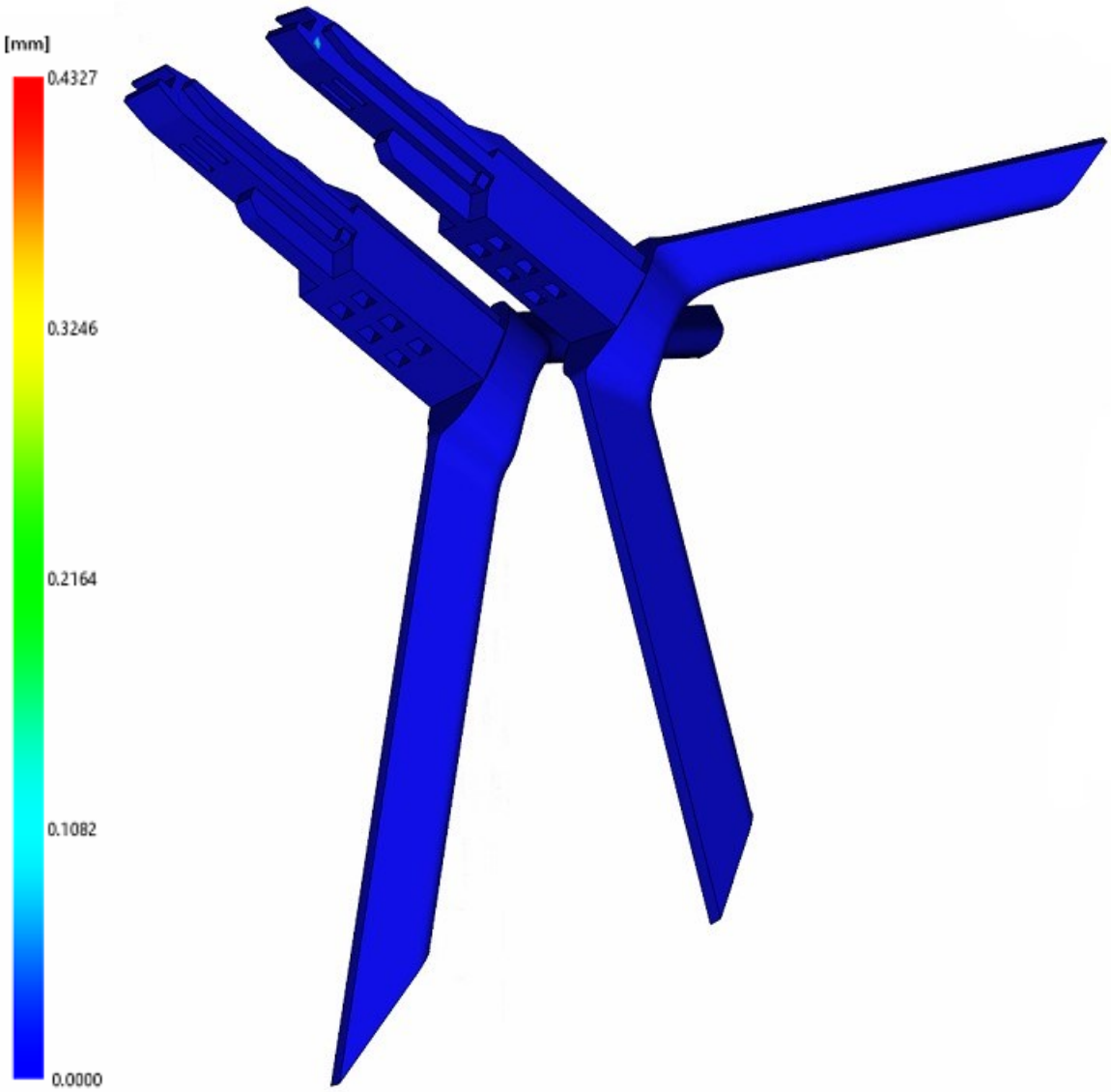


Obrázek 74 – Studené spoje

Obrázek 75 – Studené spoje

11.1.7 Propadliny (Sink marks)

Propadliny se tvoří v místech s větší tloušťkou stěn, zesílených oblastí nebo napojení žeber. Výsledkem analýzy jsou zvýrazněná právě místa s větším množstvím materiálu. V těchto místech se tvoří propadliny, které jsou znázorněny na obrázku pomocí barev. Maximální hodnota propadlin u výstřiku je pouze 0,4327 mm což, je vzhledem k velikosti a poloze těchto propadlin, jež jsou na nepohledové straně výrobku zanedbatelné.



Obrázek 76 – Propadliny

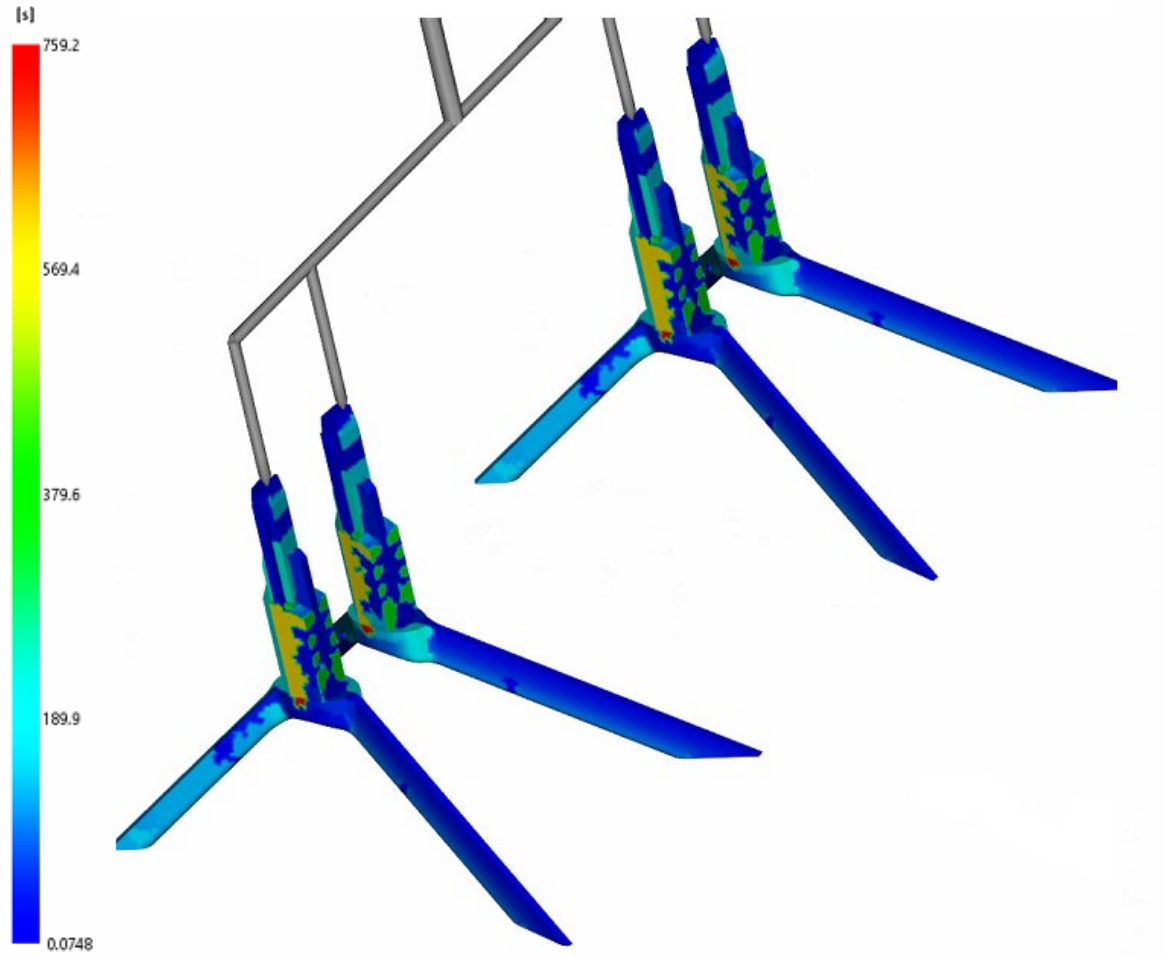
Obrázek 77 – Propadliny

11.2 Výsledky analýzy temperace

V této podkapitole jsou uvedeny výsledky změn, které nastanou v temperačních okruzích. Temperace se skládá z osmi okruhů. Trajektorie temperačních kanálů byly vloženy do programu Moldflow ve formátu *,igs. Uvedenými výsledky jsou čas dosažení vyhazovací teploty, teplota média v temperačním okruhu, tlak v temperačním okruhu, Reynoldsovo číslo a účinnost temperačního systému.

11.2.1 Čas dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

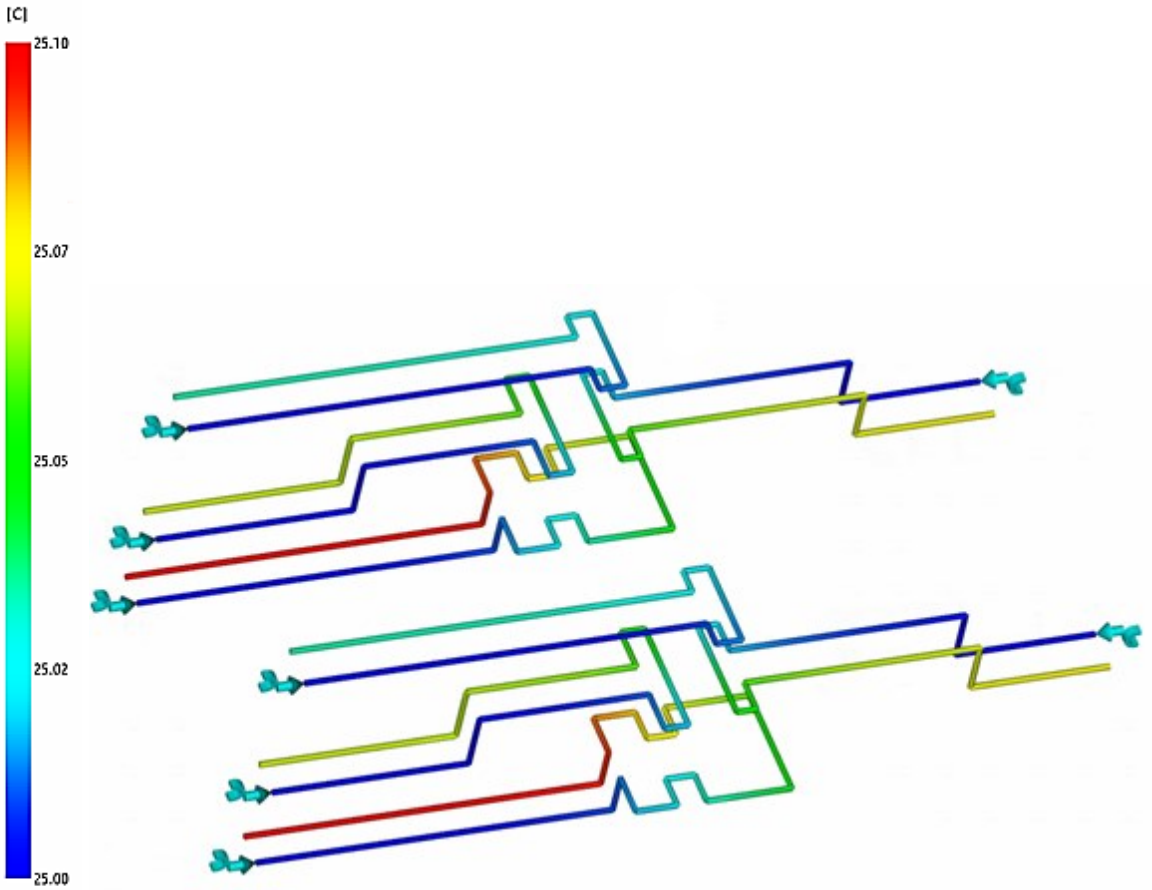
Analýza zobrazuje čas, který je nutný pro výrobky dosáhnou vyhazovací teplotu. Vyhazovací teplota byla pro analýzu nastavena na 113 °C. V kritickém místě byla zjištěna hodnota 760 sekund pro dosažení vyhazovací teploty. Tato hodnota je způsobena velkým objemem materiálu, který musí být ochlazen a skutečností že daná oblast se nachází na místě setkání tvarových čelistí, a tudíž v jeho blízkosti nelze vytvořit temperační kanál.



Obrázek 78 – Čas dosažení vyhazovací teploty

11.2.2 Teplota média v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

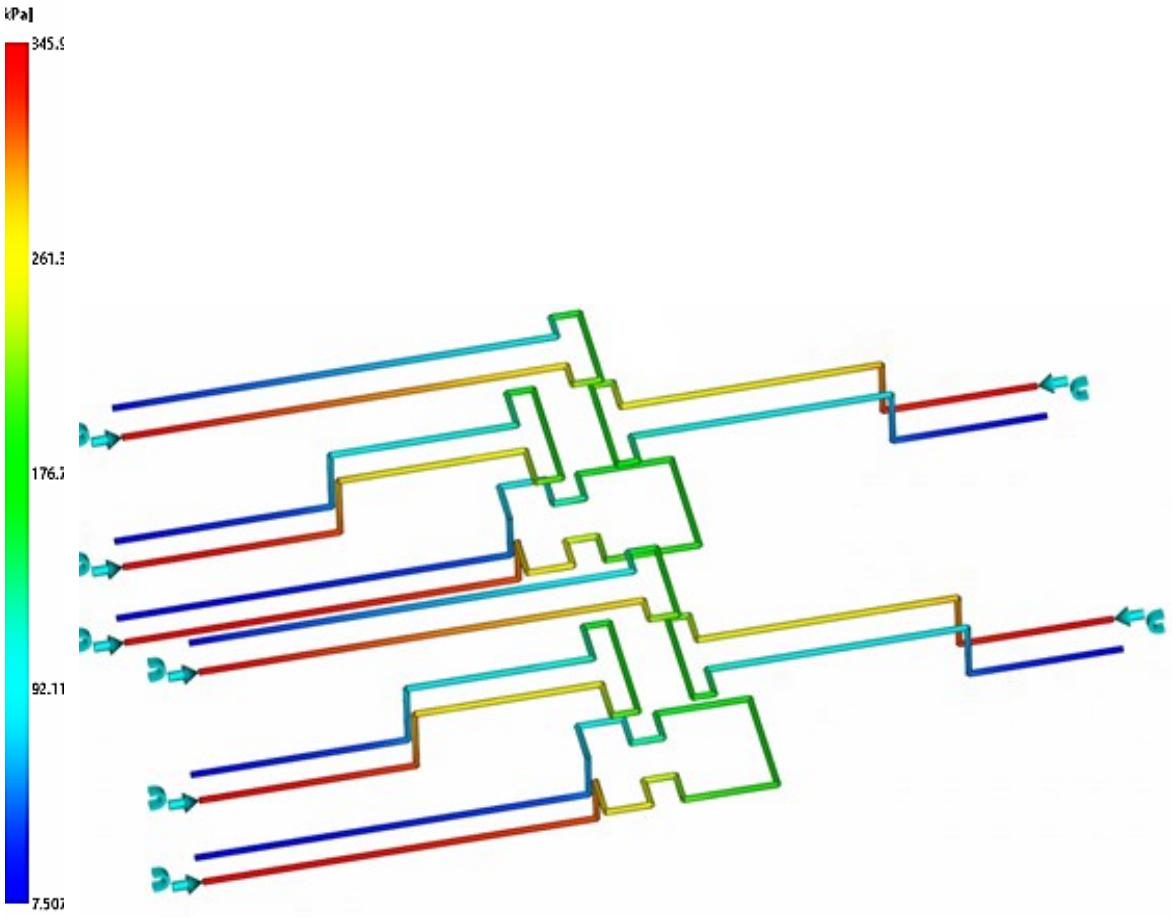
Při průtoku temperačního média temperačními kanály dochází k přenosu tepla. Na vstupu má temperační médium nastavenou teplotu 25 °C a po průchodu se ohřívá a odvádí teplo ze vstřikovací formy. Lze vidět, že rozdíl teploty na vstupu a výstupu je maximálně 0,10 °C, což odpovídá podmínce, aby tyto teploty neměly rozdíl větší o 3-5 °C.



Obrázek 79 – Teplota média v temperačním okruhu

11.2.3 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

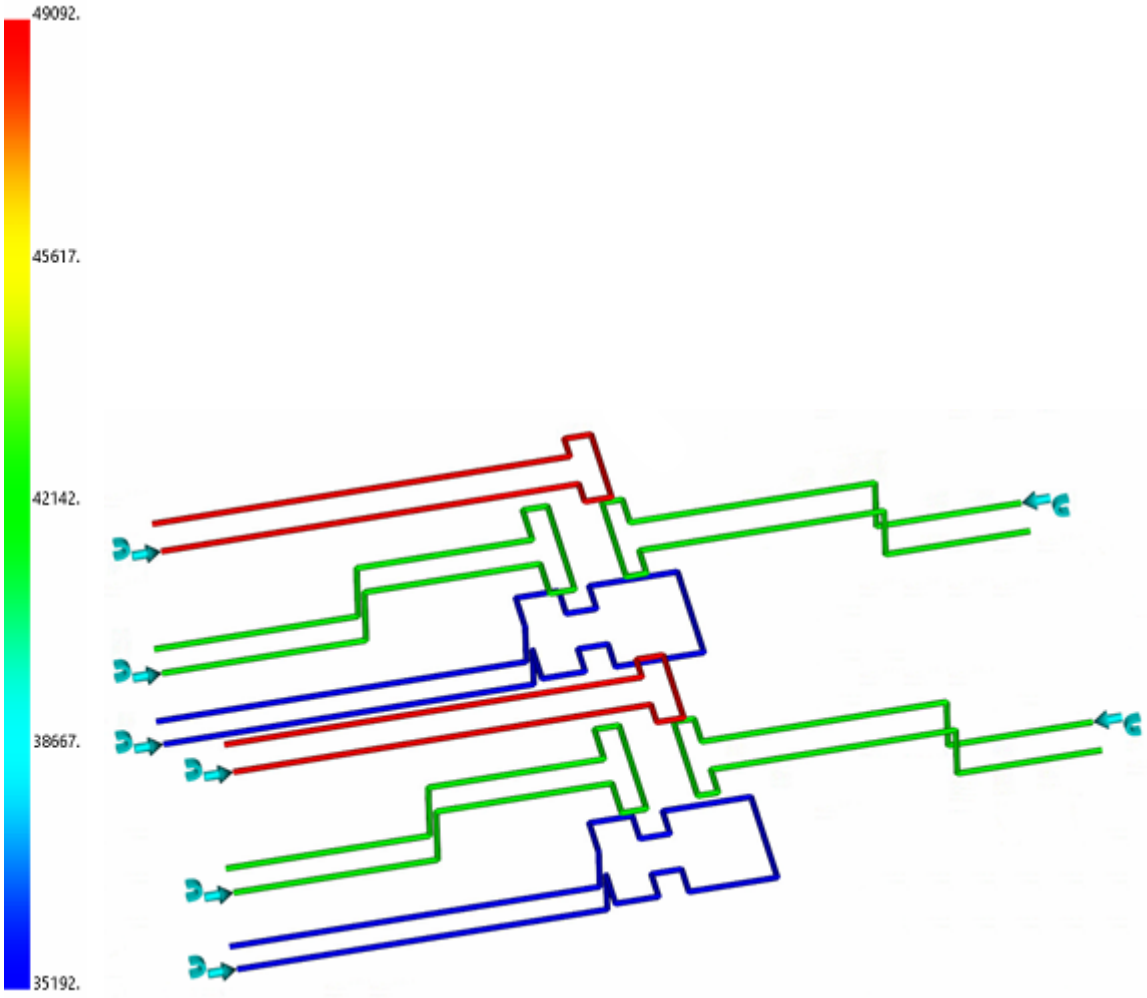
Průběh tlaku ve temperačním systému má obecně klesající tendenci, ale nesmí dosáhnout nulové hodnoty. V případě nulové hodnoty tlaku by docházelo k zastavení pohybu temperačního média. Z analýzy vyplývá, že tlak na vstupu má hodnotu okolo 346 kPa a s délkou kanálu klesá na hodnoty zhruba 7,507 kPa, lze tedy říct že navržené temperační okruhy vyhovují.



Obrázek 80 – Tlak v temperačním okruhu

11.2.4 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

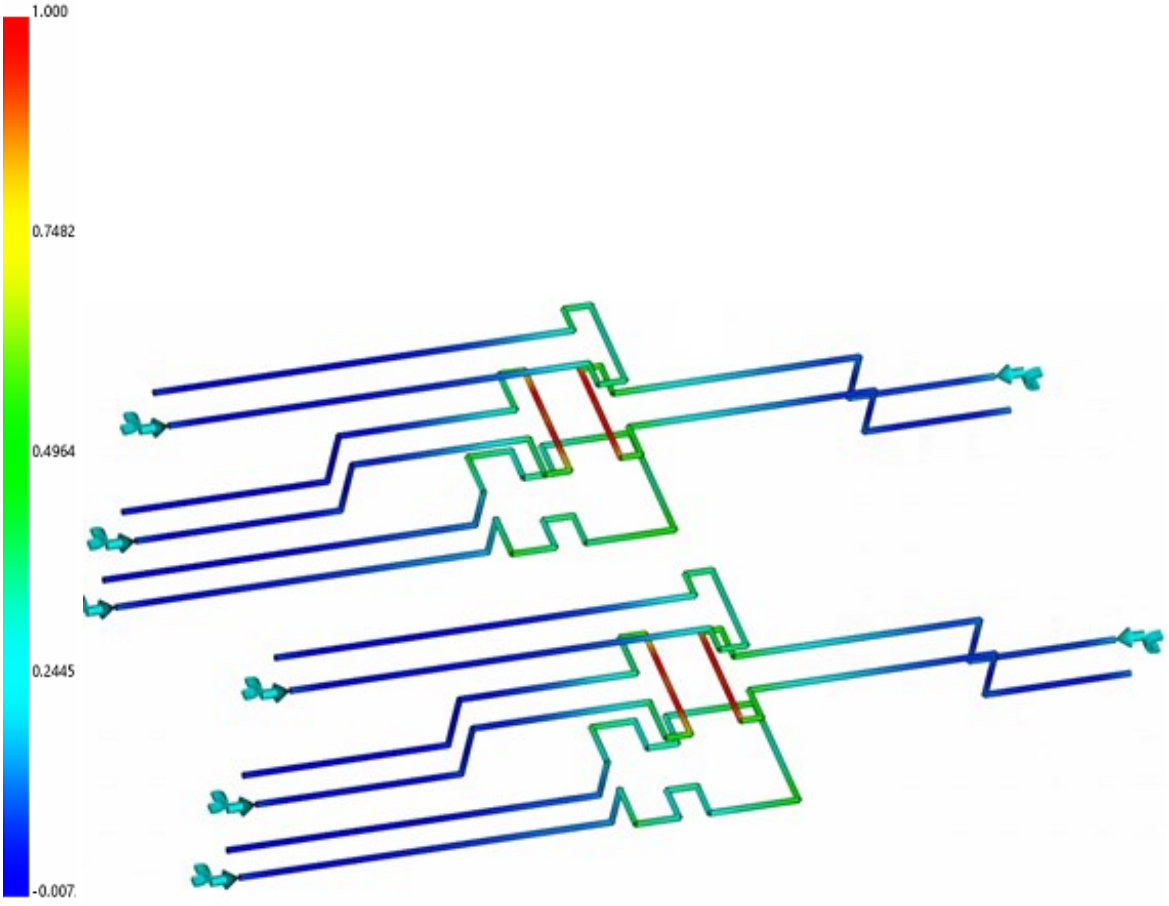
Analýza zobrazuje hodnoty Reynoldsova čísla v průběhu temperačního kanálu. Reynoldsovo číslo určuje druh proudění temperačního média. Hodnota Reynoldsova by měla dosahovat minimálně hodnoty 10000, což je hraniční hodnota turbulentního prouděním, jež je nejvhodnější pro odvod tepla. Nejnižší hodnota je 35192, která přesahuje minimální hodnotu a tím vyhovuje temperační systém.



Obrázek 81 – Reynoldsovo číslo

11.2.5 Účinnost temperačního systému (Circuit hear removal efficiency)

Výsledky této analýzy ukazují, jakou účinnost odvodu tepla mají jednotlivé temperační kanály. K největší účinnosti přestupu tepla dochází v temperačním okruhu tvarových vložek. Největší účinnost odvodu tepla je možno pozorovat v místech označených červenou barvou.



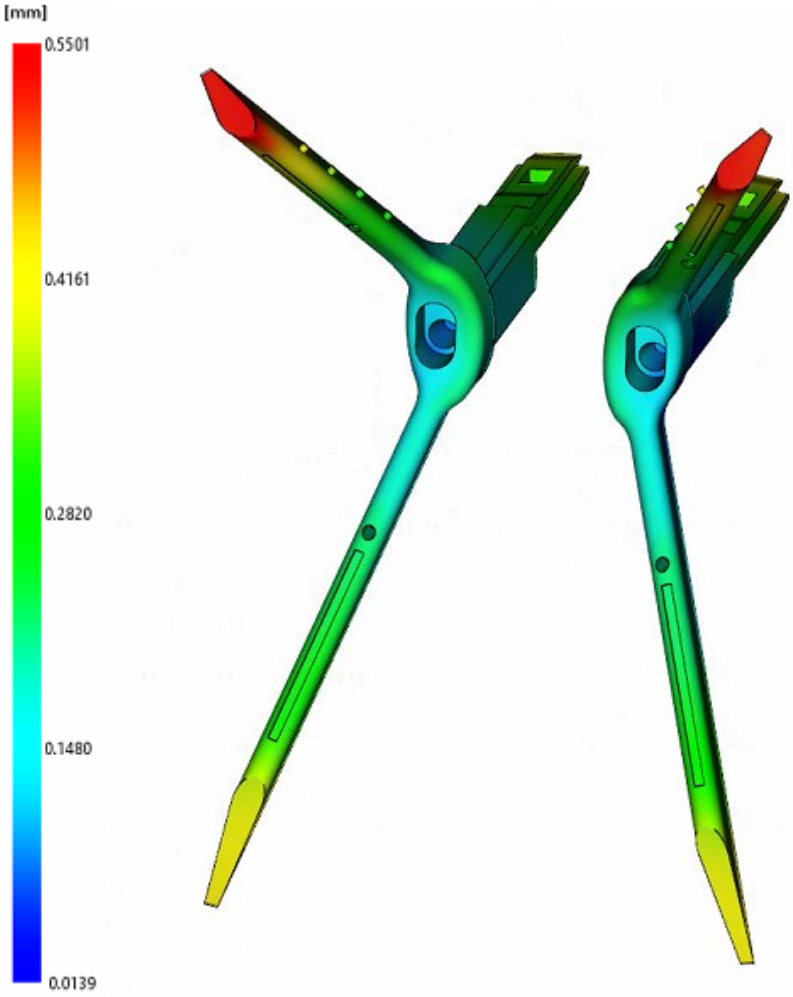
Obrázek 82 – Účinnost temperačního systému

11.3 Výsledky analýzy smrštění a deformace

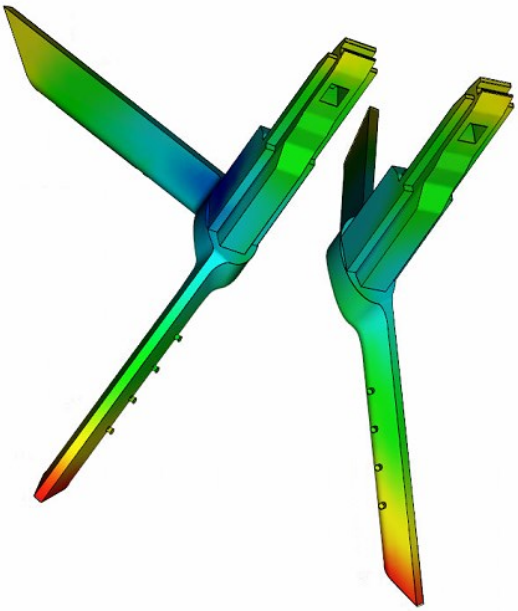
V této kapitole je uveden výsledek pro oblast smrštění a deformace. Z analýz lze zjistit, jak se ve výsledku změní tvar a rozměry výrobku oproti dutině vstřikovací formy.

11.3.1 Celková deformace, všech vlivů (Deflection, all efects deflection)

Výsledek této analýzy zobrazuje celkovou deformaci vzniklou při vstřikování výrobku. V místech označených červeně dochází k největší deformaci, která činí 1,026 mm. Velké deformace se dají dále ovlivnit zvýšením dotlaku nebo snížením teploty formy. V modrých místech je hodnota deformace téměř nulová a k žádnému negativnímu jevu zde nedochází.



Obrázek 83 – Celková deformace



Obrázek 84 – Celková deformace

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části diplomové práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu. Dílem jsou nožičky pro televizi. Popis dílu, materiálu, vstřikovacího stroje, konstrukce vstřikovací formy a nastavení analýzy vstřikování jsou uvedeny v praktické části.

Provedené analýzy hrají hlavní roli při ověření její funkčnosti. Prvním výsledkem analýzy je volba místa vtokového ústí, jež zobrazuje místa vhodná a nevhodná pro umístění vtokového. Místo vtokové ústí bylo zvoleno na základě analýzy a zohlednění odformování výrobku. Samotná vtoková soustava je řešena jako vyhřívaný vtok skládající se z rozvodného bloku a čtyř trysek. Plnění čtyř tvarových dutin probíhá symetricky a k úplnému zaplnění dutin dojde za 7,645 s. Při vytváření otvorů ve výrobku dochází k rozdělení čela taveniny na dvě části, jež se za otvorem opět spojí, avšak při spojení těchto čel může dojít ke tvorbě studených spojů, které budou způsobovat nežádoucí změnu mechanických a vzhledových vlastností v daném místě. V tvarových dutinách dochází také k uzavírání vzduchu vstřikovanou taveninou. Pro odvod vzduchu budou sloužit vůle dělících rovin formy a vyhazovacích kolíků. Při vstřikování smyková rychlost dosáhne svého maxima 85045 s^{-1} ve vtokovém ústí, což je pod limitní hodnotou pro daný polymer, která je 100000 s^{-1}. Ve vtokovém ústí také byl nejvyšší tlak a to 28,62 MPa, jež je pod maximální hodnotou 215,1 MPa vstřikovací jednotky. Vtokové ústí má tedy správnou geometrii a nedochází k degradaci materiálu. Při vstřikování nesmělo dojít k pootevření formy a z tohoto důvodu nesměla hodnota uzavírací síly přesáhnout 454 t. Tato podmínka je splněna maximální dosaženou hodnotou uzavírací síly 28,32 t. V oblastech s větším objemem taveniny bude docházet k vyššímu objemovému smrštění, což povede k propadům na výrobku. Pro simulaci chladící fáze byla zvolena teplota temperačního média 25 ºC a tlak 3,5 bar. Pro správnost fungování temperačního systému bylo nutné, aby minimální hodnota Reynoldsova čísla byla větší než 10000, což bylo splněno hodnotou 35192. Dále teplota temperačního média nesměla se na výstupu z okruhu zvednou více jak 3 ºC, k čemuž nedošlo, jelikož rozdíl teplot je 0,10 °C. Tlak temperačního média nesměl klesnout na hodnotu 0 Pa. Podmínka je splněna minimální dosahovanou hodnotou 7,507 kPa. K deformaci výrobku dojde díky lineárnímu smrštění výrobku a obsahu skelných vláken. Dle analýzy bude největší deformace dosahovat 0,551 mm.

Tabulka 4 – Výsledky analýzy

Parametr	Hodnota
Čas plnění	7,645 s
Maximální rychlost smykové deformace	85045 s^{-1}
Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí	28,62 MPa
Maximální hodnota uzavírací síly	28,63 t
Čas dosažení vyhazovací teploty	760 s
Maximální rozdíl temperačního media	0,10 °C
Minimální Reynoldsovo číslo	35192
Maximální deformace výrobku	0,551 mm

ZÁVĚR

Hlavním cílem bylo vytvoření návrhu vstřikovací formu pro výrobu zadaného dílu. Zadaným dílem jsou nožičky, jež jsou určeny jako stojan televize.

Teoretická část diplomové práce se zabývá polymerními materiály, jež se užívají při technologii vstřikování, základním principem technologie vstřikování a zásadami návrhu součástí a forem pro technologii vstřikování.

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro zadaný díl. Jako první byl vytvořen 3D model zadaného výrobku a následně byl zvolen jeho materiál PP Compound G3240A od firmy SABIC. Vstřikovací forma byla vytvořena jako čtyřnásobná a vtokový systém je realizován, jako vyhřívaný vtokový systém. Pro odformování bylo nutné využít tvarové čelisti. Temperační systém je tvořen vrtanými kanály, které jsou v tvárníku, tvárnici i samotných tvarových čelistech. Vyhazovací systém se skládá z válcových vyhazovačů.

Následně došlo k ověření funkčnosti vstřikovací formy pomocí softwaru Autodesk Moldflow. Pro provedení analýzy byl vybrán stroj HT 500 1920 HiPr od firmy Van Dor Demag. Porovnáním kritických hodnot pro funkčnost formy s hodnotami získanými z výsledků analýz. Bylo zjištěno, že forma splňuje všechny požadavky pro správné fungování.

Konstrukční návrh výrobku a formy byl proveden v 3D softwaru CATIA V5R20 za využití modulů Mold Tooling design a Core and Cavity design. Pro normálie byly využity HASCO a EWIKON katalog.

Z modelu sestavy vstřikovací formy byly vytvořeny výkresy a kusovník, jež jsou součástí příloh této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Cincinnati: Hanser Gardner, c2007. ISBN 978-1-56990-417-6

[2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd,* přeprac. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha c.2006. ISBN 80-7080-617-6

[3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů.* Praha: BEN, c.2009. ISBN 978-80-7300-250-3

[4] NEUHÄUSL, Emil. *Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování.* mmspektrum.com [online]. Praha, c2012 Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani

[5] Osswald, Tim Hernández-Ortiz, Juan P.. *Polymer Processing - Modeling and Simulation.* Cincinnati: Hanser Publishers. c2006. ISBN 978-1-4557-3107-7

[6] Malloy, Robert A.. *Plastic Part Design for Injection Molding - An Introduction (2nd Edition).* Cincinnati: Hanser Publishers. c2010 ISBN 978-1-56990-436-7

[7] Bruder, Ulf.. *User's Guide to Plastic (2nd Edition).* Cincinnati: Hanser Publishers. c2019 ISBN 978-1-56990-734-4

[8] LENFELD, P. Katedra tváření kovů a plastů - *skripta. Technologie II: Část II - Zpracování plastů.* Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní - Katedra strojírenské technologie- Oddělení tváření kovů a plastů[online]. c2008 Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm

[9] Bulletin - ARBURG. [online]. Dostupné z: https://www.arburg.com/cs/cz/cast-pro-novinare/tiskova-zpravy/bulletin/nI/3109/

[10] Schiller, Gary F. *Practical Approach to Scientific Molding.* Cincinnati: Hanser Publishers c2018 ISBN 978-1-56990-686-6

[11] Drobny, Jiri George. *Handbook of Thermoplastic Elastomers (2nd Edition).* Elsevier. Cincinnati: Hanser Gardner, c2014. ISBN 978-0-323-22136-8

[12] Seidl, M. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*, publi.cz, c2016 ISBN 978-80-88058-71-7 Dostupné z: https://publi.cz/books/181/Impresum.html

[13]Asistenční balíčky-ARBURG. [online]. Dostupné z: https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/technika/komfortni-obsluha/asistencni-balicky/

[14] Bobek, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*; publi.cz, c2016 ISBN 978-80-88058-65-6 Dostupné z:https://publi.cz/books/179/Impresum.html

[15] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON. c2006, ISBN 80-86604-18-7

[16] Heaney, Donald F.. *Handbook of Metal Injection Molding (2nd Edition).* . c2019 Elsevier. ISBN 978-0-0810-2152-1

[17] Campo, E. Alfredo. *Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics.* c2006Hanser Publishers. ISBN 978-1-56990-375-9

[18] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, ISBN 978-1-56990-420-6

[19] DANGEL, Rainer. *Injection Molds for Beginners*. c2020. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-819-8.

[20] KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. c2016. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-571-5

[21] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007ISBN 978-1-56990-421-3[22] HARPER, Charles. Handbook of plastic processes. Hoboken: John Wiley, c2006, ISBN 04-716-6255-0

[23] HYNEK, Martin, Štěpán HELLER a Eduard MÜLLER, *Plastové díly* [online]. Plzeň. c2013. Dostupnéz: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf

[24] Pruner, Harry Nesch, Wolfgang. *Understanding Injection Molds.* c2013. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-527-2

[25] Injection Mold Design Tutorial, Technology and Engineering: cooling construction. [online]. Dostupné z: https://mould-technology.blogspot.com/search/label/cooling%20construction

[26] Topworks Plastic. *Plastic Mould Ejection* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.plasticmoulds.net/ejection-system-plastic-mold.html

[27] Katalog firmy Meusburger. [online]. Dostupné z: https://ecom.meusburger.com/e_menu/index.asp?set_gruppe=7

[28] SHOEMAKER, Jay. *Moldflow Design Guide: 'A Resource for Plastics Engineers.* c2006. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-3-446-41854-7

[29] HYNEK, M. a kol. Odvzdušnění. ln: Plastové díly [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 27.11.2020]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Odvzdusneni.pdf

[30] Kennedy, Peter Zheng, Rong. *Flow Analysis of Injection Molds (2nd Edition).* Cincinnati: Hanser Publishers c2013 ISBN 978-1-56990-631-6

[31] Wang, Maw-Ling Chang, Rong-Yeu Hsu, Chia-Hsiang. *Molding Simulation - Theory and Practice.* Cincinnati: Hanser Publishers c2018 ISBN 978-1-56990-631-6

[32] *Home | Autodesk Knowledge Network* [online]. Dostupné z: https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow- insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight- Modelprep/files/GUID-4B1EA908-C18E-44E3-9BD9-14FE7F160291-htm.html

[33] *Training for Injection Molding Professionals - Kruse Training* [online]. Copyright © [cit. 28.03.2022]. Dostupné z: https://krusetraining.com/wp-content/uploads/2017/10/Polymer-Shrinkage.pdf

[34] *Material data center* [online]. Dostupné z: https://www.materialdatacenter.com/mb/material/pdf/453627/453627/SABICPPcompoundG3240A

[35] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2016. [cit. 2021-02-20]. Code Creator, s.r.o. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z WWW: https://publi.cz/books/180/Cover.html

[36] AGASSANT, Jean-François et al. *Polymer Processing 2E: Principles and Modeling.* 2017. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-606-4

[37] ERNÁTEK, Ondřej. *Konstrukční návrh nástroje pro výrobu plastového dílu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2020, 94 s. 7 s. příloh, Dostupné také z:

http://hdl.handle.net/10563/48721. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Staněk, Michal

[38] CATIA Řešení pro 3D modelování. *dytron.cz* [online]. [cit. 2022-04-]. Dostupné z: https://www.dytron.cz/products/catia/?gclid=Cj0KCQjwpdqDBhCSARIsAEUJ0hNZBKyy4ZvMlWjdMHxpG8RJsvfKUQL_t7HREy3DB5KrU4GWI-95IYUaAgrhEALw_wcB

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

P	Tlak
v	Měrný objem
T	Teplota
D	průměr
R	rádius
h	výška
µm	micrometr
mm	milimetr
cm	centimetr
cm^3	centimetr krychlový
g	gram
g/10 min	gram za minutu
t	tuna
s	sekunda
Pa	Pascal
kPa	kilopascal
MPa	megapascal
s^{-1}	sekunda na mínus první
°C	stupeň Celsia
%	procento

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Struktura amorfního termoplastu [2] 14
Obrázek 2 – Struktura semikrystalického termoplastu [2] 14
Obrázek 3 – Časový průběh vstřikovacího cyklu 18
Obrázek 4 – p-v-T diagram amorfního polymeru (vlevo) p-v-T diagram semikrystalického polymeru (vpravo) 19
Obrázek 5 – Vstřikovací stroj od firmy Arburg [9] 20
Obrázek 6 – Ukázka vstřikovací jednotky a jejího pohonu [10] 21
Obrázek 7 – Schématické zobrazení třízónového šneku a schéma s vyznačeným množstvím taveniny zpracovatelného během jednoho posunu dle průměru šneku [10] 22
Obrázek 8 – Schématické zobrazení hydraulické uzavírací jednotky [10] 23
Obrázek 9 – Schématické zobrazení kloubové uzavírací jednotky [10] 24
Obrázek 10 – Komunikační rozhraní od firmy Arburg [13] 24
Obrázek 11 – Řešení přechodů tloušťky stěn výrobku [1] 26
Obrázek 12 – Konstrukční návrh výrobku z hlediska tloušťky stěn [14] 26
Obrázek 13 – Propadlina vzniklá v důsledku žebrování [14] 27
Obrázek 14 – Typický konstrukční návrh žeber [16] 27
Obrázek 15 – Vliv poměru R/h na koncentraci napětí [14] 28
Obrázek 16 – Ukázky návrhů úkosů [14] 29
Obrázek 17 – Ukázka některých druhů textur [1] 30
Obrázek 18 – Přímo (a, b) a nepřímo (s, t) související rozměry dílu s rozměry formy [14] 32
Obrázek 19 –Změny rozměrů vstřikovaného dílu během procesu vstřikování 33
Obrázek 20 – Schéma vstřikovací formy [20] 34
Obrázek 21 – Rozmístění tvarových dutin 36
Obrázek 22 – Ukázka kuželového vtoku [21] 38
Obrázek 23 – Detail bodového vtoku [21] 39
Obrázek 24 – Dva typy provedení tunelového vtoku a způsob jejich oddělení od výrobku [21] 40
Obrázek 25 – Diskový vtok [21] 41
Obrázek 26 – Filmový vtok [21] 41
Obrázek 27 – Efekt různého průměru temperačních kanálků 43
Obrázek 28 – Válcový vyhazovač od firmy Meusburger [14] 44
Obrázek 29 – Prizmatický vyhazovač od firmy Meusburger [27] 45
Obrázek 30 – Trubkový vyhazovač od firmy Meusburger [27] 45
Obrázek 31 – Princip dvoustupňového vyhazování [19] 46
Obrázek 32 – Rozmístění odvzdušňovacích kanálů [14] 47

Obrázek 33 – Doporučená konstrukce pro odvzdušňovací kanály [14] 47
Obrázek 34 – Zobrazení sítě Midplain [32] 49
Obrázek 35 – Zobrazení Dual Domain [32] 49
Obrázek 36 – Zobrazení 3D sítě [32] 49
Obrázek 37 – Model pro pravou a levou nožičku 52
Obrázek 38 – Model pro pravou a levou nožičku 53
Obrázek 39 – Model pro pravou a levou nožičku 53
Obrázek 40 - 3D model vstřikovací formy 57
Obrázek 41 – Plochy hlavních dělící rovin 58
Obrázek 42 – Plochy vedlejších dělících rovin 59
Obrázek 43 – Součásti tvořící tvarovou dutinu 60
Obrázek 44 – Tvarové čelisti 60
Obrázek 45 – Tvárnice a tvárník 61
Obrázek 46 - Tvarové čelisti 62
Obrázek 47 – Popis tvarové čelisti 63
Obrázek 48 – Temperace na levé straně vstřikovací formy 64
Obrázek 49 – Temperace pravé strany vstřikovací formy 65
Obrázek 50 – Temperace tvarových čelistí 66
Obrázek 51 – Temperace tvarových čelistí 66
Obrázek 52 – Vyhřívaný vtokový systém 67
Obrázek 53 – Vyhazovací systém vstřikovací formy 68
Obrázek 54 – Uložení vodících čepů vyhazovacího systému 69
Obrázek 55 – Levá strana vstřikovací formy 70
Obrázek 56 – Pravá strana vstřikovací formy 70
Obrázek 57 – Nosič formy Z70/3 vpravo, transportní pojistka Z73/16x25x63 vlevo 71
Obrázek 58 – Pokrytí modelu sítí 72
Obrázek 59 – Statistika vytvořené sítě 73
Obrázek 60 – Parametry pro temperační medium vstřikovací formy 74
Obrázek 61 – Procesní parametry taveniny a formy 74
Obrázek 62 – Parametry kontroly plnění a dotlaku 75
Obrázek 63 – Nastavení vstřikovacího stroje a výběru materiálu formy 75
Obrázek 64 – Nastavení kontroly vstřikovacího stroje 76
Obrázek 65 – Nastavení parametrů výpočtů 76
Obrázek 66 – Vhodnost umístění vtokového ústí 77
Obrázek 67 – Umístění vtoku označené černou tečkou 77

Obrázek 68 – Čas plnění (Fill time)....79
Obrázek 69 – Rychlost smykové deformace....80
Obrázek 70 – Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí....81
Obrázek 71 – Uzavírací síla....81
Obrázek 72 – Vzduchové kapsy....82
Obrázek 73 – Vzduchové kapsy....83
Obrázek 74 – Studené spoje....84
Obrázek 75 – Studené spoje....85
Obrázek 76 – Propadliny....86
Obrázek 77 – Propadliny....87
Obrázek 78 – Čas dosažení vyhazovací teploty....88
Obrázek 79 – Teplota média v temperačním okruhu....89
Obrázek 80 – Tlak v temperačním okruhu....90
Obrázek 81 – Reynoldsovo číslo....91
Obrázek 82 – Účinnost temperačního systému....92
Obrázek 83 – Celková deformace....93
Obrázek 84 – Celková deformace....93

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Doporučené teploty pro technologii vstřikování [14] 43
Tabulka 2 – Základní vlastnosti materiálu 54
Tabulka 3 – Parametry volby stroje 55
Tabulka 4 – Výsledky analýzy 95

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Parametry vstřikovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace

- 2D výkresy rezů sestavy
- Pohled do pravé a levé strany formy

Příloha P IV: CD obsahující:

- Diplomovou práci v elektronické podobě
- 3D model formy
- Výkresovou dokumentaci
- Tokové analýzy

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

SABIC® PPcompound G3240A

PP — Saudi Basic Industries Corporation (SABIC)

Product Texts

SABIC® PPcompound G3240A is a 40% short glass fiber reinforced Polypropylene for under-the-hood and structural applications. The base material is a PP homopolymer and is available in standard black. The glass fibres are chemically coupled to the PP matrix SABIC® PPcompound G3240A is a designated automotive grade. IMDS ID: 139448304

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
ISO Data			
Tensile Modulus	**8900**	MPa	ISO 527
Stress at break	**110**	MPa	ISO 527
Strain at break	**2.9**	%	ISO 527
Flexural modulus, 23°C	**8900**	MPa	ISO 178
Charpy notched impact strength, +23°C	**10**	kJ/m²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	**13**	kJ/m²	ISO 179/1eA
ASTM Data			
Tensile Modulus	**7610**	MPa	ASTM D 638
Tensile Strength at Break	**120**	MPa	ASTM D 638
Elongation at Break	**2.4**	%	ASTM D 638
Flexural Modulus	**7800**	MPa	ASTM D 790

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
ISO Data			
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	**153**	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	**161**	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, A	**164**	°C	ISO 306
ASTM Data			
DTUL @ 66 psi	**161**	°C	ASTM D 648
DTUL @ 264 psi	**153**	°C	ASTM D 648

Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density	**1220**	kg/m³	ISO 1183
Density	**1220**	kg/m³	ASTM D 792

Processing Recommendation Injection Molding	Value	Unit	Test Standard
Pre-drying - Temperature	**80 - 100**	°C	-
Pre-drying - Time	**2 - 4**	h	-
Melt temperature	**210 - 270**	°C	-
Mold temperature	**15 - 60**	°C	-
Zone 1	**190 - 230**	°C	-
Zone 2	**200 - 250**	°C	-
Zone 3	**210 - 270**	°C	-
Nozzle temperature	**210 - 270**	°C	-
Back pressure	**1 - 1.5**	MPa	-

Characteristics

Features

Homopolymer

Copyright Altair Engineering GmbH. Altair Engineering GmbH assumes no liability for the system to be free of errors. The user takes sole responsibility for the use of this data under the exclusion of every liability from Altair Engineering GmbH; this is especially valid for claims of compensation resulting from consequential damages. Altair explicitly points out that any decision about the application of materials must be double checked with the producer of this material. This includes all contents of this system. Copyright laws are applicable for the content of this system.

PŘÍLOHA P II: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

HT Model 500

Demag Plastics Group

Demag Plastics Group		
Model Description		HT Model 500
International Size Description		1920 2800 4300

Clamp Unit			
Clamp Force	U.S. tons	kN	500 4,450
Clamp Stroke - Max.	in.	mm	30 762
Open Daylight - Max.	in.	mm	61 1,549
Mold Thickness - Min.	in.	mm	10 254
Distance Between Tie Bars			
Horizontal	in.	mm	32.5 826
Vertical	in.	mm	32.5 826
Platen Size			
Horizontal (Standard)	in.	mm	47.8 1,214
Vertical	in.	mm	47.8 1,214
Tie Bar Diameter	in.	mm	5.5 140
Clamp Speeds			
Closing	in./sec.	mm/sec	23 584
Opening	in./sec.	mm/sec	30 762
Ejector Force	U.S. tons	kN	12.6 112
Ejector Stroke	in.	mm	6.0 152

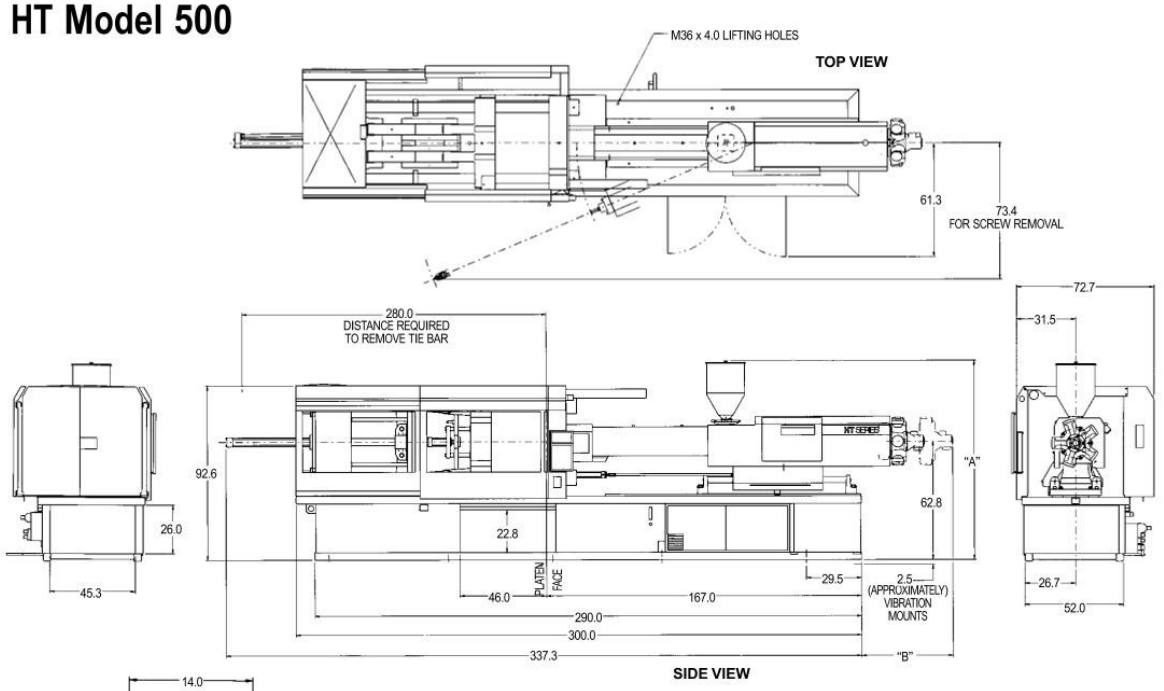
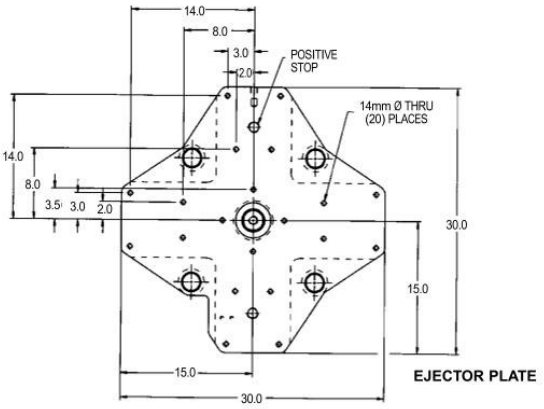
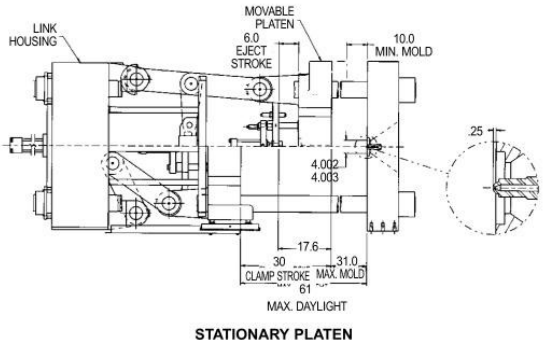
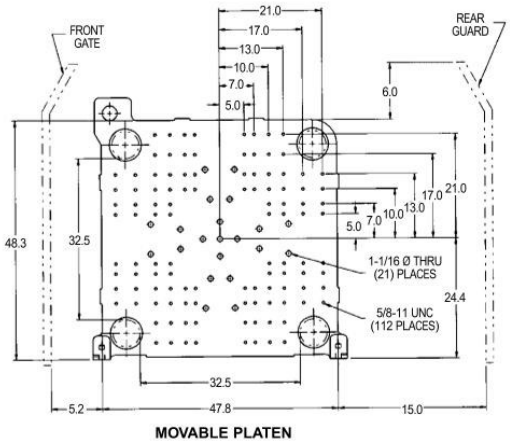
Injection Unit	Measure	1920 Std.	1920 HiPr	2800 Std.	2800 HiPr	4300 Std.	4300 HiPr
Injection Capacity (GPPS)	oz.	40.3	29.6	59.2	45.3	89.6	63.5
	g	1,143	840	1,678	1,285	2,540	1,801
Injection Capacity	cu. in.	74.0	54.4	108.6	83.1	164.4	116.6
	ccm	1,212	891	1,779	1,362	2,694	1,910
Recovery Rate (GPPS)	oz./sec.	2.25	2.36	3.04	2.62	3.77	2.71
	g/sec	63.8	66.9	86.3	74.4	106.9	76.8
Injection Pressure	psi	22,916	31,191	22,656	29,592	23,136	32,625
	bar	1,580	2,151	1,562	2,040	1,595	2,249
Injection Rate (@ 10,000 psi)	cu. in./sec.	39.8	29.3	40.3	30.8	39.5	28.0
Injection Rate (@ 700 bar)	ccm/sec	653	480	660	505	646	458
Injection Stroke	in.	12.4	12.4	13.9	13.9	15.0	15.0
	mm	315	315	354	354	380	380
Screw Diameter	in.	2.76	2.36	3.15	2.76	3.74	3.15
	mm	70	60	80	70	95	80
Screw L/D Ratio		20/1	20/1	20/1	20/1	20/1	20/1
Maximum Screw Speed	rpm	205	337	179	238	151	159
Back Pressure Adjust	psi	50-300	50-300	50-300	50-300	50-300	50-300
	bar	5-21	5-21	5-21	5-21	5-21	5-21
Barrel Heating Capacity	kW	33.4	25.6	38.0	34.0	56.0	42.8

General Machine Specifications	Measure	1920	2800	4300
Length	ft. m	28.5 8.7	30.0 9.1	32.1 9.8
Width	ft. m	6.3 1.9	6.3 1.9	6.3 1.9
Height	ft. m	7.7 2.3	7.7 2.3	7.7 2.3
Machine Weight (approx.)	lb. kg	51,200 23,245	51,200 23,245	51,200 23,245

Performance specifications are based on theoretical data and mold, material and conditions. Since continuous improvement is Demag Plastics Group's policy, we reserve the right to change specifications, designs and performance data without prior notice or obligation.

The specifications listed are standard. However, Demag Plastics Group will provide engineered options and solutions to meet virtually any performance requirements including high-pressure and high-speed configurations.

HT Model 500



Injection Unit	A (in.)	B (in.)
STANDARD BARREL		
70mm/1920	99.2	4.7
80mm/2800	101.6	22.8
95mm/4300	105.5	48.2
Note: Dimensions based on optional hopper.