

Návrh vstřikovací formy pro přírubu chladící kapaliny včetně simulací

Bc. Václav Mrnuščík

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav Mrnušík**
Osobní číslo: **T22655**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro přírubu chladičí kapaliny včetně simulací**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018

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

DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT v Praze, 2006

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

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

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh vstříkovací formy pro přírubu chladicí kapaliny včetně simulací. Celá diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části. První část je teoretická, ve které jsou popsány věci ohledně polymerních materiálů, technologii vstříkování a vstříkovací formě. Druhá část je praktická, která je zaměřena na návrh vstříkovací formy v software Catia. Nejprve je vymodelovaný díl ve 3D, podle kterého je provedeno příslušné odformování a na základě toho vytvořen návrh vstříkovací formy. Pro navrženou vstříkovací formu je provedena toková simulace v programu Moldflow Synergy.

Klíčová slova: polymerní materiály, vstříkování, vstříkovací forma, Catia, Moldflow Synergy

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the design of an injection mold for a coolant flange, including simulations. The whole diploma thesis is divided into two main parts. The first part is theoretical, which describes things about polymeric materials, injection technology and injection mold. The second part is practical, which is focused on the design of an injection mold in the Catia software. First, the part is modeled in 3D, according to which the appropriate demolding is performed and the injection mold design is created on this basis. Flow simulation is performed for the designed injection mold in the program Moldflow Synergy.

Keywords: polymeric materials, injection technology, injection mold, Catia, Moldflow Synergy

Velice rád bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, PhD. za cenné rady a čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	11
1.1 PLASTY	14
1.1.1 Reaktoplasty	14
1.1.2 Termoplasty.....	14
1.2 ELASTOMERY	148
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	19
2.1 PŘÍPRAVNÉ ZPRACOVATELSKÉ PROCESY	20
2.1.1 Sušení	21
2.1.2 Míchání a příprava směsi	22
2.1.3 Doprava materiálu	22
2.1.4 Recyklace	24
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	24
2.2.1 Vstřikovací jednotka	24
2.2.2 Řídící jednotka	24
2.2.3 Uzavírací jednotka	25
2.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	26
2.3.1 Vtoková soustava	28
2.3.2 Temperační systém.....	36
2.3.3 Vyhazovací systém.....	38
2.3.4 Odvzdušnění.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
3 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI	41
4 POUŽITÝ SOFTWARE	42
4.1 CATIA V5R19	42
4.2 HASCO DAKO MODUL.....	42
4.3 AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016	42
5 VÝROBEK	43
5.1 MATERIÁL VÝROBKU	43
6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	43
6.1 NÁSOBNOST	45
6.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	45
6.3 TVAROVÉ ČÁSTI	46
6.3.1 Tvárník a tvárnice	47
6.3.2 Tvarová jádra	47
6.4 PRAVÁ STRANA FORMY	48

6.4.1	Vtokový systém.....	49
6.5	LEVÁ STRANA FORMY	50
6.5.1	Vyhazovací systém.....	52
6.6	TEMPERACE.....	53
6.7	ODVZDUŠENĚNÍ.....	55
6.8	TRANSPORTNÍ SYSTÉM	55
7	ANALÝZA V PROGRAMU MOLDFLOW.....	56
7.1	NASTAVENÍ ANALÝZY	56
7.1.1	Tvorba sítě.....	56
7.1.2	Volba materiálu	58
7.1.3	Volba vstřikovacího stroje	59
7.1.4	Nastavení procesních parametrů	59
7.2	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY – VTOK (NEBO UMÍSTĚNÍ VOTKU)	68
7.2.1	Ideální umístění ústí vtoku	61
7.2.2	Odpor vůči toku taveniny.....	62
7.3	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY – PLNĚNÍ A DOTLAK.....	62
7.3.1	Čas plnění dutiny vstřikovací formy	62
7.3.2	Studené spoje	63
7.3.3	Propadliny	64
7.3.4	Vzduchové kapsy	64
7.3.5	Smykové napětí na stěně	65
7.3.6	Rychlost smykové deformace	65
7.3.7	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty	66
7.3.8	Uzavírací síla.....	67
7.3.9	Vstřikovací tlak	68
7.4	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY – TEMPERACE	68
7.4.1	Teplota temperačního média v temperačním okruhu.....	68
7.4.2	Účinnost (efektivita) odvodu tepla v temperačních kanálech	69
7.4.3	Reynoldsovo číslo temperačního okruhu	70
7.5	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY – SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE.....	71
7.5.1	Celková deformace od všech efektů	71
7.5.2	Deformace vlivem chlazení.....	71
7.5.3	Deformace vlivem smrštění	72
	DISKUZE	75
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

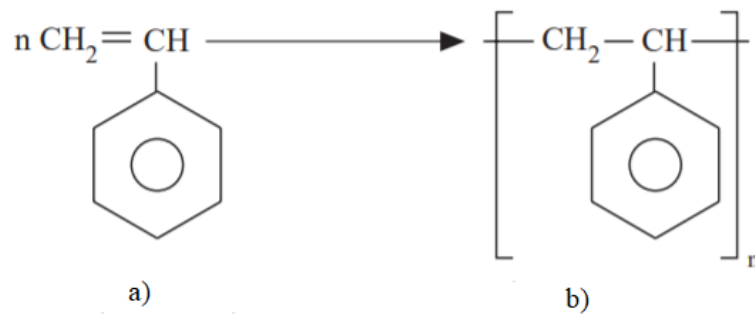
ÚVOD

V moderní době je plast jedním z nejvíce zázračných materiálů a ukazuje tak svoji velkou důležitost této éry. Ve skutečnosti plasty umožnily za posledních 60 let dovést leteckou technologii k velkým pokrokům, jak v oblasti stavby letadel a raketoplánů, tak satelitů, raket a tak dále. Dnes hraje důležitou roli nejen na zemi, ale také při průzkumu vesmíru. Navíc plasty nachází velké uplatnění ve stavebních, strojírenství, elektronice, dopravě, výrobě obalů a různých průmyslových odvětvích, takže vlastně všude v každodenním životě. Moderní plast byl světu poprvé představen v polovině minulého století během druhé světové války. Během války byl tento materiál používán jako alternativa k jiným materiálům jako je pryž, železo a dřevo. Nakonec se plast z nich všech stal nejvýhodnějším materiálem. Byl použit ve vzdušných radarových systémech, protože umožnil průchod vln, aniž by způsobil velkou ztrátu. V dnešním světě se používá široká škála plastových výrobků. Technologie zpracování plastů je jednou z důležitých metod tradičně používaných k výrobě polymerních produktů. Polymery jsou pro společnost v hlubokém zájmu a nahrazují kovy v různých oblastech života, které lze podle nich dále upravovat pro moderní aplikace. Zpracování polymerních materiálů v zásadě závisí na aplikovaném teple a tlaku. Složitost technologie zpracování vyžaduje mnohem lepší pochopení procesu obrábění, chování materiálu a jeho vliv na výkonnost konečného produktu. Vstřikování plastů je významnou součástí plastikářského průmyslu spotřebovávající velké procento z celkového množství plastů a je to všestranný proces, kterým lze dosáhnout různé komplexní velikosti a tvarů vysoce kvalitních výrobků z termoplastů, reaktoplastů a elastomerů. Pro získání kvalitní plastové součásti je velmi důležitý návrh vstřikovací formy, která také hraje důležitou roli v ekonomické aspektu podnikání. Teplota vstřikovacích forem je velmi důležitá, kvůli celkové době výrobního cyklu procesu vstřikování, protože čas chlazení, který je významný v celém výrobním procesu, tvoří přibližně polovinu času v celkovém vstřikovacím cyklu, což povede k vysokým výrobním nákladům. Doba potřebná ve fázi chlazení vstřikovacího cyklu je velký faktor v produktivitě a efektivitě výroby plastů, a proto musí být minimalizován. V současné době, kdy celosvětově roste konkurence v oblasti výroby plastových výrobků je velmi důležité snížit výrobní náklady. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je zkrátit dobu výrobního cyklu. Proces vstřikování se ukázal jako vhodný pro vyrábění tenkostěnných dílů se složitou geometrií, kde je vyžadován vysoký stupeň přesnosti. Toto je u procesu vstřikování uskutečnitelné, navíc u vstřikování je možné zachovat požadovanou kvalitu a opakovatelnost. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

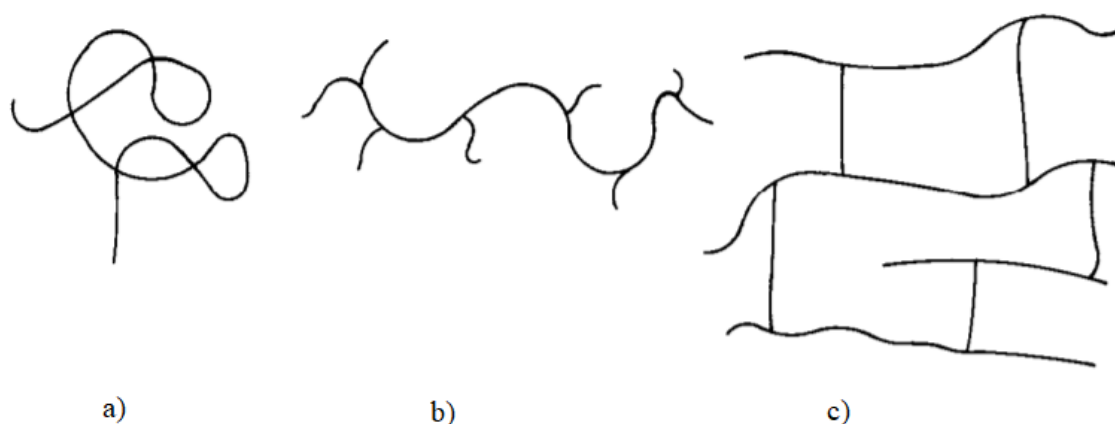
Slovo polymer je odvozeno od řeckého slova poly, což znamená mnoho a meros znamená částí. Polymer je tedy velká molekula (makromolekula) vytvořená opakováním malých chemických jednotek.



Obr. 1 a) Styren (monomer), b) Polystyren (polymer) [2]

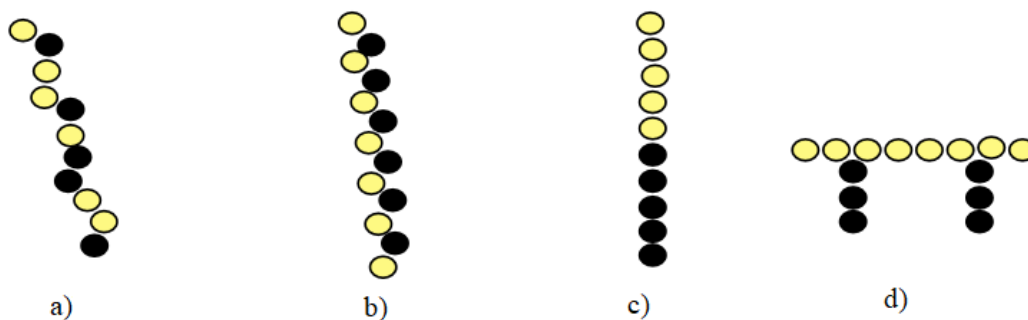
Na Obr. 1 je znázorněna tvorba polymerního polystyrenu. Molekula styrenu (a) obsahuje dvojnou vazbu. Výsledná struktura, v hranatých závorkách je polymer polystyren (b). Samotný styren se označuje jako monomer, který je definován jako jakákoliv molekula, kterou lze převést na polymer kombinací s jinými molekulami stejného nebo jiného typu. Jednotka v hranatých závorkách se nazývá opakující se jednotka. Struktura opakující se jednotky není úplně stejná jako struktura monomeru, i když obě mají identické atomy zaujímající podobné relativní polohy. Polymery jsou materiály obsahující velké množství opakujících se strukturních jednotek (merů) spojených stejným typem vazby. Tyto vazby jsou typicky kovalentní chemické vazby a propojení polymerních řetězců pro plasty se skládá hlavně z atomů uhlíku. Existují i jiné struktury, jako jsou například polymery na bázi křemíku (silikony) nebo lidská DNA, která obsahuje řetězce založené na fosfodiesterové vazbě, a opakující se jednotky polysacharidů (celulóza) jsou spojeny glykosidickými vazbami přes atomy kyslíku. U polymerů je rozlišováno mezi přírodními a syntetickými polymery. V historii lidí byly použity přírodní polymerní materiály, jako je jantar a přírodní kaučuk. Biopolymery, jako jsou proteiny a nukleové kyseliny, jsou v biologických procesech zásadní. Typickými surovinami pro výrobu polymerů jsou ropa, zemní plyn, uhlí, zemědělské produkty jako je kukuřice, sója nebo chemikálie typu benzen, glykoly, isokyanáty, fenoly, chlorid sodný atd. Tyto suroviny nejsou přímo přeměnitelné na polymery, ale musí být chemicky ošetřeny a převedeny na monomery, jako je ethylen, propylen, vinyl chlorid a další, které jsou výchozími materiály pro polymery. Kvůli své velké molekulární velikosti mají polymery jedinečné chemické a fyzikální vlastnosti. Molekuly v

polymeru mohou být uspořádány mnoha různými způsoby. Nejčastějšími uspořádáním jsou lineární, rozvětvené nebo zesíťované. Lineární polymery jsou vyrobeny z jednoho dlouhého souvislého řetězce. Tyto polymery mají podobnou strukturu jako dlouhý přímý řetězec, který má navzájem stejné články. Molekuly v nich jsou spojeny dohromady a tvoří dlouhý řetězec. Tyto polymery mají vysokou teplotu tání a mají vyšší hustotu. Běžným příkladem je PVC. Rozvětvené polymery mají řetězovou strukturu, která se skládá z jednoho hlavního řetězce molekul a z něho se větví menší molekulární řetězce. Rozvětvená struktura řetězce má tendenci snižovat stupeň krystalinity a hustotu polymeru. Zesíťování v polymerech nastává, když jsou vytvořeny vazby mezi samostatnými molekulami polymerního řetězce. V ostatních případech jsou polymerní řetězce vzájemně chemicky propojeny, což má za následek zesíťování. Příkladem tvorby zesíťovaného polymeru je reakce epoxidových pryskyřic. [2]



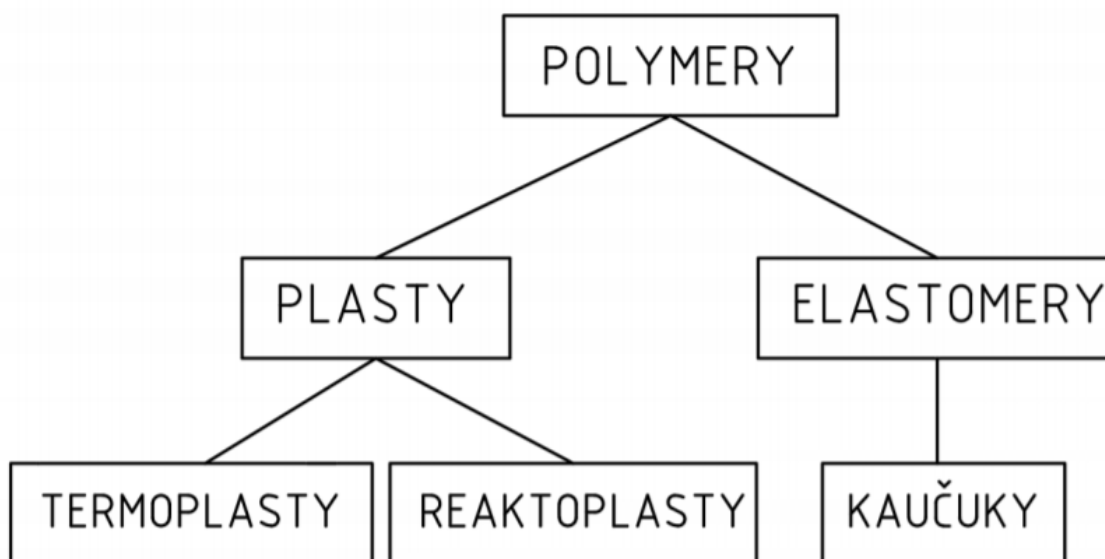
Obr. 2 a) Lineární řetězec, b) Rozvětvený řetězec, c) zesíťovaný řetězec [2]

V závislosti na složení mohou být polymery buď homopolymery nebo kopolymery. Polymery, které vznikají z jednoho monomeru jsou známy jako homopolymery. Polymery, které vznikají ze dvou nebo více monomerů jsou definovány jako kopolymery. Pokud jsou zahrnuty dva nebo více různých typů monomerů, může mít výsledný kopolymer několik konfigurací nebo uspořádání monomerních jednotek podél řetězce. Na Obr. 3 jsou zobrazeny čtyři hlavní konfigurace kopolymerů: a) Statistické: v polymerních řetězcích jsou monomerní jednotky uspořádány náhodně. b) Alternující: různé monomerní jednotky vykazují pravidelné uspořádané střídání. c) Blokované: tvořeny dvěma nebo více bloky monomerních jednotek. d) Roubované kopolymery: přídatky jednoho typu monomerní jednotky jsou naroubovány na dlouhý řetězec druhého. [2], [3]



Obr. 3 Různé typy konfigurací kopolymeru [4]

Vzhledem k tomu, že čistý polymerní materiál není sám o sobě použitelný, jsou do něj přidávány chemikálie, které jsou nazývány aditiva a dávají výslednému polymeru lepší vlastnosti pro použití. Existuje mnoho chemikálií, které se přidávají, aby výsledný polymer získal specifické chemické a fyzikální vlastnosti. Například přidáním, antistatického činidla, které má speciální vlastnost snižující výskyt statického náboje a snižuje tak riziko jeho přenosu na výrobek, např. elektronickou součástku, kterou by tento náboj mohl poškodit. Dále jsou do plastů přidávány různé látky jako plniva, činidla, retardéry hoření, maziva, pigmenty, změkčovadla a stabilizátory atd. Polymery lze také klasifikovat jako plasty nebo elastomery. Důvod pro to souvisí s tím, jak jsou atomy v molekule spojeny dohromady. Na základě makromolekulární struktury a teploty závislé na fyzické struktuře jsou plasty rozděleny do kategorií jako termoplasty a reaktoplasty. Tato kategorizace je také založena na chemické struktuře a reakci pro tvorbu vlastností výsledné molekuly polymerní složky. [5]



Obr. 4 Základní rozdělení polymerů [6]

1.1 Plasty

Na samém začátku se předpokládá, že se plasty vyvinuly kolem roku 1860, při pokusu o materiální náhradu přírodní slonoviny. Když je slovo plasty doslova pochopeno, pochází z řeckého slova *Plasticos*, což znamená, možnost tvarování teplem. Plasty jsou obecně definovány jako jakýkoli materiál sestávající z velmi velkých molekul, které se vyznačují nízkou hmotností, vysokou odolností proti korozi, vysokým poměrem pevnosti k hmotnosti a nízkou teplotou tání. Plasty poskytují mnoho jedinečných výhod při navrhování produktů. Z hlediska nákladů nabízejí plasty nejen nízké náklady na jednotku objemu materiálu, ale také nízké výrobní a montážní náklady díky své schopnosti snadno se tvarovat. V závislosti na účelu podle kterého jsou navrženy a v různých složeních jsou kategorizovány hlavně jako termoplasty a reaktoplasty. Plasty se vyznačují schopností materiálu, který lze přetvářet a měnit na požadovaný produkt za použití různých metod výroby průmyslových plastů, jako je například jejich opětovné formování. Tyto plasty se vyrábějí polymerizací průmyslovým výrobním procesem. [7]

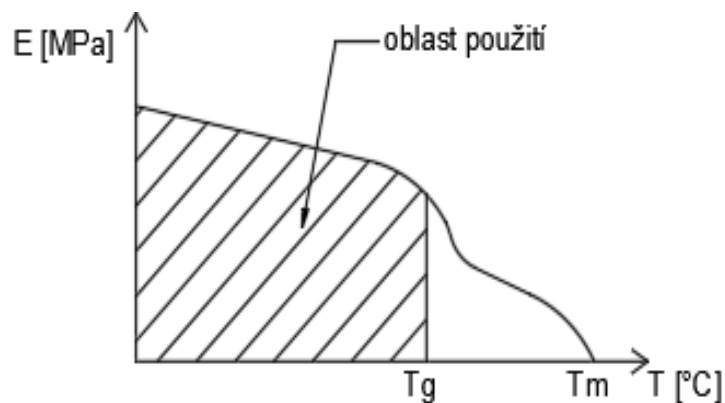
1.1.1 Reaktoplasty

Hlavní vlastností, která odlišuje reaktoplasty od termoplastů, je přítomnost síťově propojené struktury. Reaktoplasty se vytvrzují, což je nevratná chemická reakce, která obvykle probíhá za tepla. Zesíťování, ke kterému dochází při vytvrzovací reakci, je způsobeno spojením atomů mezi nebo přes dva lineární polymery. Dlouhodobé zahřívání vede k degradaci. Obecně platí, že neplněné reaktoplasty bývají tvrdší, křehčí, ale nemají takovou tvrdost jako termoplasty. Je tedy běžnou praxí přidávat do reaktoplastů plniva. Reaktoplasty nelze znovu zpracovat a nemůžou být přetaveny nebo obnoveny do tekutého stavu, který existoval před vytvrzením. Výsledný reaktoplast má vysokou hustotu a nízkou tažnost, ale dobrou tuhost a chemickou odolnost. Hlavní reaktoplasty zahrnují epoxidy, polyestery a polymery na bázi formaldehydu. [2], [8]

1.1.2 Termoplasty

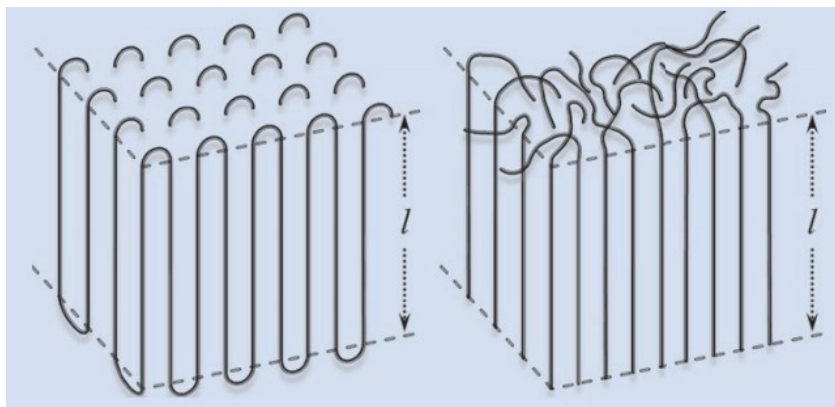
Termoplasty se od reaktoplastů liší tím, že se nevytvřují a nemění se jejich chemická struktura. Termoplasty při zahřátí do tekutého stavu pouze změknu nebo se roztaví a lze z nich vytvarovat různé předměty daným procesem, například jako je vstřikování nebo vytlačování. Po ochlazení termoplasty ztvrdnou a drží svůj tvar. Termoplasty mohou být opakovaně roztaveny a tvarovány teplem. Vlivem cyklického zpracování dochází

k tepelnému stárnutí při opakovanému vystavení vysokým teplotám požadovaným pro tavení a tím se omezuje počet cyklů opětovného ohřevu. Termoplasty jsou rozdělovány na amorfnní a semikrystalické termoplasty. Většina polymerů je buď zcela amorfnní, nebo má amorfnní složku, jako součást semikrystalického polymeru. Mnoho mechanických a fyzikálních vlastností plastů souvisí s jejich strukturou. Amorfnní polymery mají řetězce, které nejsou schopné pravidelného uspořádání. Tyto polymery vytvářejí amorfnní sklovitou pevnou látku, ve které jsou uspořádány molekulární řetězce náhodně a dokonce můžou být i zapleteny. Amorfnní polymery jsou tvrdé s vysokou pevností, modulem pružnosti, jsou transparentní a mají větší rozměrovou stabilitu v širokém teplotním rozsahu. Oblast použití se nachází pod definovanou teplotou, která se označuje jako teplota skelného přechodu T_g . Mechanické vlastnosti vykazují velké změny poblíž teploty skelného přechodu. Nad T_g se amorfnní polymer stává měkkým a lze jej tvarovat. [3]



Obr. 5 Oblast použití amorfnních polymerů [10]

Semikrystalické polymery mají významnou teplotu tání krystalů T_m , která je nad jejich teplotou skelného přechodu. Stupeň krystalinity a morfologie krystalu mají významný vliv na mechanické vlastnosti. Rozsah krystalizace polymerních molekul závisí na jejich strukturách a na velikosti sekundárních vazeb mezi polymerovými řetězci: čím větší je strukturální pravidelnost a symetrie polymerové molekuly a čím silnější jsou sekundární síly, tím větší je tendence ke krystalizaci. Semikrystalické termoplasty se stávají méně tuhé nad jejich teplotou skelného přechodu, ale nepotečou, dokud teplota není nad T_m . U semikrystalických polymerů rentgenem a elektronovou mikroskopií bylo ukázáno, že krystaly jsou tvořeny lamelami obvykle o tloušťce méně než 100 nm. Tyto lamely jsou vytvořeny pravidelným uspořádáním polymerních řetězců a to je činí hustšími, tužšími a silnějšími. [2]



Obr. 6 Lamelový model pro krystalizaci polymeru [11]

Po ochlazení se nikdy nevyrobí 100% krystalický materiál, protože polymerní řetězce jsou zapletené v roztaveném stavu. Tedy v částečně krystalických polymerech jsou vždy přítomny jak krystalické domény, tak amorfnní domény. Semikrystalické polymery mají také lepší inherentní adhezivní vlastnost, chemickou odolnost a během formování se budou více zmenšovat, což je nazváno smrštění a také budou mít větší tendenci k deformaci. [2], [3]



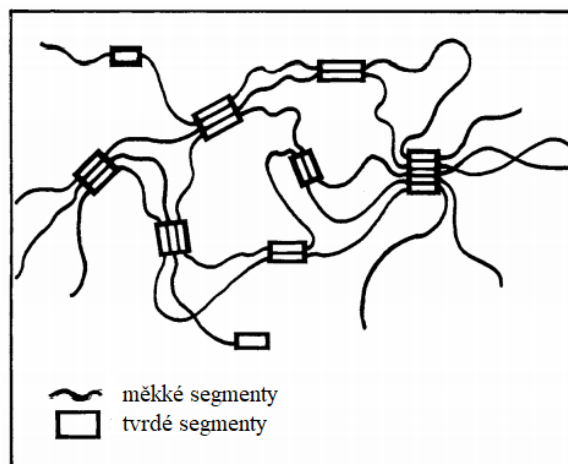
Obr. 7 Amorfnní a semikrystalická struktura [12]

Polyethylenové plasty jsou lehké, semikrystalické termoplasty, které jsou vyráběny polymerací ethylenu. V závislosti na teplotě, tlaku, katalyzátoru a použitím komonomeru lze vyrobit tři základní typy polyethylenu: vysoko-husototní polyethylen (HDPE), nízkohusototní polyethylén (LDPE) a lineární nízkohusototní polyethylén (LLDPE). LDPE a LLDPE obsahují rozvětvení, které vede ke snížení krystalinity a nižší hustotě. Většina vlastností PE závisí na jejich hustotě a molekulové hmotnosti. HDPE tedy vykazuje větší tuhost, zlepšenou tepelnou odolnost a zvýšenou odolnost proti propustnosti než LDPE a LLDPE. Hlavní použití HDPE je při procesu vyfukování, kdy vyrábíme nádoby, nebo lahve

pro mléko, vodu, nemrznoucí směs, kanystry a spousta dalších. LDPE / LLDPE nacházejí hlavní použití ve výrobě folii pro balení potravin. [8]

Polystyren (PS) je amorfní polymer vykazující vysokou tuhost, dobrou rozměrovou stabilitu a vynikající elektrické izolační vlastnosti. Při nárazu je však křehký a má velmi špatnou odolnost vůči povrchově aktivním látkám a rozpouštědlům. Typický je pěnový polystyren, který se vyrábí z expandovatelných styrenových kuliček, které obsahují nadouvadlo. Při zahřátí se nadouvadlo odpaří a polystyren se rozšiřuje a tvoří pěnu s nízkou hustotou. Hustota pěny je řízena množstvím nadouvadla. Pěnový polystyren se vyznačuje nízkou tepelnou vodivostí, vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, nízká absorpce vody a vynikající absorpce energie. Použití ve výrobě hraček, displejů, izolací a obalových materiálů. [13]

Termoplastické elastomery jsou polymerní materiály, které vykazují elastické vlastnosti, ale mohou být zpracovány a recyklovány jako běžné termoplasty. Termoplastické elastomery obsahují ve své struktuře měkké a tvrdé segmenty. Struktura termoplastických elastomerů je založena na blokovém kopolymeru, jeden blok se skládá z relativně dlouhého, flexibilního polymerní řetězce (měkký segment), zatímco druhý blok je složen z tuhých polymerních molekul (tvrdý segment). Prakticky všechny termoplastické elastomery se skládají ze dvou polymerních fází, tuhé termoplastické fáze a měkké elastomerní fáze. Tvrdá fáze dodává termoplastickým elastomerům jejich pevnost za vzniku příčných vazeb. Na druhé straně poskytuje elastomerní fáze polymeru pružnost. Pokud se tvrdá fáze roztaví nebo rozpustí v rozpouštědle, materiál může téct a lze jej obvyklým způsobem zpracovat. Vlastnosti výsledného termoplastického elastomeru jsou odvozeny z vlastností každé ze dvou fází a jejich vzájemné interakce. Zpracovatelské vlastnosti závisí na teplotě tání (T_m) tvrdé termoplastické fáze a teplotě skelného přechodu (T_g) měkké elastomerní fáze. Tyto dvě teploty určují body, ve kterých konkrétní elastomer prochází změnami jeho fyzikálních vlastností. Při zvyšování teploty mohou být pozorovány tři odlišné oblasti: 1. Při velmi nízkých teplotách, tj. pod teplotou skelného přechodu T_g elastomerní fáze jsou obě fáze tvrdé, takže materiál je tuhý a křehký. 2. Nad T_g elastomerní fáze dochází k změknutí a materiál je elastický. 3. Jak teplota stoupá, modul pružnosti zůstává relativně konstantní až do bodu, kdy tvrdá fáze změkne nebo se roztaví. Teplotní rozsah pro termoplastické elastomery, kdy má materiál elastomerní vlastnosti jsou mezi T_m a T_g . Výrobky ze termoplastických elastomerů lze vyrábět vstřikováním, vyfukováním a vytlačováním. [2], [13]



Obr. 8 Struktura termoplastických elastomerů [2]

1.2 Elastomery

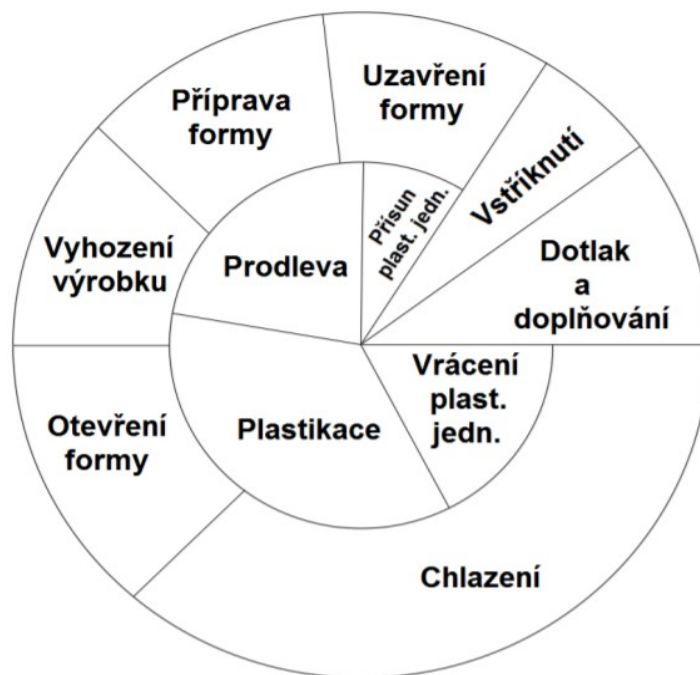
Kaučuky jsou polymery, které lze zesíťováním převést na elastomer neboli pryž. Kaučuky mohou být přírodní nebo syntetické (surovinovou základnou je ropa). Kaučuky se skládají z molekul podobných dlouhému řetězci. Tyto řetězce jsou svinuty a zkrouceny náhodným způsobem a mají dostatečnou flexibilitu, aby materiál mohl projít velmi velkými deformacemi. Kaučuk v syrovém stavu by se nemohl plně zotavit z velkých deformací, protože molekuly by prošly nevratným klouzáním kolem sebe. Aby se zabránilo tomuto sklouznutí, molekuly jsou ukotveny k sobě vulkanizačním procesem. Tedy molekuly jsou zesíťovány podobným způsobem jako u reaktoplastů. Tato vazba nemění náhodné dispozice molekul ani jejich stočenou a zkroucenou polohu, takže při deformaci pryže se molekuly protahují a odmotávají, ale neklouzají. Když je tedy aplikovaná síla odstraněna, pryž se vrátí zpět do původního tvaru. Vulkanizované kaučuky mají řadu velmi žádoucích vlastností, jako pružnost při nízkých teplotách, odolnost vůči olejům, tukům, ozónu, kyselinám a zásadám. Vyžadují však opatrnost a pomalé zpracování a spotřebovávají značné množství energie k usnadnění formování a vulkanizace. [5]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Skupina polymerů je mimořádně velká a rozmanitá, existují však některé poměrně široké a základní postupy, kterými se lze řídit při navrhování a výrobě produktů z polymerů nebo také polymerů smíchaných s jinými složkami. Tyto procesy se liší v závislosti na tom, zda materiál je termoplast nebo reaktoplast. Obvyklou sekvencí zpracování termoplastu je ohřívat materiál tak, aby došlo k jeho změkčení, tečení a bylo možné materiál tvarovat do požadovaného tvaru. Konstrukce dílu často závisí na zvolené metodě zpracování k výrobě součásti. Vstřikování je klíčovým procesem v polymerním zpracovatelském průmyslu. Tato technologie je úsporná a efektivní pro výrobu široké škály polymerních dílů pro různé odvětví průmyslu, zemědělství, elektrotechniky a domácích potřeb. Jedná se o typický cyklický proces, při kterém dochází k plnění, tvarování a chlazení. Ke vstřikování může být použit k formování jak termoplastický nebo reaktoplastický materiál, tak i jiné materiály, jako je tekutý silikonový kaučuk (LSR) a kovový prášek. Základní konstrukce stroje se bude lišit v závislosti na tom, který z těchto specifických typů materiálu je použit, ale základní principy vstřikování, formy, odstranění tvarované součásti zůstávají stejné. Vstřikovací proces neboli cyklus je uskutečňován na vstřikovacím stroji. Je to proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem přesně upřesněných postupných fází, které se svým působením podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Pořadí postupných fází vstřikovacího cyklu je následující:

1. Příprava formy (forma se vytemperuje na potřebnou teplotu, vloží zálisky, závitové jádra apod.).
2. Uzavření formy (z hlediska výrobního času vstřikovacího cyklu by mělo být co nejrychlejší a zároveň nejplynulejší, aby nedošlo k poškození vstřikovací formy).
3. Přísun plastikační jednotky.
4. Plnění tvarové dutiny (jedná se o velmi krátký časový úsek, aby nedošlo k zatuhnutí čela taveniny, protože je tavenina ve styku s chlazenou formou a ztrácí tekutost).
5. Dotlak (kompenzuje zmenšování objemu výrobku během chládnutí ve formě).
6. Plastikace (úkolem je nadávkování potřebného stejnoměrného množství taveniny pro další výrobní cyklus).

7. Odsunutí plastikační jednotky.
8. Chlazení (dochází ke chládnutí taveniny v dutině formy, protože materiál musí být v tuhém stavu pro lepší vyhození z formy, je to nejdelší fáze vstřikovacího cyklu).
9. Otevření formy (vyhození výstřiku z formy). [10], [14]



Obr. 9 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu [15]

Zdaleka nejrozšířenějšími materiály pro vstřikování jsou termoplasty. Materiály jako vysokohustotní polyethylen (HDPE), nízkohustotní polyethylen (LDPE), polypropylen (PP) a polyamid (PA) jsou nejrozšířenějšími materiály v tomto procesu pro výrobu velkoobjemového spotřebního zboží, jako například uzávěry lahví, krytky, boxy a víčka. Jednou z největších předností technologie vstřikování je schopnost integrovat další procesy do výrobního cyklu vstřikování a vytvořit tak složitější součást. Jako častý příklad je rukojeť šroubováku. Proces zahrnuje robotické umístění předvýrobní kovové část mezi jednotlivými cykly před vstříknutím plastové rukojeti a jejím smrštěním. Výsledkem je výrobek obsahující kov i plast. [10], [14], [16]

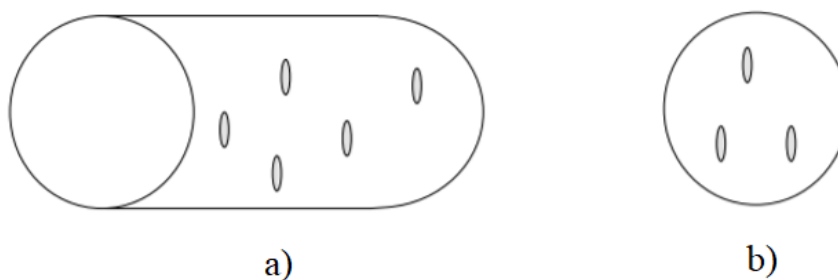
2.1 Přípravné zpracovatelské procesy

Před technologickým procesem vstřikování se zvažují různé zpracovatelské procesy a postupy. První z nich, který musí být brán v úvahu je způsob, jakým je materiál dodáván a

skladován, před použitím. Mezi další procesy patří sušení nebo přidávání různých přísad do plastů. Dalším krokem je určit, jak bude materiál dopravován k jednotlivým vstřikovacím strojům, ale také zde patří recyklace. [12]

2.1.1 Sušení

Chemická struktura konkrétního polymeru určuje, zda bude absorbovat vlhkost. Polymery, které mají nepolární chemické struktury (např. polystyren, polyethylen a polypropylen) jsou nehygroskopické a nemůžou absorbovat vlhkost. Naopak u polymerů, které mají složitější chemii jako polykarbonát, polykarbonátové směsi, akrylonitril-butadien-styren (ABS) terpolymery, polyestery, termoplastické polyurethany a nylon jsou hygroskopické a můžou absorbovat vlhkost. Jak je znázorněno na Obr. 10 vlhkost může být buď vnější (povrch pelety), nebo vnitřní (uvnitř pelety). [17]



Obr. 10 a) vnější vlhkost, b) vnitřní vlhkost [12]

Účinek, který má voda na tvarovaný díl je, že jsou na něm vytvořeny nedokonalosti povrchu, protože bubliny vznikající při varu vlhkosti jsou zachycovány v polymeru, ochlazeny a zatuhnou ve formě. Tím se můžou vytvořit například stříbrné pruhy na výrobku. V některých případech, jako u materiálů na bázi polykarbonátu a nylonu, může docházet k degradaci, protože voda reaguje s polymerem za účelem snížení jeho fyzikálních a mechanických vlastností. Další účinek má za následek obrácení polymerní reakce v polymeru, což vede ke štěpení řetězce nebo depolymeraci. Kritickým faktorem při sušení plastových materiálů je odstranění vlhkosti nejen z vnější povrchu pelety, ale také z vnitřku pelety. Sušení je uskutečňováno v palstikačních jednotkách strojů, ve kterých je zabudováno odplynění nebo v samostatných sušících zařízeních. V plastikačních jednotkách strojů při vysokém parciální tlaku vodních par s odplyněním od 190 do 350 °C. V sušících zařízeních při nízkém parciálním tlaku vodních par je od 70 do 120 °C. [17]

2.1.2 Míchání a příprava směsi

Technologie míchání je založena na smíchání základního polymeru s přísadami, které dodávají výslednému plastru lepší vlastnosti (stabilizátory, plniva, změkčovadla, barviva atd.) nebo zlepšení zpracování (maziva). Pokud se polymery vyrábí polyreakcemi, tak míchání není žádný problém. Míchání se obecně rozumí proces, kdy dojde k smíchání dvou nebo více složek v míchacím prostoru určitého zařízení, tak aby bylo dosaženo požadovaného stupně homogenity (opak. heterogenní – různorodý). K vyvození směšovacího pohybu může být použito mechanických prostředků (míchadel) nebo proudění vzduchu (pneumatické míchání), případně proudění kapalin (hydraulické míchání). Finální stupeň homogenity bývá dosažen většinou až v následných operacích, jako je vstřikování, válcování, vytlačování apod. Míchání se aplikuje u různých stavů polymerů (taveniny, kapaliny, prášky, granule, atd.) Podle odporu, který kladou promíchávané částice může být rozděleno na míchání s nepatrným odporem proti posunutí a na míchání s velkým odporem proti posunutí, které je dále rozděleno na intenzivní míchání u kterého stupeň homogenity závisí na stupni smykového namáhání. Hmota se nachází ve změkklém stavu hnětení nebo také plastikace, při které se používají stroje označované jako hnětiče. Dalším je extenzivní míchání, kde stupeň homogenity závisí na stupni tečení nebo na vytváření nového povrchu, u kterého jsou používány míchačky. [17]

2.1.3 Doprava materiálu

Z chemických závodů je materiál dodáván ve formě granulí, balíčků, prášků, pasty a kapalin. Hlavním úkolem dopravy materiálu je dodání surovin až do zpracovatelského zařízení. Nejčastěji se do výrobních závodů dodává výchozí surovina v pytlích, které váží okolo 20 nebo 25 kg, ale mohou být i velké pytle a boxy o váze až 500 – 1000 kg. Dalším způsobem dodávání výchozí suroviny je buď v oktábínech nebo cisternách. Ve velkých firmách je velká spotřeba a používají se venkovní sila, do kterých je možné uskladnit až kolem 20 tun surovin. Venkovní sila jsou plněna cisternami. Naopak v menších firmách, kde ta spotřeba není tak velká se používají většinou pytle. Velké firmy přistupují k vnitřní dopravě granulátu a práškových surovin pomocí pneumatických dopravních systémů, kterými jsou dopravovány do sil a odtud do zásobníků. Zásobníky jsou vybaveny kontrolním zařízením na množství materiálu. Podle typu materiálu, množství dopravovaného materiálu, horizontální a vertikální vzdálenosti dopravy a dalších požadavcích na úpravu (barvení, sušení, přidávání regenerátu) se volí dopravní zařízení. Pneumatická doprava používá tři systémy: vakuové, tlakové anebo jejich kombinace. [12], [17],

2.1.4 Recyklace

Ačkoli plastikářský průmysl praktikoval recyklaci po mnoho let, pozornost byla zaměřena hlavně na recyklace průmyslového odpadu a homogenních plastů pro spotřebitele, které lze snadno sbírat a zpracovat. Podle druhu výrobku získaného procesem recyklace a procentního podílu využití ekonomické hodnoty byla provedena následující široká klasifikace recyklačních technologií pro pevné odpadní plasty:

Primární recyklace je proces, který se týká přepracování odpadních plastů (jako je šrot, průmyslové odpady, části vytvořené jako vedlejší produkty zpracování nebo výroby) na stejné nebo podobné typy výrobků, z nichž byl vyroben. Tato definice se sice běžně vztahuje na samotnou zpracovatelskou linku. Příkladem primární recyklace se rovněž považuje vstřikování z vadných nebo nespecifikovaných výrobků, které byly rozemlety a opětovně zavedeny do recyklační smyčky nebo do konečných fází výroby. Primární recyklace se používá, pokud je plastový odpad rovnoměrný a nekontaminovaný a může být jako takový zpracován. Pouze termoplastický odpad lze přímo přepracovat.

Sekundární recyklace je známá jako mechanická recyklace, protože se nejedná o žádnou chemickou změnu polymeru. Proces se týká mechanického a nechemického zpracování odpadních plastů (obecně zmenšené velikosti, jako jsou pelety, granule nebo prášky, v závislosti na zdroji, tvaru a použitelnosti) na výrobky s méně náročnými vlastnostmi. Řada plastových výrobků, které se nacházejí v našem každodenním životě, pochází z mechanické recyklace, jako jsou nákupní tašky, trubky, okapy, okenní a dveřní profily, okenice a rolety atd

Terciární recyklace je proces, známý také jako chemická recyklace, protože k ní dochází změnou chemické struktury polymeru. Proces chemické recyklace je založen na principu chemické přeměny polymerního řetězce na základní molekuly monomerů nebo jiných uhlovodíkových produktů. Postupy terciární recyklace nabízejí alternativy pro využití kombinovaných (heterogenních) plastů s omezeným využitím zpracování chemickými cestami na rozdíl od výše popsaných cest termochemického zpracování. Tyto chemické cesty lze shrnout následujícími technologiemi: (hydrolyza (PA-6, PU), glykolýza (PET), amonolýza (PET), methanolýza (PET) a štěpení kyselin (PA-6).

Kvartární recyklace se označuje také jako recyklace energetického využití a označuje využití energie z odpadních plastů spalováním za účelem výroby energie ve formě tepla, páry a elektřiny. Za rozumný způsob nakládání s odpady se považuje pouze tehdy, když procesy materiálového využití selžou kvůli ekonomickým omezením. [18]

2.2 Vstřikovací stroj

Účelem vstřikovacího stroje je poskytnout přesnou a kontrolovanou dávku polymerového materiálu při dostatečné rychlosti vstřikování a zároveň vyvinout dostatečnou uzavírací sílu na vstřikovací formu, aby se zabránilo otevření formy pod tlakem vstřiku. Aby materiál protékal, musí být homogenní a roztavený. Pro tyto účely lze konstrukci stroje specificky rozdělit na čtyři části. Uzavírací jednotka, která otvírá a zavírá formu. Vstřikovací jednotka, která připravuje a dodává roztavený materiál do nástroje. Tyto jednotlivé jednotky jsou hodnoceny samostatně a spolu se základnou stroje s hydraulickou jednotkou a elektrickým napájením, řídicí jednotky a skříně tvoří základy vstřikovacího stroje. Základna stroje obsahuje celý vstřikovací systém a dává celkovou velikost, kterou jednotlivý vstřikovací stroj vyžaduje z hlediska fyzického prostoru pro provoz. Řídicí jednotka umožňuje, jak důkladné řízení systému, tak obsluhu, která programuje a monitoruje výrobní provoz. Uzavírací jednotka je nutná k vytvoření dostatečné uzavírací síly, která při procesu vstřikování udrží formu zavřenou. Elektrický stroj poháněný elektrickým napájecím systémem umožňuje rychlejší cyklické a výrobní výstupy, které jsou běžné v obalovém průmyslu. [16]



Obr. 11 Vstřikovací stroj od firmy Arburg [16]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní následující funkce jako je roztavení polymeru, dávkování a vstříknutí nastaveného objemu materiálu za vysokého tlaku do vstřikovací formy. Skládá se z několika odlišných částí: násypka tvoří vstupní část na kterou navazuje tavící komora, která je ukončena tryskou, dosedající těsně na vtokovou vložku vstřikovací formy. Přes trysku proudí tavenina do formy. Tavící komora je obklopena topnými pásy a uvnitř je umístěn šnek. Existuje řada parametrů vstřikování, které se vztahují k činnosti vstřikovací jednotky.

Mezi ně patří nastavení teploty taveniny, správného objemu materiálu, nastavení rychlosti vstřikování a rychlosti míchání šneku. [16]



Obr. 12 Kompletní vstřikovací jednotka [16]

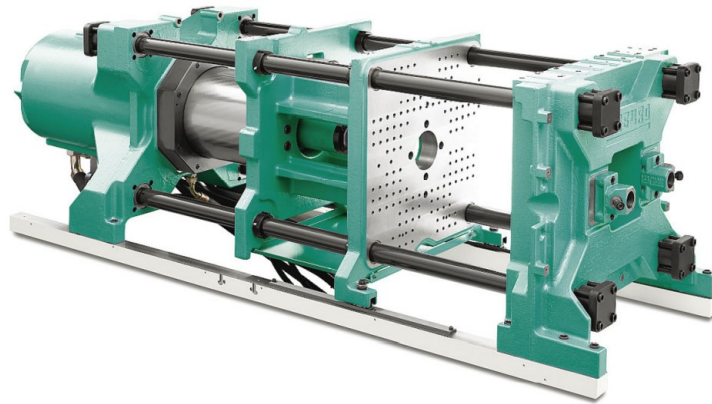
2.2.2 Řídicí jednotka

U moderních vstřikovacích strojů je provoz stroje řízen počítačem. Celý systém obsahuje mikroprocesory, což umožňuje i automatickou optimalizaci procesu v průběhu vstřikování. Součástí řídicí jednotky je obrazovka pro monitorování výrobního provozu a ovládací panel pro zadávání dat do procesoru. Při výměně formy například za podmínek hromadné výroby je nutné stanovit a uložit nová data a parametry výrobního procesu do paměti počítače řídicí jednotky. [16]

2.2.3 Uzavírací jednotka

Uzávřecí jednotka uzavírá formu a drží ji zavřenou pod tlakem během vstřikování roztaveného materiálu a chlazení. Další funkcí je otevírání formy, aby bylo možné vysunutí součástí. Vstřikování je vysokotlaký proces, a proto jsou ve srovnání s jinými procesy výroby termoplastů vyžadovány velmi vysoké uzavírací síly. Požadovaná uzavírací síla souvisí s velikostí ploch vstřikovaného dílu. Větší plochy vyžadují větší uzavírací sílu. Proto jsou pro výrobu větších dílů zapotřebí větší uzavírací síly a tím i větší uzavírací jednotky pro generování těchto sil. Rychlost pohybu uzavírací jednotky může ovlivnit celkový objem výroby a účinnost. Větší rychlosti pohybu lze dosáhnout elektrickými uzavíracími jednotkami, a proto pro velmi vysoký objem a rychlou výrobu může být za určitých okolností výhodná elektrická uzavírací jednotka. Volba mezi hydraulickými nebo elektrickými stroji

je však často dána celou řadou dalších důvodů, jako je energetická účinnost a finanční možnosti. [16]



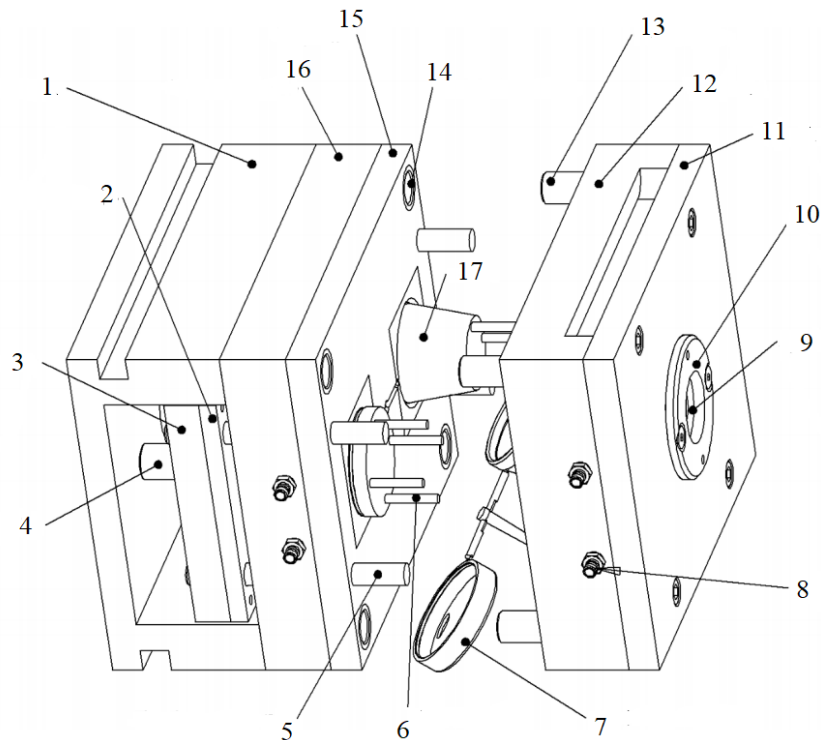
Obr. 13 Hydraulická uzavírací jednotka [16]

2.3 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma je složitý systém, který musí současně splňovat spoustu požadavků kladené procesem vstřikování. Vstřikovací forma je nástroj, který provádí několik důležitých funkcí. První funkcí formy je vedení horkého roztaveného materiálu ze vstřikovací jednotky do dutiny formy tak, aby mohla být dutina zcela vyplněna a vytvořila plastový díl, jehož výsledný tvar kopíruje dutinu formy. Druhou funkcí formy je efektivní přenos tepla z horké polymerní taveniny do temperačního média protékající formou, takže je možné vyrábět tvarované výrobky co nejrovnoměrněji a nejrychleji. Třetí funkcí formy je účinné a konzistentní vysunutí části z formy bez nadměrného namáhání, tedy bez zanechání stop nebo poškození. Návrh formy a celková výroba do značné míry určují kvalitu dílu a jeho výrobní náklady. Vstřikovací forma je obvykle popsána řadou kritérii: [19]

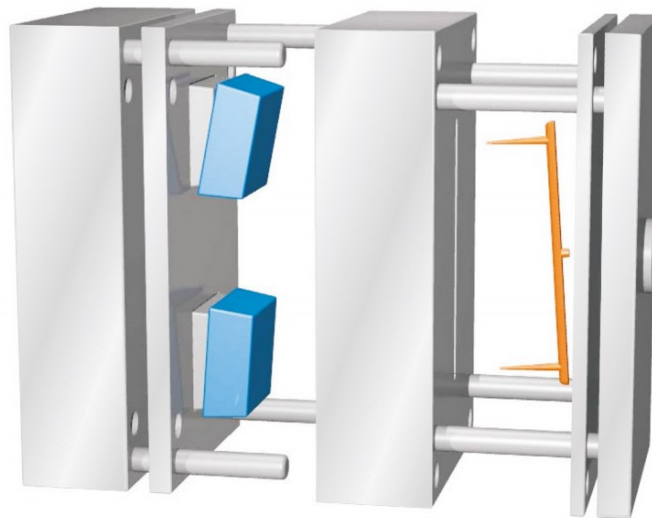
1. počtu dutin ve formě
2. konstrukční materiál, např. ocel, nerez, kalená ocel, beryliová měď, chromovaný hliník
3. dělicí rovina, např. jedna dělicí rovina, více dělicích rovin, dvoudesková a třídesková forma
4. způsob výroby, např. třískové obrábění, elektroerozivní obrábění, a galvanické pokovování
5. vtokový systém, např. horký nebo studený
6. typ vtoku, např. plný kuželový vtok, bodový, tunelový, boční, filmový

7. vyhazovací systém, např. pomocí kolíků nebo stírací desky [19]



Obr. 14 Dvoudesková forma: 1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – přidržovací vyhazovací deska, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – táhlo, 5 – vyhazovací čep, 6 – vyhazovací kolík, 7 – vstřikovaný dílec, 8 – náustek, 9 – vtoková vložka, 10 – středící kroužek, 11 – upínací deska pravé části, 12 – kotevní deska pravá, 13 – vodící čep, 14 – vodící pouzdro, 15 – kotevní deska levá, 16 – opěrná deska, [19]

Forma musí být schopna zvládat teploty, aby byla dodržena dobrá rozměrová stabilita a byl splněn dobrý povrchový vzhled konečného výrobku. Temperační kanály ve formě musí být dimenzovány a umístěny tak, aby bylo dosaženo stejnoměrného teplotního pole formy. Temperační média se používají různé, nejčastěji však olej nebo voda. Podle konstrukčního provedení je forma nejběžněji dvoudesková nebo třidesková. U dvoudeskové formy je jedna strana stacionární, tedy nedochází k pohybu během procesu vstřikování. Tato strana obsahuje vtok od vstřikovací jednotky k dutině pro roztavený materiál. Druhá strana obsahuje tvar dutiny a vykonává pohyby jako je otevření a zavření formy, aby bylo umožněno vysunutí součásti. Obsahuje také vyhazovací systém. Rozhraní, kde se obě desky setkávají, se nazývá dělicí rovina. Konstrukce třideskové formy obsahuje třetí, pohyblivou desku, která obsahuje dutinu, a umožňuje tak středové nebo ofsetové osazení každé dutiny pro formu s více dutinami. Když je forma otevřena, poskytuje dva otvory, jeden pro vysunutí formované části a druhý pro odstranění vtokové soustavy. [19]



Obr. 15 Třidesková forma [19]

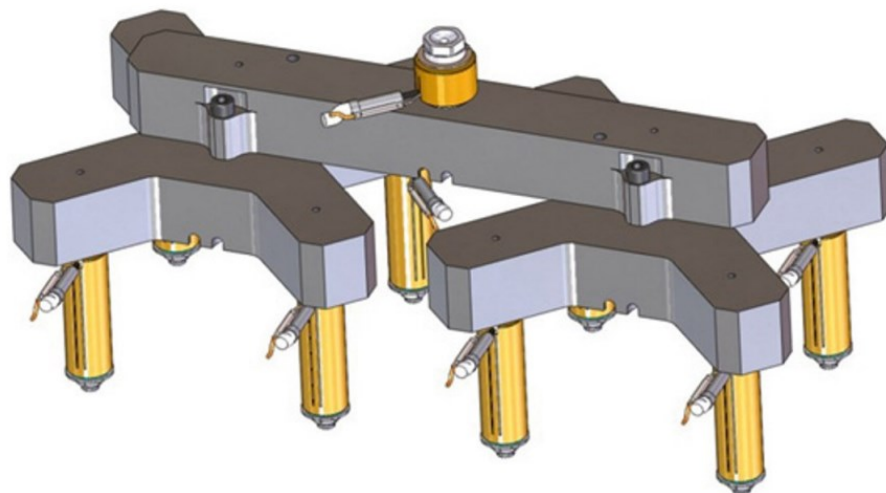
Díl, který obsahuje závity a složité boční tvary, vyžaduje instalaci čelistí nebo závitových trnů ve formě. K ovládní čelistí mohou být na formu namontovány hydraulické válce. Další možností je přidání šikmého válcového kolíku, kterým budou čelisti vykonávat pohyb při otevření a zavření formy. Použití více dutin ve formě umožňuje větší množství vyrobených dílů za jeden vstřikovací cyklus. Větší složitost formy však také výrazně zvyšuje výrobní náklady. Ve formě s jednou dutinou je limitujícím faktorem doba ochlazení, ale s větším počtem dutin ve formě bývá limitujícím faktorem plastikace, tedy kapacita stroje. Doba cyklu se proto nezvyšuje s počtem dutin. Optimální počet dutin ve formě závisí na faktorech, jako je složitost dílce, velikost a typ stroje, doba cyklu a počet požadovaných dílců. [12]

2.3.1 Vtoková soustava

Vtokový systém neboli vtoková soustava mají významný vliv na kvalitu a jakost výstřiku. Je to systém kanálů a ústí vtoku, které směřují roztavený polymer a zajišťují správné naplnění dutiny formy. Existují dva obecné typy vstřikovacích forem, které jsou definovány podle typu použitého vtokového systému a to horký nebo studený.

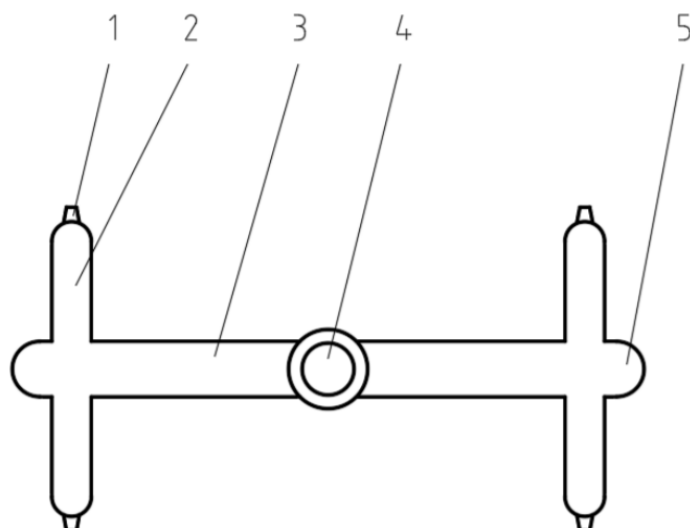
Formy s horkým vtokem zahrnují systém ohřívacích rozvodných bloků a řadu vyhřívaných trysek umístěných uvnitř formy. Rozvodný blok distribuuje roztavený plast do různých trysek, ze kterých je vstřikován do dutin. U formy s horkým vtokem je vtokový kanál uvnitř formy a během provozu je polymer neustále udržován na teplotě nad bodem tání polymeru, takže se nachází uvnitř v roztaveném stavu, dokud nedosáhne dutiny. Rztavený polymer zůstává ve formě připraven k vyplnění dutiny a vyrobení dalšího dílu. Formy s horkým

vtokem tak zcela eliminují zbytky vtoku a forma běží automaticky. Horké vtoky mají jasnou výhodu ve srovnání se studenými vtoky při vstřikování tenkostěnných dílů velkou rychlostí. Dochází ke šetření času, protože se plastifikuje a vstřikuje méně materiálu pro naplnění dutiny. Tím se, také snižuje velikost uzavírací síly a doba pro vysunutí dílu. Také se eliminuje dodatečná doba chlazení, která může být pro studený vtok vyžadována. Horké vtoky můžou v některých případech prodloužit dobu vstřikovacího cyklu, protože nejen, že přidávají teplo do formy, ale omezují umístění chladicích kanálů. Toto omezení platí zejména v oblasti dutiny, protože tryska zasahuje přímo do dutiny. Na rozdíl od studených vtoků je kvůli jejich složitosti většina horkých vtoků nakupována od společností, které se specializují na jejich design a výrobu. Výrobce forem obvykle nakupuje horké vtoky jako integrovaný systém nebo komponenty a poté je sestavuje do formy. [20]

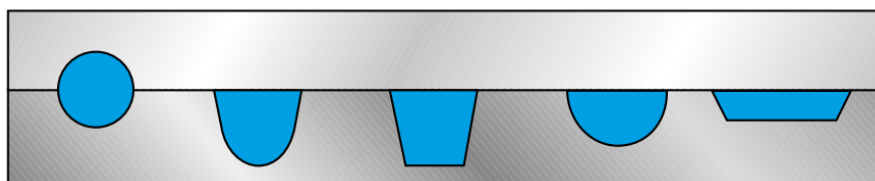


Obr. 16 Systém s horkým vtokem [19]

Formy se studeným vtokem mají dva klíčové faktory, které je třeba vzít v úvahu při navrhování vtokových systémů. První úvahou je navrhnout systém kanálů tak, aby se dostal materiálu do dutiny nejkratší cestou nejmenšího odporu, aby se vyhýbal různým ohybům a zákrutům. Nejkratší cestou znamená aby, vtoková soustava měla co nejkratší kanály a nedošlo k předčasnému zatuhnutí polymerního materiálu. Vstupní průměr vtoku by měl být větší, než je průměr kanálu trysky. Hlavní a rozváděcí kanál musí být rozložen, tak aby docházelo k vyváženému a rovnoměrnému toku taveniny. U vtokových kanálů se provádí zaoblení všech ostrých hran minimálně $R = 1 \text{ mm}$ a úkosy musí být minimálně $1,5^\circ$, pro lepší odformování. V provedení studeného vtoku se vtok začne ochlazovat, jakmile tavenina vstupuje tryskou do vtokové soustavy. [10], [20]



Obr. 17 Studený vtok 1 – ústí vtoku, 2 – rozváděcí kanál, 3 – hlavní kanál, 4 – vtokový kužel, 5 – prodloužené čelo [21]



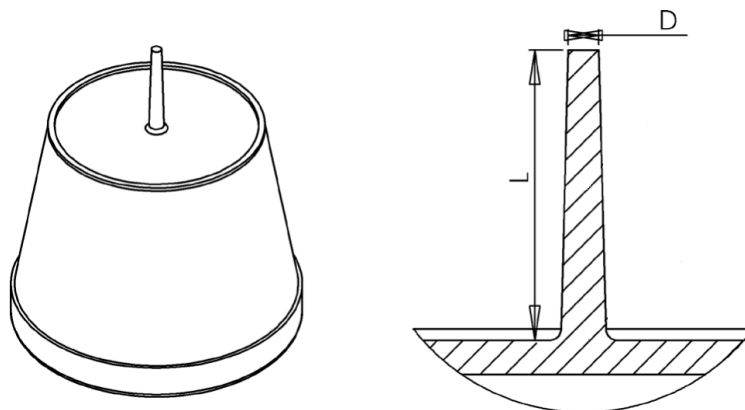
Obr. 18 Správné konstrukční řešení vtokových kanálů [19]

Ústí vtoku je posledním hlavním průchodem pro tok materiálu z válce vstřikovacího stroje do dutiny formy. Ústí vtoku řídí tok roztaveného materiálu ze systému vtokového kanálu do dutiny formy. Umístění ústí vtoku hraje důležitou roli ve funkčnosti dílu, jakou bude mít výslednou kvalitu a vlastnosti. Při výběru nebo umístění ústí vtoku na výrobku je třeba vzít v úvahu několik doporučení:

1. ústí vtoku musí být umístěno tak, aby mohly unikát plyny nahromaděné během zpracování dělicí rovinou, vyhazovacím kolíkem, porézní vložkou nebo odvětrávací plochou bez zanechání stopy po popálení nebo povrchové vady.
2. dále by mělo být umístěno tam, kde materiál může proudit do stěny, čelisti nebo jiného prvku spíše než do prázdného prostoru, aby se zabránilo tzv. jettingu neboli tryskání, ale také zatuhnutí polymeru u povrchu.
3. umístění a velikost pozůstatku (stopy) po vtokovém ústí na součásti by mělo být na místě, kde není ohrožena funkčnost součásti.

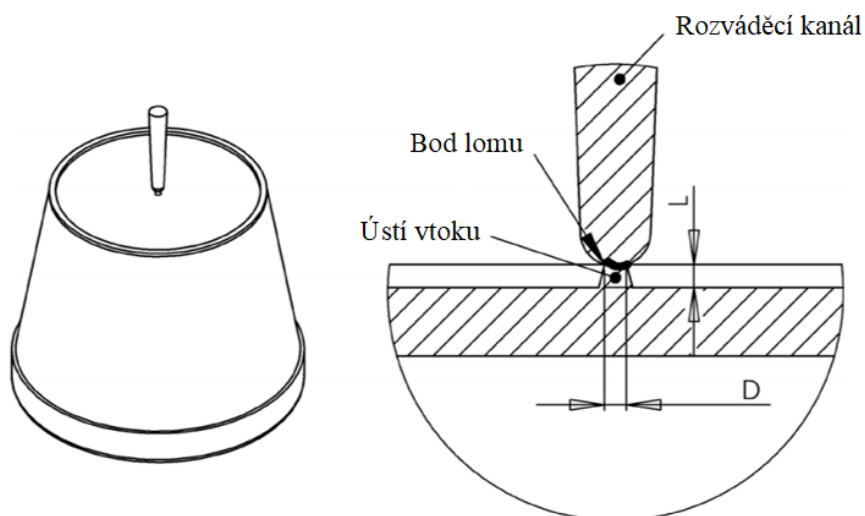
4. dalším doporučením je, aby ústí vtoku bylo umístěno do nejtlustší části dílu, aby se umožnilo proudění ze silné do tenké části, což by mohlo způsobit defekty výrobku
5. při navrhování by ústí toku mělo být umístěno, tak aby nedocházelo k obtečení např. čelistí, otvorů a tím se eliminoval počet studených spojů [12]

Pro vstřikované díly se používá celá řada typů vtoků, jako je například plný kuželový vtok, který se používá ve formách s jednou dutinou. Ústí vtoku je typicky umístěno ve středu dílu, aby umožňovalo rovnoměrný průtok. To je ideální pro mnoho válcových nebo symetrických tvarů vstřikovaných součástí, jako jsou kbelíky, vany, přilby, kelímky a součásti ve tvaru disku. Plný kuželový vtok by měl být umístěn do nejsilnější části dílu. Hlavní kanál se zužuje, aby se usnadnilo vyhazování součástky z formy. U studených vtoků je nutné vtok ručně odstranit z tvarovaného dílu po vyhození. Hlavní nevýhodou tohoto typu vtoku je, že zanechává velkou stopu na vstřikovaném dílu a vyžaduje ruční odstranění vtokového kanálu. Samotný vtok je rozhraní mezi spodní částí vtoku a horní částí dutiny. [19]



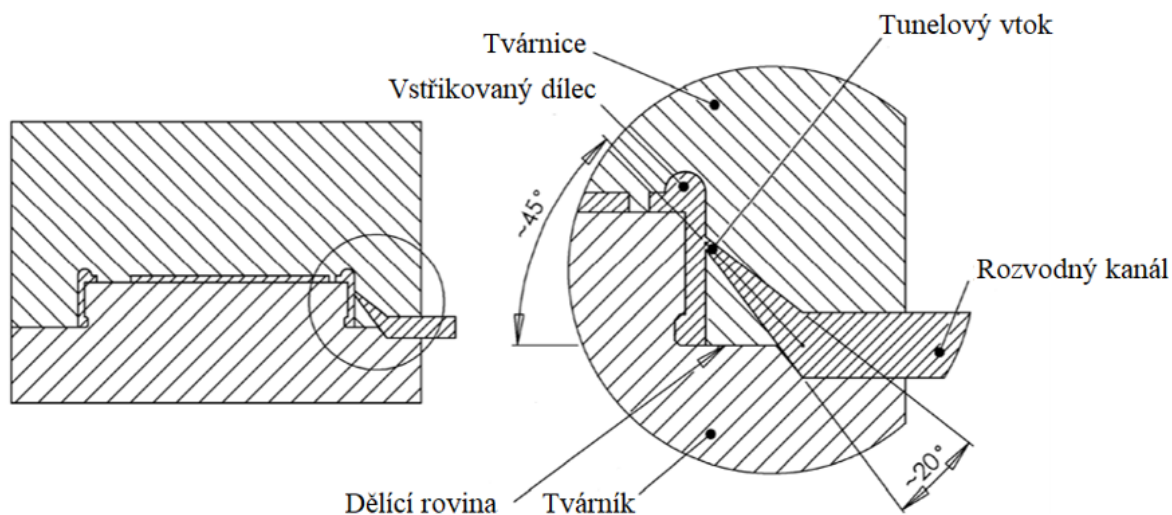
Obr. 19 Plný kuželový vtok [19]

Dalším příkladem vtoku je bodový vtok, který je běžný typ vtoku, který se používá k propojení vtoku s dutinnou formy prostřednictvím malého válcového otvoru, jak je znázorněno na Obr. 25. Bodový vtok se často používá kvůli své malé velikosti, která umožňuje snadné odstranění vtoku s minimální pozůstatkem po vtoku. Bodové vtoky jsou často používány u forem se třemi deskami, protože díky malé velikosti vtoku dochází k jeho odstranění před otevřením formy. Ve srovnání s jinými typy vtoků, však bude tok taveniny přes malý otvor mít vysoké tlakové poklesy a smykové rychlosti. Průměr bodového vtoku by měl být specifikován tak, aby byl dostatečně velký, aby se zabránilo nadměrné smykové rychlosti, a přesto dostatečně malý, aby poskytoval snadné oddělení a co nejmenší stopu. Délka bodového vtoku je přibližně stejná velikosti jeho průměru. [19]



Obr. 20 Bodový vtok [19]

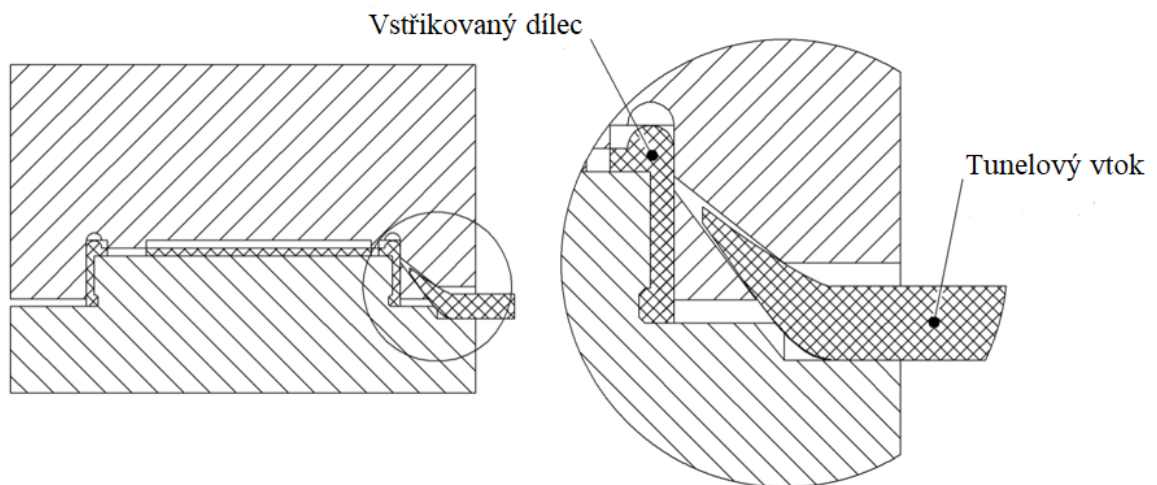
Tunelový vtok má kuželovitý tvar s nejmenším rozměrem kužele připevněný k dílu, který plní dutinu taveninou pod dělicí rovinou formy. Při vyhazování dochází ke stříhu (odtržení) od dílce. Tento typ vtoku se používá na menší a tenkostěnné díly vzhledem k jeho malé velikosti. Velkou výhodou při používání tunelového vtoku je jeho snadnost při oddělování od vstříkovaného dílce. Podobně jako u bodového vtoku je jeho velkou nevýhodou malá velikost toku, tedy se nedosahuje velké rychlosti plnění. [19]



Obr. 21 Zavřená forma s tunelovým vtokem [19]

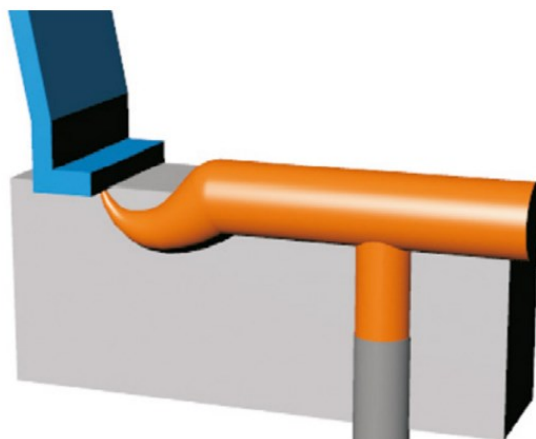
Standardní tunelové vtoky se nacházejí ve dvou variantách: krátký tunel nebo dlouhý tunel. Průměr tunelu v dutině by měl být navržen tak, aby nedocházelo k vysoké smykové rychlosti a tlakové ztrátě. Aby mohl tunelový vtok spolehlivě fungovat, existují dva velmi důležité úhly, které je třeba specifikovat. Nejprve úhel 45° by měl být udržován mezi středovou čarou

tunelového toku a dělicí rovinou. Další úhel, který musí být dodržen je úhel sklonu 20° , aby nedošlo k rozlomení a zaseknutí ve formě. [19], [20]



Obr. 22 Mírně otevřená forma s tunelovým vtokem [19]

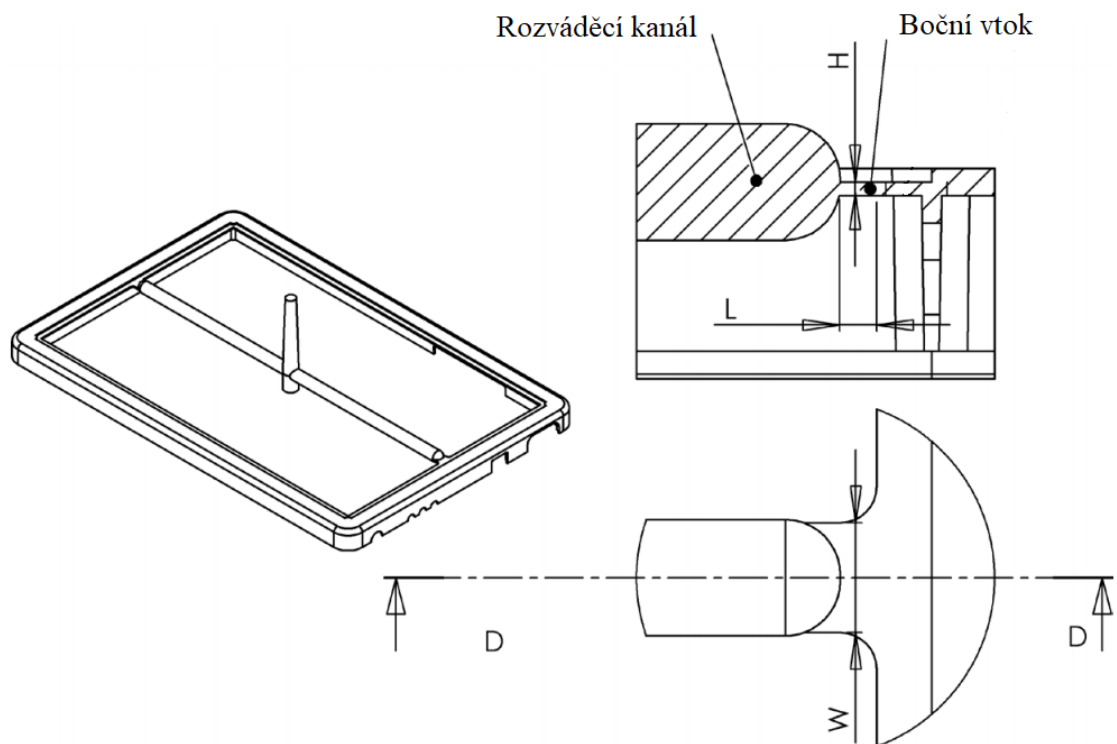
Banánový vtok je variací tunelového vtoku, s výjimkou toho, že se může dostat do oblastí, kam se nelze dostat standardním tunelovým vtokem. Důležitým aspektem je, že zakřivený tvar vyžaduje, aby materiál uvnitř vtoku prošel při vysunutí lehkou deformací. To vyžaduje, aby materiál měl v době vysunutí dobrou tvárnost. Je-li použit nepružný materiál, jeho tvárnost může být zvýšena zvětšením průřezu vtoku tak, aby se dosáhlo větší teploty a byl tedy pružnější v době vyhození. Tato metoda zvětšování průřezové plochy vtoku pracuje nejlépe s amorfními materiály, které mají široké rozmezí teploty tuhnutí.



Obr. 23 Banánový vtok [20]

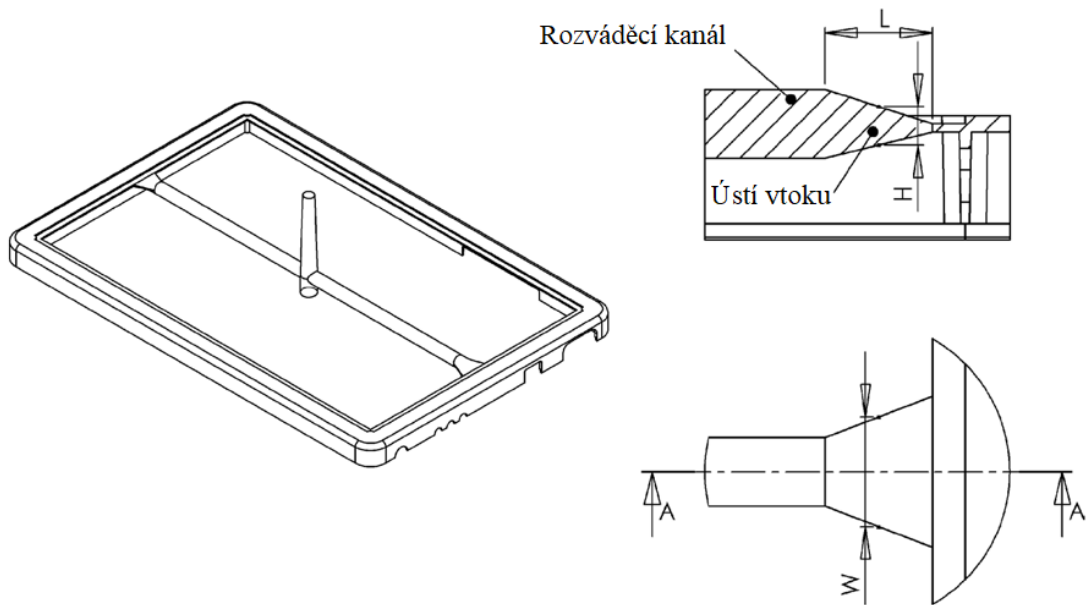
Boční vtok je nejčastěji používaný v konstrukcích velkých dílů a také tam, kde jsou použity tenké stěny u vstřikovaného dílu. Tento typ vtoku může být extrémně efektivní, pokud jde o náklady a výrobní výkon. Klíčem k jejich účinnosti je vytvoření potenciálních spojovací oblasti, kde zbytky po odstranění vtoku neovlivní estetiku ani funkčnost výsledného dílu. Příklady použití bočního vtoku jsou v krytech strojů, elektroniky a ve dveřích

automobilových přihrádek. Velkou výhodou bočního vtoku je jeho zvětšená šířka. Na rozdíl od bodového vtoku má boční vtok díky své konstrukci výrazně snížené smykové rychlosti a poklesy tlaku. Konstruktor forem může vybrat hodnoty tloušťky, délky a šířky podle potřeb aplikace. Obecně platí, že tloušťka vtoku H znázorněná na Obr. 29, by měla být menší než tloušťka stěny vstřikovaného dílce, a tím dosaženo malých smykových rychlostí. Šířka vtoku W by měl být menší než průměr kanálu, také aby se zabránilo nadměrných smykových rychlostí. [20]



Obr. 24 Boční vtok [19]

Vějířové a zvonové ústí vtoku lze považovat za další variantu bočního vtoku, ve které šířka vtokového ústí přesahuje průměr rozvodného kanálu. Odpovídající rozměry vtokového ústí tohoto typu nejsou konstantní, šířka se zvětšuje od průměru kanálu, zatímco tloušťka se zmenšuje. Šířka vtoku v dutině je poměrně velká a díky tomu lze v krátkém cyklu vstřikovat velké množství materiálu. Tato konstrukce vtoku zpomaluje taveninu při vstupu do dutiny. K výhodám pomalejšího proudění a širokého rovnoměrného průtoku taveniny patří lepší orientace taveniny, rovnoměrnější výplň dutiny s menším počtem stokových čar, snížená pravděpodobnost tryskání a redukce smykových rychlostí. Proto se tento typ vtoku používá k vytvoření rovnoměrného proudění do širokých částí, kde je hlavním zájmem dobrá rozměrová stabilita. Tento typ vtoku lze výhodně využít pro velké prostorové, tenkostěnné díly. [19], [20]



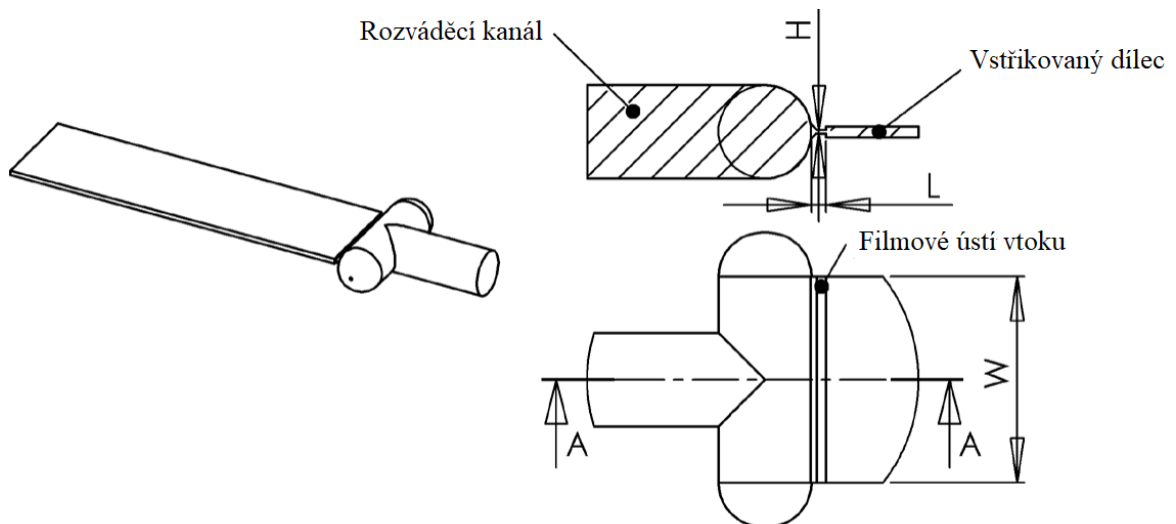
Obr. 25 Zvonové ústí vtoku [19]

Další alternativou je filmové ústí vtoku. Slovo „film“ znamená tok taveniny velmi tenkým úsekem. Filmový vtok se tedy skládá z velkého rozváděcího kanálu, který sousedí s tenkým obdélníkovým úsekem, jak je znázorněno na Obr. 28. Během formování bude tavenina postupovat od hlavního kanálu přes rozváděcí kanál do tenkého ústí vtoku. Tenká přilehlá část způsobí, že se tok taveniny zpomalí, ochladí a potenciálně zamrzne, zatímco tavenina vyplňuje tlustou část. Jakmile tavenina vyplní tlustou část, tak se tlak taveniny výrazně zvýší a přinutí zmrzlý materiál v tenkém řezu proudit. Vzhledem k tomu, že odpor průtoku podél tlusté části je malý ve srovnání s odporem průtoku přes tenkou část, zajišťuje filmový vtok téměř lineární průtok taveniny do dutiny po celé její šířce. Vstup vtoku do dutiny by měl být přibližně 50 až 70 % tloušťky stěny dílu. Tento vtok může mít tvar klínu, kde se ústí vtoku zužuje dolů z rozváděcího kanálu k dílu nebo kruhový tvar. [20]



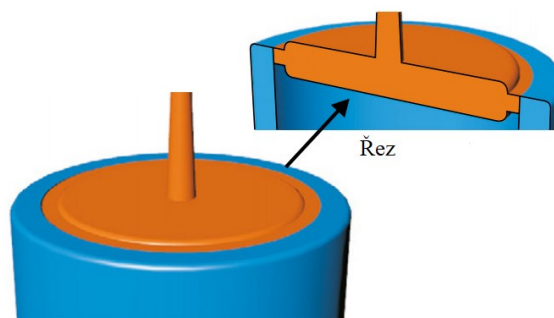
Obr. 26 Filmové ústí vtoku a) tvar klínu, b) kruhový tvar [20]

Může se zdát, že geometrie a tenkost tohoto vtoku způsobuje na taveninu nadměrné smykové rychlosti a poklesy tlaku. Nicméně velké šířky ústí vtoku budou mít za následek relativně nízké lineární rychlosti tavení i při vysokém objemovém průtoku. Ve výsledku může být tento vtok účinně navržena tak, aby poskytoval mírné smykové rychlosti a tlakové ztráty.



Obr. 27 Filmové ústí vtoku [19]

Koncepci filmového ústí vtoku lze rozšířit na válcovou geometrii a zajistit tak lineární průtok taveniny bez studených spojů, jak je znázorněno na Obr. 30. Tyto typy vtoků jsou pojmenovány také jako, talířové, prstencové nebo deštníkové ústí vtoku. V tomto provedení je použita pevná silná „membrána“, která přenáší taveninu z ústí vtoku na vnitřní obvod dutiny formy. Tenká část zajišťuje rovnoměrné plnění dutiny a také slouží k snadnému odstranění vtoku od vstřikovaného dílce. [19], [20]

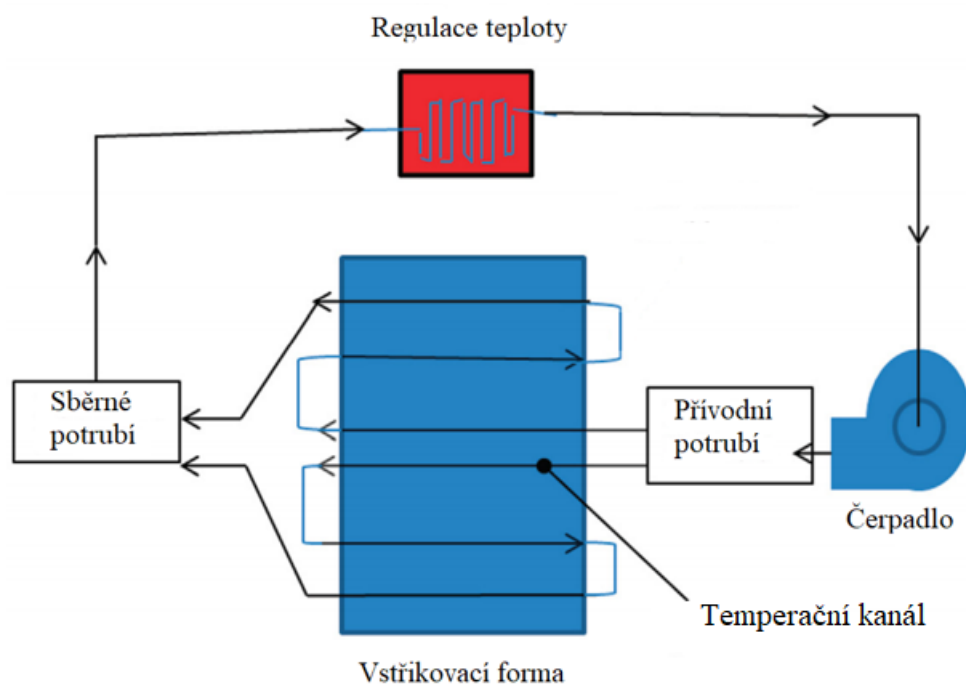


Obr. 28 Talířové ústí vtoku [20]

2.3.2 Temperační systém

Temperační systém je nesmírně důležitý pro ekonomiku a provoz navržené vstřikovací formy. U termoplastů je hlavním účelem při navrhování forem minimalizovat jak dobu cyklu, tak tepelné rozdíly v chlazení forem. Temperační systém je proto nezbytný, jak pro úsporu nákladů, tak pro kvalitu výrobků. Nesprávně navržený temperačního systému často vedou k nejméně dvěma nežádoucím výstupům. Za prvé, doba chlazení a cyklu je mnohem delší, než by bylo možné dosáhnout. Zadruhé, vznikají významné teplotní přechody napříč formou, rozdílné smrštění a deformace výrobků. Temperační systém ve formě musí být

navržen, tak aby docházelo k efektivnímu odvodu tepla a udržení formy na požadovanou teplotu. Doba ochlazení mezi vstřikem a vysunutím představuje nejméně 60 % vstřikovacího cyklu. Proto tato doba chlazení hraje zásadní roli v efektivitě, kvalitě a produktivitě jakékoliv komponentu. I když zkrácení doby chlazení může být přínosem pro ekonomickou životaschopnost výroby, je nutné zachovat jednotný proces chlazení pro kvalitu součástí, protože doba chlazení může mít dopad na zbytková napětí a rozdílné smrštění. Účinný temperační okruh je nezbytný nejen pro snížení zbytkového napětí, ale také pro zachování rozměrové přesnosti a stability dílu. Teplotním změnám v chladicím cyklu je třeba se, pokud možno vyhnout. Typický temperační systém je znázorněn na Obr. 31 se vstřikovací formou. Tento temperační systém slouží jako výměník tepla, přičemž teplo z roztaveného polymeru je odváděno temperačním médiem, které cirkuluje v temperačních kanálech, zpět do řídicí jednotky tepla. [16]



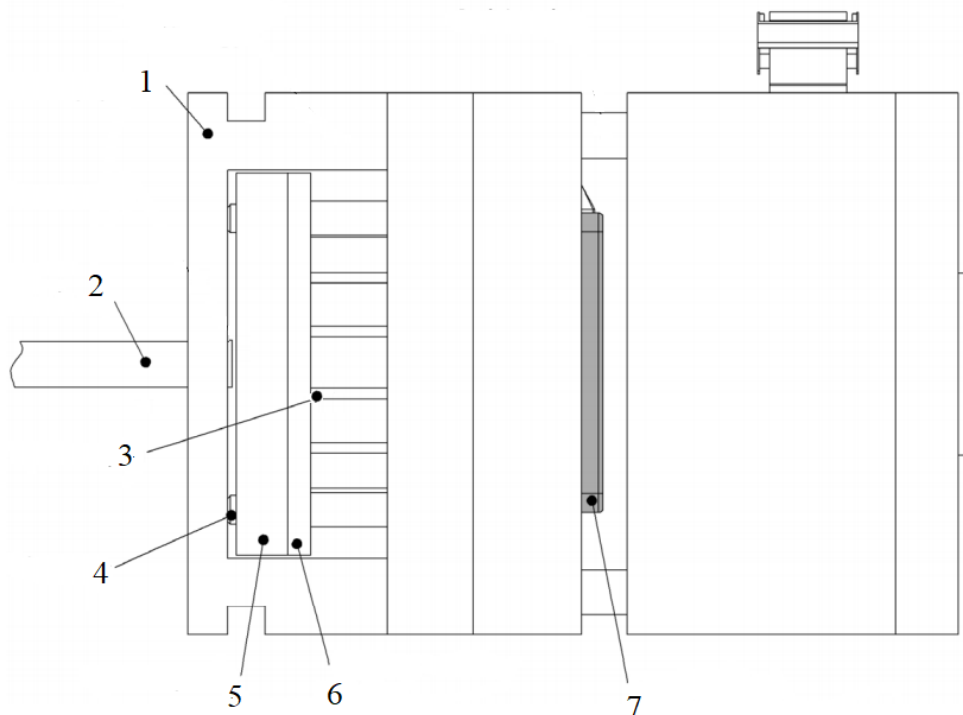
Obr. 29 Typický temperační systém pro vstřikovací formu [16]

Nejjednodušší cirkulační systémy používají vodu. Použití vody je omezeno bodem varu a zamrznutím vody, pokud jsou potřeba vyšší teploty, tak systémy na bázi oleje mohou pracovat až do 350 °C. Pro chladicí teploty pod 25 °C je nutné použít vodu smíchanou s nemrznoucí směsí (glykol). K dalším pokročilejším metodám ohřevu a chlazení vstřikovacích forem patří použití indukčního ohřevu, vysokotlakých vodních systémů. Požadavky na teperaturaci by měly být, pokud možno vždy optimalizovány pomocí nejlepších dostupných řešení. Konstrukteři vstřikovacích forem musí mít na paměti význam chlazení části, zejména pokud jde o tloušťku stěny, protože zdvojnásobení tloušťky stěny součásti

může mít čtyřnásobný vliv na dobu chlazení v důsledku nízké tepelné vodivosti většiny polymerních materiálů. [16]

2.3.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je zodpovědný za odstranění vytvarovaného dílu z formy po otevření. Jakmile je tvarovaný díl v dutině dostatečně ochlazen, dochází k vysunutí. Při ochlazování bude mít díl tendenci se zmenšovat a obvykle zůstane na levé straně formy. Jako takové jsou vyžadovány mechanismy, které vytlačí části z formy během fáze vysunutí. To se děje mechanicky pomocí kolíků, stíracími deskami, stíracími kroužky nebo stlačeným vzduchem. Tyto systémy mohou být používány jednotlivě nebo v kombinaci. Protože neexistuje žádný matematický způsob, který by určoval množství potřebné vyhazovací síly je zcela otázkou zkušeností. Vyhazovací síla musí být dostatečně velká k překonání sil adheze mezi formou a plastem. Složitost vyhazovacího systému se může značně lišit v závislosti na požadavcích pro vstřikovací aplikace. Je třeba zvážit mnoho otázek, včetně potřeby více os působení, velikosti a rozložení vyhazovacích sil a dalších. Obr. 32 poskytuje boční pohled na vstřikovací formu pro následné vysunutí dílu. Vyhazovací systém se skládá z vyhazovací kotevní a opěrné desky, vyhazovačů, dosedací podložky, šroubů, vodících čepů a vodících pouzder. [19]



Obr. 30 Boční pohled na otevřenou formu: 1 – levá upínací deska, 2 – táhlo vyhazovače, 3 – vyhazovač, 4 – dosedací podložka, 5 – vyhazovací deska opěrná, 6 – vyhazovací deska kotevní, 7 – vstřikovaný dílec [19]

2.3.4 Odvzdušnění

Hlavní funkcí odvzdušnění je uvolnění vzduchu z dutiny formy. Tavenina, která vstupuje do formy stlačuje vzduch, kterým je dutina naplněna před vstřikováním. Pokud veškerý vzduch v dutině není odstraněn během fáze plnění, může dojít k několika vadám. Nejprve může zachycený vzduch vytvořit v dutině formy silně natlakovanou kapsu přes kterou tavenina nemůže proudit, a tím se vytvoří vada na výrobku. Zadruhé, vysoce stlačený vysokoteplotní plyn se může vznítit v přítomnosti plastové taveniny a způsobit jev známý jako „Diesel efekt“ a tím stopy po popálení na výrobku. Zatřetí, přítomnost vzduchu mezi dvěma konvergujícími čely taveniny může snížit pevnost dílu v důsledku vytvoření studených spojů. Vzhledem k tomu, že nedostatečné odvzdušnění je spojeno s několika významnými vadami, je žádoucí vytvoření několika průduchů na různých místech, aby se usnadnilo unikání vzduchu z dutiny. Pokud je však větrací otvor příliš velký, může být polymerová tavenina vytlačována tímto otvorem ven z dutiny, což způsobí, že se vytvoří tenká vrstva v místech větracího otvoru. Z těchto důvodů se dává přednost vytvořením většího počtu menších otvorů. Většina polymerů vytváří odpadní plyn v roztaveném stavu a uvolňují se částice, které mohou ucpat odvzdušňovací systém. Konstrukteři tento problém vyřeší začleněním čištění odvzdušňovacího otvoru jako součásti programu preventivní údržby. Nejběžnějším typem průchodu vzduchu je přes dělicí rovinu. Tyto otvory jsou obvykle poskytovány jako velmi tenké kanály přímo na konci toku. Mnoho forem jsou vyráběny s odvzdušňovacími otvory v dělicí rovině, které vycházejí od kraje dělicí roviny směrem ven k odvětrávacímu kanálu. [19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

U diplomové práce byly stanoveny tyto zásady pro vypracování:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Nakreslit model daného dílu ve 3D
- Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný díl
- Provést analýzu navržené formy pomocí tokových simulací

Literární studie byla rozdělena na 2 kapitoly. První kapitola se zabývá polymerními materiály a jejich rozdělením. Druhá kapitola se zaměřuje na technologii vstřikování a řeší podrobně věci ohledně konstrukci forem a procesu vstřikování. Zvolený díl byl následně vymodelován ve 3D v software Catia V5R19. Pro zvolený díl byla provedena konstrukce dvojnásobné formy také v programu Catia V5R19, kde normalizované díly byly vybrány z katalogu firmy Hasco Dako modul. Na navrženou formu byla provedena analýza pomocí tokových simulací v softwaru Moldflow Synergy 2016.

4 POUŽITÝ SOFTWARE

4.1 CATIA V5 R19

Catia je jeden z předních 3D softwarů používaných ve více odvětvích od leteckého, automobilového až po spotřební výrobky. Catia je multiplatformní 3D softwarová sada pro počítačově podporovaný design, výrobu, strojírenství, 3D a PLM, vyvinutá Francouzskou společností Dassault Systèmes, zahrnující CAD, CAM a CAE. Catia je ideální pro vytváření těles, povrchů, sestav, výkresů, výrobních postupů a analýz. [22]

4.2 Hasco Dako modul

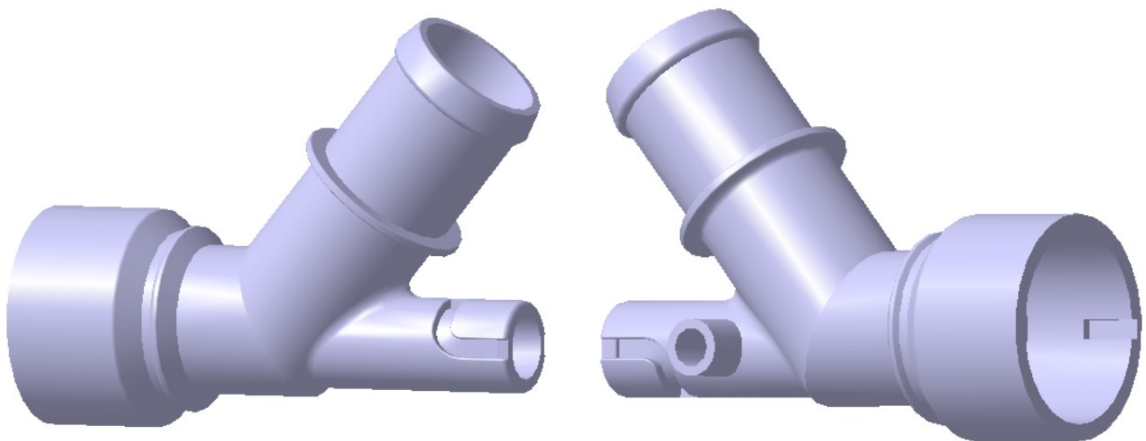
Hasco je společnost zabývající se výrobou a prodejem normalizovaných dílů pro konstrukci forem. Dako modul od společnosti Hasco obsahuje 3D knihovnu součástí, která zahrnuje všechny potřebné díly pro konstrukci forem. Modul je vybaven přidaným softwarem WorldCAT-CIF, který vygeneruje 3D model vybraného produktu v různých formátech a lze přímo importovat do prostředí softwaru Catia. Tento přídatný modul velmi usnadňuje práci při konstruování forem. [23]

4.3 Autodesk Moldflow Synergy

Autodesk Moldflow Synergy je grafické uživatelské rozhraní pro Autodesk Moldflow Insight. Poskytuje rychlou a jednoduchou metodu přípravy, spuštění a následné zpracování analýzy modelu. Má také rychlé a snadno použitelné průvodce pro vytváření více dutin, vtokového systému a teploty. Součástí Autodesk Moldflow Synergy je možnost vyhledávání materiálů v rozsáhlé databázi materiálů. Tento software byl použit pro tokové simulace pro navrženou formu. [24]

5 VÝROBEK

Díl, který byl vybrán pro diplomovou práci je příruba chladící kapaliny u automobilů značek Volkswagen, Audi, Seat a Škoda. Příruba se obecně používá jako spojovací prvek mezi různými trubkami nebo hadičkami chladícího okruhu. Její funkcí je zajistit průtok chladící kapaliny, tak aby podpořila správnou funkci motoru. Příruba slouží jako pevná struktura a stabilizační konektor, který však může být oddělen od jednotlivých částí. Hadičky chladící kapaliny jsou obvykle připojeny do konektorů na přírubě a jsou upevněny pomocí svorky. Příruba chladící kapaliny je vyrobena z materiálu PA 66 GF30. Velikost dílu je 100 x 75 x 40 mm. Součástka obsahuje různé velikosti průměrů. Největší průměr má 40 mm. Hmotnost součástky je 44 g. Byly vytvořeny dva CAD modely, jeden včetně všech technologických rádiusů a zkosení. Druhý model byl vytvořen bez technologických rádiusů a zkosení do velikosti 1,5 mm z důvodu snazšího výpočtu a vytvoření sítě v programu Moldflow Synergy 2016. [25]



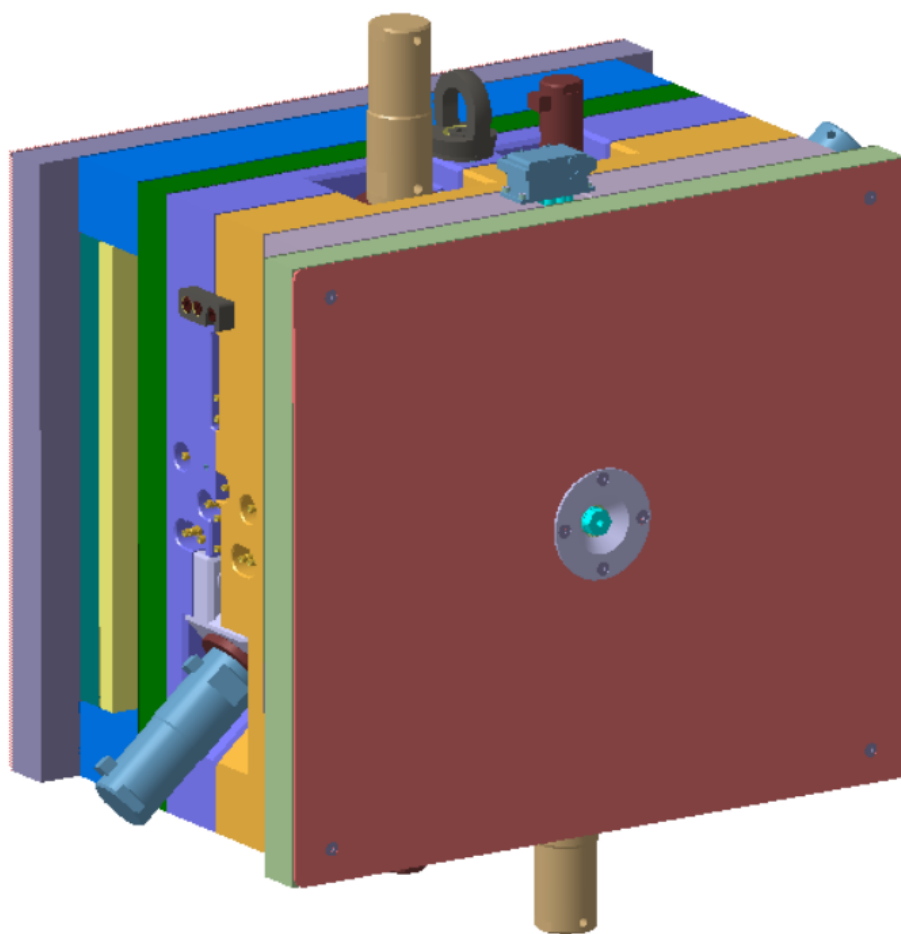
Obr. 31 3D model výrobku

5.1 Materiál výrobku

Výrobek je vyroben z materiálu PA66 GF30. Jedná se o semikrystalický polymer PA 66 s výztuží v podobě 30 % skelných vláken. Tento materiál díky výztuži v podobě skelných vláken vykazuje vynikající mechanické vlastnosti, jako například vyšší pevnost, tuhost, rozměrovou stabilitu a vysokou odolnost proti opotřebení. V porovnání s PA 66 bez výztužných vláken zaručují vlastnosti této modifikace GF30 se skelným plnivem vhodnost tohoto materiálu k použití na díly vystavené vysokým statickým zatížením po dlouhé časové úseky při vysokých teplotách. [26]

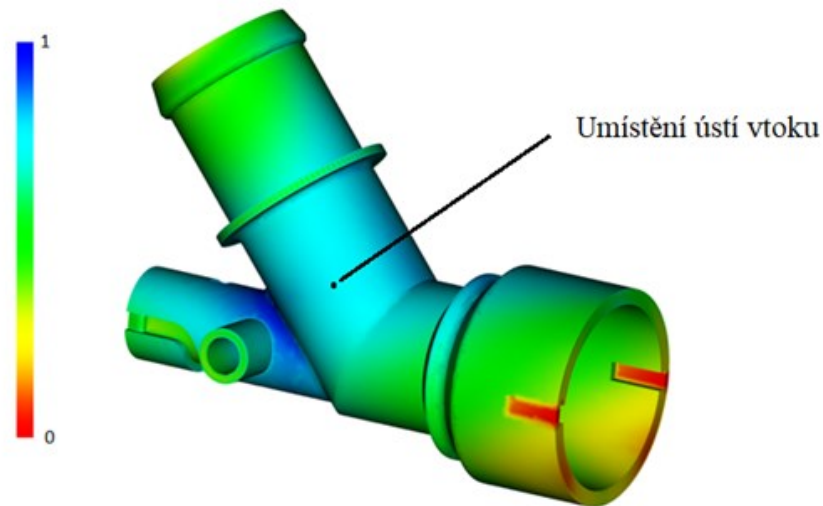
6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Před samotnou konstrukcí formy je důležité umístění výrobku ve formě. Celkové rozložení výrobku ve formě vychází z geometrie výrobku a musí být navrženo tak, aby bylo co nejméně dělicích rovin a co nejmenší velikost tvarových vložek. Zadaný výrobek je dutý a obsahuje průchozí díry, které zvyšují složitost odformování. Pro odformování výrobku byly zvoleny 4 dělicí roviny, aby bylo možné odformování všech průchozích děr. 1 hlavní dělicí rovina, která je zvolena v polovině výrobku a 3 vedlejší dělicí roviny kolmé na osu každé díry. Do formy jsou nainstalovány hydraulické válce tak, aby zajišťovaly vysunutí a zasunutí tvarových částí. Velikost formy je 1052 x 982 x 721 mm. Tato velikost byla zvolena hlavně podle velikosti tvarových částí a také podle všech různých komponentů potřebných k jejich uchycení ve formě, jako například velikosti hydraulických válců. Při volbě velikosti formy se také vycházelo s ohledem na dodržení dostatečné tuhosti. Forma byla navržena jako dvoudesková, která má levou pohyblivou stranu s vyhazovacím systémem a pravou stranu se zabudovaným horkým vtokem. Vstřikovací forma byla navržena jako dvojnásobná.



Obr. 32 Vstřikovací forma

Důležitým aspektem umístění dílu ve formě, je poloha ústí vtoku nebo pozice umístění trysky. Byla vytvořena krátká analýza polohy umístění vtoku v programu Moldflow, kde jsou modře zobrazeny místa vhodného umístění vtoku a červeně místa s nejméně vhodným umístěním.



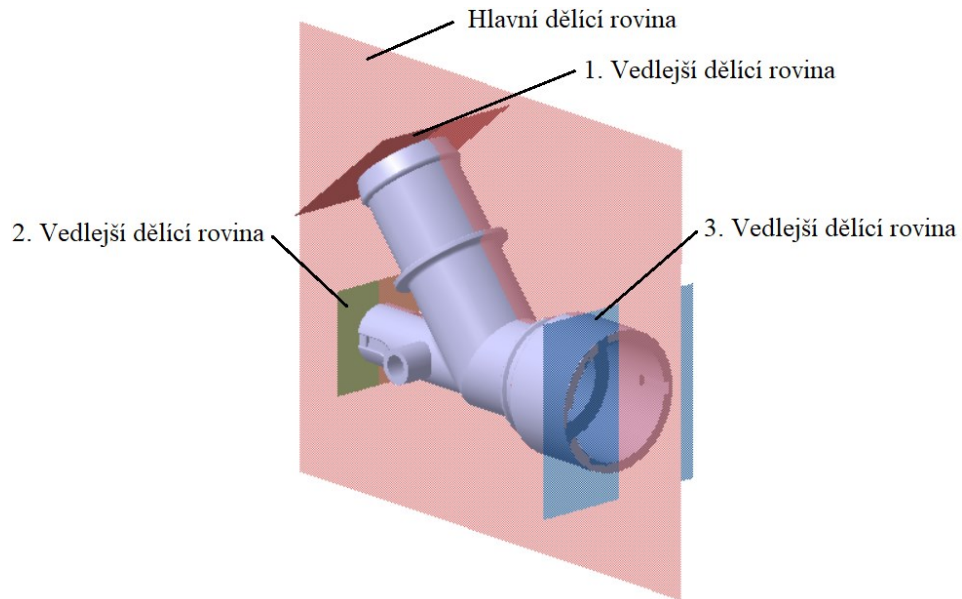
Obr. 33 Umístění vtoku ve formě

6.1 Násobnost

Počet kusů, které lze vyrobit během jednoho vstřikovacího cyklu udává násobnost formy. Při volbě násobnosti je zohledňována geometrická složitost, přesnost, velikost tvarové dutiny formy, parametry vstřikovacího stroje, ekonomika výroby a další faktory. V tomto případě byla zvolena dvojnásobná forma.

6.2 Zaformování výrobku

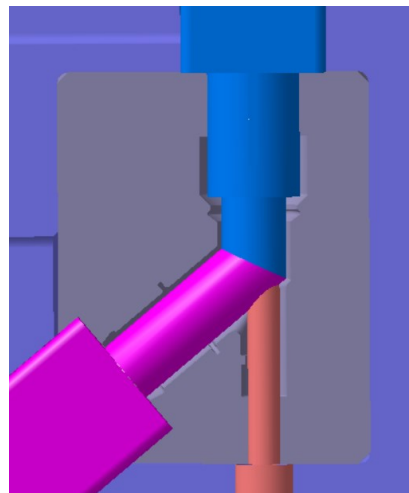
Při zaformování výrobku do formy byly stanoveny čtyři dělicí roviny, které vycházejí z geometrie výrobku. V oblasti dělicích rovin musí být dobré utěsnění, aby nedocházelo k úniku vstřikovaného materiálu. Hlavní dělicí rovina je mezi pevnou a pohyblivou částí vstřikovací formy rovnoběžná s upínacími deskami a je umístěna přesně v polovině výrobku. Vedlejší roviny slouží k odformování otvorů na výrobku a jsou zvoleny kolmo k ose každého otvoru. Zdvih tvarových částí v místech vedlejších rovin je vykonáván pomocí hydraulických válců. Zaformování je provedeno do tvarových vložek a tvarových jader.



Obr. 34 Dělicí roviny

6.3 Tvarové části

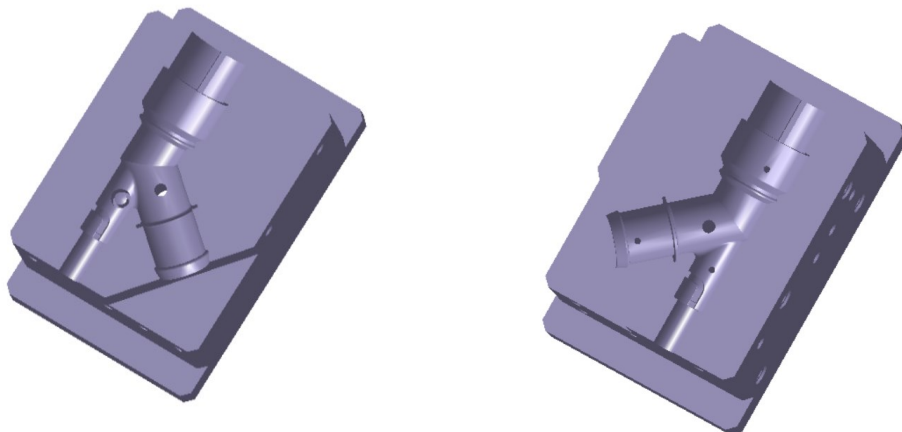
Kvůli složitější geometrii výrobku není možné zhotovení jen s 2 tvarovými částmi, ale je zapotřebí použití tvarových jader pro odformování otvorů na výrobku. Dutina formy je tvořena celkem pěti tvarovými částmi. Jedná se o tvárník, tvárnici a trojice tvarových jader. Tvárník a tvárnice jsou vyrobeny ze tvarových vložek, které zajišťují levnější a jednodušší výměnu při poškození tvarové dutiny. Tvárnice je uložena v pravé nepohyblivé straně vstříkovací formy. Tvárník a tvarové čelisti s hydraulickými válci jsou ukotveny v levé pohyblivé straně formy. Po otevření formy v hlavní dělicí rovině zůstane výrobek vložen v dutině tvárníku v levé straně formy. Tvarové vložky je nutné zakalit na obvykle nejvyšší možnou dosažitelnou hodnotu pro zvolený materiál na jejich výrobu. Zaformování tvarových jader do dutiny na levé straně formy je znázorněno na Obr 35.



Obr. 35 Zaformování tvarových jader v dutině formy

6.3.1 Tvárník a tvárnice

Rozměry a materiál tvárníku a tvárnice byly navrženy tak, aby splňovaly všechny důležité požadavky, jako je odolnost vůči mechanickému namáhání, které vzniká působením velkých tlaků. U navrhování rozměrů bylo zohledňováno to, že do tvárníku a tvárnice budou navrtány temperační kanály, kterým se odvádí teplo a zavedeny výsuvné tvarové jádra pro odformování otvorů na výrobku. Základní rozměry tvárníku a tvárnice jsou 170 x 135 x 100 mm (v x š x d). V místech, kde se temperační kanály spojují s kotevní deskou budou vloženy těsnící O-kroužky. Pro tyto kroužky bude v tvarových vložkách vyhotoveno vybrání. Tvárník a tvárnice byly vyhotoveny po dvou kusech, protože se jedná o dvojnásobnou formu. Tvarové vložky jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 552 a jsou kaleny na tvrdost 60 ± 2 HRC. Na zadní straně každé vložky je provedeno rozšíření pro lepší zasunutí do kotevní desky. Do tvárnice byla vyhotovena díra pro vyhřívanou trysku a do tvárníku otvory pro uložení vyhazovacích kolíků. Tvárník a tvárnice mají sražené hrany 5 mm na každém rohu.

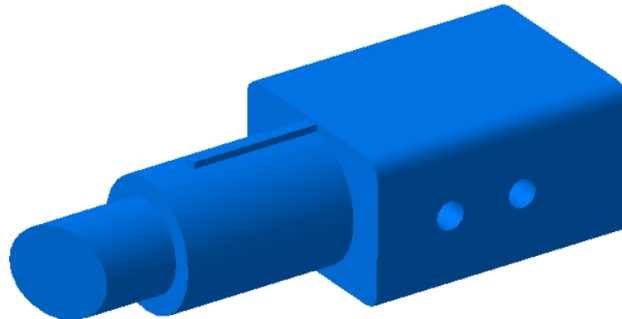


Obr. 36 Tvárník (vlevo), tvárnice (vpravo)

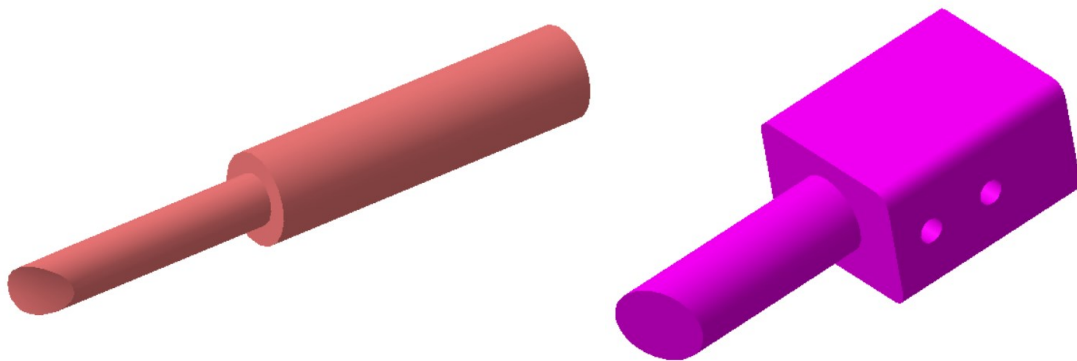
6.3.2 Tvarová jádra

Tvarová jádra vykonávají pohyb kolmo na vedlejší roviny a slouží k odformování otvorů na výrobku. Posuvná tvarová jádra musí odolávat velkým tlakům stejně jako tvarové vložky. Materiál pro výrobu posuvných jader byl zvolen stejný jako u tvárníku a tvárnice 19 552 a byl kalen na 60 ± 2 HRC. Pohyb posuvných jader je vykonáván hydraulickými válci. Tvarové jádra byly navrženy 3 různé typy pro 3 různé díry, a protože se jedná o dvojnásobnou formu bylo jich celkem vyhotoveno 6. První tvarové jádro slouží k odformování největší díry o průměru 40 mm. Druhé jádro slouží k odformování díry o

průměru 28 mm a třetí k odformování průměru 14 mm. První a druhé tvarové jádro je větších rozměrů a bude potřeba odvádět teplo. Z toho důvodu byla vytvořena temperace pro tyto jádra.



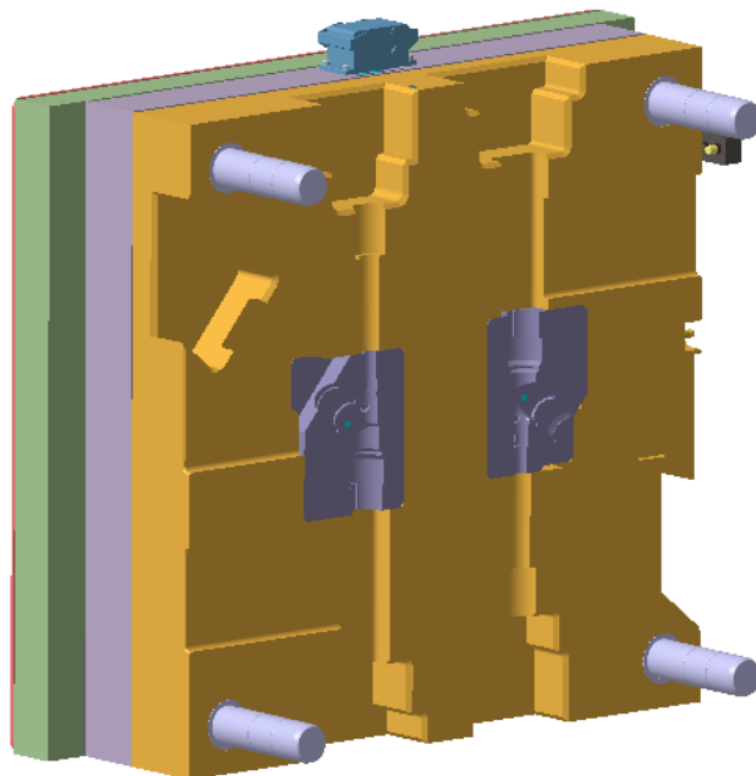
Obr. 37 Tvarové jádro pro díru 40 mm



Obr. 38 Tvarové jádro pro díru 14 mm (vlevo), tvarové jádro pro díru 28 mm (vpravo)

6.4 Pravá strana formy

Pravá vstřikovací strana je složena ze čtyř desek: izolační, upínací, opěrná a kotevní. Desky jsou vystředěny vodícími čepy a přišroubovány k sobě pomocí šroubů. Izolační deska je vyrobena z materiálu s nízkou tepelnou vodivostí, aby nedocházelo k přenosu tepla z formy na vstřikovací stroj a odděluje formu od vstřikovací jednotky. Upínací deska slouží pro upnutí formy k pevné části vstřikovacího stroje, dále je v ní uložen středící kroužek a vtoková vložka, přes kterou je napojena horká vtoková soustava ke vstřikovací jednotce vstřikovacího stroje. V opěrné desce je uložena horká vtoková soustava s kabeláží a zásuvkou na horní straně formy. Další funkci opěrné desky je upevnění pravé tvarové vložky do pravé kotevní desky. Pravá kotevní deska slouží k uložení tvarových vložek (tvárníku) a je v ní zabudovaný temperační systém pro tvárnici. V pravé kotevní desce je vytvořeno vybrání, protože v levé kotevní desce jsou zabudovány hydraulické válce.



Obr. 39 Pravá strana vstříkovací formy

6.4.1 Vtokový systém

U vstříkovací formy byl zvolen horký vtokový systém, který udržuje polymerní taveninu na stejné teplotě až do dutiny formy. Horký vtokový systém se skládá z rozvodného bloku, dvou trysek, centrální vtokové vložky, kolíků a kabeláže. Přes centrální vtokovou vložku je horký vtokový systém napojen na vstříkovací jednotku. Rozvodný blok slouží k vedení roztavené polymerní taveniny do trysek, které taveninu vstříkují do dutiny formy ve stejném čase. Trysky jsou zabudovány přímo v tvárníku. Na tryškách jsou kryty, které zabraňují jakémukoliv poškození trysky. Je vyhotoveno zakončení trysky, které přímo odpovídá tvaru dutiny formy. Kolíky slouží k připevnění rozvodného bloku do formy. Trysky a rozvodný blok mají kabeláž, která vede do zásuvky na formě. Celý horký vtokový systém byl vybrán z katalogu Hasco a importován do Catie, kde byl zakomponován do 3D návrhu formy. Jedná se o HBG220407142228.



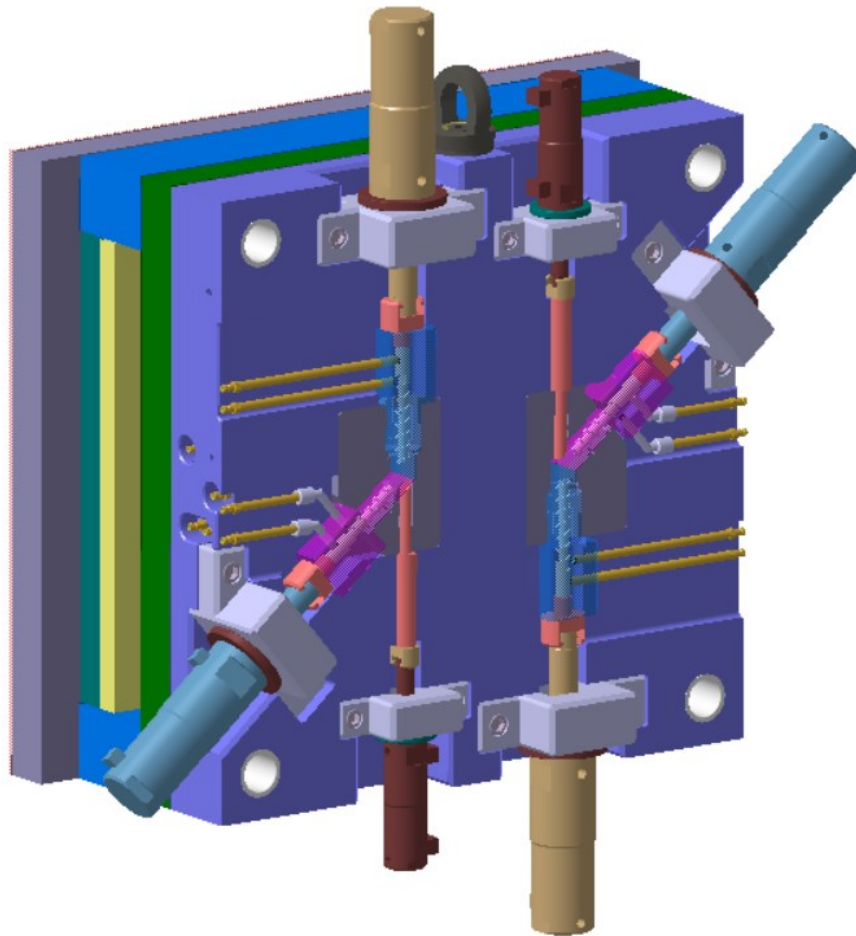
Obr. 40 Vyhřívaná tryška bez krytů



Obr. 41 Horký vtokový systém

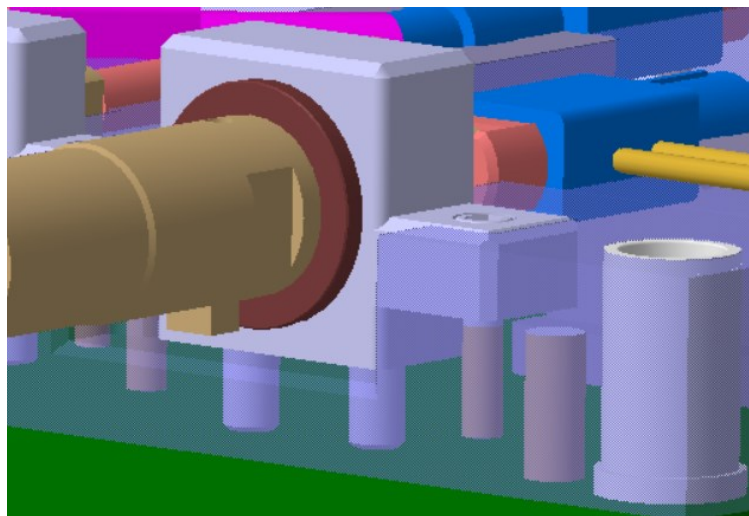
6.5 Levá strana

Levá strana se skládá z pěti desek: izolační, upínací, rozpěrné, opěrné a kotevní. Tato strana je přichycena k pohyblivé straně vstřikovacího stroje. V levé straně se nachází vyhazovací systém. Desky jsou k sobě přichyceny šrouby vystředěny středícími trubkami a také je jsou zde umístěny vodící pouzdra pro vedení čepů z pravé strany vstřikovací formy. Izolační deska je totožná jako na pravé straně a plní stejnou funkci. Upínací deska slouží k upnutí k pohyblivé straně vstřikovacího stroje. Na upínací desce je vyfrézován otvor pro středící kroužek, ve kterém se pohybuje táhlo vyhazovacího systému a uloženy čtyři vodící čepy k vedení vyhazovacích desek. Rozpěrné desky jsou na levé straně dvě a vytváří prostor pro posouvání desek vyhazovacího systému. Opěrná deska přitlačí tvarovou vložku do kotevní desky a zajišťuje, aby nedocházelo k posunutí v horizontálním směru. V levé kotevní desce jsou zabudovány hydraulické válce a vedení pro posuvné jádra. Kvůli hydraulickým válcům a jeho vedení jsou do kotevní desky nainstalovány součástky, které slouží k uchycení hydraulického válce ve formě. Díky těmto součástkám nemusí mít kotevní deska zvětšený rozměr a ušetří se zbytečného obrábění. Dále jsou v pravé kotevní desce uloženy tvarové vložky a zabudovaný jejich temperační systém. Opěrná a kotevní deska má vyvrtány díry pro vedení vyhazovacích kolíků. Levá strana také obsahuje závěsné oko, které je připevněno na kotevní desce a slouží k transportu.



Obr. 42 Levá strana formy

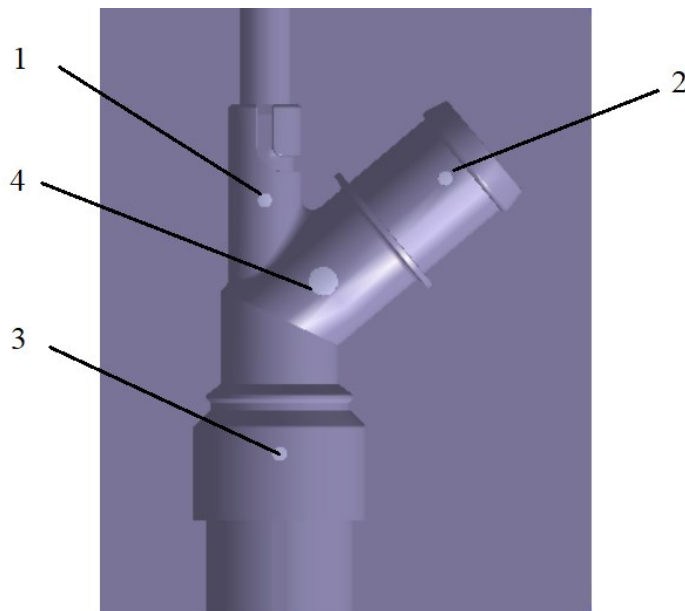
Součástky pro upnutí hydraulických válců obsahují na spodní straně kolíky, které slouží k vystředění na kotevní desce. Pro tyto kolíky jsou na kotevní desce vyhotoveny přesné díry, do kterých se součástky zasunou a připevnění šrouby.



Obr. 43 Uchycení hydraulického válce

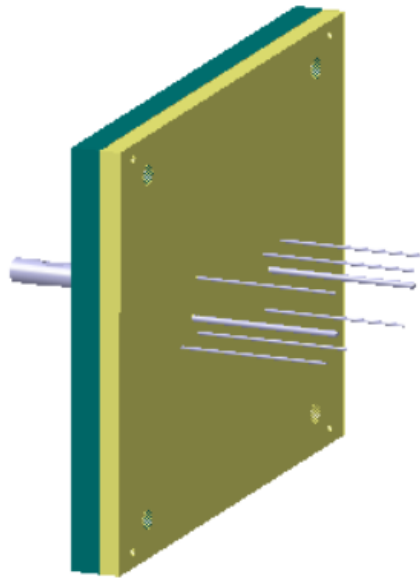
6.5.1 Vyhazovací systém

Úkolem vyhazovacího systému je vyhození hotového dílu z dutiny vstřikovací formy po otevření. Volba umístění vyhazovačů na vstřikovaném dílu je velmi důležitá, aby došlo ke správnému vyhození dílu bez poškození. Díl po otevření zůstane na levé straně formy, protože jej přidrží tvarová jádra. Je to díky nastavení času vytažení tvarových jader. Tento čas je nastaven tak, aby u jader na levé straně formy došlo k vytažení s menším zpožděním, tedy až po otevření formy. Vyhození je realizováno celkem osmi válcovými vyhazovači. Pro vyhození dílu z každé dutiny jsou zapotřebí 4 vyhazovače. První má průměr 8 mm a je umístěn přibližně v polovině dutiny formy. Další tři vyhazovače mají průměr 4 mm a jsou umístěny na krajích dutiny, tak aby došlo k rovnoměrnému působení vyhazovací síly.



*Obr. 44 Rozmístění vyhazovačů v tvarové vložce 1,2,3 – válcové vyhazovače průměr 4 mm,
4 – válcový vyhazovač průměr 8 mm*

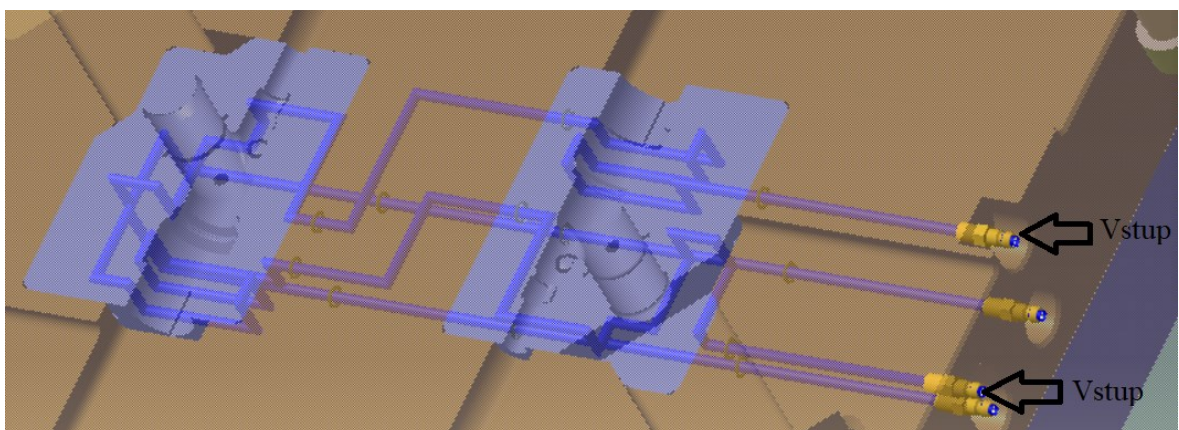
Vyhazovací systém je složen z kotevní a opěrné desky. Desky jsou k sobě přichyceny šrouby. V kotevní vyhazovací desce jsou nalisovány čtyři vodící pouzdra pro vedení čtyř menších vodících čepů, které jsou uchyceny v levé upínací desce. Pro vyhazovače jsou vyrobeny díry v kotevní desce, do kterých se zasunou a opěrnou deskou zajistí proti pohybu. V opěrné desce je připevněno táhlo, které je napojeno na uzavírací jednotku vstřikovacího stroje a přenáší posuvný pohyb na vyhazovací systém. Na opěrnou desku jsou přišroubovány dosedací podložky, které zajišťují doraz při zpětném pohybu vyhazovacích desek do počáteční polohy vyhazovacího systému. Vyhazovače jsou vytvarovány podle výrobku a také jsou zajištěny ukotvením proti pootočení.



Obr. 45 Vyhazovací systém

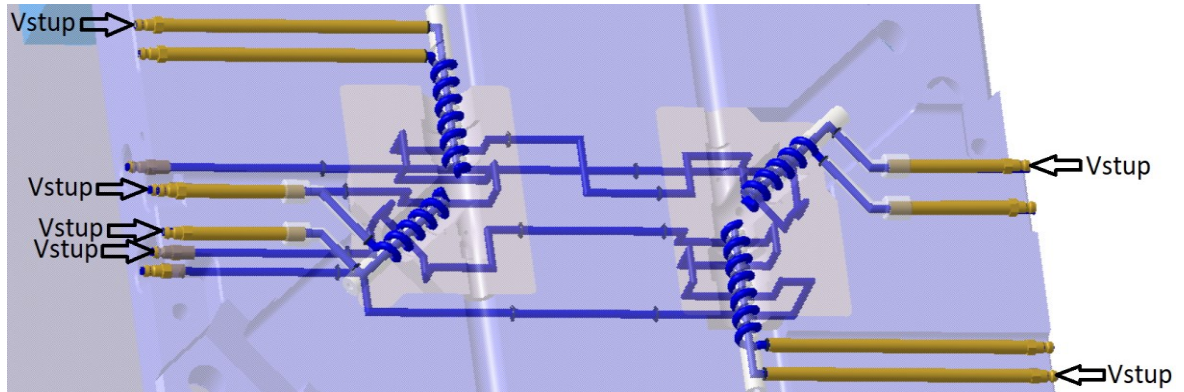
6.6 Temperace

Teplo, které přenáší polymerní tavenina do formy je potřeba intenzivně odvádět, ale další funkcí temperace je udržení formy na požadovanou teplotu. Při dimenzování temperačních kanálů byl brán zřetel na konstrukční požadavky, které udávají minimální vzdálenost od stěny výrobku a také minimální vzdálenost jednotlivých kanálů mezi sebou. Provedení temperace je realizováno systémem vrtaných kanálků, kterými proudí temperační médium. Směr toku temperačního média je řízen ucpávkami. Vrtané kanálky mají průměr 6 mm pro temperaci tvarových jader a 8 mm pro temperaci tvarových vložek. Pro temperaci tvarových vložek nebyl zvolen větší průměr než 8 mm z důvodu malé velikosti tvarové vložky. Na vstupech a výstupech jsou umístěny přípojky. Přechody kanálu mezi deskami a tvarovými vložkami jsou utěsněny pryžovými O-kroužky. Temperace pravé strany je realizována 2 hlavními okruhy, které vykonávají temperaci tvarových vložek (tvárníku).



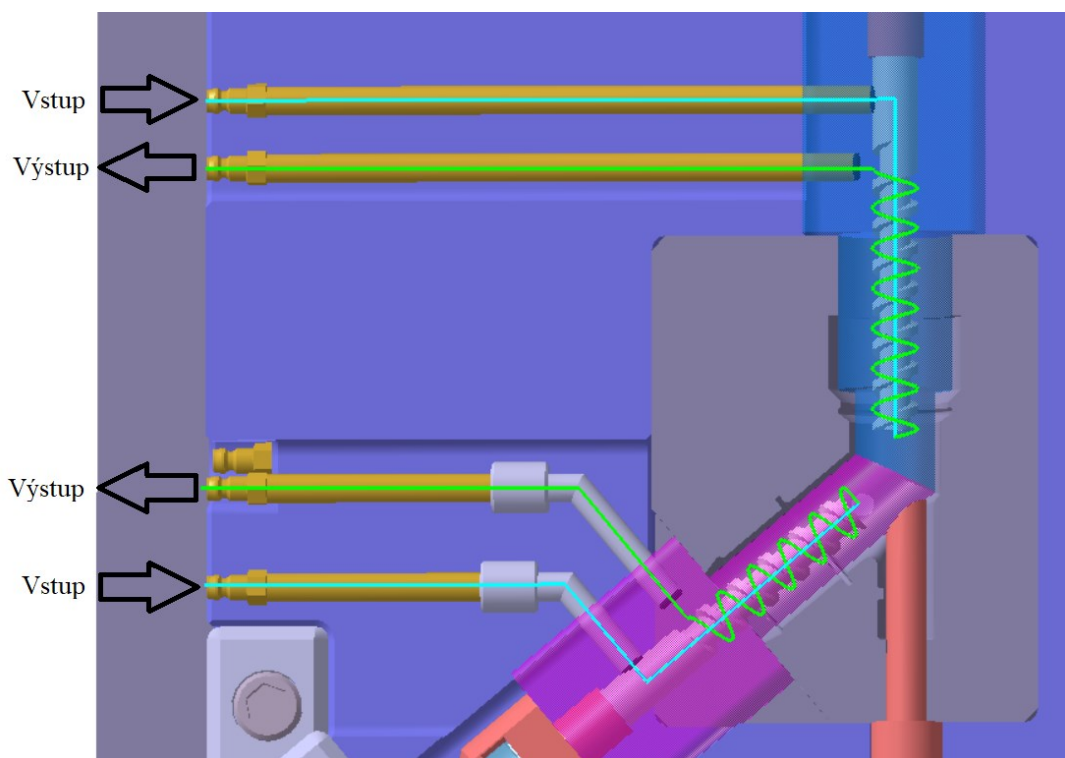
Obr. 46 Temperace pravé strany formy

Temperace levé strany je pomocí 2 hlavních okruhů a 4 vedlejších okruhů. Hlavní okruhy na levé straně vykonávají temperaci tvarových vložek (tvárnice) a vedlejší okruhy temperaci tvarových jader.



Obr. 47 Temperace levé strany formy

Tvarové jádra jsou temperována pomocí spirály o průměru 16 mm ve které je vyhotovená díra 6 mm, do které je přivedeno temperační médium pomocí prodlužovacího nátrubku přes 6 mm kanály. Zhotovenou dírou ve spirále protéká temperační médium až po konec spirály, toto je znázorněno na Obr 48. světle modrou barvou. Temperační médium na konci spirály vyteče z díry do místa, které je rozšířeno na průměr spirály a vrací se zpátky po šroubovici spirály až k dalšímu prodlužovacímu nátrubku, kterým je odvedeno k výstupu, označeno na Obr 48. zelenou barvou).



Obr. 48 Okruh temperace tvarových jader

Prodlužovací nátrubky jsou na pevně přišroubovány k tvarovému jádru. Tím, že je nátrubek přišroubován na pevně, dochází k jeho posouvání společně s tvarovým jádrem. Pro umožnění pohybu je v kotevní desce vyfrézovaná drážka. Spojení prodlužovací nátrubky a spirály je utěsněno pomocí O-kroužků.



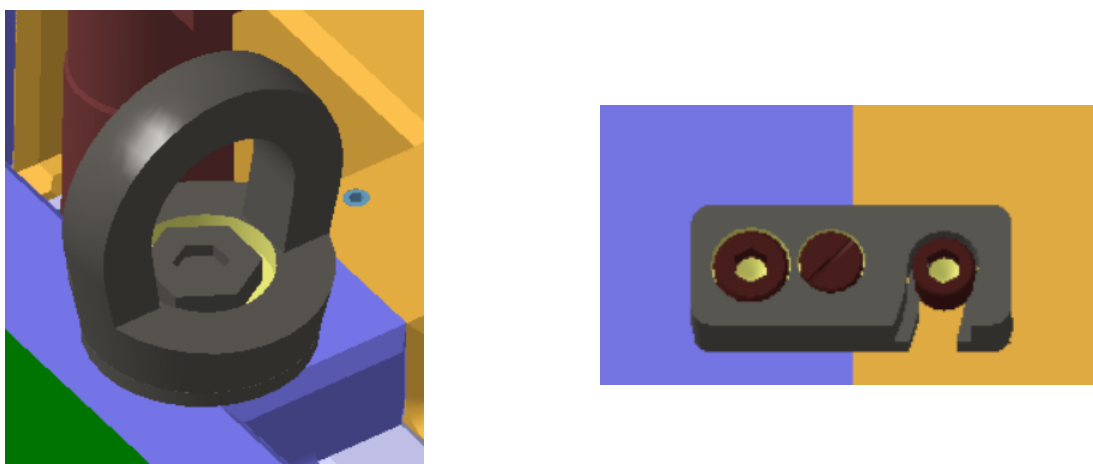
Obr. 49 Temperace - pohled z boku na formu (šipkami znázorněn směr posouvání)

6.7 Odvzdušnění

U navržené vstřikovací formy se předpokládá, že vzduch unikne vůlí mezi dělicími rovinami a mezerami vyhazovačů ve tvárníku. Pokud by se zjistilo, že dochází k nedostatečnému uniku vzduchu z dutiny formy muselo by se řešit odvzdušnění pomocí odvzdušňovacích kanálů.

6.8 Transportní systém

Pro manipulaci formy například pomocí jeřábu je na formě připevněný transportní systém. Transportní systém obsahuje závěsné oko, za které se provede uchycení a zámky, které zabraňují otevření formy během manipulace. Veškeré komponenty transportního systému byly vybrány z katalogu Hasco s označením Z70/3.



Obr. 50 Závěsné oko (vlevo), zámek (vpravo)

7 ANALÝZA V PROGRAMU MOLDFLOW

Pro navrženou vstřikovací formu byla provedena celková toková analýza (chlazení + plnění + dotlak + smrštění) v programu Moldflow Synergy 2016. Jako první byl upraven 3D model tak, aby neobsahoval žádné technologické rádiusy do velikosti 1,5 mm. Vstupním formátem pro 3D model pro program Moldflow je stl nebo Step, takže byl 3D díl importován do souboru stl a vložen do programu Moldflow. Program provede veškeré matematické výpočty a zobrazí jejich výsledky v podobě analýz, podle kterých je možno optimalizovat procesní podmínky a konstrukci formy a tím zabránit tak různým vadám. V programu Catia byla nakreslena dráha temperačního a vtokového systému a importována do formátu igs, který je výchozí formátem pro dráhy (křivky) temperačního systému v Moldflow.

7.1 Nastavení analýzy

Před samotným spuštěním analýzy musí být vytvořena síť na modelu výrobku, temperaci a vtokovém systému. Dále musí být vybrán materiál, vstřikovací stroj a nastavení základních procesních parametrů pro vstřikování. U vtokového soustavy bylo nastaveno, že se jedná o horký vtok, průměr rozvodného kanálu 4,5 mm a ústí vtoku 1,4 mm. U temperace byl zadán průměr kanálů 8 mm. U spirály, která má obdélníkový průřez byly zadány rozměry 9 mm a 2 mm. Druh temperačního média (80 % voda a 20 % ethylenglykol) a určení vstupu a výstupu temperačního média. Teplota temperačního média je 70 °C.

7.1.1 Tvorba sítě

Kvalita sítě je důležitá a ovlivňuje výsledky a také dobu potřebnou pro výpočet analýzy. Typ sítě byl vybrán ze 3 základních druhů a to Dual domain. Jedná se o trojúhelníkovou síť. Moldflow nabízí dvě možnosti vytvoření sítě, buď jednoduše automaticky nebo zadáním vlastních požadavků. V tomto případě byla síť vytvořena, tak aby délka (elementů) stran trojúhelníků byla 1,7 mm.

Kontrola vytvořené sítě 3D modelu

Kvalitu sítě v programu Modlflow zjišťuje pomocí statistiky sítě (Mesch statistic). Na obrázku tabulce níže jsou uvedeny všechny potřebné informace o velikosti sítě, počtu elementů, počtu uzlů, počtu regionů, objemu, rovnostrannosti trojúhelníků, volných rohů, hran, orientaci elementů, protínajících se a překrývajících se elementů. Důležité požadavky pro síť, které musí splňovat před spuštěním analýzy je, aby maximální hodnota poměru stran rovnostranného trojúhelníku (Maximum Aspect Ratio) nepřekračovala hodnotu 15 a

průměrná hodnota poměru stran trojúhelníka (Average Aspect Ratio) je pod hodnotou 3. Jako další parametr je hodnota procentuální shody (Match percentage a Reciprocal percentage), které nesmí být menší než 90 %. Dále nesmí obsahovat žádné volné hrany (Free edges), nepropojené hrany (Non-manifold edges), špatně orientované elementy (Elements not oriented), protínající se elementy (Element intersection), překrývající se elementy (Fully overlapping elements).

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           23302
  Connected nodes     11647
  Connectivity regions 1
  Invisible triangles  0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
  Surface Area:      342.357 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         43.7335 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    10.89    1.54     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges      34953
  Non-manifold edges  0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

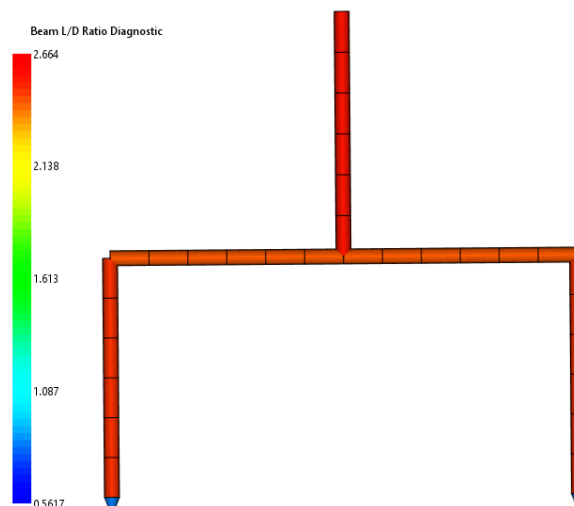
Match percentage:
  Match percentage      90.3%
  Reciprocal percentage 90.4%

```

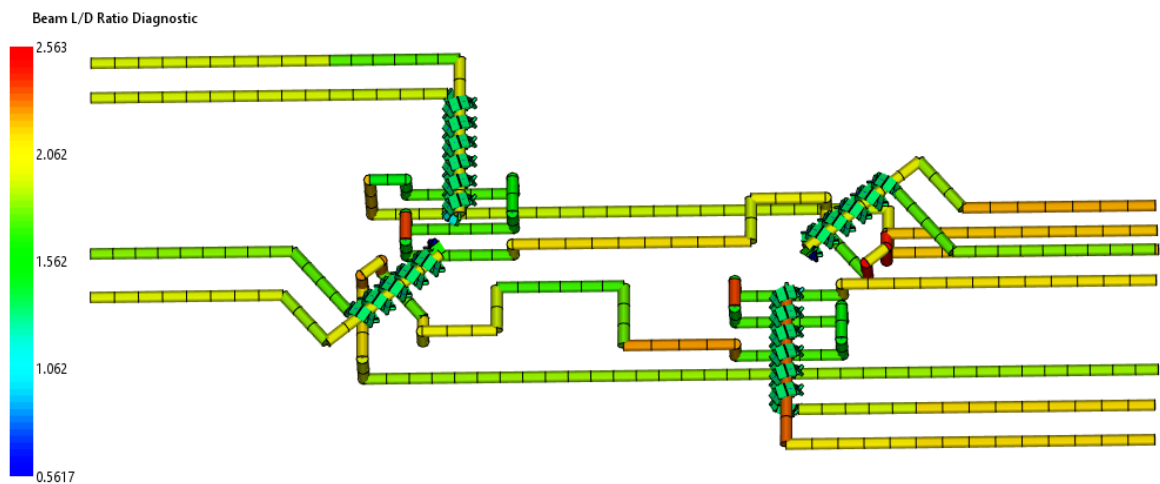
Obr. 51 Statistika sítě modelu

Kontrola vytvořené sítě vtokové soustavy a temperace

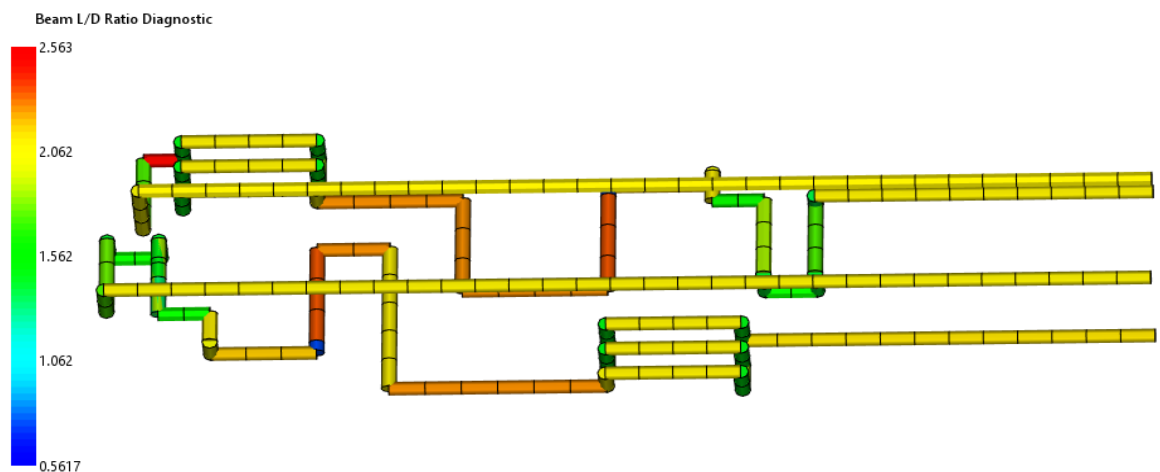
Po vygenerování sítě na vtokové soustavě a temperace, byla provedena kontrola velikosti elementů, ze kterých je vytvořena. Důležitým požadavkem pro přesné výsledky je, aby se vtoková soustava po vysítování blížila hodnotě 2,5 poměru L/D.



Obr. 52 Vtokový systém poměr L/D



Obr. 53 Levá strana temperace poměr L/D



Obr. 54 Pravá strana temperace poměr L/D

7.1.2 Volba materiálu

Jak už bylo zmíněno v přechozích kapitolách u návrhu vstřikovací formy, zvolený materiál je Polyamid 66 plněný z 30 % skelnými vlákny. V programu Moldflow existuje velký seznam různých výrobců materiálu. Pro analýzu byl vybrán od výrobce Knifa Sci & Tech Co Ltd. Obchodní název materiálu je PA66 – G30 B-01, některé základní vlastnosti jsou popsány v Tab. 1.

Tab.1 Základní vlastnosti materiálu PA66 – G30 B-01 od výrobce Knifa Sci & Tech Co Ltd.

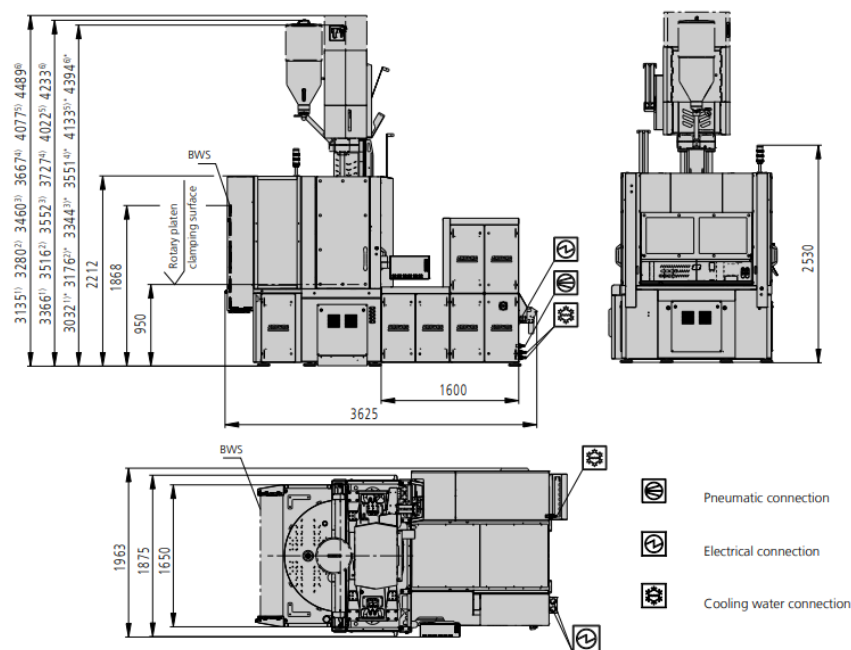
VLASTNOSTI	HODNOTA
Doporučená teplota formy [°C]	75
Doporučená teplota taveniny [°C]	280
Doporučená teplota vyhazování [°C]	190
Maximální hodnota smykového napětí [MPa]	0,5
Maximální hodnota rychlosti smykové deformace [1/s]	60000
Index newtonského chování [-]	0,3701

7.1.3 Volba vstřikovacího stroje

Výběr vstřikovacího stroje pro analýzu byl proveden z dostupného seznamu v programu Moldflow. Mezi důležité parametry pro výběr vstřikovacího stroje patří rozměr upínacího stolu, maximální uzavírací síla a velikost dávky. Vstřikovací stroj pro analýzu byl vybrán od firmy Arburg, konkrétně se jedná o typ Allrounder 1300 T.

Tab. 2 Základní parametry vstřikovacího stroje od značky Arburg, typ Allrounder 1300 T

VLASTNOST	HODNOTA
Maximální uzavírací síla [kN]	1000
Maximální hmotnost dávky [g]	65
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	139
Rozměr upínacího stolu [mm]	1300
Maximální zdvih šneku [mm]	100
Maximální vstřikovací rychlost [cm ³ /s]	268

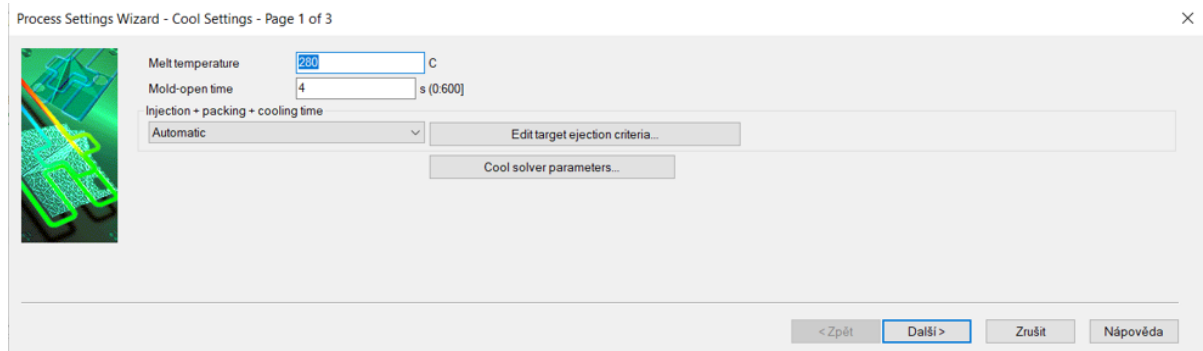


Obr. 55 Rozměry vstřikovacího stroje

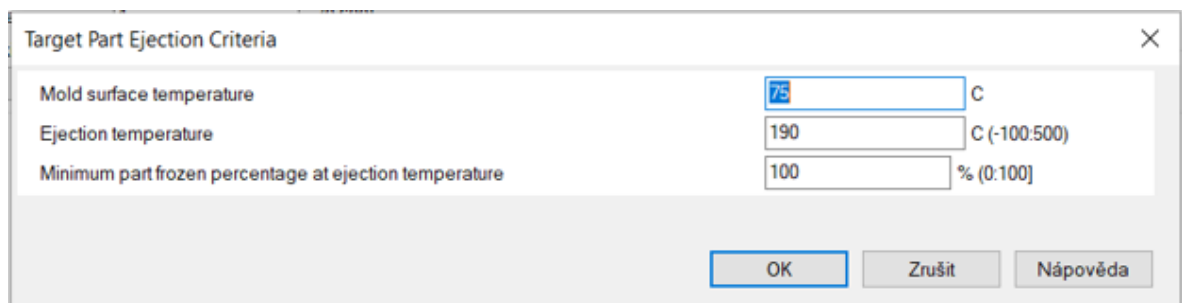
7.1.4 Nastavení procesních parametrů

Při nastavování procesních parametrů analýzy byl brán ohled na doporučené hodnoty pro vybraný materiál z materiálového listu, násobnost formy, objem výrobku a použití horkého vtokového systému, tak aby bylo dosaženo co nejpříznivějšího výsledku při procesu vstřikování. Nastavení procesních parametrů (Process Settings Wizard) je rozděleno na tři části v záložce nastavení. V první části se nastavuje teplota tavení polymeru (Melt temperature), doba otevření formy (Mold-open time), nastavení výstřiku, dotlaku a doba chlazení (Injection + packing + cooling time). Dále teplota povrchu formy (Mold surface

temperature), vyhazovací teplota (Ejection temperature) a množství procent zatuhlého materiálu při vyhazování (Minimum part frozen percentage at ejection temperature). Teplota tavení polymeru byla nastavena na 280 °C. Čas otevření formy na 4 s. Ostatní hodnoty, jako je doba vstřiku, dotlaku a chlazení byly nastaveny automaticky programem Moldflow.

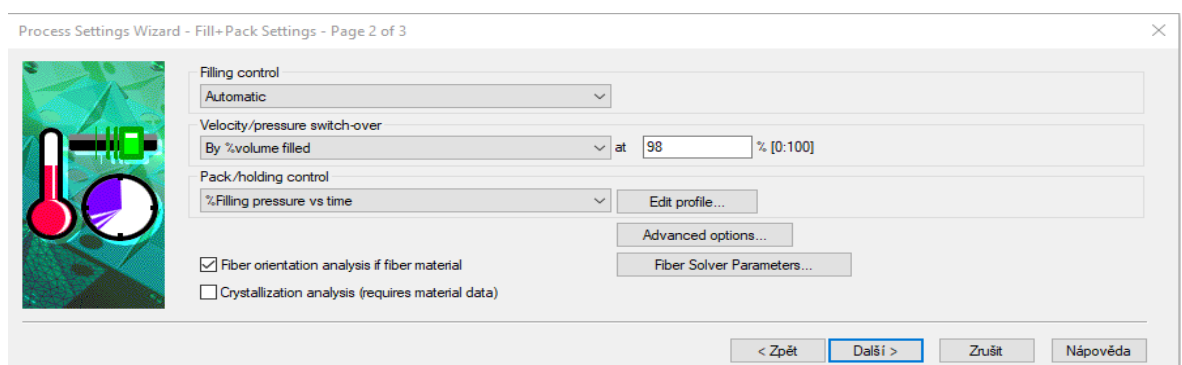


Obr. 56 První část nastavení procesních podmínek



Obr. 57 Kritéria pro automatické nastavení vstřiku, dotlaku a chlazení

V druhé části nastavení procesních parametrů se nastavuje čas plnění, přepnutí z plnění na dotlak a fázi dotlaku. Čas plnění byl ponechán na hodnotu automaticky vygenerovanou programem Moldflow. Hodnota přepnutí z plnění na dotlak byla nastavena z procentuálního zaplnění dutiny formy. Při 98% zaplnění dutiny formy přepne vstřikovací stroj na dotlak. Fáze dotlaku bude kontrolována podle plněního tlaku v závislosti na čase. V pokročilém nastavení je volba vstřikovacího stroje, kde se vybral zvolený stroj z předchozí kapitoly a zaškrtnula položka, aby se nepřekročila maximální uzavírací síla stroje.



Obr. 58 Druhá část nastavení procesních podmínek

%Filling pressure vs time		
	Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0	90
2	8	90
3		
4		

Obr. 59 Nastavení fáze dotlaku

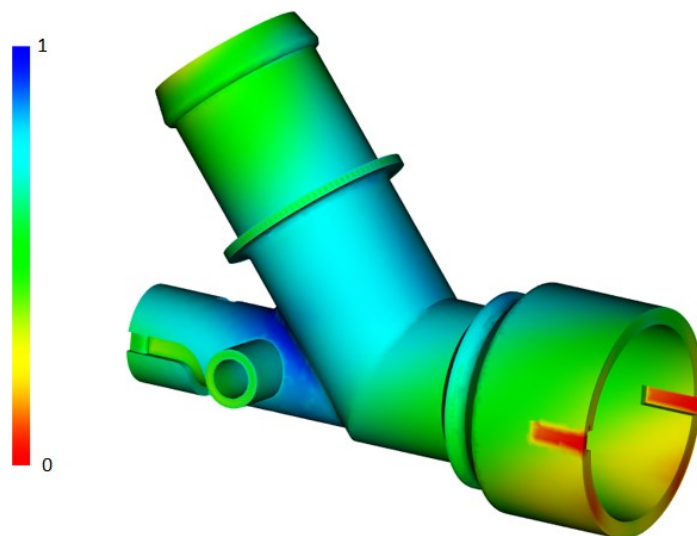
V poslední části nastavení procesních parametrů jsou zaškrtnuty možnosti sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy a možnost izolovat příčiny deformace. Dále následovalo spuštění analýzy.

7.2 Výsledky tokové analýzy – vtok (nebo umístění vtoku)

V této kapitole jsou popsány výsledky dvou analýz, a to konkrétně analýza ideálního umístění vtokového ústí a analýza indikující odpor materiálu vůči tečení. Jedná se o grafické zobrazení, které je vyznačeno barvami a bezrozměrnou hodnotou.

7.2.1 Ideální umístění ústí vtoku

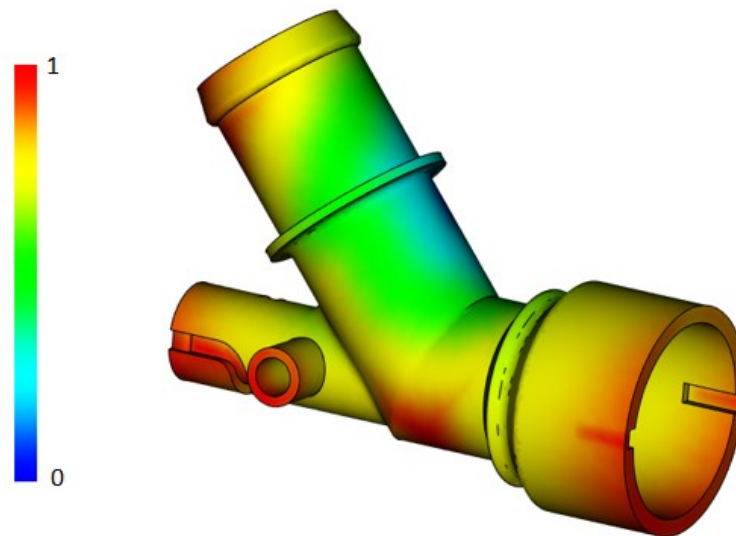
Výsledkem této analýzy je nejvhodnější poloha umístění ústí vtoku. Hodnota přibližující se k 1 a modrá barva zobrazují místa s nejvhodnějším umístěním ústí vtoku. Barva červená a hodnota blízká se k 0 zase naopak místa, kde by bylo nejméně vhodné umístění vtokového ústí. Nejvhodnější umístění vtoku je tedy přibližně uprostřed geometrie dílu, kde vhodnost umístění je 86 %. Toto místo bylo vybráno i pro konstrukci formy.



Obr. 60 Ideální umístění ústí vtoku

7.2.2 Odpor vůči toku taveniny

Toto grafické zobrazení ukazuje odpor taveniny proti tečení v průběhu vstřikování. Červená barva a hodnoty blíží se k 1 znamenají místa, kde bude největší odpor proti tečení a tyto místa budou s velkou pravděpodobností neodtečená. Barva modrá a hodnoty blíží se k 0 zobrazují místa, kde by docházelo k nejmenšímu odporu vůči tečení a tyto místa jsou vhodná pro umístění vtokového ústí.



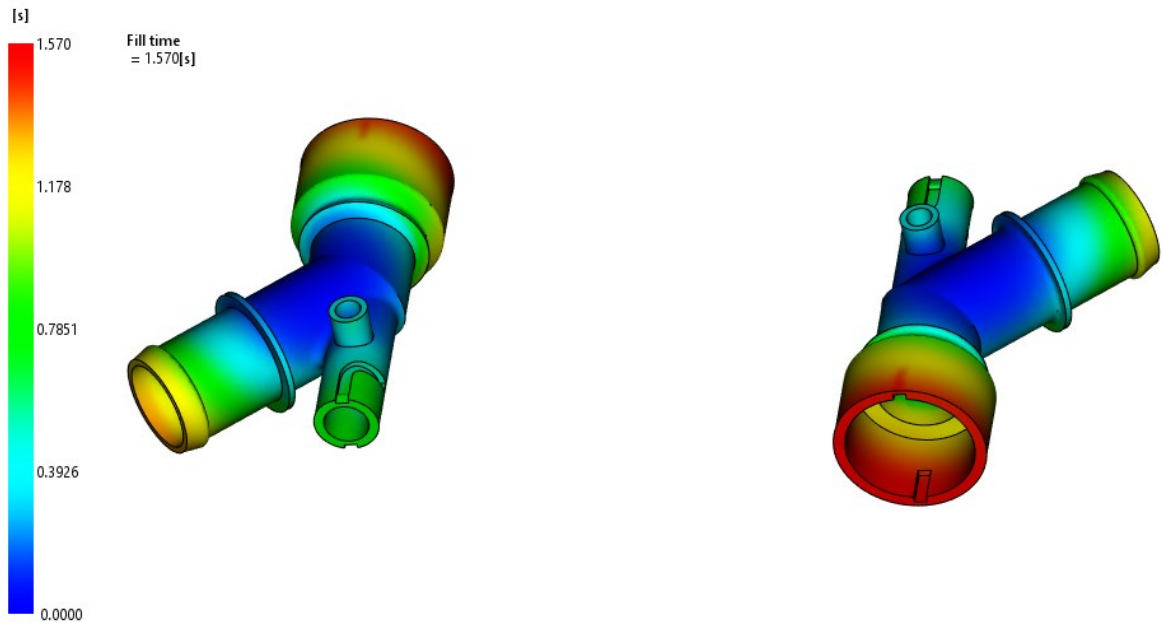
Obr. 61 Odpor vůči toku taveniny

7.3 Výsledky tokové analýzy – plnění a dotlak

V této kapitole jsou zobrazeny výsledky průběhu plnění a dotlaku ve vstřikovací formě. Stejně jako v předchozí kapitole se jedná o grafické zobrazení.

7.3.1 Čas plnění dutiny vstřikovací formy

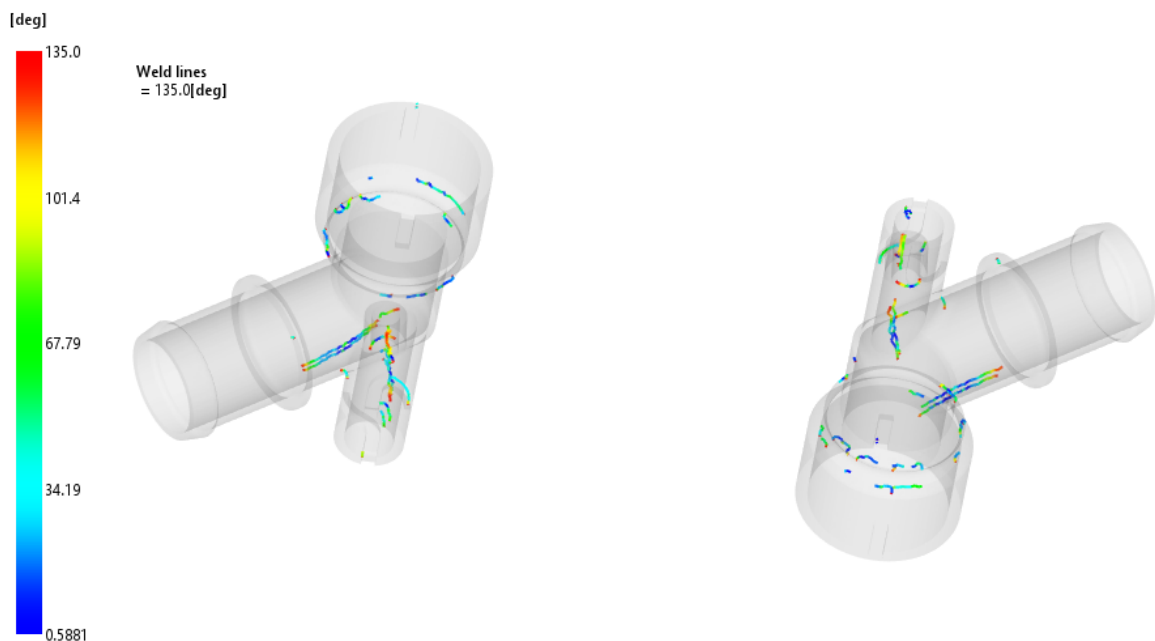
Tento výsledek zobrazuje dobu potřebnou k dokonalému vyplnění dutiny formy polymerní taveninou. Výsledný čas závisí na nastavení procesních parametrů a zda je umístění vtokového ústí správně navrženo. Červená barva zobrazuje místa, která jsou vyplněna jako poslední, tedy za nejdelší čas a modrá naopak místa, které jsou zaplněna jako první za nejkratší čas při vstupu taveniny do dutiny formy. Z Obr. 62 je patrné, že místo, kde dochází k poslednímu naplnění taveninou je nejvíce vzdálené od vtoku a taky místo s největším průměrem. Z obrázku dále jde vidět, že tavenina vyplnila obě dutiny ve stejnou dobu. K naplnění dutiny formy taveninou dojde v čase 1,57 s.



Obr. 62 Čas plnění dutiny formy

7.3.2 Studené spoje

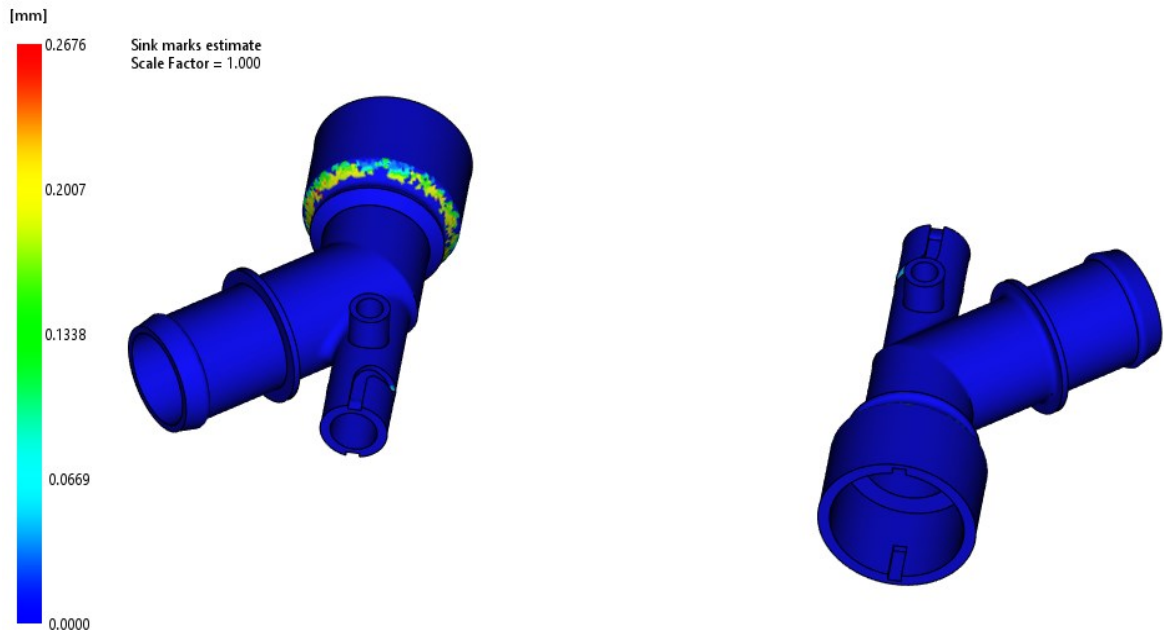
Pokud při vyplňování dutiny taveninou dochází k rozdělení proudu, například při obtečení tvarových jader, mohou vzniknout studené spoje. Jedná se o místa, kde se setkají a spojí dohromady dvě čela taveniny. Červená a modrá místa ukazují, kde k studeným spojům došlo při plnění dutiny taveninou. Studené spoje se někdy nedají zcela odstranit a volí se do místa, které nebude vystaveno velkému mechanickému namáhání. Z obrázku je patrné, že studené spoje vznikají v místech, kde se zmenšuje nebo zvětšuje průměr.



Obr. 63 Studené spoje

7.3.3 Propadliny

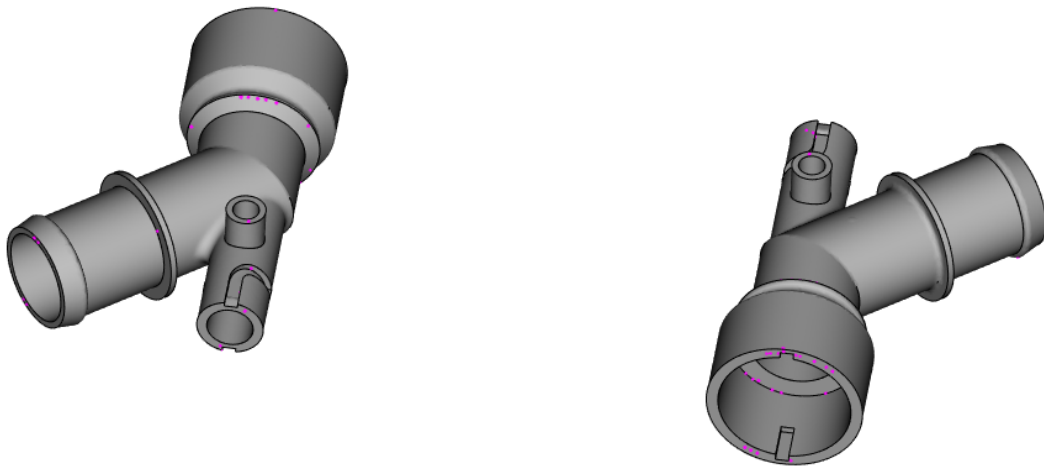
Propadliny jsou vzhledové, povrchové vady a neovlivňují tolik mechanické vlastnosti. Na obrázku je patrné, že k nim dochází v oblasti přechodu do největšího průměru. Největší naměřená hodnota je 0,268 mm. Protože u příruby chladiwa není tolik důležitý vzhled, tak tato maximální hodnota nebude ovlivňovat výslednou funkčnost při její končeném použití. Tyto vady se můžou odstranit použitím vyššího vstřikovacího tlaku a dotlaku.



Obr. 64 Propadliny

7.3.4 Vzduchové kapsy

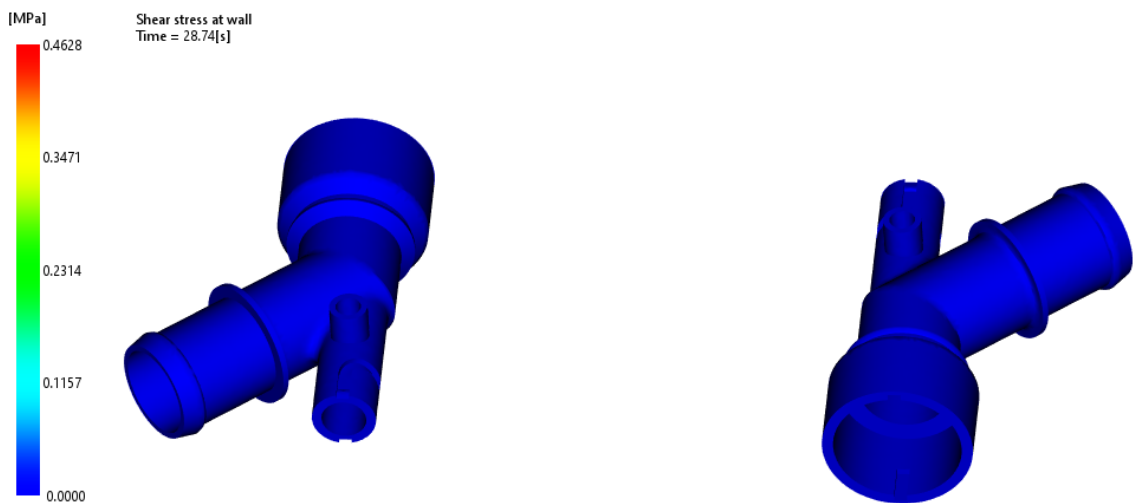
Vzduchové kapsy nejsou stejné jako studené spoje, ale místo, kde vzduch nestačil uniknout z dutiny před vyplněním a tavenina se přes něj nemůže dostat. Tím může nastat tzv. „dieselův efekt“ při kterém se zvyšuje teplota vzduchu a tím vznikají popáleniny na výrobku. Dalším problémem, který může nastat, když vzduch, který nemůže z dutiny formy uniknout je vytvoření kapsy nebo bubliny na výrobku. Výsledkem této analýzy je zobrazení potenciálních míst ke vzniku vzduchových kapes růžovou barvou. Z obrázku je patrné, že místo s největším počtem vzduchových kapes je na tzv. „prstenci“, který je na hlavním středovém průměru součástky. Tento problém se dá minimalizovat úpravou vstřikovacích rychlostí nebo provedení vhodného způsobu odvzdušnění.



Obr. 65 Vzduchové kapsy

7.3.5 Smykové napětí na stěně

Zvolený materiál má maximální povolenou hodnotu smykového napětí 0,5 MPa. Tato hodnota nebyla nikde překročena. Nejvyšší hodnota smykového napětí na stěně během plnění je 0,463 MPa.

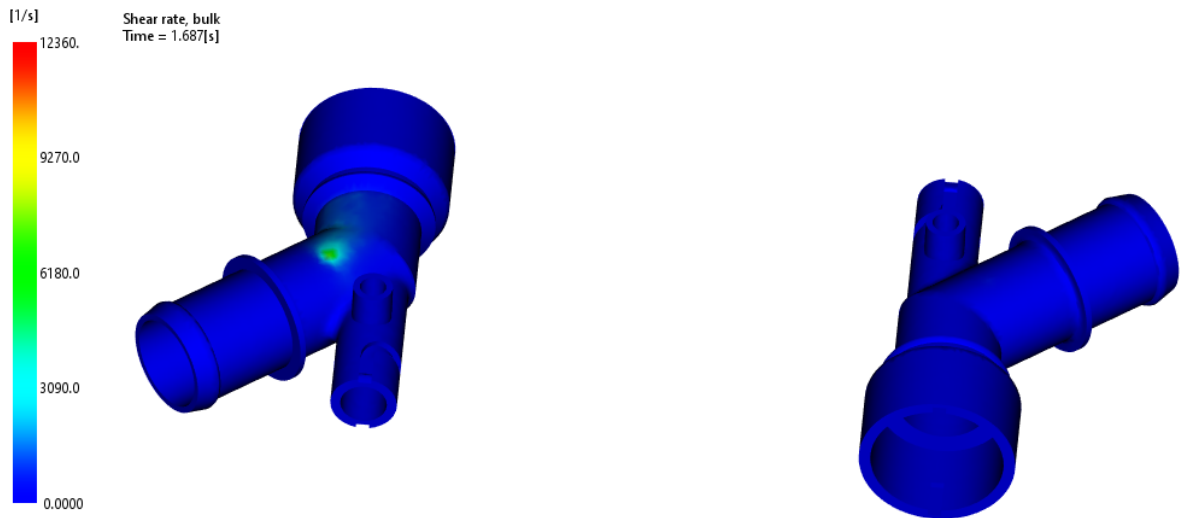


Obr. 66 Smykové napětí na stěně

7.3.6 Rychlost smykové deformace

Z materiálového listu pro zvolený materiál je maximální povolená hodnota smykové deformace 60 000 1/s. Tato hodnota nesmí být překročena, jinak by došlo k degradaci materiálu a snížení kvality výrobku. Z výsledku této analýzy vyplývá, že smyková rychlost nebyla překročena. Nejvyšší smyková rychlost je 12 360 1/s. Nejvyšší smykové rychlosti se vyskytují v místě vtoku, ale jen na levém výrobku. V místě takovém, takže by nemělo docházet k degradaci materiálu. Vysoká smyková rychlost se vyskytuje v místech, kde je

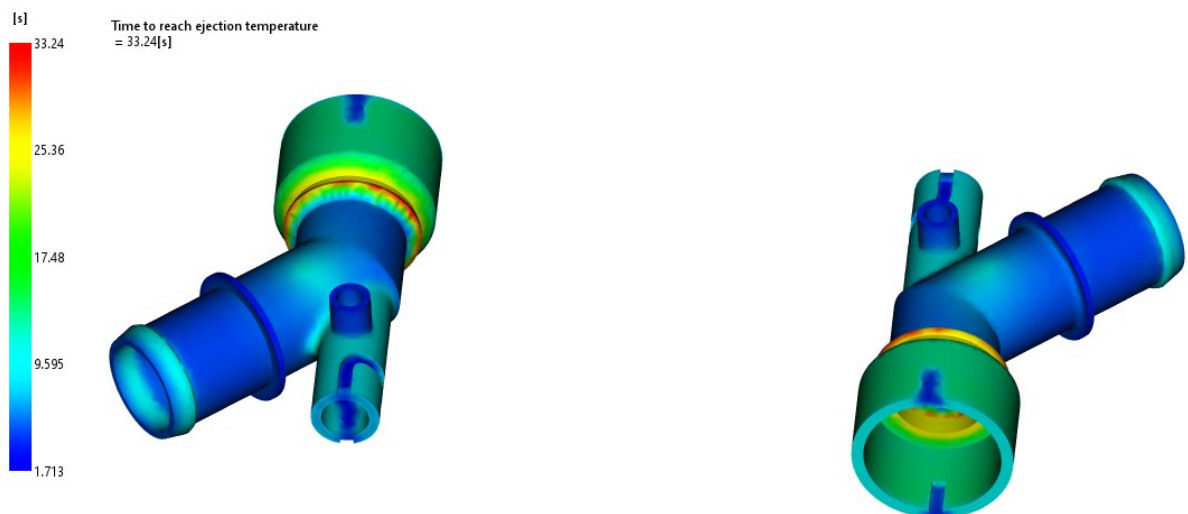
vzdálenost protějších stěn malá, tedy v úzkých štěrbinách a kanálech. Materiál v těchto místech zrychluje a tím se zvyšuje rychlost smykové deformace. Smyková rychlost se zmenšuje, když se sníží viskozita. Řešením by tedy bylo zvýšení teploty taveniny.



Obr. 67 Rychlost smykové deformace

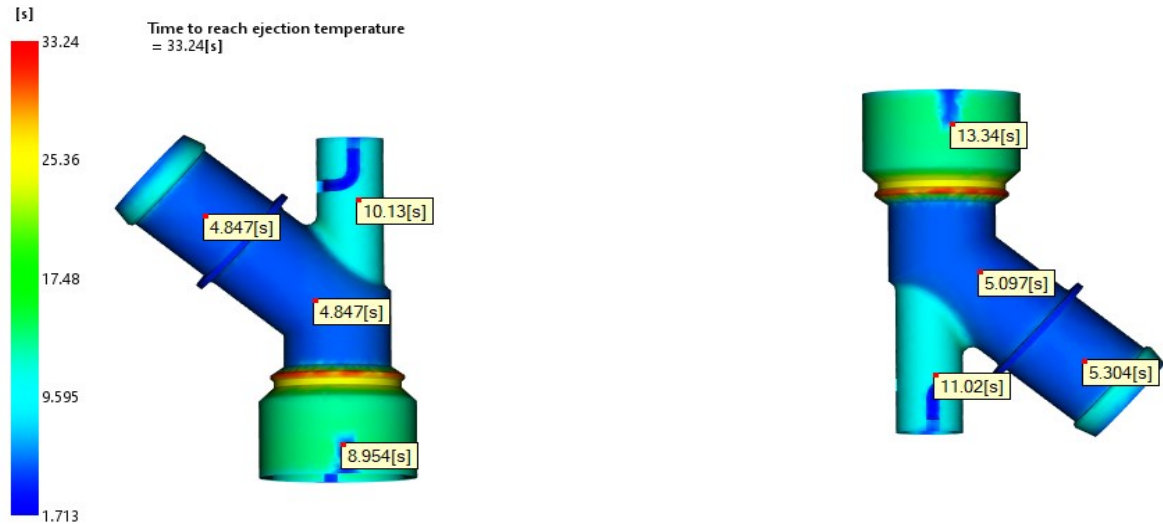
7.3.7 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Vyhazovací teplota pro zvolený polymer je 190 °C. Výsledek této analýzy udává, za jaký čas bude dosaženo vyhazovací teploty, aby mohlo dojít k bezpečnému vyhození výrobku z dutiny formy. Na obrázku je vidět, že vyhazovací teplota je dosažena při čase 33,2 s. Není však nutné čekat, až na dosažení této vyhazovací teploty na celém výrobku. Důležité je, aby tato teplota byla dosažena v místech, kde působí vyhazovače.



Obr. 68 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

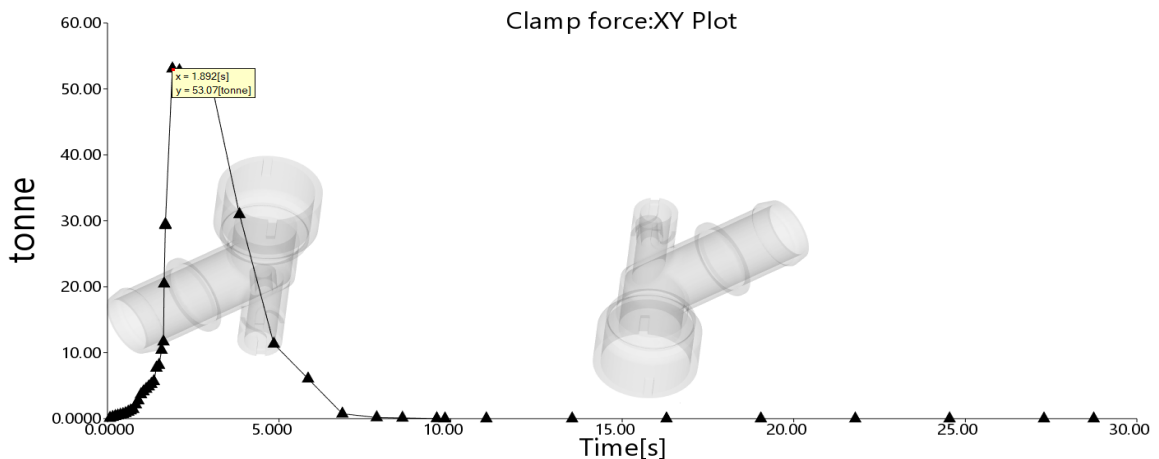
Podrobnějším zobrazením míst, kde působí vyhazovače je vidět čas, kdy dojde k ochlazení na vyhazovací teplotu a tento čas je výchozím parametrem pro vyhození výrobku z dutiny formy. Tyto časy jsou na každé straně trochu odlišné, ale dá se vyčíst, že výchozím časem pro vyhození výrobku z dutiny formy je 13,34 s.



Obr. 69 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

7.3.8 Uzavírací síla

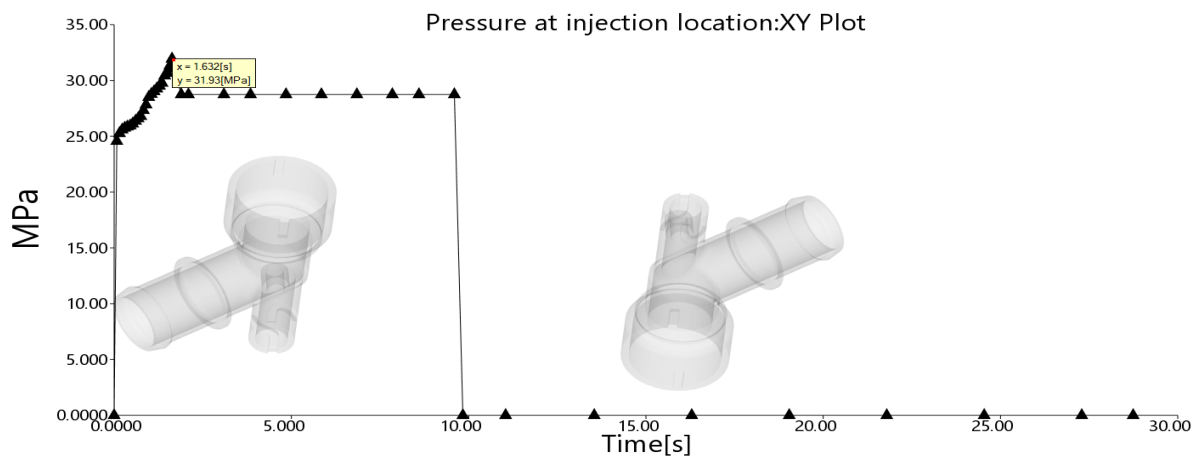
Výsledek analýzy ukazuje hodnotu maximální uzavírací síly, která je potřebná při výběru vstřikovacího stroje. Zvolený vstřikovací stroj musí vyvinout dostatečnou uzavírací sílu, která zabrání pootevření formy v dělicí rovině během vstřikování. Na obrázku je znázorněn graf, kde na ose X je jednotka času v sekundách a na ose Y velikost uzavírací síly v tunách. Z tohoto grafu vyplývá, že nejvyšší uzavírací síla je 530,7 kN, která je dosažena v čase 1,89 s. Při porovnání s hodnotou vybraného vstřikovacího stroje je uzavírací síla zobrazená analýzou menší, takže vybraný vstřikovací stroj splňuje požadavky.



Obr. 70 Uzavírací síla

7.3.9 Vstřikovací tlak

Působení tlaku při vyplňování dutiny taveninou je vyobrazeno grafem závislosti tlaku na čase. V grafu je znázorněno, že tlak nejprve vzroste v čase 1.63 s. Na nejvyšší hodnotu, která je 31,93 MPa. V čase, ve kterém je dutina formy vyplněna z 98 % dochází k přepnutí na dotlak, jak bylo nastaveno v procesních podmínkách.



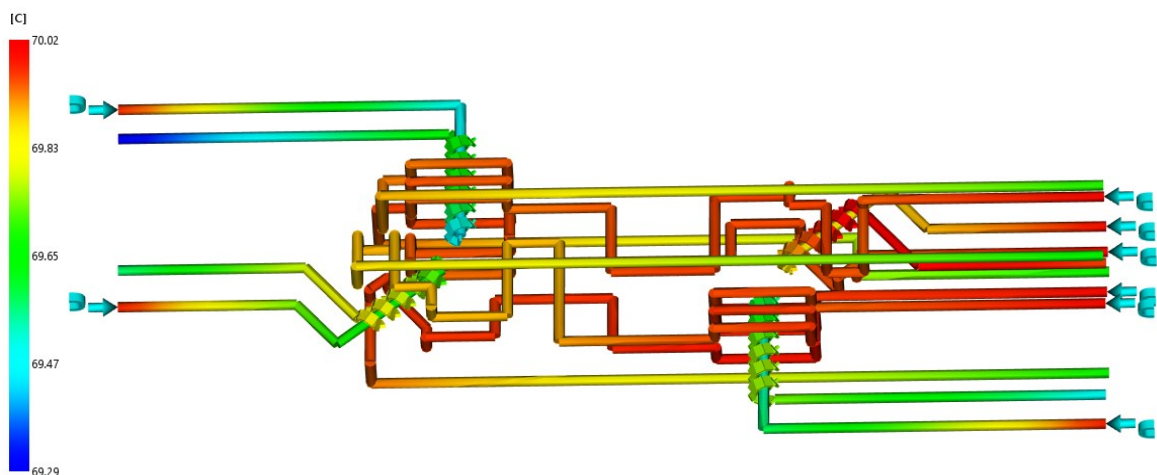
Obr. 71 Vstřikovací tlak

7.4 Výsledky tokové analýzy – teploty

V této kapitole jsou zpracovány výsledky analýzy teploty, díky kterým je možné stanovit, jestli navržená teplota bude účinná při temperování formy a ochlazování výrobku.

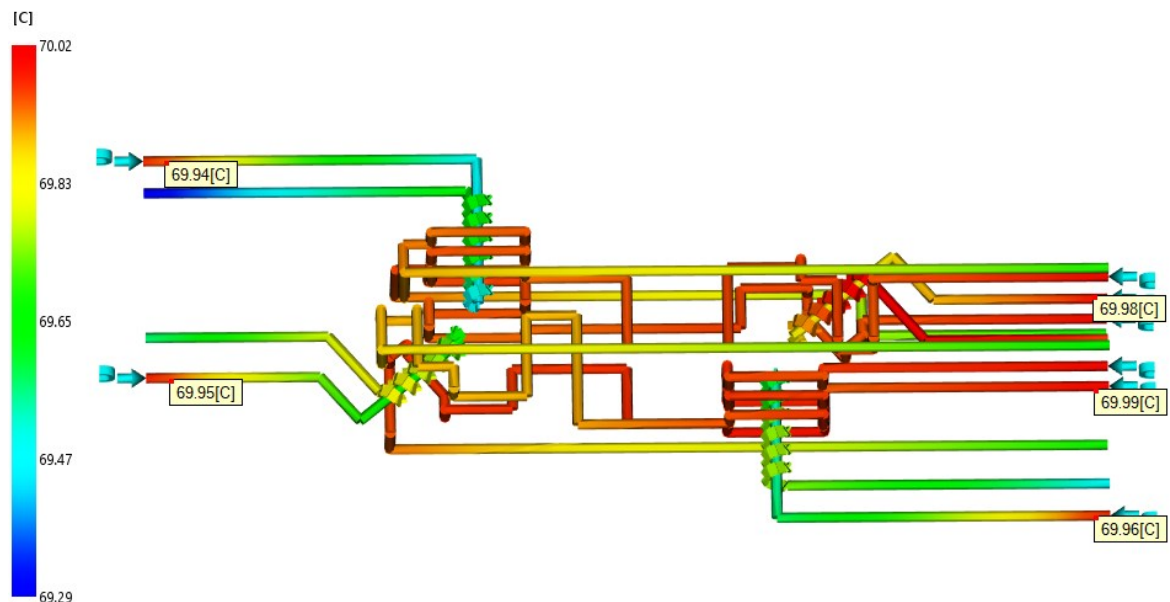
7.4.1 Teplota temperačního média v temperačním okruhu

Podmínka pro správné fungování temperačního systému je, aby rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem temperačního média nepřesáhl hodnotu 3 – 5 °C. Tento teplotní spád splňuje podmínku, protože nejvyšší teplota je 70,02 °C a nepřekračuje hodnotu povolenou.



Obr. 72 Poměr L/D teploty levé strany

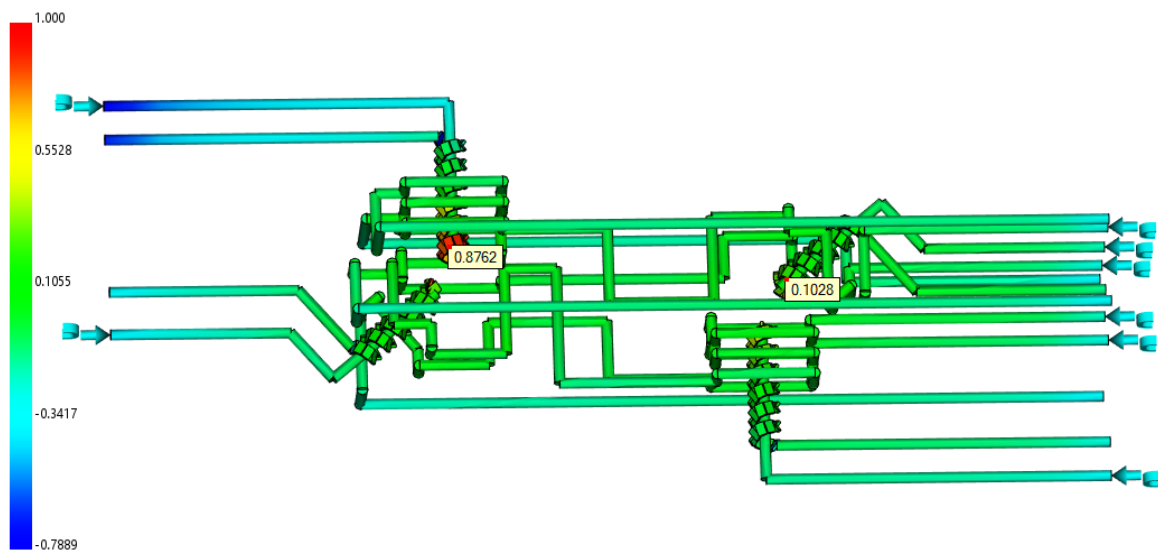
Na obrázku č. 74 jsou zobrazeny různé teploty v jednotlivých místech temperačního okruhu, kde na pravé straně je nejvyšší hodnota na vstupu 69,99 °C a na levé straně je nejvyšší hodnota na vstupu 69,95 °C.



Obr.73 Poměr L/D temperace levé strany

7.4.2 Účinnost odvodu tepla v temperačních kanálech

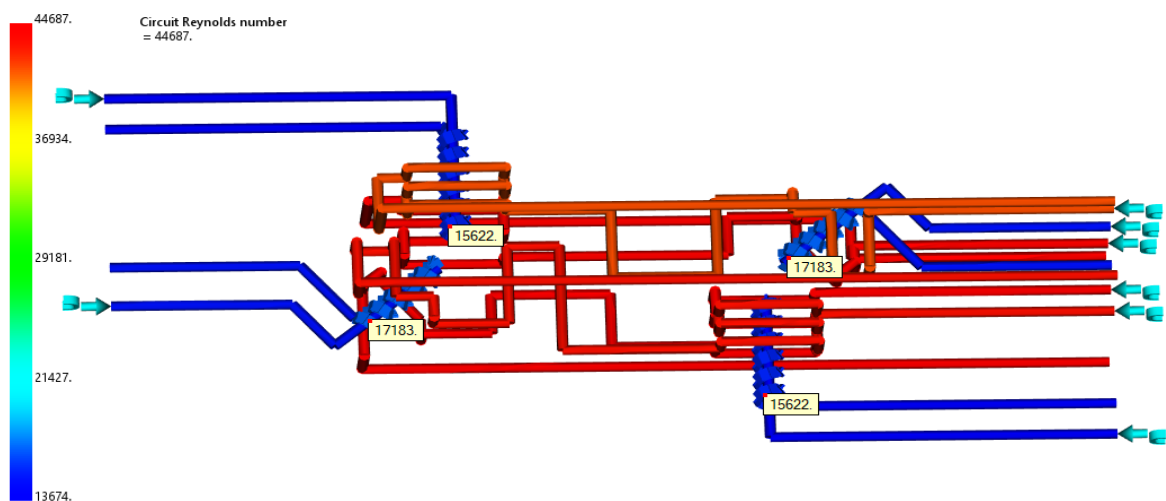
Výsledek této analýzy ukazuje jakou efektivitu odvodu tepla má navržený temperační systém. Jedná se o grafické zobrazení odvodu a přívodu tepla v určitých místech temperačního systému, kde modrá barva zobrazuje místa, ve kterých dochází k přívodu tepla. Červená barva zase místa, kde dochází k odvodu tepla a tyto místa jsou hlavně zastoupena v oblasti vtoku. Odvádění tepla záleží na konstrukci temperačních kanálů a na jejich rozmístění, jako je vzdálenost od dutiny a velikosti průměru. V místech, kde je temperační okruh obarven zelenou nebo žlutou barvu je odvod tepla poloviční, než v místech červené barvy. Odvod tepla je zobrazen i číselně od 0 do 1, kde hodnoty blíže 0 značí slabší odvod a hodnota 1 naopak velký odvod tepla. Hodnoty menší než 0 až po -1 značí přívod tepla. Na obrázku jsou zobrazena různá místa a přesný výsledek odvodu tepla v daném místě.



Obr. 74 Účinnost odvodu tepla

7.4.3 Reynoldsovo číslo temperačního okruhu

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která určuje, zda se jedná o proudění laminární nebo turbulentní. V případě temperačního okruhu je žádoucí, aby proudění temperačního média bylo turbulentní, protože je efektivnější v odvádění tepla. Hodnoty Reynoldsova čísla turbulentní oblasti jsou nad 10 000. Na obrázku 34 jsou hodnoty Reynoldsova čísla v temperačních okruzích navržené vstřikovací formy. Tyto hodnoty se pohybují od 14 973 do 34309. Podmínka turbulentního proudění je tedy splněna. Velikost Reynoldsova čísla závisí na velikosti průměru kanálu, čím větší průměr tím větší Reynoldsovo číslo. Na obrázku 62 je vidět, že v okruzích, kde je chlazení menšími kanály a pomocí spirály je Reynoldsovo číslo menší, než v hlavních kanálech. Hodnota Reynoldsova čísla je nejnižší ve spirále.



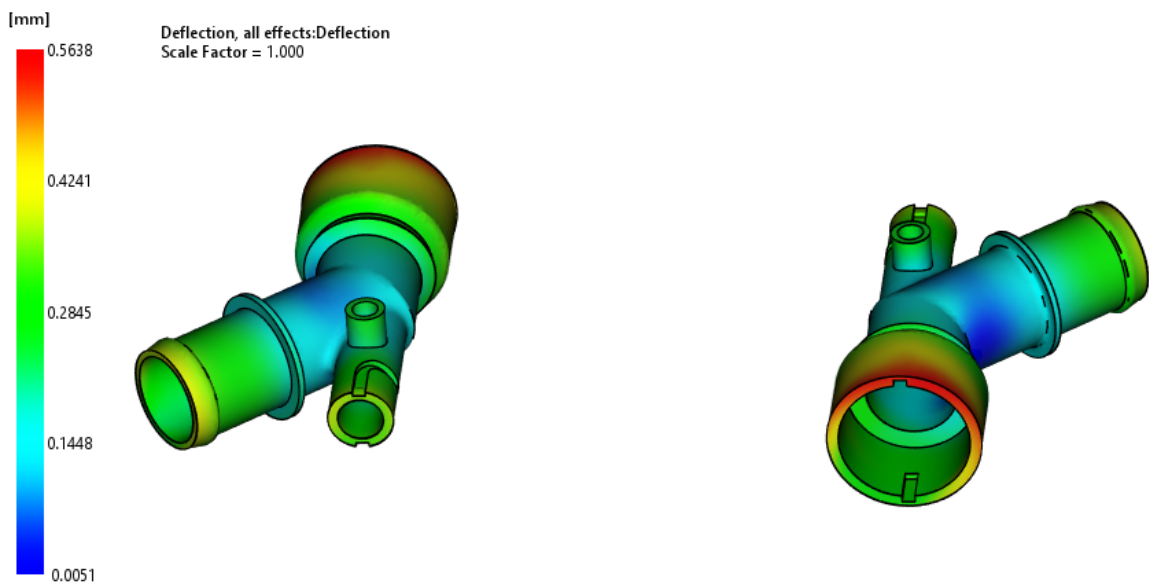
Obr. 75 Reynoldsovo číslo

7.5 Výsledky tokové analýzy – smrštění a deformace

V této kapitole se jsou zpracovány výsledky smrštění a deformace. Tyto informace se týkají objemových změn, kdy se mění tvar při zachování stejného objemu, které vznikají během tuhnutí taveniny a způsobují deformace. Deformace mohou vznikat vlivem různých efektů, během chlazení nebo vlivem smrštění.

7.5.1 Celková deformace od všech efektů

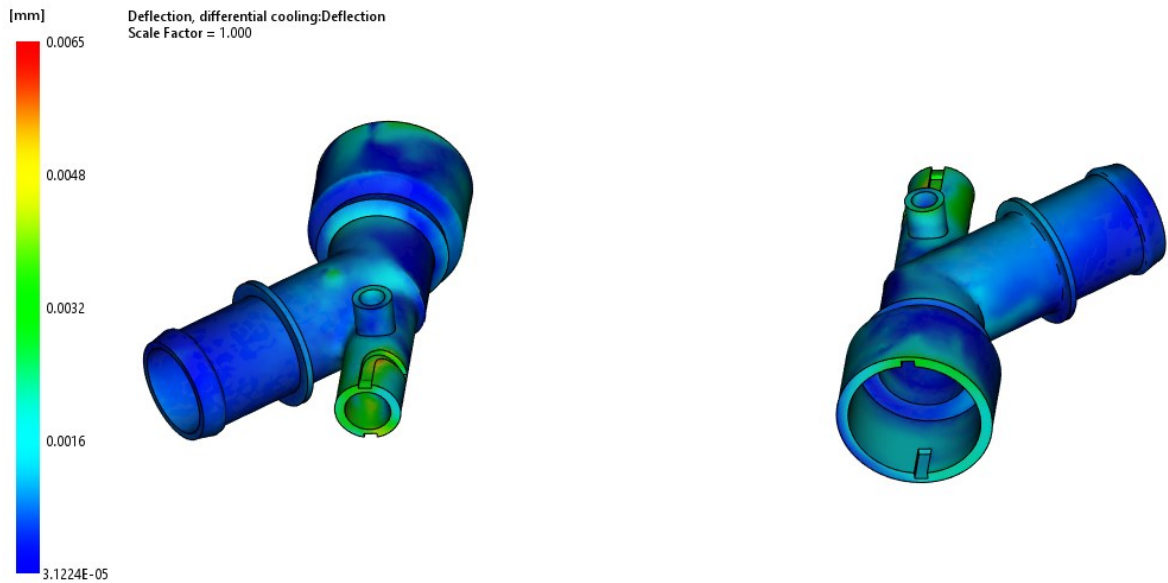
Výsledkem analýzy je zobrazení celkové deformace, která vznikla působením všech vlivů na výrobku. Velikost deformace je zobrazena graficky, pomocí barev a čísel. Číslkové vyjádření ukazuje velikosti deformace v milimetrech. Modrou barvou jsou obarveny místa s velmi malou deformací maximálně do 0,144 mm. Místa obarvená červenou barvou ukazují největší deformace. Největší deformace, která na výrobku vznikla dosahují hodnoty 0,564 mm. Tato hodnota není příliš vysoká, takže výsledná kvalita dílu nebude příliš ovlivněna. Tato hodnota by se dala snížit například oddálením temperačního kanálu od tohoto místa anebo snížením teploty formy.



Obr. 76 Celková deformace od všech efektů

7.5.2 Deformace vlivem chlazení

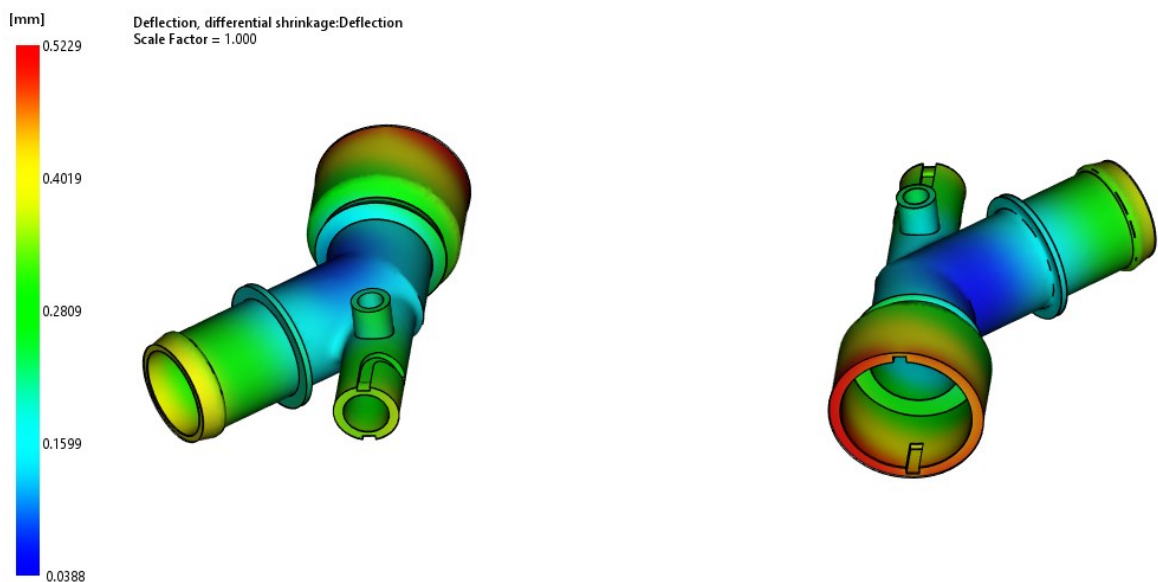
Jako výsledek této analýzy jsou graficky vyobrazeny deformace, které vznikly vlivem chlazení. Tyto deformace jsou velice malé. Maximální hodnota dosahuje pouze 0,006 mm. Tento výsledek poukazuje na to, že temperační systém pro daný výrobek je navržen správně a nemá teda zásadní vliv na deformace výrobku.



Obr. 77 Deformace vlivem chlazení

7.5.3 Deformace vlivem smrštění

Při přechodu materiálu z taveniny do tuhého stavu dochází téměř vždy k deformacím. Tento výsledek analýzy zobrazuje hodnoty a místa ve kterých k těmto deformacím došlo. Maximální hodnota je 0,523 mm a tato hodnota je velice podobná hodnotě celkové deformace, Z toho lze usuzovat, že deformace vlivem smrštění má na celkovou deformaci největší vliv.



Obr. 78 Deformace vlivem smrštění

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Druhou částí diplomové práce je praktická část, která je rozdělena na dvě hlavní kapitoly. V první kapitole bylo provedení návrhu vstříkovací formy pro přírubu chladící kapaliny. Po vymodelování výrobku ve 3D bylo řešeno jeho zaformování, kde byly stanoveny čtyři dělicí roviny, podle kterých bylo navrženo pět tvarových částí tvořící výslednou dutinu formy. Na základě složitosti odformování a porovnání dalších parametrů jako je například výsledná velikost formy byla navržena dvojnásobná vstříkovací forma s horkým vtokem. Dutina formy obsahuje celkem tři tvarová jádra, z toho dvě větších velikostí, takže musela být řešena jejich temperace. Temperace tvarových jader byla vyřešena pomocí spirály, ke které vedou 6 mm kanály a tím je obstarán efektivní odvod tepla. Temperace tvárníku a tvárnice je řešena přes dva okruhy a temperační médium je vedeno přes 8 mm kanály. Dále bylo navrženo účinného vyhazovacího systému, tak aby došlo ke snadnému vyhození součásti z dutiny formy a zároveň bez poškození. Při navrhování míst působení vyhazovačů je značným omezením umístění temperačních kanálů ve tvárníku, takže byla navržena taková místa, která se temperačních kanálů ve tvárníku vyhýbají. Na základě toho bylo vybráno celkem osm válcových vyhazovačů na každou dutinu připadají čtyři. Dva vyhazovače o průměru 8 mm a šest vyhazovačů o průměru 4 mm. Jako poslední věcí bylo namontování transportního systému na formu, který slouží k manipulaci.

V druhé kapitole byla provedena toková simulace na navrženou vstříkovací formu. Prvním krokem bylo importování modelu součástky do formátu stl a dráhy temperačního a vtokového systému do formátu iges. Na modelu byla vytvořena síť, která byla následně zkontrolována, aby splňovala, veškeré požadavky týkající se kvality sítě. Po zadání určitých parametrů u vtokového a temperačního systému byla taktéž vytvořena síť u které následně proběhla kontrola na její poměr L/D , který se musí přibližovat číslu 2,5. Před samotným spuštěním analýzy musel být ještě vybrán materiál, vstříkovací stroj a nastaveny procesní podmínky vstříkování. Po spuštění a dokončení analýzy byly zobrazeny výsledky. Nejprve vhodné umístění vtokového ústí, které ale bylo řešeno už při navrhování formy, takže toto umístění bylo zvoleno správně. Dalšími zobrazenými výsledky bylo ukázáno, že dutina formy bude vyplněna za 1,57 sekund. Následovalo zobrazení míst, kde dochází k spojení dvou čel taveniny, tedy místa studených spojů, výskytu propadlin a míst vytvoření vzduchových kapes. Tyto vady nebudou mít zásadní vliv na fungování příruby. Pak byl zobrazen výsledek smykového napětí na stěně a rychlosti smykové deformace, kde bylo ukázáno, že obě hodnoty nepřekračují maximální povolenou hodnotu z materiálového listu.

Pak následovalo zobrazení času potřebného k dosažení vyhazovací teploty, který byl 33,2 s. Tento čas, ale nebyl zvolen jako výchozí, protože záleží na místech, kde působí vyhazovače. Po zobrazení přesných míst působení vyhazovačů byl stanoven čas vyhození na 13,34 sekund. Dalšími výsledky je velikost uzavírací síly 530,7 kN a velikost vstřikovacího tlaku 31,93 MPa. Dále byly rozebrány výsledky, které se týkají teploty. Jako prvním výsledkem bylo, že nejvyšší teplota temperačního média v temperačním okruhu je 69,99 °C. Druhým výsledkem bylo zobrazení účinnosti odvodu tepla, které ukázalo místa, kde dochází k největšímu odvodu tepla temperačními kanály. Třetí výsledek týkající se teploty zobrazil hodnoty Reynoldsova čísla v temperačním okruhu, kde dochází k turbulentnímu proudění ve všech místech. Posledními výsledky bylo zobrazení celkové deformace, deformace vlivem chlazení a smrštění. Celková deformace a deformace vlivem smrštění mají velmi podobné hodnoty, z toho lze usuzovat, že deformace vlivem smrštění má na celkovou deformaci největší vliv. Deformace vlivem chlazení je velmi nízká hodnota, takže tento vliv je zanedbatelný.

ZÁVĚR

U diplomové práce byly stanoveny zásady pro vypracování, na základě, kterých byla diplomová práce vypracována. V první části proběhlo vypracování literární studie, která se zabývala polymerními materiály a jejich rozdělením. V literární studii dále bylo řešena problematika technologie vstřikování, kde byly rozebírány věci ohledně vstřikovacího stroje, přípravné zpracovatelské procesy týkající se vstřikování, technologie vstřikování a vstřikovací formy. Druhou částí diplomové práce je praktická část, která je rozdělena na dvě hlavní kapitoly. V první kapitole bylo provedení návrhu vstřikovací formy pro přírubu chladící kapaliny. Vycházelo se z dílu, který byl k dispozici a podle něj byly určeny rozměry a materiál. Forma byla navržena jako dvojnásobná s horkým vtokem. Při návrhu formy byl nejprve díl vymodelován ve 3D v software Catia. Po vymodelování dílu se navrhovalo následné odformování a byly stanoveny čtyři dělicí roviny. Jedna hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina byla jasně stanovena uprostřed dílu a rozděluje díl na dvě poloviny, podle kterých byla vymodelována příslušná dutina formy. Vedlejší roviny určují směr, kterým se budou pohybovat tvarová jádra, aby bylo možné odformování děr na výrobku. Posouvání tvarových jader na formě je provedeno pomocí hydraulických válců. Temperace vstřikovací formy byla řešena přes 6 temperačních okruhů, protože při odformování jsou použita velká posuvná jádra a musela se vyřešit jejich temperace. Většina komponentů, které byly použity při konstruování formy jsou vytaženy z katalogu firmy Hasco. Některé díly, ale byly upraveny například velikosti, aby bylo možné jejich použití. Některé díly zase bylo nutné zcela navrhnout a vymodelovat. Vyhazovací systém je řešen pomocí 8 vyhazovacích válcových kolíků.

Druhá část praktické je ověření funkčnosti navržené formy pomocí tokových simulací v programu Moldflow. Prvním krokem bylo importování modelu součástky a dráhy temperačního a vtokového systému do příslušného formátu pro program Moldflow. Následovalo jejich vysíťování, kontrola vygenerované sítě a nastavení procesních parametrů. Po veškerém nastavení se spustila a simulace a v dalších kapitolách rozebrány její výsledky. Výsledky ukázaly, že navržená forma splňuje podmínky pro správné fungování vstřikovací formy a je tedy navržená správně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] S. Zhang, R. Dubay and M. Charest. A principal component analysis model-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding. 2015, ISSN 0957-4174
- [2] Ebewele, Robert O. *POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Department of Chemical Engineering University of Benin: CRC Press, 2000. ISBN 978-0849389399.
- [3] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 2001 [cit. 2021-5-1]. ISBN 80-86229-15-7.
- [4] Eduard F. Aymerich. *Photochemical nanomodification of polymer surfaces: Aerospace applications* [online]. In: . Universitat Politècnica de Catalunya Master in Aerospace Science & Technology, 2010, 2010-09-28, s. 95 [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/reader/41796080>
- [5] Crawford, R.J. *PLASTICS ENGINEERING*. Third Edition. Linacre House. Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Copyright © 1998 R.J. Crawford. All rights reserved, 1998. ISBN 0 7506 3764 1.
- [6] Luboš Běhálek. *Polymery* [online]. Code Creator, 2015 [cit. 2020-11-04]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [7] Toranne and Stefanies Plastics. (2013). Classification of Plastics and History [Online] [cit.14.4.2021]. Dostupné: <http://dwb4.unl.edu/Chem/CHEM869E/CHEM869ELinks/qlink.queensu.ca/~6jrt/chem210/Page3.html#Chemical Nature>.
- [8] Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition. Edited by Myer Kutz Copyright © 2006 by John Wiley & Sons, Inc ISBN 9780471719854
- [9] HARPER, Charles A. a Edward M. PETRIE. *Plastics materials and processes: a concise encyclopedia*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, © 2003. ISBN 0-471-45603-9
- [10] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2.vyd. – Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [11] Sebastian Koltzenburg, Michael Maskos a Oskar Nuyken. *Polymer Chemistry*. Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany: © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017, 2017. ISBN 978-3-662-49277-2

- [12] HARPER, Charles A. *Handbook of plastic processes: Plastics engineering series*. Published simultaneously in Canada: Copyright © 2006 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, 2006. ISBN 13: 978-0-471-66255-6
- [13] DROBNY, J. ed. *Specialty Thermoplastics* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015 [cit. 2020-11-09]. ISBN 978-3-662-46418-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-46419-9
- [14] Myer Kutz. *APPLIED PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK: Processing, Materials, and Applications*. Second Edition. Oxford, OX5 1GB, United Kingdom: Copyright © 2017 Elsevier Inc. All rights reserved., 2017. ISBN ISBN: 978-0-323-39040-8.
- [15] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie: zpracovatelské procesy*. 2. přeprac. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1987.
- [16] Vannessa Goodship, Bethany Middleton, Ruth Cherrington. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality* [online]. Copyright © 2016 Elsevier, 2016 [cit. 2021-03-08]. ISBN 978-0-323-34061-8.
- [17] Petr Lenfeld. *Technologie 2* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm [18] CHANDA, Manas. *Plastics technology handbook: Plastics engineering series*. Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis, 2018. 2018. ISBN 9781315155876.
- [19] David O. Kazmer. *Injection Mold Design Engineering*. 2nd Edition. München , Germany: © Carl Hanser Verlag, Munich 2016, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [20] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding*. 3rd Edition. Munich, Germany: © Carl Hanser Verlag, Munich 2019, 2019. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [21] Hynek, M. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Západočeská univerzita v Plzni. 2013 [cit. 2021-02-18] 13 str. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf.pdf
- [22] DASSAULT SYSTEMES [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.3ds.com/>
- [23] HASCO [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.hasco.com/hasco/en/>

[24] AUTODESK [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>

[25] Coolant Flange Replacement. *Audiworld* [online]. 2006 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.audiworld.com/tech/eng76.shtml>

[26] Matweb [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupný z www:

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e1292bcce005472e8af7458025fe8d0d>

[27] Injection Molding Machines | Alvin Chan`s Personal Blog. Injection Molding Machines | Alvin Chan`s Personal Blog [online]. Copyright © 2020 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://plasticsformingtech.com>

[28] Moved Permanently [online]. Copyright © ocaj [cit. 01.04.2021]. Dostupné z: https://www.plasticportal.cz/image/clanky/4964/tn_11164.jpg

[29] Advantages and Disadvantages of Hot Runner Mold | OK Molding. Injection Molding Service, Custom mold, Plastic Parts Injection Molding Specialist [online]. Dostupné z: <https://www.okmolding.com/advantages-and-disadvantages-of-hot-runner-mold>

[30] Mold Cooling parts | Yubo Mold Parts. precision die mold part, ejector pin, core pin, auto machine part factory-Yubo Mold Parts [online]. Copyright © 2018 YUBO

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Catia multiplatformní 3D softwarová sada

V5R19 Verze Catie z roku 2008

DNA Deoxyribonukleová kyselina

PE Polyethylen

LDPE Nízkohustotní polyethylen

HDPE Vysokohustotní polyethylen

PVC Polyvinylchlorid

3D Trojrozměrný (trojdimenzionální)

CAD Computer-aided design (počítačem podporované projektování)

CAM Computer aided manufacturing (počítačem podporovaná výroba)

CAE Computer aided engineering (metoda využití počítačového softwaru k usnadnění inženýrské analýzy)

stl nativní formát souboru stereolitografického programu pro CAD

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 a) Styren (monomer), b) Polystyren (polymer)</i>	11
<i>Obr. 2 a) Lineární řetězec, b) Rozvětvený řetězec, c) zesíťovaný řetězec</i>	12
<i>Obr. 3 Různé typy konfigurací kopolymeru</i>	13
<i>Obr. 4 Základní rozdělení polymerů</i>	14
<i>Obr. 5 Oblast použití amorfních polymerů</i>	15
<i>Obr. 6 Lamelový model pro krystalizaci polymeru</i>	16
<i>Obr. 7 Amorfni a semikrystalická struktura</i>	16
<i>Obr. 8 Struktura termoplastických elastomerů</i>	18
<i>Obr. 9 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu</i>	20
<i>Obr. 10 a) vnější vlhkost, b) vnitřní vlhkost</i>	21
<i>Obr. 11 Vstřikovací stroj od firmy Arburg</i>	24
<i>Obr. 12 Kompletní vstřikovací jednotka</i>	25
<i>Obr. 13 Hydraulická uzavírací jednotka</i>	26
<i>Obr. 14 Dvoudesková forma</i>	27
<i>Obr. 15 třídesková forma</i>	28
<i>Obr. 16 Systém s horkým vtokem</i>	29
<i>Obr. 17 Studený vtok</i>	30
<i>Obr. 18 Správné konstrukční řešení vtokových kanálů</i>	30
<i>Obr. 19 Plný kuželový vtok</i>	31
<i>Obr. 20 Bodový vtok</i>	32
<i>Obr. 21 Zavřená forma s tunelovým vtokem</i>	32
<i>Obr. 22 Mírně otevřená forma s tunelovým vtokem</i>	33
<i>Obr. 23 Banánový vtok</i>	33
<i>Obr. 24 Boční vtok</i>	34
<i>Obr. 25 Zvonové ústí vtoku k</i>	35
<i>Obr. 26 Filmové ústí vtoku a) tvar klínu, b) kruhový tvar</i>	35
<i>Obr. 27 Filmové ústí vtoku</i>	36
<i>Obr. 28 Talířové ústí vtoku</i>	36
<i>Obr. 29 Typický temperační systém pro vstřikovací formu</i>	37
<i>Obr. 30 Boční pohled na otevřenou formu</i>	38
<i>Obr. 31 3D model výrobku</i>	43
<i>Obr. 32 Vstřikovací forma</i>	44
<i>Obr. 33 Umístění vtoku ve formě</i>	45
<i>Obr. 34 Dělicí roviny</i>	46

<i>Obr. 35</i>	<i>Zaformování tvarových jader v dutině formy</i>	46
<i>Obr. 36</i>	<i>Tvárník (vlevo), tvárnice (vpravo)</i>	47
<i>Obr. 37</i>	<i>Tvarové jádro pro díru 40 mm</i>	47
<i>Obr. 38</i>	<i>Tvarové jádro pro díru 14 mm (vlevo), tvarové jádro pro díru 28 mm (vpravo)</i>	48
<i>Obr. 39</i>	<i>Pravá strana vstřikovací formy</i>	49
<i>Obr. 40</i>	<i>Vyhříváná tryska bez krytů</i>	49
<i>Obr. 41</i>	<i>Horký vtokový systém</i>	50
<i>Obr. 42</i>	<i>Levá strana formy</i>	51
<i>Obr. 43</i>	<i>Uchycení hydraulického válce</i>	51
<i>Obr. 44</i>	<i>Rozmístění vyhazovačů v tvarové vložce</i>	52
<i>Obr. 45</i>	<i>Vyhazovací systém</i>	53
<i>Obr. 46</i>	<i>Temperace pravé strany formy</i>	53
<i>Obr. 47</i>	<i>Temperace levé strany formy</i>	54
<i>Obr. 48</i>	<i>Okruh temperace tvarových jader</i>	54
<i>Obr. 49</i>	<i>Temperace - pohled z boku na formu (šipkami znázorněn směr posouvání)</i>	55
<i>Obr. 50</i>	<i>Závěsné oko (vlevo), zámek (vpravo)</i>	55
<i>Obr. 51</i>	<i>Statistika sítě modelu</i>	57
<i>Obr. 52</i>	<i>Vtokový systém poměr L/D</i>	57
<i>Obr. 53</i>	<i>Levá strana temperace poměr L/D</i>	58
<i>Obr. 54</i>	<i>Pravá strana temperace poměr L/D</i>	58
<i>Obr. 55</i>	<i>Rozměry vstřikovacího stroje</i>	59
<i>Obr. 56</i>	<i>První část nastavení procesních podmínek</i>	60
<i>Obr. 57</i>	<i>Kritéria pro automatické nastavení vstřiku, dotlaku a chlazení</i>	60
<i>Obr. 58</i>	<i>Druhá část nastavení procesních podmínek</i>	60
<i>Obr. 59</i>	<i>Nastavení fáze dotlaku</i>	61
<i>Obr. 60</i>	<i>Ideální umístění ústí vtoku</i>	61
<i>Obr. 61</i>	<i>Odpor vůči toku taveniny</i>	62
<i>Obr. 62</i>	<i>Čas plnění dutiny formy</i>	63
<i>Obr. 63</i>	<i>Studené spoje</i>	63
<i>Obr. 64</i>	<i>Propadliny</i>	64
<i>Obr. 65</i>	<i>Vzduchové kapsy</i>	65
<i>Obr. 66</i>	<i>Smykové napětí na stěně</i>	65
<i>Obr. 67</i>	<i>Rychlost smykové deformace</i>	66
<i>Obr. 68</i>	<i>Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty</i>	66
<i>Obr. 69</i>	<i>Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty</i>	67

<i>Obr. 70 Uzavírací síla</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 71 Vstříkovací tlak.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 72 Poměr L/D temperace levé strany</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 73 Poměr L/D temperace levé strany</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 74 Účinnost odvodu tepla</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 75 Reynoldsovo číslo</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 76 Celková deformace od všech efektů.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 77 Deformace vlivem chlazení</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 78 Deformace vlivem smrštění</i>	<i>72</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.1 Základní vlastnosti materiálu PA66 – G30 B-01.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 2 Základní parametry vstřikovacího stroje od značky Arburg, typ Allrounder 1300 T</i>	<i>59</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres sestavy formy

Příloha P 2: Kusovník

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY