

Vliv teploty tvarových dutin pro kryt reproduktoru

Bc. Adam Mikulík

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Mikulík**
Osobní číslo: **T18713**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Vliv teploty tvarových dutin pro kryt reproduktoru**

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracovat literární rešerši na dané téma
- 2) Navrhnout tvarové vložky pro zadaný výrobek
- 3) Provést simulace vstřikování
- 4) Porovnat návrhy tvarových dutin

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, L. 2009. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN.

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

BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů: I.díl ? Vstřikování termoplastů. Brno: Uniplast, 1999.

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

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

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 užit 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

Tato diplomová je práce zaměřena na tvorbu a následné porovnání dvou různých variant temperančních systémů pro zadaný výrobek. Rozdíl mezi těmito temperačními systémy je, ve způsobu jakým jsou vyrobeny. Jeden systém je vyroben pomocí konvenčních metod, v tomto případě se jedná o vrtání a frézování. Druhý systém je vytvořen za pomoci technologie DMLS. Teoretická část této diplomové práce se zaměřuje na polymery, samotný proces vstřikování, popisuje konstrukci forem a technologii DMLS. Praktická část se zaměřuje na konstrukci formy pro daný výrobek. Dále se zaměřuje na tvorbu samotných variant temperančních systémů. Tyto temperační systémy jsou analyzovány vtokovými simulacemi a výsledky jsou prodiskutovány a porovnány.

Klíčová slova: Polymery, Vstřikování, Vstřikovací forma, DMLS

ABSTRACT

This master thesis is aimed at creation and subsequent comparison of two different variants of cooling systems for given product. Difference between these two cooling systems is in the way they were made. One system is manufactured using conventional methods, in this case drilling and milling. The second system is created using DMLS technology. The theoretical part of this master thesis focuses on polymers, the injection molding process itself, describes the construction of molds and DMLS technology. The practical part focuses on the construction of the mold for the given product. It also focuses on the creation of variants of tempering systems. These cooling control systems are analyzed by flow simulations and the results are discussed and compared.

Keywords: Polymers, Injection moulding, Injection mold, DMLS

Děkuji panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení a poskytnutí materiálů při tvorbě této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 TERMOPLASTY	12
1.1.1 Amorfnní termoplasty	13
1.1.2 Semikrystalické termoplasty	13
1.2 REAKTOPLASTY.....	14
1.3 ELASTOMERY	14
1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	15
2 VSTŘIKOVÁNÍ	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	16
3 VSTŘIKOVACÍ STROJE	18
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	18
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	19
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	21
4.1 KONSTRUKCE FORMY	22
4.1.1 Upínací deska	22
4.1.2 Tvárnice.....	23
4.1.3 Tvárník	23
4.1.4 Opěrná deska	23
4.1.5 Rozpěrné desky	23
4.1.6 Vyhazovací desky	24
4.1.7 Středící prvky	24
4.1.8 Vodící prvky.....	25
4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	25
4.2.1 Studený vtokový systém	25
4.2.2 Vyhříváný vtokový systém	27
4.3 VYHAZOVCÍ SYSTÉM	27
4.3.1 Mechanické vyhazování.....	28
4.3.2 Pneumatické vyhazování.....	29
4.3.3 Hydraulické vyhazování.....	29
4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY	30
4.4.1 Charakteristika temperančních systémů.....	30
4.4.2 Konstrukční řešení temperančních systémů	32
4.4.3 Temperační prostředky.....	33
4.4.4 Přepážkové systémy	35
4.4.5 Temperační systém Contura®.....	35
4.4.6 Konformní temperace.....	36

4.5	MATERIÁLY VYUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM.....	37
5	TECHNOLOGIE DMLS	38
5.1	PRINCIP TECHNOLOGIE DMLS	38
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	40
6	CÍLE DPLOMOVÉ PRÁCE.....	41
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	42
7.1	POUŽITÝ MATERIÁL.....	42
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ	44
9	VSTŘIKOVACÍ FORMA	45
9.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	45
9.2	VODÍCÍ PRVKY FORMY.....	46
9.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	46
9.4	VTKOVÝ SYSTÉM	47
9.5	TVAROVÉ VLOŽKY VSTŘIKOVACÍ FORMY	48
9.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	49
9.7	MANIPULAČNÍ PRVKY	49
9.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	50
9.8.1	Vrtaná verze temperace.....	50
9.8.2	Konformní verze temperace.....	51
10	TOKOVÉ ANALÝZY.....	53
10.1	ČAS PLNĚNÍ.....	55
10.2	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE.....	55
10.3	TLAK V MÍSTĚ VSTŘIKU.....	55
10.4	HODNOTA UZAVÍRACÍ SÍLY.....	57
10.5	TEPLOTA TEMPERAČNÍHO MÉDIA.....	58
10.6	HODNOTA REYNOLDOVA ČÍSLA.....	59
10.7	ČAS PRO DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty.....	60
10.8	TEPLOTA FORMY	60
10.9	ÚČINNOST ODVODU TEPLA	62
10.10	CELKOVÁ DEFORMACE	63
11	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	65
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72

SEZNAM TABULEK.....	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

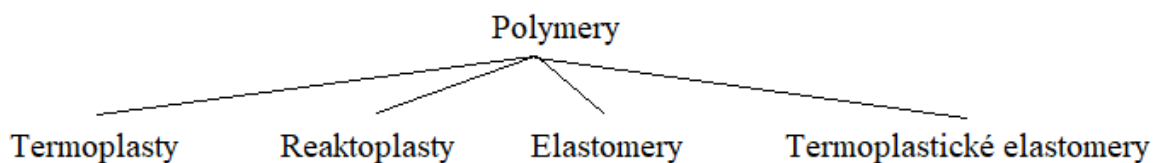
V dnešní době se s výrobky z plastů setkáváme všude, největší podíl plastových výrobků je vyráběn vstřikováním. Technologie vstřikování od svého nástupu v druhé polovině 20. století ušla dlouhou cestu. Od vývoje nových vstřikovacích strojů, zavedení a optimalizace horkých vtokových systémů, robotizaci, použití nových materiálů a technologií pro tvorbu forem, využití simulačních softwarů po zavedení nových vstřikovacích technologií. Mezi tyto nové technologie můžeme řadit, vícekomponentní vstřikování, vstřikování za pomoci plynů a vody, vstřikování lehčených materiálů a další.

Veškeré společnosti míří k zefektivnění výroby, zkrácení výrobního času, snížení spotřeby materiálů a celkově snížení nákladů na výrobu. Zkrácení výrobního času by mohlo být dosaženo výběrem vhodného materiálu formy, zoptimalizování vtokových a temperačních systémů. Jedním z těchto způsobů se zabývá tato diplomová práce, a to optimalizací temperačních systémů. Díky nástupu nových technologií 3D tisku, a to konkrétně technologie DMLS je možno vytvářet tvarové vložky s temperačními systémy optimalizované pro daný výrobek, neomezované konvenčními metodami tvorby temperačních systémů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

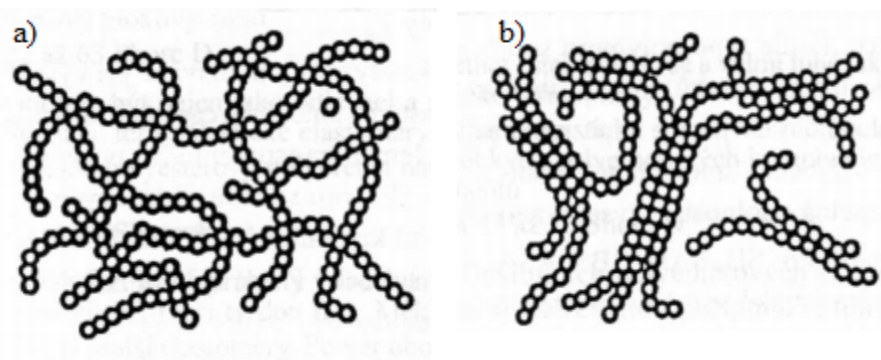
Za polymery považujeme látky se strukturou, která je tvořena makromolekulárními řetězci. Tyto řetězce jsou tvořeny opakujícími se základními stavebními jednotkami tzv.: mery. V tomto se liší od kovů, které mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami. Polymery ve svých makromolekulárních řetězcích obvykle obsahují uhlík, vodík, kyslík, dusík, chlór a další prvky. Tyto látky jsou vázány mezi sebou vazbami fyzickými nebo chemickými. Polymery mohou být jak syntetického (PE, PVC, PC) tak i přírodního původu (kaučuk, polysacharidy, bílkoviny). [1, 3]



Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [4]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které mají své řetězce přímé, tyto polymery nazýváme polymery lineárními, nebo řetězce s bočními větvemi, tyto polymery nazýváme polymery rozvětvenými. Při zahřívání těchto materiálů dochází k uvolnění soudržnosti řetězců a hmota se stává viskózní, v tomto stavu se stává tvářitelnou. Zchlazením materiálu se stávají opět tuhými. Podle vnitřní struktury rozdělujeme termoplasty na amorfnní a semikrystalické. [1]

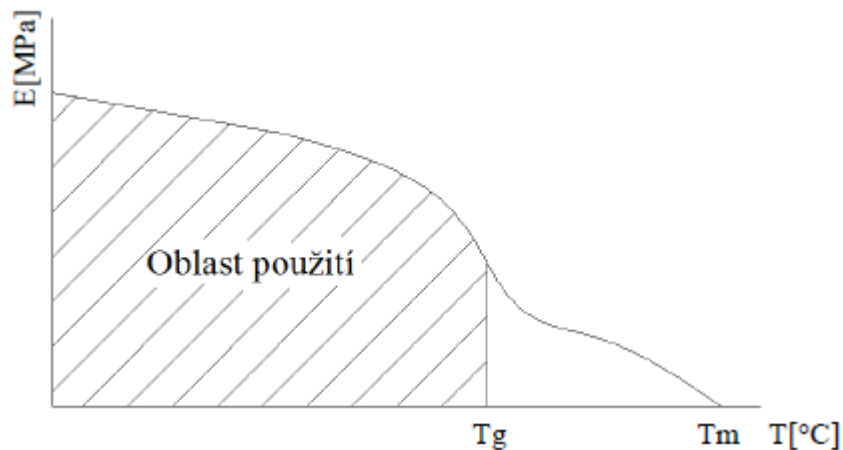


Obrázek 2 Vnitřní struktura termoplastů [4]

a) amorfnní struktura b) semikrystalická struktura

1.1.1 Amorfnní termoplasty

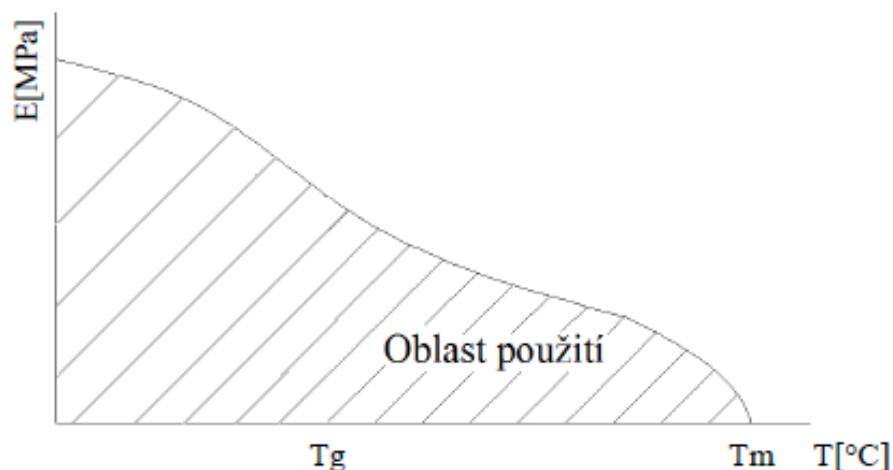
Řetězce u amorfnních termoplastů jsou v prostoru uspořádnány nepravidelně. Výrobky z těchto materiálů jsou tvrdé, křehké a je možno vytvářet v transparentním provedení. Amorfnní polymery se vyznačují malým smrštěním, které bývá pod 1 %. Využitelnost těchto materiálů je v oblasti pod skelným přechodem T_g . Při zvyšování nad teplotu T_g přechází materiál do viskózního stavu, v tomto stavu jej lze tvářet. Aby bylo možno materiály zpracovávat vstřikováním, je nutno dosáhnout teploty tání T_m . Mezi amorfnní termoplasty řadíme např. PS (polystyren), ABS (akrylonitrilbutadienstyren), PC (polykarbonát), PMMA (polymethylmethakrylát). [1, 5]



Obrázek 3 Oblast využití amorfnních polymerů [1]

1.1.2 Semikrystalické termoplasty

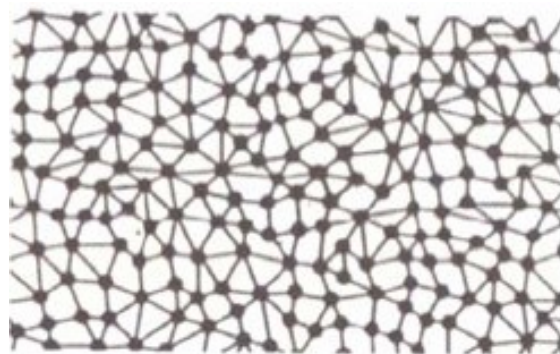
Na rozdíl od amorfnních termoplastů, jsou zde řetězce do jisté míry uspořádnány. Míra uspořádnání je závislá na podílu krystalické fáze. Podíl krystalické fáze je závislý na použitém materiálu a způsobu zpracování, při vstřikování je možno dosáhnout i 80-ti procentního podílu krystalické fáze. Toto vyšší uspořádnání má ale za následek i větší smrštěnní materiálu, obvykle 1 až 2,5 %. Výrobky z těchto materiálů se vyznačují mléčným zabarvením. Tuhost, pevnost a houževnatost těchto výrobků stoupá se zvyšujícím se podílem krystalické fáze. Změnou vlastností při přechodu přes teplotu T_g je ovlivněna pouze amorfnní složka polymeru, tím u polymerů s větším stupněm krystalinity je změna vlastností méně výrazná. Semikrystalické polymery je možno využívat až po teplotu tání T_m . Mezi semikrystalické termoplasty řadíme např. PE (polyethylen), PP (polypropylen), POM (polyoxymethylen), PBT (polybutylen-tereftalát). [1, 5]



Obrázek 4 Oblast využití semikrystalických polymerů [1]

1.2 Reaktoplasty

Tyto materiály na rozdíl od termoplastů bývají zafixovány chemickou, nikoliv fyzickou reakcí, a to zesíťováním. Při zesíťování dochází k zafixování struktury polymeru, tato reakce je nevratná a opětovným zahřátím nelze tyto materiály převést do zpracovatelného stavu, výrobek se stává netavitelným a nerozpustným. Zesíťování se vyvolává obvykle působením tepla, zářením nebo síťovacími činidly. Oproti termoplastům vykazují reaktoplasty mnohem větší tvrdost, odolnost oproti okolním vlivům, teplu i působením chemikáliím. Jelikož reaktoplasty nelze opětovně zpracovávat působením tepla, je u těchto materiálů velmi obtížná recyklace. Mezi reaktoplasty řadíme např. epoxidové, polyesterové a fenolformaldehydové pryskyřice. [6]

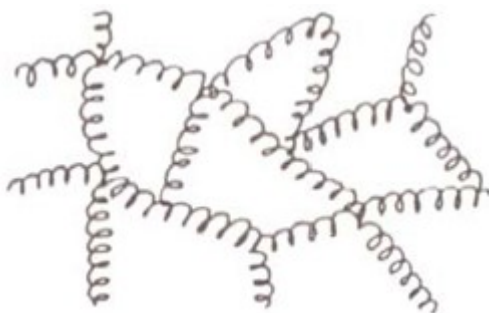


Obrázek 5 Vnitřní struktura reaktoplastu [6]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze za běžných podmínek s malou silou značně deformovat a to bez porušení. Tyto deformace jsou vratné. Elastomery jsou

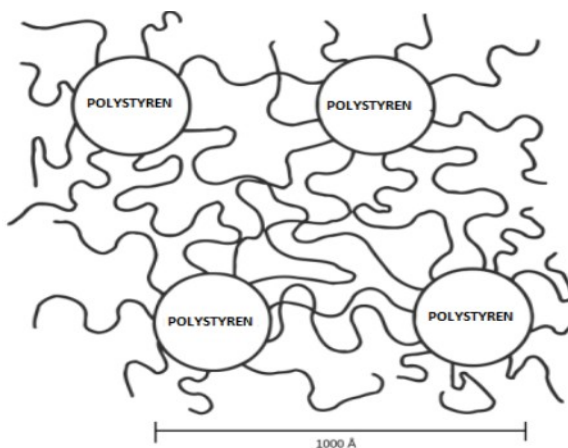
do finální podoby převedeny chemickým zesíťováním (vulkanizací) na pryž. Elastomery máme přírodního (přírodní kaučuk) i syntetického původu (izopren, butadien). [6]



Obrázek 6 Vnitřní struktura elastomeru [6]

1.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou materiály spojující mechanické vlastnosti elastomerů a zpracovatelské vlastnosti termoplastů. Mezi požadované mechanické vlastnosti řadíme elasticitu, ohebnost a u zpracovatelských vlastností, snadné zpracování a jednodušší recyklaci a nižší energetické požadavky na zpracování. Těchto vlastností je dosaženo tím, že termoplastické elastomery obsahují dvoufázové systémy s termoplastickou a elastomerní fází. Tyto fáze musí být vzájemně nemísitelné a jsou charakterizovány různými teplotami T_g a T_m . Oproti klasickým elastomerům není nutné termoplastické elastomery vulkanizovat, zde je zesíťování provedeno pomocí fyzikálních vazeb. Díky tomu je lze opětovně zpracovávat. Mezi termoplastické elastomery řadíme např. styrenové kopolymery, termoplastické polyuretany, termoplastické elastomery na bázi kopolyesterů nebo polyamidů. [7]



Obrázek 7 Vnitřní struktura termoplastického elastomeru [7]

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování patří mezi nejrozšířenější způsob zpracování termoplastů a v jisté míře i reaktoplastů a elastomerů. Jedná se o diskontinuální cyklický proces, při kterém je roztavený polymerní materiál dopraven za pomoci vstřikovacího stroje do vstřikovací formy. Polymerní směs je do formy dopravena za působení vysokých tlaků, která je po vychladnutí následně odformována. Technologií vstřikování lze vyrábět jednoduché i velmi složité výrobky, podmínkou je ale, aby bylo možno výrobek odformovat. [1, 8]

Výhody vstřikování:

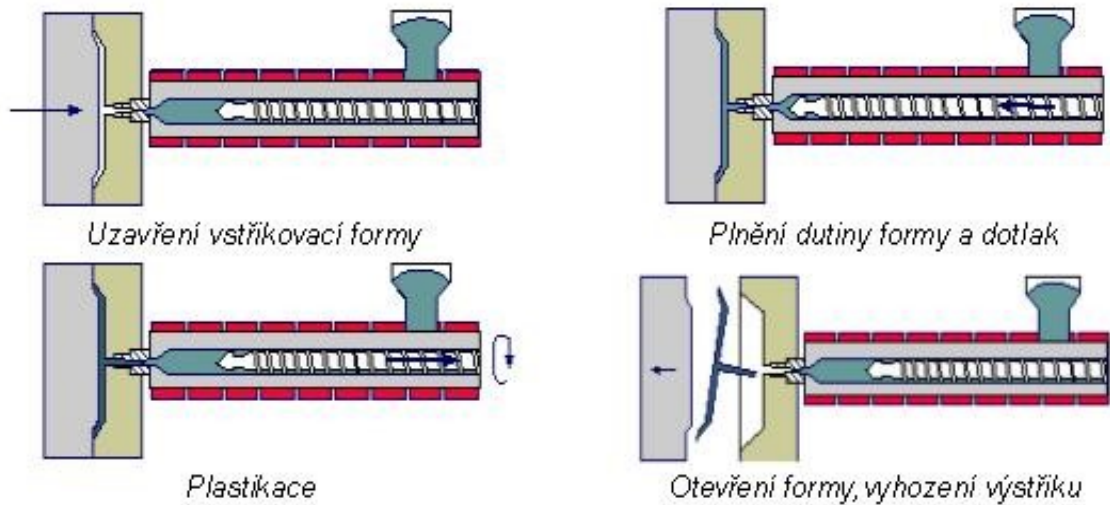
- krátký čas výrobního cyklu,
- dobré tolerance rozměrů,
- dobrá kvalita povrchu,
- možnost výroby i velmi složitých výrobků,
- malá nutnost dokončovacích operací.

Nevýhody vstřikování:

- vysoké náklady na formu a vstřikovací stroj,
- časová náročnost na výrobu formy,
- výrobek musí být odformovatelný,
- vysoký nepoměr velikosti výrobního zařízení k výrobku,
- omezená tloušťka stěn výrobku. [8]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je soubor pevně daných úkolů jdoucích po sobě. Jde o cyklus neizotermický, při kterém polymerní směs prochází teplotním cyklem. Začátkem cyklu je moment, kdy dochází k uzavření prázdné vstřikovací formy. [8]



Obrázek 8 Vstříkovací cyklus [8]

Polymerní směs je dopravována do násypky vstříkovacího stroje obvykle ve formě granulí. Násypkou putuje směs do pracovní části vstříkovacího stroje (šnek, píst). Směs je převedena na taveninu teplem vzniklým disipací a temperací pracovní části stroje. Po uzavření dutiny formy je tavenina vstříknuta pod tlakem do dutiny formy pomocí pístu nebo axiálním pohybem šneku. Tavenina je pod tlakem, dokud nedojde k úplnému vyplnění dutiny formy a následnému ochlazení. Následný dotlak dopraví další materiál, aby vykompenzoval smrštění směsi vlivem ochlazení, dotlak také zabraňuje tomu, aby tavenina nevytekla z formy. Po ukončení dotlaku dochází k oddálení plastikační jednotky a dochází k přípravě nové dávky taveniny. Konečnou fází je otevření formy a odformování výrobku za pomoci vyhazovačů. [8]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJE

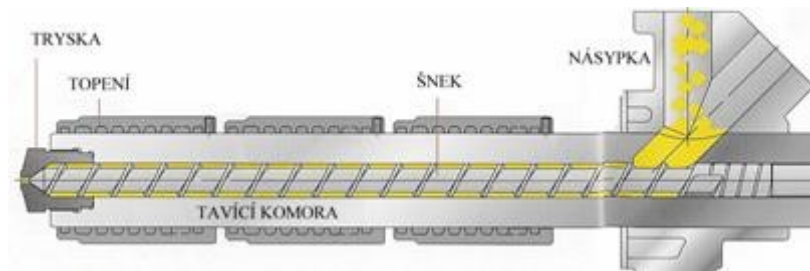
Úkolem vstřikovacího stroje je převedení přivedeného polymerního materiálu na homogenní taveninu, která je dopravena do formy. V dnešní době bývají vstřikovací stroje plně automatické, což značně zvyšuje produktivitu práce. Pořizovací ceny vstřikovacích strojů jsou však velmi vysoké, a proto jsou vhodné především pro výrobu velkých sérií. Vstřikovací stroj je sestaven z vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, řízení a regulace. [8]



Obrázek 9 Vstřikovací stroj [9]

3.1 Vstřikovací jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je přeměna vstupního materiálu, který bývá obvykle ve formě granulátu, na homogenní taveninu s předepsanou viskozitou a následné vstříknutí této taveniny vysokou rychlostí do dutiny formy. [8]



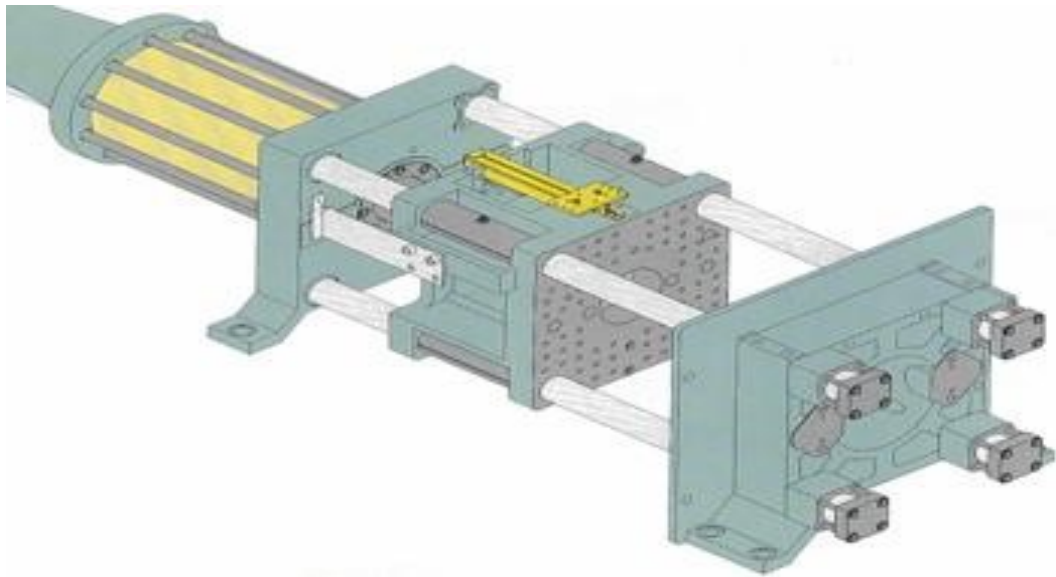
Obrázek 10 Schéma šnekové vstřikovací jednotky [8]

Mezi historicky první používané vstřikovací jednotky řadíme jednotky pístové, tyto jednotky byly převzaty od principu technologie lití roztavených kovů pod tlakem. Pístové jednotky byly později nahrazeny jednotkami šnekovými a v dnešní době jsou pístové vstřikovací jednotky využívány pouze výjimečně. Hlavními výhodami šnekových jednotek byla, spolehlivější plastikace, nižší ztráty tlaku při pohybu hmoty, vyšší plastikační výkon, zdvihový objem a přesnější dávkování. [8]

Při plastikaci se šnek v komoře otáčí a z násypky odebírá granulát, ten je následně stlačován a dopraven do části tavicí komory, kde je materiál roztaven. Roztavený materiál se dále hromadí před čelem šneku, ten se při otáčení pohybuje dozadu. Po nahromadění dostatečného množství zplastikovaného materiálu se šnek bez otáčení pohybuje vpřed a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Díky tomu, že plastikace další dávky je možná během fáze chlazení vstřikovaného výrobku ve formě, je výrobní cyklus vstřikování kratší než u jednotek pístových. [8]

3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k otevírání a zavírání formy dle potřeby, silou takovou aby při procesu nedošlo k otevření formy. U uzavírací jednotky rozlišujeme dvě síly, a to sílu přísouvací F_p a sílu uzavírací F_u . U současných strojů lze tyto síly naprogramovat dle potřeby. [8]



Obrázek 11 Uzavírací jednotka [8]

Uzavírací jednotka je sestavena z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem, pohyblivé desky, upínací desky a vedení pro pohyblivou desku. Pohyblivé desky slouží k upnutí pohyblivé části formy a upínací desky k upnutí nepohyblivé části vstříkovací formy, upínací deska je také opatřena otvorem pro trysku. Podle způsobu řešení mechanismu mohou být uzavírací jednotky: hydraulické, elektrické nebo kombinované. [8]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

V dnešní době patří vstřikovací formy k nejrozšířenějším nástrojům k zpracování plastových dílů i přes jejich složitost a finanční náročnost. Forma musí při výrobním procesu plastových dílů odolávat vysokým tlakům, působení tepla, forma musí vyrábět díly s přesnými rozměry, musí také umožnit jejich snadné odformování a po seřízení musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Při volbě materiálu formy musíme brát v potaz druh zpracovaného polymeru, použitou technologii, velikost série, násobnost, složitost a velikost výrobku. Tyto aspekty mají velký vliv na životnost formy, proto některé z komponentů formě bývají tepelně a chemicky zpracovávány. Dobře zkonstruovaná forma by měla plnit technické, ekonomické i společenskoestetické požadavky. [1, 8]

Technické požadavky:

- správná funkce formy,
- vyrobení požadovaných počtu dílů o náležitě kvalitě a přesnosti,
- snadná manipulace a obsluha.

Ekonomické požadavky:

- nízká pořizovací cena a levná údržba,
- snadná a rychlá výroba dílů,
- vysoká produktivita,
- vysoké využití plastu.

Společenskoestetické požadavky:

- vytvoření vhodného a bezpečného prostředí. [1]

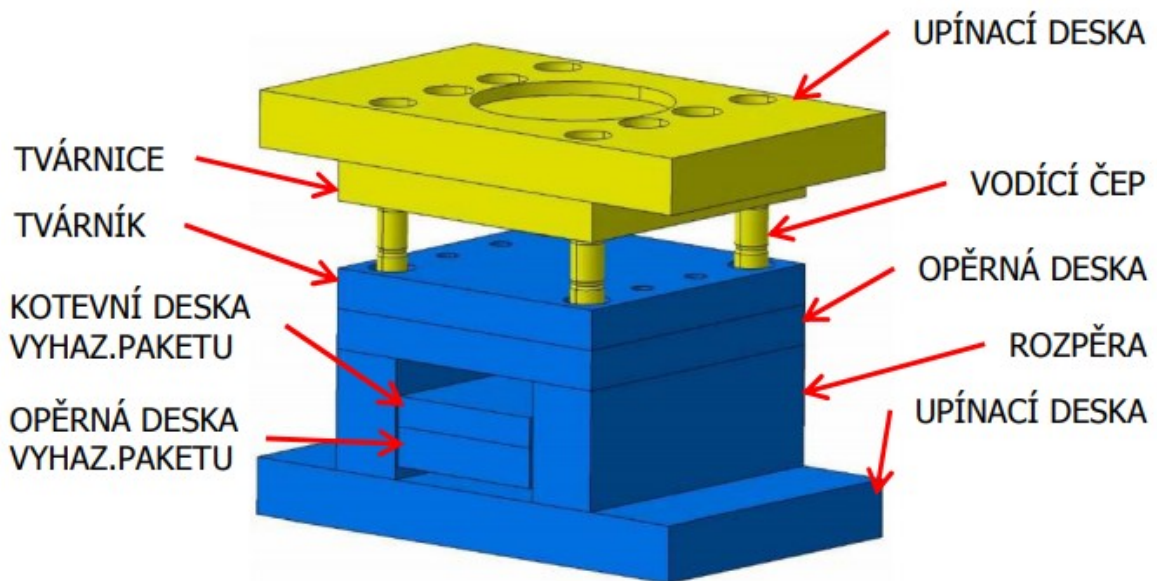
Vstřikovací forma se skládá z komponentů, vymezejících tvarovou dutinu formy, temperančního a vtokového systému, vyhazovacího mechanismu a upínacích a vodících komponentů. Formu lze rozdělit na část konstrukční a část funkční. Konstrukční část má za úkol správnou činnost formy a funkční část se stýká s materiálem a dává mu požadovaný tvar. [8]

4.1 Konstrukce formy

Forma je konstruována ze dvou základních částí. Levá část je uchycena na pohyblivé části vstřikovacího stroje a pravá část je přichycena k nepohyblivé části vstřikovacího stroje. Obě části vytvářejí systém vzájemně připojených desek za pomoci spojovacích a vodících komponentů. [10]

Správně konstruovaná forma musí zajišťovat:

- přesné upevnění ve vstřikovacím stroji,
- spolehlivé upnutí na upínacích plochách stroje,
- vedení pohyblivých komponentů formy v předepsané přesnosti,
- správnou funkci vyhazovacího, vtokového a temperačního systému,
- správné zajištění konstrukčních a funkčních částí formy. [10]



Obrázek 12 Nepohyblivá část formy (žlutá) a pohyblivá část formy (modrá) [10]

4.1.1 Upínací deska

Na formě jsou umístěny dvě upínací desky, jedna na pohyblivé části a druhá na části nepohyblivé. Tyto desky jsou ke zbytku formy upevněny pomocí šroubů. Pomocí těchto desek je forma upevněna ke vstřikovacímu stroji pomocí upínek, šroubů nebo také pomocí magnetických desek vstřikovacího stroje. [10]

4.1.2 Tvárnice

Tvárník je funkční částí nepohyblivé části formy. Tvárník obsahuje negativ tvaru vstříkovaného výrobku. Tvárnice může být vyrobena jako celistvá deska nebo jako zvlášť vyrobená tvarová vložka upevněna v kotevní desce tvárnice. Deska dále obsahuje, část vtokového systému, temperační systémy, a díry pro vodící prvky které zajišťují přesné sestavení s ostatními komponenty formy. [10]

4.1.3 Tvárník

Na pohyblivé části formy se nachází další funkční část, a to tvárník. Tvárník obsahuje část negativu vstříkovaného výrobku. Tvárník může být také vyroben jako celistvá deska nebo jako zvlášť vyrobená tvarová vložka upevněna v kotevní desce tvárníku. Na desce tvárníku se dále také nachází prvky vyhazovacího systému, temperačního systému a díry pro vodící prvky které zajišťují přesné sestavení s ostatními komponenty formy. [10]

4.1.4 Opěrná deska

Pokud by vlivem působícího tlaku hrozilo prohnutí tvárníku a tím následné vytečení polymeru, tak se používá opěrná deska k podepření kotevní desky tvárníku. Pokud prohnutí nehrozí tak je možno opěrnou desku vynechat. Opěrnou desku lze také využít pro upevnění tvarové vložky v kotevní desce. [10]

4.1.5 Rozpěrné desky

Rozpěrné desky se vyskytují v pohyblivé, výjimečně i v nepohyblivé části formy. Rozpěrné desky mohou být, kruhového, obdélníkového nebo jiného výrobně jednoduchého průřezu. Rozměry desek se volí tak aby byla zachována dostatečná tuhost sestavy s minimálním průhybem desek. [2]

Rozpěrné desky se využívají pro:

- zajištění dostatečné výšky pro dosažení minimálního rozměru pro vybraný vstříkovací stroj,
- vytvoření prostoru pro umístění vyhazovacího systému a dostatečného místa pro zdvih vyhazovačů,

- zmenšení stykových ploch mezi konstrukčními a funkčními částmi formy, pro snížení tepelných ztrát,
- vytváří prostor pro vytápěné rozvodné bloky, pokud forma obsahuje vyhřívané trysky. [2]

4.1.6 Vyhazovací desky

Úkolem vyhazovacích desek je ukotvení, vedení, ovládání a zajištění vyhazovačů v jejich pracovním i zpětném pohybu. Vyhazovací desky máme dvojího typu, desku opěrnou a desku kotevní. Pro správné vedení vyhazovacích desek by desky měly mít své vlastní vedení. Malé desky si vystačí s dvěma vodícími kolíky, větší by měly mít čtyři. Vodící kolíky by měly být umístěny symetricky, aby nedošlo k případnému křížení. U desek s mnoha vyhazovači o dostatečné tuhosti, lze desky zhotovit i bez vodících kolíků. Vyhazovací desky velkých rozměrů by neměly dosedat na celou svou plochu, ale pouze na dosesky. [2]

4.1.7 Středící prvky

Středící prvky slouží k správnému ustavení formy ve vstřikovacím stroji a přesnému usazení pohyblivé a nepohyblivé části. Pro tyto prvky se nejčastěji využívá standardizovaných dílu. [10]

Mez středící prvky se řadí:

- **středící kroužky** – slouží k vystředění formy k vstřikovacímu stroji, také při manipulaci brání sklouznutí desky ze stroje, tyto kroužky jsou umístěny na obou stranách formy a vybírají se podle typu vstřikovacího stroje,
- **středící trubky** – vystředí díry u rozpěrné desky k dírákům u upínacích a vodícímu sloupku,
- **středící lišty** – slouží k přesnému sesazení pohyblivé a nepohyblivé části formy, při jejím uzavírání,
- **středící zámky** – plní podobnou funkci jako středící lišty, tvoří dvě samostatné části, které vzájemně lícují a zajišťují přesné ustavení pohyblivé a nepohyblivé části, nebo dalších vůči sobě pohyblivým částem formy kde je nutno zajistit přesnou polohu styku. [10]

4.1.8 Vodící prvky

Vodící prvky u forem zajišťují přesný pohyb pohyblivých částí formy po předepsané trajektorii při otevírání a zavírání formy. [10]

Mezi vodící prvky se řadí:

- **vodící čepy** – slouží k vedení pohyblivých částí formy např. vedení vyhazovacího systému, čep bývá pevně ukotven a pohybuje se ve vodícím pouzdra, pro lepší mazání jsou čepy vybaveny mazacími drážkami,
- **vodící sloupky** – bývají umístěny buď na pohyblivé, nebo nepohyblivé části formy, to záleží na druhu formy, tyto sloupky zajišťují pohyb částí formy při jejím otevírání a zavírání formy na začátku a konci vstřikovacího cyklu,
- **kolíky** – kolíky se využívají pro správné vedení především posuvných čelistí, kde je nutno zajistit odformování části vstřikovaného výrobku s podkosem,
- **vodící pouzdra** – pouzdra se využívají jako protilehlé kusy pro vodící čepy a sloupky, čepy a sloupky jsou v nich vedeny tak aby byla zajištěna správná funkce formy. [10]

4.2 Vtokový systém

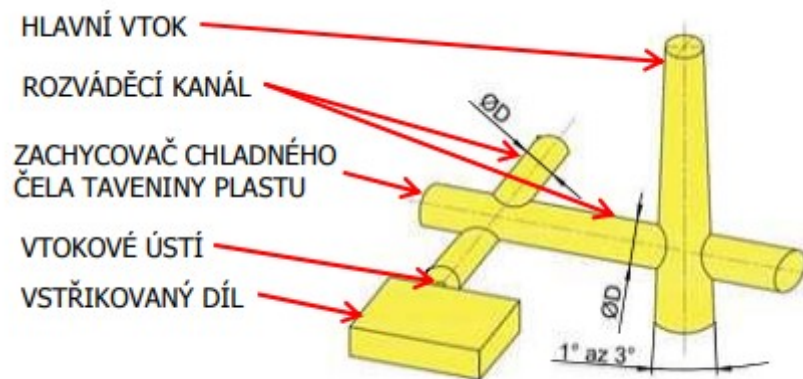
Úkolem vtokového systému je dopravit roztavený polymerní materiál do dutiny formy. Vtokový systém je tvořen soustavou kanálů a ústí. Naplnění dutiny polymerem by mělo proběhnout co v nejkratším čase a to s minimálními odpory. To jak bude vtokový systém konstruován, závisí především na druhu výrobku a násobnosti, u vícenásobných forem musí být každá dutina zaplněna stejnoměrně. U vstřikování rozlišujeme dva základní typy vtokových systémů, horký a studený. [1]

4.2.1 Studený vtokový systém

Při volbě studeného vtokového systému se tavenina vstřikuje vysokou rychlostí do relativně studené vstřikovací formy. Při průtoku taveniny vtokovým systémem viskozita taveniny u stěn kanálů prudce roste, nejnižší viskozita je uprostřed. Ztuhlý materiál u stěn kanálu vytváří izolační vrstvu pro vnitřní proud taveniny, za tohoto stavu se vyplní celá dutina. Vzhledem k vysoké viskozitě je nutno použít vysokých tlaků v systému. [1]

Hlavní části vtokového systému:

- **vtokový kanál** – spojuje trysku plastikační jednotky s rozvodnými kanály, vtokový kanál je vyráběn ve formě vložky, tu je nutno vyrobit z tepelně zpracované odolné oceli,
- **rozvodné kanály** – slouží k dopravě roztaveného polymeru z vtokového kanálu do vtokového ústí, velikost a délka je dána druhem formy, výrobkem a typem polymeru,
- **vtokové ústí** – spojuje rozvodný kanál s výrobkem, tvar, umístění a rozměr volíme s ohledem na charakter vstříkovaného výrobku. [1]



Obrázek 13 Studený vtokový systém [11]

Zásady řešení studených vtokových systémů:

- dráha toku taveniny by měla být co nejkratší bez tlakových a časových ztrát,
- dráha toku by měla být ke všem dutinám stejně dlouhá,
- průřez kanálu by měl být dostatečně velký aby, došlo k zaplnění dutiny a ta měla stále ještě plastické jádro, aby bylo možno ještě poté aplikovat dotlak,
- kanál by měl mít minimální povrch s největším možným průřezem, pro minimalizaci tepelných ztrát,
- odstupňování průřezu kanálu pro zachování stejné rychlosti taveniny ve všech místech systému u vícenásobných forem. [1]

4.2.2 Vyhříváný vtokový systém

Vyhříváný vtokový systém je metodou vstřikování, při kterém nevzniká žádný vtokový zbytek. Podobné systémy, které předcházely současnému vyhřívánému toku, byly vtoky zesílené, izolované nebo vtoky s předkomůrkami. Moderní vyhříváné vtoky využívají vyhříváné trysky popřípadě vyhříváné rozvodné toky. [1]

Výhody vyhříváného vtokového systému:

- zkrácení výrobního cyklu,
- snížená spotřeba materiálu,
- odpadají dokončovací operace spojované s odstraňováním vtokového zbytku,
- odpadá nutnost manipulace a recyklace vtokových zbytků,
- automatizace výroby.

Nevýhody vyhříváného vtokového systému:

- vyšší cena a energetická náročnost oproti studeným vtokům,
- složitější konstrukce vstřikovací formy,
- nutnost pořízení dalších komponentů (regulátory, snímače teploty). [1]

4.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém má za úkol vysunout nebo vytlačit z dutiny nebo z tvárníku zhotovený výrobek. Vyhazovací zařízení svou funkcí zajišťuje automatický výrobní cyklus. Vyhození výrobku se skládá z vlastního vyhození, kdy zařízení koná dopředný pohyb, a zpětný pohyb, kdy se zařízení vrací do původní polohy. [2]

Pro dobré vyhození výrobku je podmínkou hladkost a úkosovitost jeho stěn ve směru vyhazování. Výrobek musí být ve všech místech vysouván rovnoměrně, aby nedošlo k jeho deformaci nebo přičení. Umístění, tvar a rozložení vyhazovačů závisí na vstřikovaném výrobku. Vyhazovače je možno také využít pro vytvoření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. [2]

Jelikož po otevření formy zůstává výrobek vlivem smrštění na tvárníku, musí vyhazovací systém vyvodit potřebnou sílu, aby došlo k vysunutí výrobku. Potřebná síla, kterou je třeba vyvinout, závisí na velikosti smrštění výstřiku ve formě, jeho členitosti, technologických podmínkách při vstřikování a pružných deformacích formy. [2]

4.3.1 Mechanické vyhazování

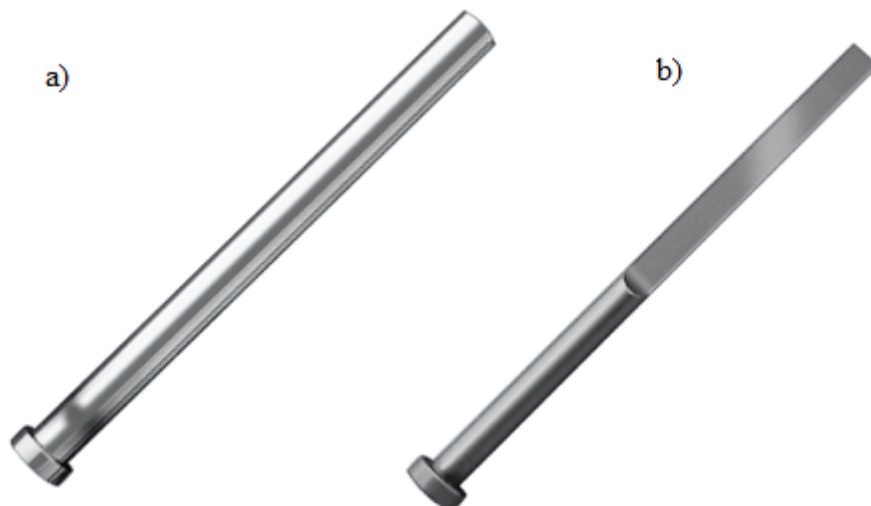
Jde o nejrozšířenější způsob vyhazování vstřikovaných výrobků. Z ekonomického a technologického hlediska se používá, všude tam kde je to možné. Mechanické vyhazování může být konstrukčně řešeno různě, jako například:

- vyhazování za pomoci vyhazovacích kolíků,
- stírací desky nebo trubkové vyhazovače,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování,
- speciální vyhazování. [2]

Pokud je vstřikovaný výrobek mělký, není vyhazovačů ani třeba. Postačí pouze vyhodit vtokový zbytek, který je k výrobku připojen. [2]

Vyhazování za pomoci vyhazovacích kolíků

Jde o nejčastější a nejlevnější způsob vyhazování vstřikovaných výrobků. Kromě jejich ceny patří i mezi jejich výhody jednoduchá konstrukce, snadné použití a to že mohou plnit i funkci odvodu vzdušné formy. Nevýhodou je, že vyhazovače působí pouze na malou plochu a zanechávají stopy po otlacení, což umožňuje je umístit pouze na nepohledovou část výrobku, a při nedostatečném ochlazení výrobku může dojít i k jeho poškození. [2]



Obrázek 14 Vyhazovací kolíky [12]
a) válcový vyhazovač b) plochý vyhazovač

Kolík by se měl opírat o stěnu nebo žebro výrobku, aniž by ho při vyhazování zbortil, velké množství kolíků ztěžuje zhotovování temperačního systému. Kolíky jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Kolíky by měly být ukotveny tak, aby nedocházelo k jejich natáčení kolem osy. [2]

Vyhazování za pomoci stírací desky

Stírací deska působí vyhazovací silou po celém obvodu vstříkovaného výrobku. Stírací deska nezanechává na výrobku stopy po vstříkování, což umožňuje minimální deformace při použité velké stírací síle. Stíracích desek se využívá u tenkostěnných výrobků, kde by při použití vyhazovacích kolíků hrozila velká deformace, nebo u výrobků velkých rozměrů, kde je potřeba velké vyhazovací síly. [2]

Speciální variací stírací desky je trubkový vyhazovač, vyhazovač s otvorem plní funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Jádrem trubkového vyhazovače je vyhazovací kolík, který je pevně ukotven na nepohyblivé desce. [2]

Vyhazování za pomoci šikmých vyhazovačů

Zde nejsou vyhazovací kolíky uloženy kolmo k dělicí rovině, ale jsou uloženy k rovině pod různými úhly. Šikmé vyhazovače využívají u malých a středně velkých výrobků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Díky tomu odpadá nutnost použít náročné posuvné čelisti. [2]

4.3.2 Pneumatické vyhazování

Tento systém se využívá pro vyhazování tenkostěnných výrobku s většími rozměry ve tvaru nádob např. kbelík, které je nutno zavzdušnit, aby se při vyhazování nedeformovaly. Kdyby se u takových výrobků využívalo mechanického vyhazování, bylo by potřeba značné prodloužení formy kvůli velkému požadovanému zdvihu vyhazovačů. Vzduch je přes ventil zaváděn mezi výstřik a líc formy, to zaručuje rovnoměrné oddělení výrobku od tvárníku a nevznikají zde stopy po vyhazování. [2]

4.3.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazovací jednotky se využívají pro ovládání mechanických vyhazovačů. To jim, dodává pružnější pohyb a flexibilitu. Spíše než s přímo zabudovaným hydraulickým systémem se setkáme s hydraulickým ovládním bočních vyhazovacích čelistí. [2]

4.4 Temperační systémy

Cílem temperačního systému je udržení konstantního teplotního režimu formy a tím dosažení optimálně krátkého vstřikovacího cyklu, při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Temperační systém pro dosažení požadovaných výsledků formu ohřívá nebo ochlazuje formu nebo její části. [2]

Při procesu vstřikování se vstřikuje do formy roztavený polymer, ten se v tvarové dutině ochlazuje na vhodnou vyhazovací teplotu. Teperace ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a ochlazování plastu. Každý výstřik je třeba provést při dané teplotě a proto je třeba přebytečné teplo odvést z formy temperačním systémem. [2]

Tabulka 1 Teploty formy při zpracování polymerů a požadované teploty taveniny [2]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
PE-HD	180-270	20-60
PE-LD	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PEEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

Některé z termoplastů se zpracovávají při vyšších teplotách, zde dochází k větším tepelným ztrátám než je její ohřátí taveninou a tak je nutno formu ohřívát. Formu je také nutno zahřívát při zahajování výroby. [2]

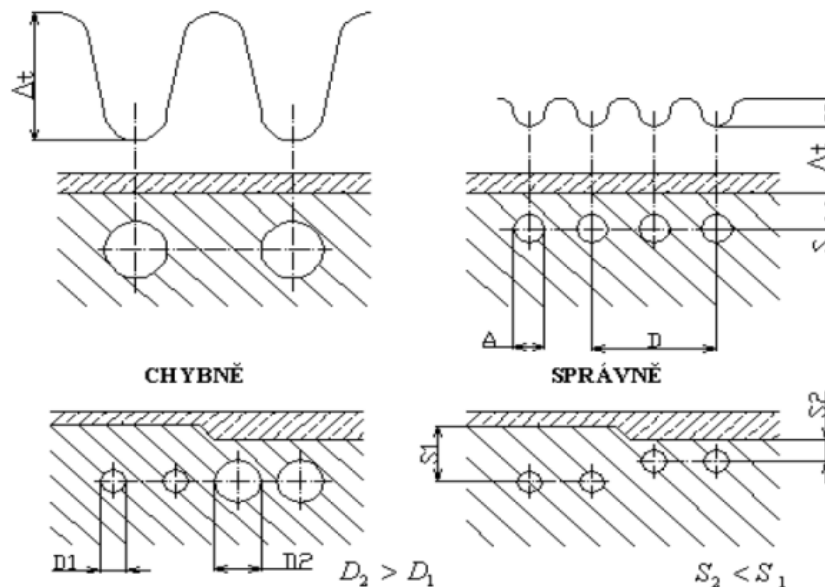
4.4.1 Charakteristika temperačních systémů

Temperační systém tvoří systém kanálů a dutin, kterými se odvádí nebo popřípadě přivádí teplo za pomoci proudícího temperačního média. Velikost a umístění temperačních kanálů se řídí celkovým řešením formy. Při tvorbě temperačního systému se

musí brát v potaz to, aby byla zachována potřebná tuhost a pevnost celkové sestavy. Průřezy kanálů se volí podle velikosti, tvaru a druhem materiálu vstřikovaného výrobku. Nejběžnějším používaným průřezem je průřez kruhový. Velikost průřezu je zbytečné zvětšovat, odvod tepla se zvyšuje pouze nepatrně, ale zato se značně zvyšuje spotřeba média a snižuje se celková pevnost a tuhost soustavy. [2]

Pro optimální temperaci vstřikovací formy je nutné dodržovat tyto zásady:

- kanály by měly být umístěny v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny,
- médium by mělo proudit od nejteplejšího místa k nejstudenějšímu a při ohřívání formy naopak,
- kanály by měly procházet celistvým materiálem, a pokud to není možno tak přechody by měly být řádně utěsněny,
- v soustavě se vyvarovat tvorbě mrtvých koutů, kvůli nebezpečí hromadění usazenin,
- kanály neumísťovat ke hranám výrobku,
- volit více menších kanálů než méně větších,
- volit materiály s lepší tepelnou vodivostí λ ,
- kanály by neměly mít průměr menší než 6 mm, jinak hrozí ucpání nečistotami. [2]



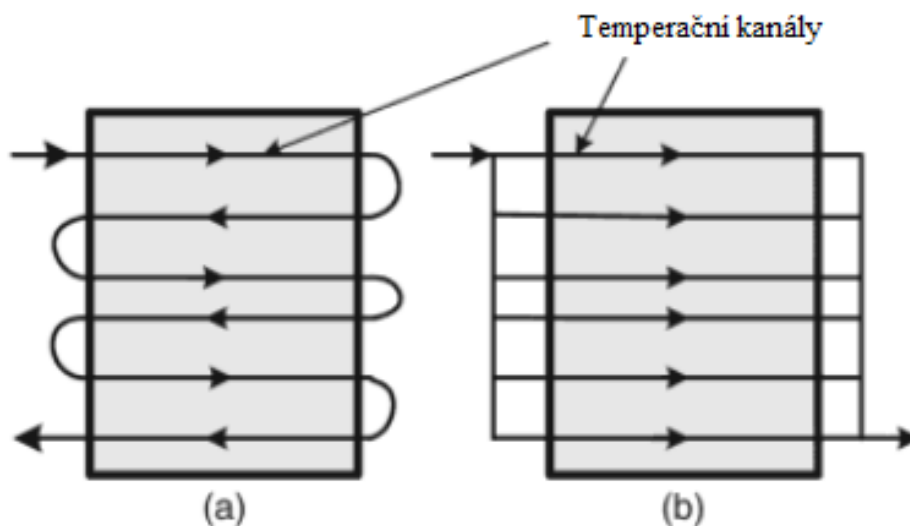
Obrázek 15 Vliv rozmístění temperančních kanálů [2]

4.4.2 Konstrukční řešení temperančních systémů

Z konstrukčního hlediska si při navrhování temperanční soustavy lze vybrat mezi řešením sériovým a paralelním. [13]

U sériové temperace proudí médium od vstupu k výstupu bez jakéhokoliv větvení. Výhodou tohoto zapojení je jednodušší konstrukce a propojení jednotlivých kanálů, snadná identifikace ucpaného místa a konstantní objemový průtok ve všech místech. Nevýhodou je, že zde dochází k velkému oteplení chladicího média, což zvyšuje nároky na chladicí zařízení. Dále dochází ke zpomalení výrobního cyklu kvůli pomalejšímu odvodu tepla ve výstupních oblastech, což může vést k nerovnoměrnému odvodu tepla a zhoršení kvality výrobku. [13]

Tyto nevýhody lze odstranit použitím paralelního zapojení temperančních kanálů. Zde po vstupu do okruhu dochází k rozvětvení okruhu do několika větví, které se následně sbíhají do jednoho před výstupem z formy. Temperační médium vstupuje do všech míst současně, což zvyšuje rovnoměrnost ochlazování, a vzhledem ke kratší trase média je zde menší rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem. Nevýhodou paralelního zapojení bývá to, že zvyšuje obvodové rozměry forem. [13]



Obrázek 16 Schéma zapojení temperančních kanálů [14]

(a) sériové (b) paralelní

4.4.3 Temperační prostředky

Temperační prostředky rozdělujeme podle jejich působení na aktivní a pasivní. Aktivní nám přivádějí nebo odvádějí teplo z formy, pasivní prostředky ovlivňují svým působením teplotní režim formy. [2]

Pasivní temperační prostředky

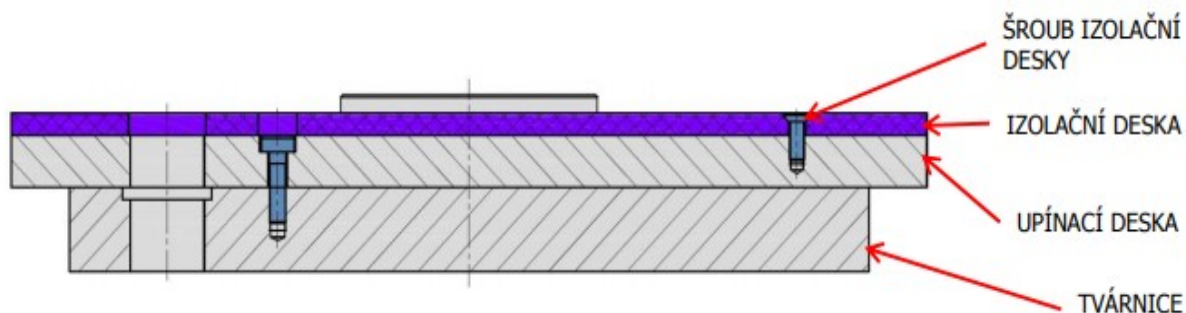
Pro pasivní temperaci se využívá materiálů tepelně vodivých i izolačních. Vložky z tepelně vodivých materiálů se využívají pro odvádění a přivádění tepla ze špatně dostupných míst, nebo ostrých rohů. Pro tyto vložky se používají především slitiny mědi nebo hliníku. Tyto vložky musí být napojeny na aktivní temperační systém. Jelikož jsou tyto díly vkládány do tvarové dutiny, doporučuje se, aby se používaly na nepohledových stranách vstříkovaného výrobku. [15]

Tabulka 2 Tepelná vodivost vybraných materiálů [16]

Materiál	Tepelná vodivost
	λ [W/m ² K]
Ocel 1.2344	24,9
Ocel 1.2311	38,1
Hliník AlMg1SiCu	166,9
BeCu (vysoká tvrdost)	104,8
BeCu (střední tvrdost)	131,0
BeCu (vysoká vodivost)	325,5

Mezi speciální temperační pasivní prostředky řadíme tepelné trubice. Tyto trubice umožňují mnohem intenzivnější odvod tepla do oblastí o nižší teplotě i při malých teplotních rozdílech. Tato trubice obvykle měděná, hliníková nebo ocelová, je zapečetěna z obou stran a částečně naplněna teplonosnou tekutinou, vnitřní stěny mají hrubý povrch. V trubici panuje vysoký podtlak až vakuum, takže i při působení malých teplot dochází k odpařování tekutiny a přenosu tepla. Vzniklé páry odebírají značné množství tepla a poté putují do chladnějších míst trubice, kde kondenzují a následně po zhrublých stěnách ztékají do teplých míst. Vodivost tepelných trubic může dosahovat až $\lambda = 5000$ W/m²K. [2]

Izolační materiály se využívají hlavně pro formy, které se přehřívají na požadovanou pracovní teplotu. Důvodem je, aby nedocházelo k unikání tepla vedením a sáláním. Izolační desky se mohou využívat nejen pro upínací desky, ale i pro boky forem na tvárníku a tvárnici. [15]



Obrázek 17 Upevnění izolační desky na formě [15]

Aktivní temperační prostředky

Mezi aktivní temperační prostředky řadíme média proudící temperačními kanály, popřípadě topné patrony. [2, 15]

Temperační média proudí nuceným oběhem, množství odvedeného tepla závisí na objemu média, který proteče systémem, typem média a rozdílem teplot. Jako teplonosné médium se využívá vody, oleje, glykolu, páry a vzduchu. Vzduch není příliš efektivním teplonosným médiem, proto se využívá především u malých forem, kde by hrozilo ucpání temperačních kanálů. [2, 15]

Tabulka 3 Temperační média [2]

Médium	Výhody	Nevýhody
voda	vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	použitelné do 90°C , vznik koroze, usazování vodního kamene
olej	možnost temperace i nad 100 °C	Zhoršený přestup tepla,
glykoly	omezení koroze a ucpávání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

Topné elektrické články se používají pro temperaci forem, kde jsou tepelné ztráty větší než teplo dodávané vstříkovaným plastem. Mohou se také používat lokálně u tvarových dutin, aby zabránilo vzniku studených spojů. Topná tělesa mohou být konstruovány jako topné patrony, prstencová tepelná tělesa. Topné články pracují jako odporové dráty. Tělesa se umísťují tak, aby se dotýkala celou svou plochou povrchu

formy. Také se zalévají teplosměnným tmelem, pro zlepšení vodivosti, odstranění vzduchových kapes a také aby nedocházelo k přehřívání a následnému poškození topného tělesa. Styčné plochy formy musí být vyrobeny s velkou přesností, pro správné lícování, montáž a demontáž. Pro lepší dosažení tepelného kontaktu s formou, se doporučuje zalít topná tělesa do formy dobře vodivým materiálem jako ke například hliník a měď. Při použití velkého počtu topných těles je nutné formu také uzemnit. [2, 15]



Obrázek 18 Elektrické topné články [15]

4.4.4 Přepážkové systémy

Úkolem přepážkových systémů je zavést temperační médium do míst, kde by to klasickými metodami bylo příliš konstrukčně náročné nebo dokonce nemožné, především z důvodu obtížné zhotovitelnosti vyhovujícího temperačního kanálu. Do potřebného místa je vyvrtán pouze jeden slepý kanál, do něj je vložena vybraná přepážka, která z něj vytvoří kanály dva. Výsledný temperační efekt závisí na výběru přepážky. V konstrukční praxi se setkáváme se třemi typy přepážek ploché, spirálové a fontánkové. I jednotlivé typy mohou mít různé konstrukční varianty, jak pro použití v paralelním tak i sériovém zapojení. Pro správnou funkci by přepážky měly být ukotveny, aby nedocházelo k otáčení přepážek kolem jejich osy, dostatečně utěsněny, aby nedocházelo k úniku média, a jednotlivé kanály by měly být zhotoveny s dostatečnou přesností pro snadnou instalaci. [2, 15]

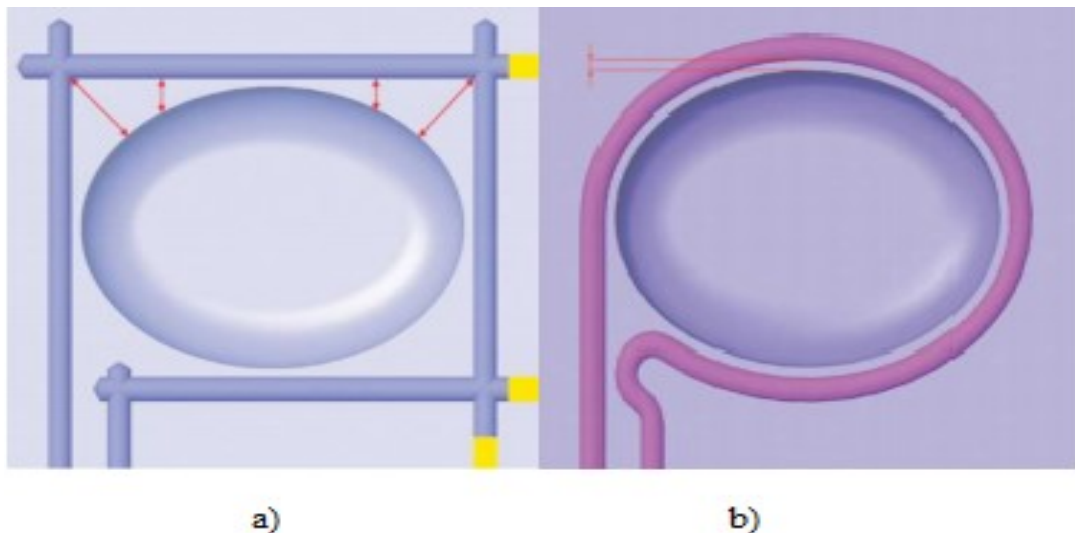
4.4.5 Temperační systém Contura®

Způsob výroby tohoto temperačního systému nám dovoluje přesně kopírovat tvar vstříkovaného výrobku. Při tvorbě temperačního systému je tvárník a tvárnice rozdělena na vrstvy o požadované tloušťce. Do těchto vrstev jsou následně vyvrtány a vyfrézovány

požadované temperační kanály. Jednotlivé vrstvy jsou následně spojeny v jeden celek pájením ve vakuu na tvrdo. Po následném spájení je výsledný kus dále ještě vybrousit a vyleštit, aby se zbavil stop po pájení. Výhodou těchto systémů je to, že je zde mnohem intenzivnější odvod tepla a tvar a umístění kanálů zde není limitován klasickou výrobou temperačních kanálů. Za nevýhody můžeme považovat vyšší náklady na výrobu, vzhledem k náchylnosti na ucpávání menších kanálků nutnost použití upraveného temperačního média. [13, 17]

4.4.6 Konformní temperace

Dalším způsobem jak kopírovat tvar vstříkovaného výrobku, je pomocí konformní temperace vytvořené za pomoci technologie DMLS. Tvárník a tvárnice jsou vytvářeny spékáním vrstev kovového prášku o tloušťce 0,02 až 0,04 mm. Jelikož zde výroba není limitována konvenčními způsoby obrábění, lze kanály vytvářet v jakémkoliv uspořádání a tvaru, a tím optimalizovat systém tak aby odváděl teplo z konkrétních míst. Tímto lze zlepšit kvalitu vstříkovaného výrobku a zkrátit výrobní cyklu až o 50 %. [13, 17]



Obrázek 19 Příklad řešení temperačního okruhu [15]

a) vrtaný okruh b) konformní temperace

4.5 Materiály využívané při výrobě forem

Formy jsou sestaveny z různých funkčních a pomocných prvků. Od těchto prvků se očekává dosažení požadované kvality, životnosti a nákladů při výrobě vstřikovaných výrobků. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny podmínkami při výrobě:

- druh vstřikovaného polymeru,
- podmínky při vstřikování,
- vstřikovací stroj,
- velikost, jakost, tvar a přesnost výrobku. [2]

Při výrobě forem je proto nutno používat materiály, splňující provozní požadavky. Při volbě materiálu, si musíme uvědomit, jakou úlohu bude daný díl plnit. Nejčastějším materiálem při výrobě forem jsou oceli o různých jakostech a slitiny neželezných kovů, a to nejčastěji slitiny mědi a hliníku. Železné a neželezné slitiny bývají před použitím dále tepelně a chemicky upravovány. Posední skupinou jsou ostatní materiály pro různé tepelně izolační nebo vodivé aplikace. Po těchto materiálech se požadují dané vlastnosti:

- dostačující mechanické vlastnosti,
- dobrá obrobiteľnosť,
- chemická odolnosť a stálosť,
- dostatečné tepelné vlastnosti a odolnosť proti pôsobení tepla,
- odolnosť proti opotrebeniu. [2]

5 TECHNOLOGIE DMLS

Technologii DMLS (Direct Metal Laser Sintering) řadíme do skupiny tzv. Rapid Prototyping technologií. Tato technologie umožňuje výrobu plně funkčních kovových dílů za pomoci výkonného laseru spékáním tenkých vrstev kovového prášku přímo z 3D CAD dat. Tyto díly jsou z mechanických vlastností plně srovnatelné s výrobky vytvořenými konvenčními metodami (obrábění, odlévání). DMLS technologie dokáže pracovat nejen s klasickými oceli, ale i s oceli nerezovými a vysoce legovanými, dále i s hliníkovými, měďnými, niklovými a titanovými slitinami. [18, 19]



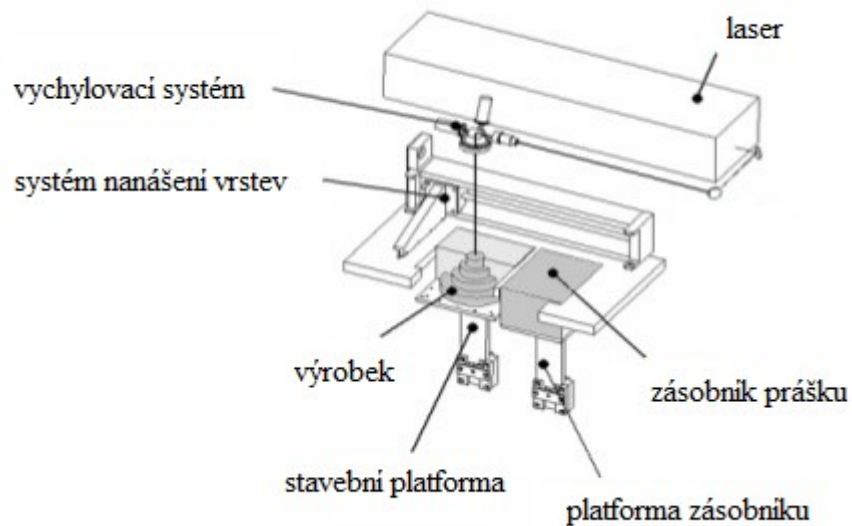
Obrázek 20 Výrobky vytvořené technologií DMLS [18]

5.1 Princip technologie DMLS

DMLS proces začíná podobně jako u jiných vrstvených aditivních technologií, program převezme 3D model a rozdělí ho 2D průřezy. Každý z těchto průřezů funguje jako plán určující, kde přesně je třeba v dané vrstvě spéct kovový prášek. Tyto data jsou následně přeneseny do DMLS systému a ten započne výrobní proces. [18]

Distribuční zařízení nanese na podložní platformu vrstvu kovového prášku o dané tloušťce, obvykle 0,02 až 0,04 mm. Laser ovládaný v osách „x“ a „y“ vykreslí požadovaný tvar 2D průřezu. Jakmile je vrstva hotová podloží ovládané v ose „z“ se sníží o vzdálenost totožnou s tloušťkou nanášené vrstvy a distribuční zařízení nanese další vrstvu kovového prášku. DMLS systém následně spéká vrstvu po vrstvě od spodu nahoru. Převísle prvky a

dutiny bývají podepírané nevyužitým práškem, popřípadě podpůrnými konstrukcemi. Po dokončení výrobního procesu je díl vyjmut, kde je z něj následně odebrán podpůrný systém. Hotový díl může být dále, broušen, leštěn, tryskán, obráběn, nebo tepelně a chemicky upravován. [18]



Obrázek 21 Princip technologie DMLS [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE DPLOMOVÉ PRÁCE

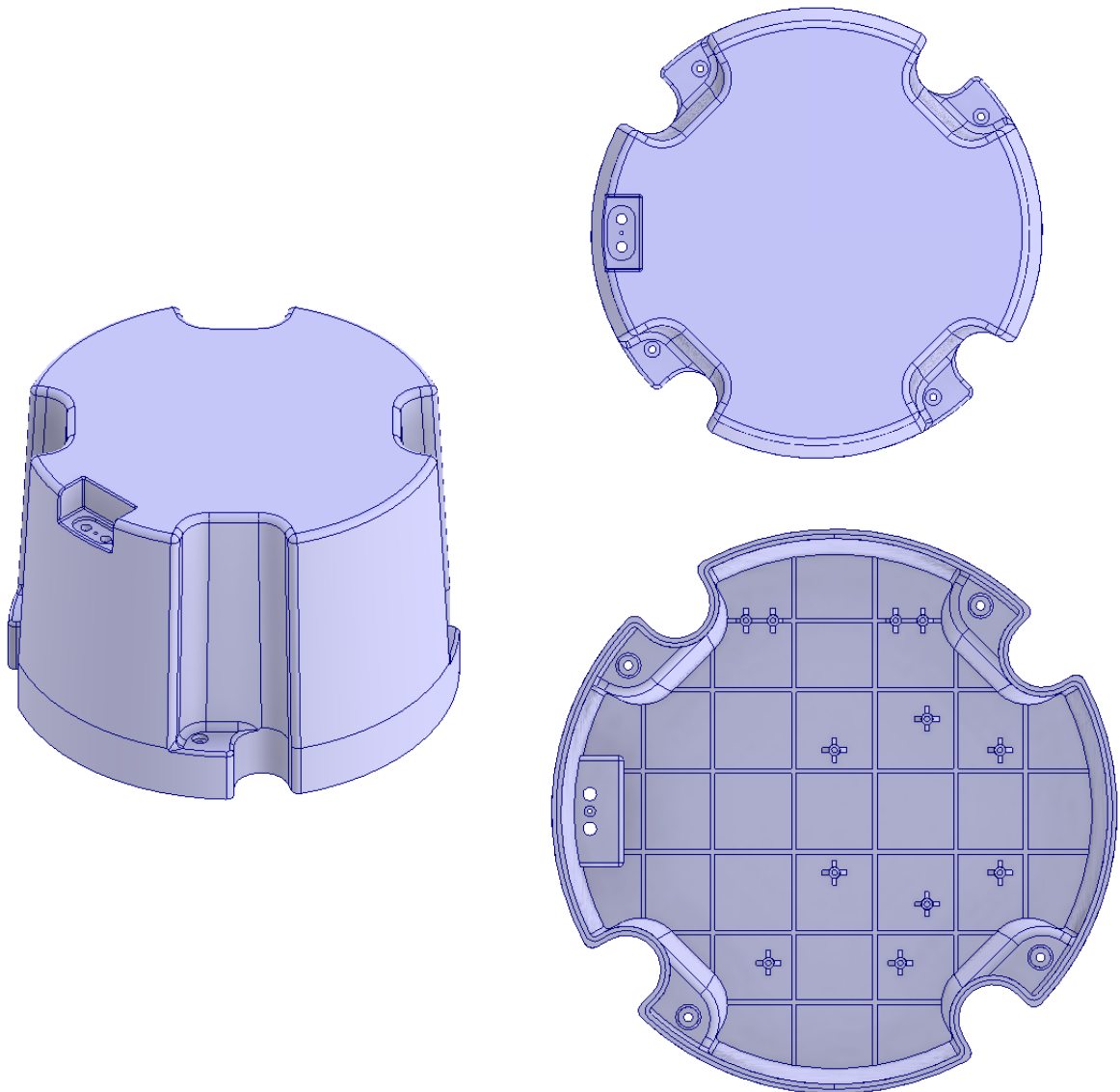
Cílem této diplomové práce je vytvořit tvarové vložky se dvěma odlišnými variantami temperačních systémů. Jeden vytvořen konvenčními metodami, druhý vytvořen za pomoci technologie DMLS. Oba systémy byly otestovány v programu Autodesk Moldfow Insight 2016 a výsledky simulací jsou následně diskutovány a mezi sebou porovnány.

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma,
- navrhnout tvarové vložky pro zadaný výrobek,
- provést simulace vstřikování,
- porovnat návrhy tvarových dutin.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je vestavný plastový kryt pro reproduktor. Výrobek je navržen tak, aby jej bylo možno upevnit do stěn a stropů a také aby k němu bylo možno reproduktor připevnit. Cílem krytu je chránit elektroniku v něm uloženou proti akustickému zkratu, poškození a prachu. Reproduktor má v průměru 244 mm, na výšku měří 165 mm s tloušťkou stěn 4 mm s celkovým objemem 701,27 cm³.



Obrázek 22 Vstřikovaný výrobek

7.1 Použitý materiál

Vzhledem k provozním požadavkům na materiál, jako jsou mechanická odolnost, nízká elektrická a tepelná vodivost, byl pro tento výrobek použit Akrylonitrilbutadienstyren (ABS).

Akrylonitrilbutadienstyren se řadí mezi amorfní termoplasty. Akrylonitrilbutadienstyren se využívá u výrobků, kde je žádána vysoká tuhost, odolnost proti rázům, nasákavosti a opotřebení. Tento materiál také vyniká svou zdravotní nezávadností a odolností proti kyselinám, olejům, tukům, hydroxidům a uhlovodíkům. Rozsah teplotní použitelnosti se pohybuje od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ u speciálních typů až do $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jako dodavatel vstříkovaného materiálu byla vybrána společnost Styrolution, která jej prodává pod obchodním názvem Novodur HH-106. [1, 21]

Mechanické vlastnosti vstříkovaného materiálu:

- Modul pružnosti v tahu $E = 2400\text{ MPa}$,
- Modul pružnosti ve smyku $G = 860\text{ MPa}$,
- Poissonova konstanta $\nu = 0,34$
- Hustota taveniny $= 0,92921\text{ g/cm}^3$,
- Hustota pevné fáze $= 1,0395\text{ g/cm}^3$.

Doporučené procesní parametry:

- Teplota povrchu formy $= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Teplota tavení $= 220 - 270\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Vyhazovací teplota $= 105\text{ }^{\circ}\text{C}$. [21]

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro formu a vstřikovaný výrobek byl vybrán vstřikovací stroj od společnosti Arburg. Konkrétně se jedná o model Allrounder 920 S 3200. [22]



Obrázek 23 Vstřikovací stroj Allrounder 920 S [9]

Tabulka 4 Parametry vybraného vstřikovacího stroje [22]

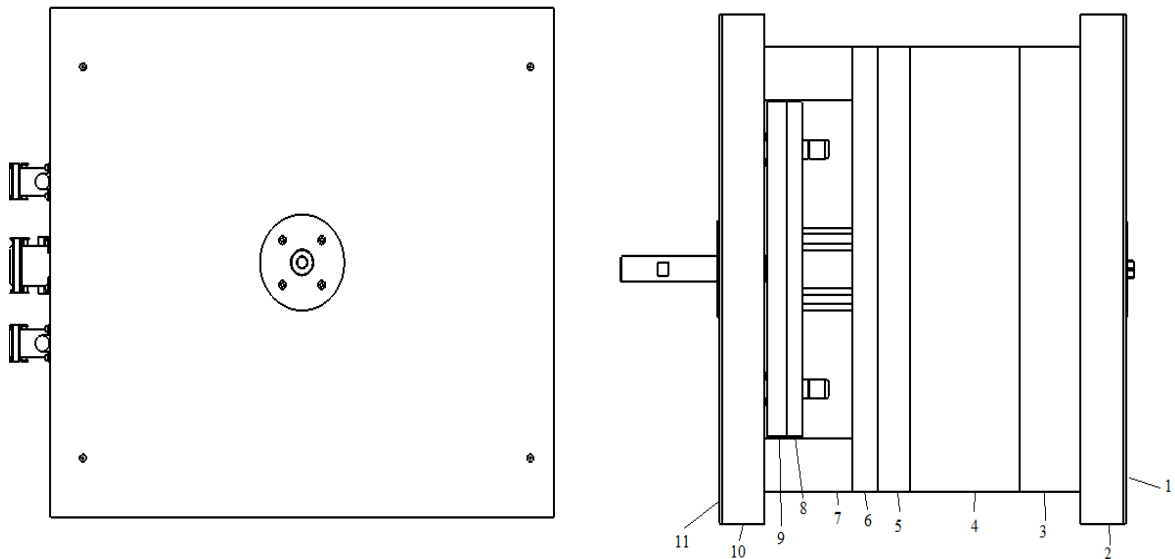
Maximální uzavírací síla [kN]	5000
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	158
Průměr šneku [mm]	90
Zdvih šneku [mm]	320
Vstřikovací rychlost [cm^3/s]	482
Maximální hmotnost vstřikované dávky [g]	1781
Výška formy [mm]	400 až 1050
Vzdálenost mezi vodícími sloupy [mm]	980 x 920
Maximální vstřikovaný objem [cm^3]	2036
Poměr šneku L/D [-]	18
Rozměry vstřikovacího stroje [mm]	8670 x 2195 x 2500
Hmotnost stroje [kg]	26400

9 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma byla vymodelována za pomoci programu Catia V5R19. Jedná se o dvojnásobnou formu s horkým vtokovým systémem.

9.1 Rám vstřikovací formy

Kromě izolačních plátů, je rám formy tvořen normáliemi vybranými z katalogu společnosti Hasco. Pro jednotlivé desky byla vybrána konstrukční ocel DIN 1.0060, tato ocel se nedostává do kontaktu s roztaveným polymerem tak zde není třeba tepelných úprav materiálu. Pro materiál izolačních desek byl vybrán sklotextil SI. Rozměry formy jsou 796 x 896 x 724 mm (d x š x v).

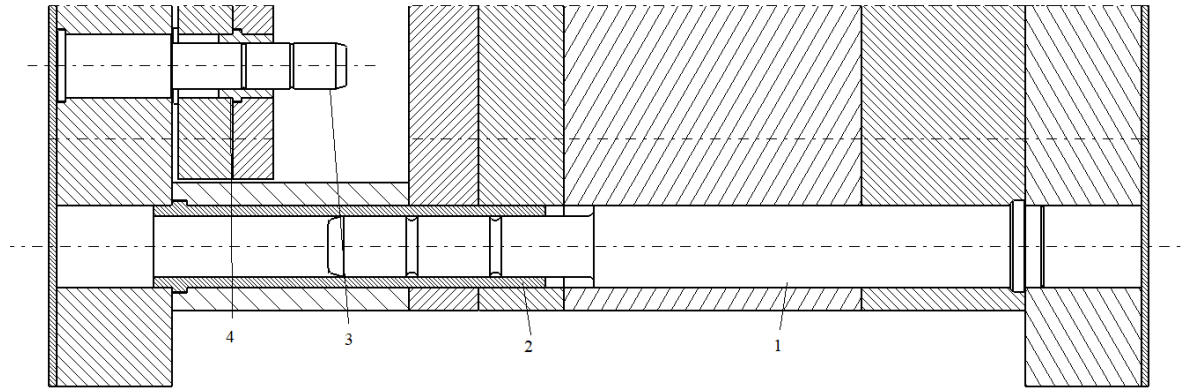


Obrázek 24 Rám použité vstřikovací formy

1 - izolační deska pravá, 2 - upínací deska pravá, 3 - opěrná deska pravá, 4 - kotevní deska pravá, 5 kotevní deska levá, 6 - opěrná deska levá, 7 - rozpěrná deska, 8 - kotevní deska vyhazovací, 9 - opěrná deska vyhazovací, 10 - upínací deska levá, 11 - izolační deska levá

9.2 Vodící prvky formy

Veškeré vodící prvky byly vybrány z katalogu normálií společnosti Hasco. Dle katalogu jsou vodící čepy a vodící pouzdra z oceli DIN 1.0401. Jelikož se jedná o prvky, které jsou mechanicky namáhány, je tato ocel cementována a kalena.

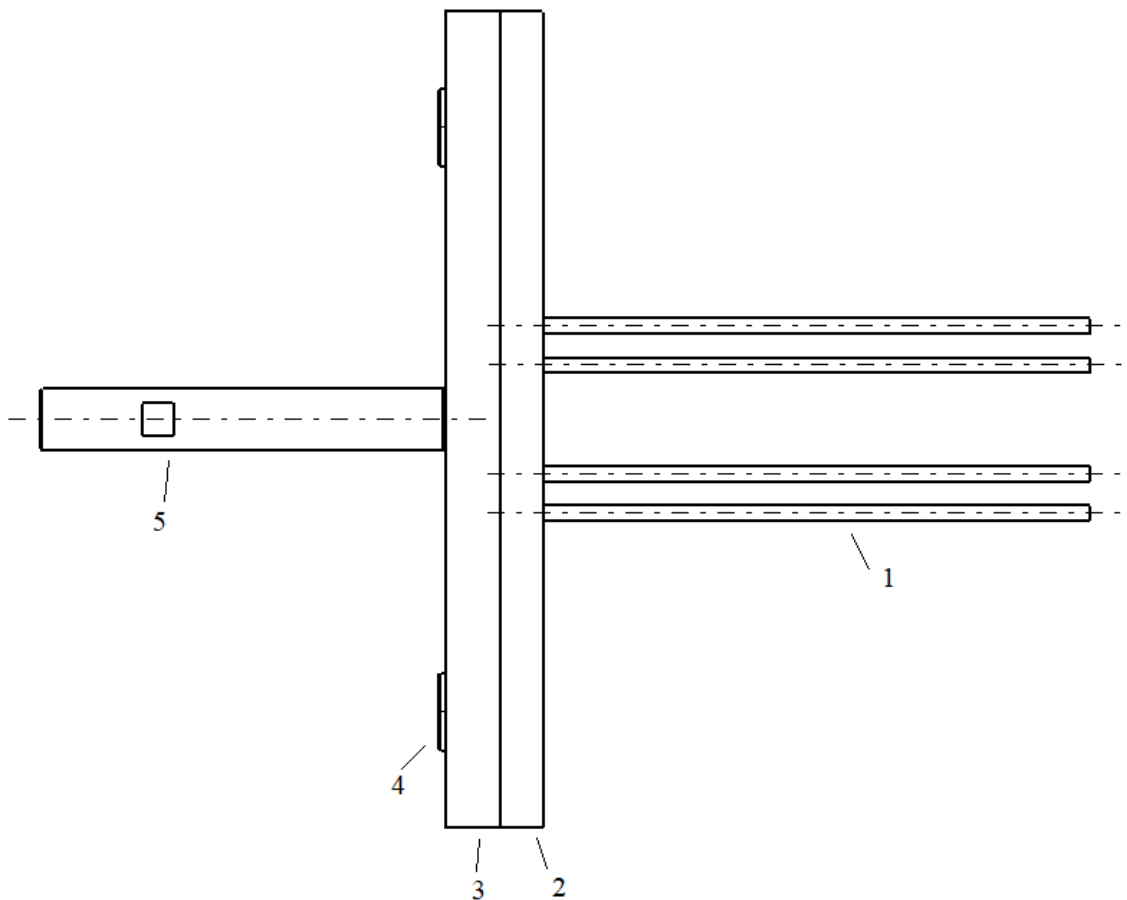


Obrázek 25 Vodící systém formy

1 - vodící čep formy, 2 - vodící pouzdro formy, 3 - vodící čep vyhazovacího systému, 4 - vodící pouzdro vyhazovacího systému

9.3 Vyhazovací systém

Vyhození výrobku je provedeno za pomoci mechanického vyhazovacího systému. Veškeré součásti kromě vyhazovací tyče a dosedek byly opět vybrány z katalogu normálií od společnosti Hasco. Vyhazovací desky a dosedky jsou zhotoveny z oceli 1.0060. Vyhazovače a vyhazovací tyč jsou zhotoveny z oceli 1.2516, vzhledem ke své funkci jsou tyto dílce dále ještě kaleny. Vyhazovací systém byl navržen tak, aby nekolidoval s temperačními systémy.



Obrázek 26 Vyhazovací systém formy

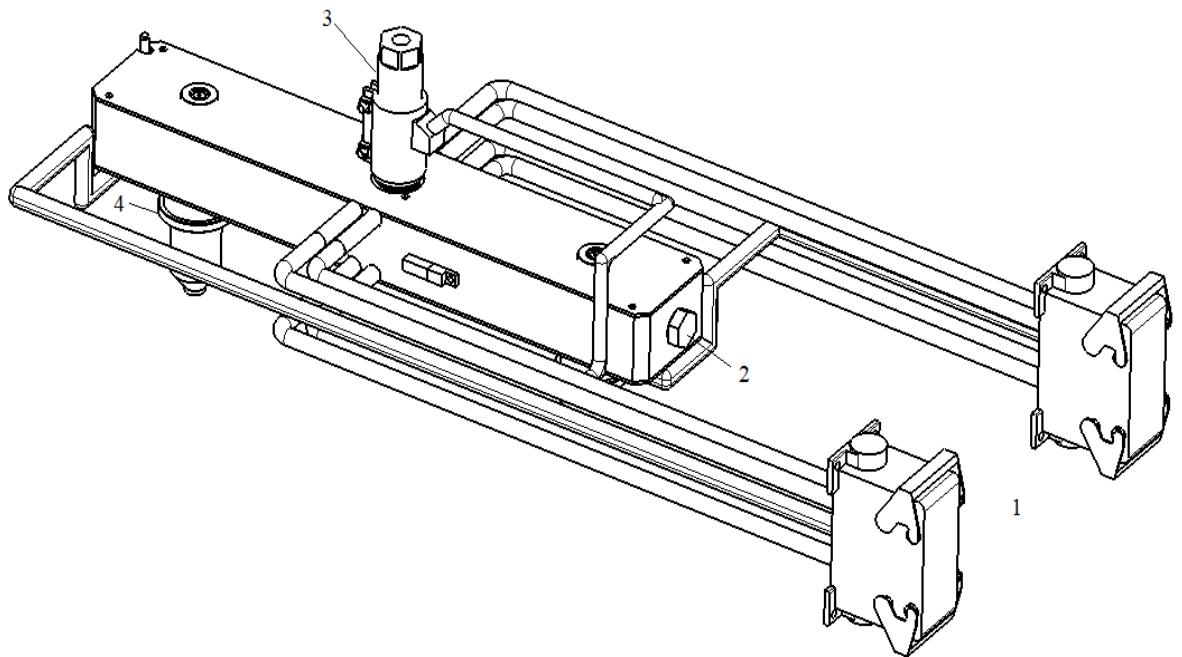
1 - vyhazovač, 2- vyhazovací deska kotevní, 3 - vyhazovací deska opěrná, 4 - dosedka, 5 - vyhazovací tyč

9.4 Vtokový systém

Pro tuto formu byl vybrán horký vtokový systém od společnosti Hasco. Díky tomuto systému, je polymer udržován neustále v roztaveném stavu. Horká vtoková vložka s topným tělesem, je opatřena kanálem o průměru 12 mm. Vložka je vyrobena z oceli 1.2343, jelikož vložka přichází do kontaktu s roztaveným polymerem, je tato součást dále ještě kalena a cementována.

Horký rozvodný blok se stará o dopravení polymerní taveniny do horkých vtokových trysek. Tento horký rozvodný blok je opatřen kanály o průměru 10 mm. Pro výrobu horkého rozvodného bloku byla použita ocel 1.2312, která byla dále ještě kalena a cementována.

Do tvarové dutiny je polymer dopravován za pomoci horké vtokové trysky. Kanál v trysce má průměr 6 mm, tento průměr je zúžen u vtokového ústí na 3 mm.

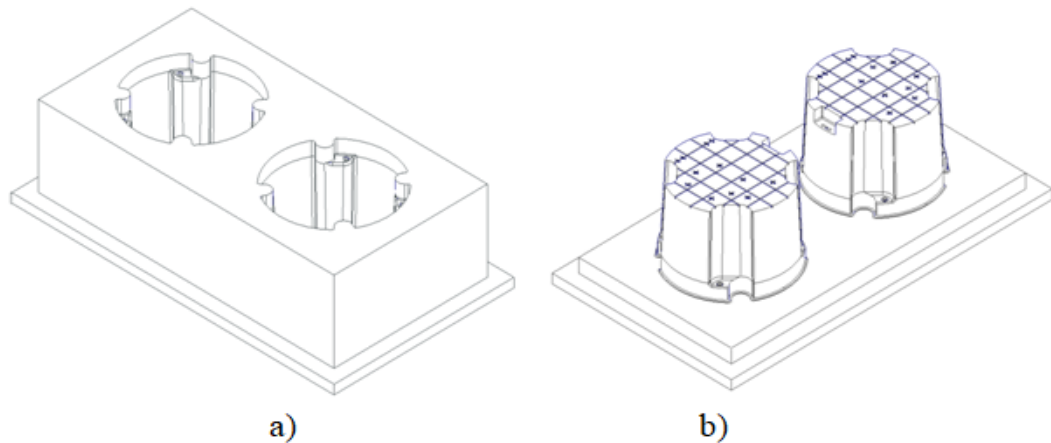


Obrázek 27 Horký vtokový systém

1 - přípojky, 2 - horký rozvodný blok, 3 - horká vtoková vložka, 4 - horká vtoková tryska

9.5 Tvarové vložky vstříkovací formy

S ohledem na rozměry výrobku byla zvolena dvojnásobná varianta tvarové vložky. Dvojnásobná varianta je totožná pro všechny varianty temperančních systémů. Tvárník i tvárnice se každá skládají z jednoho kusu. Pro vložky vytvořené konvenční technologií byla použita ocel 1.2343, pro vložky vytvořené technologií DMLS byla použita ocel 1.2709. Tvarové vložky byly dále kaleny a cementovány, jelikož přichází do styku s roztaveným polymerním materiálem.



Obrázek 28 Tvarové vložky

a) tvárnice b) tvárník

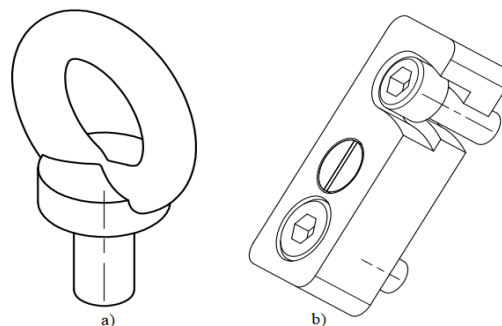
9.6 Odvzdušnění formy

Před začátkem vstřikovacího cyklu se ve formě nachází vzduch, ten je při vstřikovacím cyklu taveninou hnán dopředu a zahříván. Aby nedocházelo ke vzniku spálených míst je třeba tento vzduch bezpečně odvést.

Je předpokládáno, že odvzdušnění této formy je provedeno dělicí rovinou a vůlí mezi vyhazovači.

9.7 Manipulační prvky

S formou je manipulováno za pomoci čtyřech šroubů s manipulačními oky umístěných na straně formy. Aby se při manipulaci zabránilo samovolnému otevření formy, je forma opatřena také zámkem dělicí roviny. Tyto součásti byly vybrány z katalogu společnosti Hasco.



Obrázek 29 Manipulační prvky

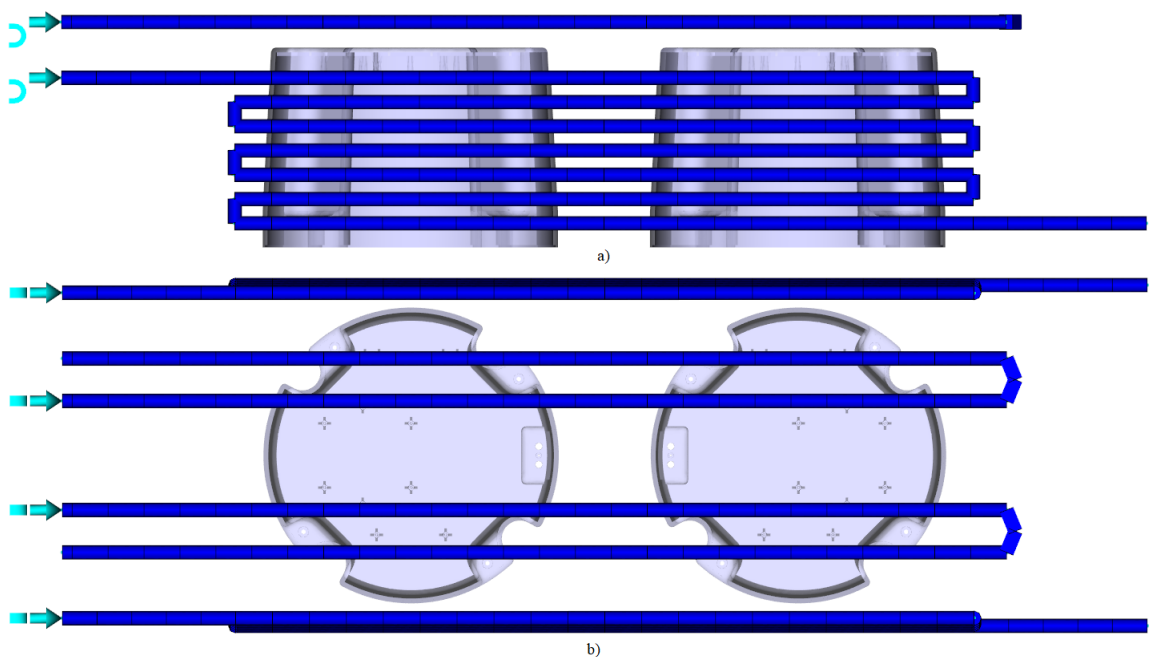
a) šroub se závěsným okem b) zámek dělicí roviny

9.8 Temperační systém

Aby bylo možné porovnat která varianta temperačního systému je výhodnější, byla snaha vytvořit nejvhodnější provedení pro obě verze temperačních systémů. Pro temperaci byla použita čistá voda o teplotě 45 °C pod tlakem 5 bar (0,5 MPa). Voda byla použita pro svou dobrou tepelnou vodivost a nízkou viskozitu a ekologickou nezávadnost. Pro obě verze byly použity stejné podmínky.

9.8.1 Vrtaná verze temperace

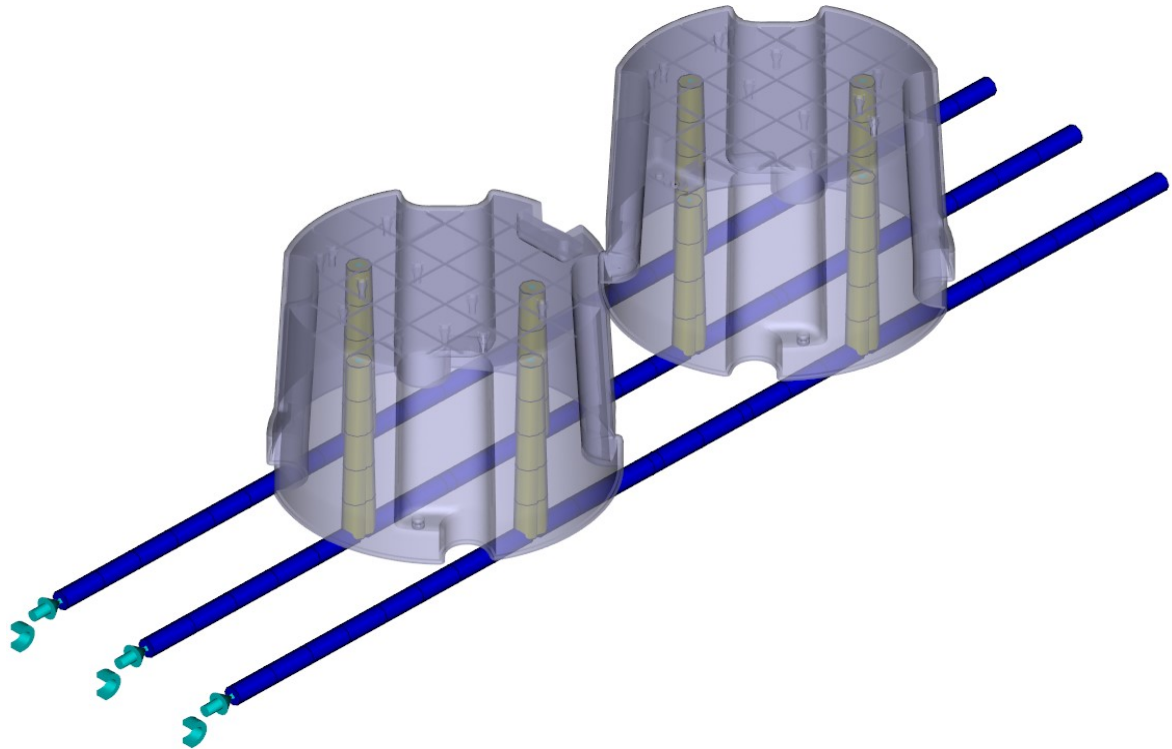
Pro tvárnici byly použity kanály o průměru 12 mm. Pro temperaci bočních stran byl použit paralelní obvod. Horní strana tvárnice byla temperována čtyřmi kanály, ze kterých byly vytvořeny dva obvody propojené vyfrézovanou a utěsněnou drážkou. Celkově je pak tvárnice chlazena čtyřmi obvody, všemi řešenými sériově.



Obrázek 30 Vrtaná temperace tvárnice

a) boční pohled b) horní pohled

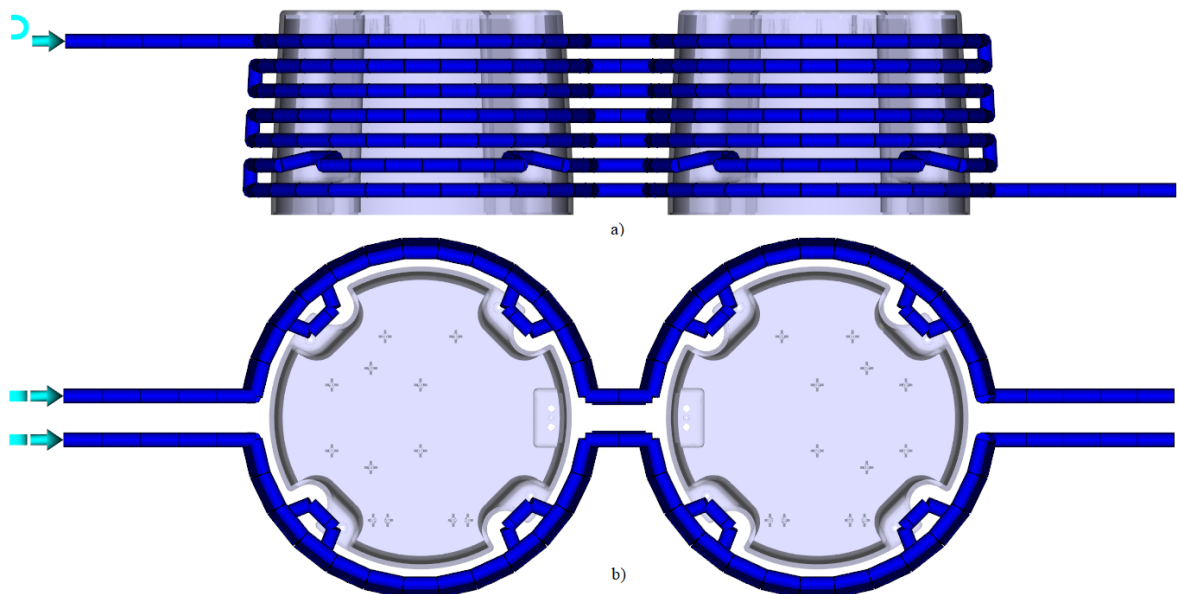
Tvárník je temperován za pomoci třech obvodů s vyvrtanými dírami pro přepážky o průměru 18 mm. Přepážky byly vybrány z katalogu firmy Hasco a následně pro potřebu byly upraveny na požadovanou délku, přepážky jsou propojeny kanály o průměru 14 mm.



Obrázek 31 Vrtaná temperace tvárníku s přepážkami

9.8.2 Konformní verze temperace

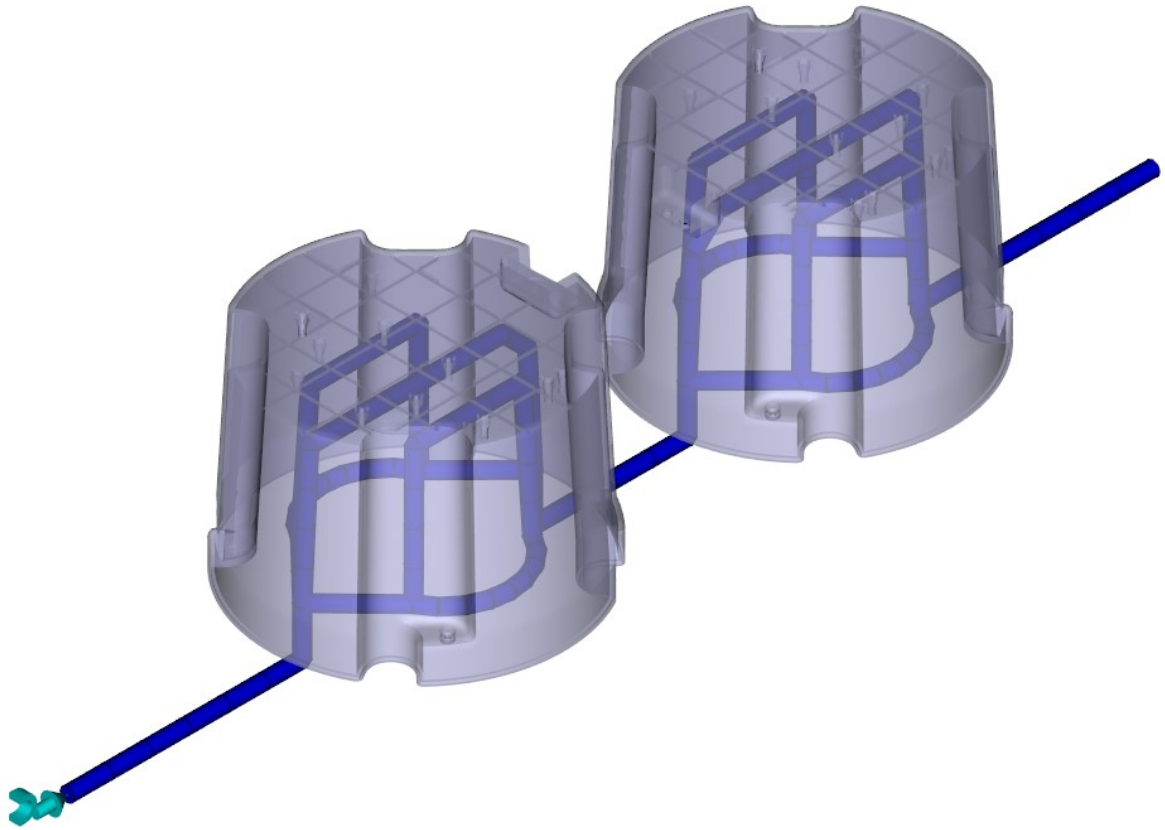
Kanály vytvořené pro tvárnici byly vytvořeny o průměru 12 mm, temperace je řešena dvěma sériovými obvody. Kanály byly navrženy tak aby kopírovaly kruhový profil výrobku a lépe chladily kritická místa.



Obrázek 32 Konformní temperace tvárnice

a) boční pohled b) horní pohled

Tvárník je temperován paralelním obvodem s kanály o průměru 12 mm. Kanály byly navrženy tak, aby kopírovaly tvar vstřikovaného výrobku.

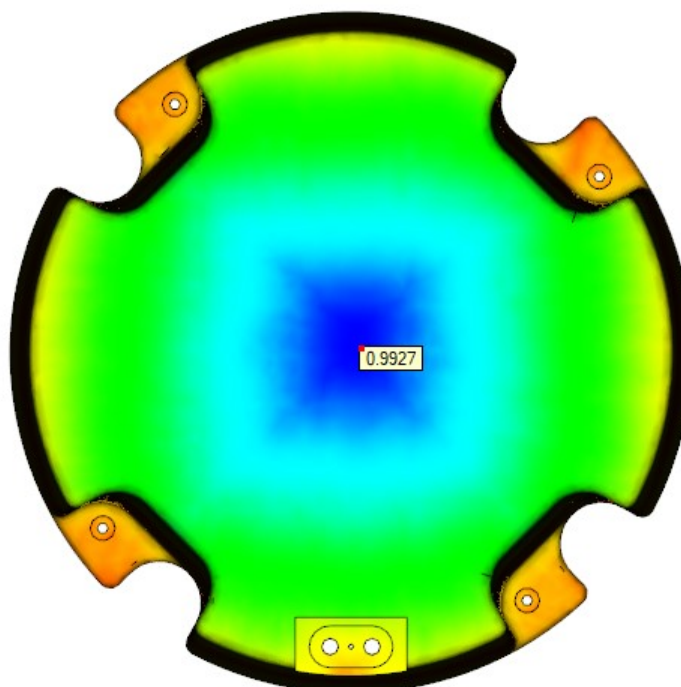


Obrázek 33 Konformní temperace tvárníku

10 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy temperačních systémů byly uskutečněny v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Aby mohla být analýza provedena, bylo potřeba vstříkovaný výrobek naimportovat a vysít'ovat. Pro analýzu byla zvolena síť typu „Dual Domain“. Poté byl také vytvořen a vysít'ován vtokový a temperační systém. Výrobek byl vysít'ován za pomoci prvků „triangle“ a temperční a vtokový systém za pomoci prvků „beam“.

Umístění vtokového ústí na výrobku bylo vybráno podle výsledků analýzy „Gate Location“. Umístění vtokového ústí bylo uznáno za dostačující, jelikož dle analýzy se vhodnost místa blížila hodnotě 100 %.



Obrázek 34 Vhodnost umístění vtoku

Před samotným provedením tokových analýz bylo třeba nastavit jednotlivé procesní parametry, jako například typ vstříkovaného materiálu, typ, teplota a tlak temperace, umístění vtoku a další. Jako materiál vstříkovací formy byla zvolena defaultně přednastavená ocel P20, jejímž ekvivalentem je ocel 1.2311 dle DIN normy.

Tabulka 5 Vybrané vlastnosti oceli 1.2311

Hustota [g/cm ³]	7,8
Měrná tepelná kapacita [J/kg.°C]	460
Tepelná vodivost [W/m.°C]	29
Teplotní roztažnost [K ⁻¹]	1,2x10 ⁻⁵
Modul pružnosti [MPa]	205000
Poissonova konstanta [-]	0,29

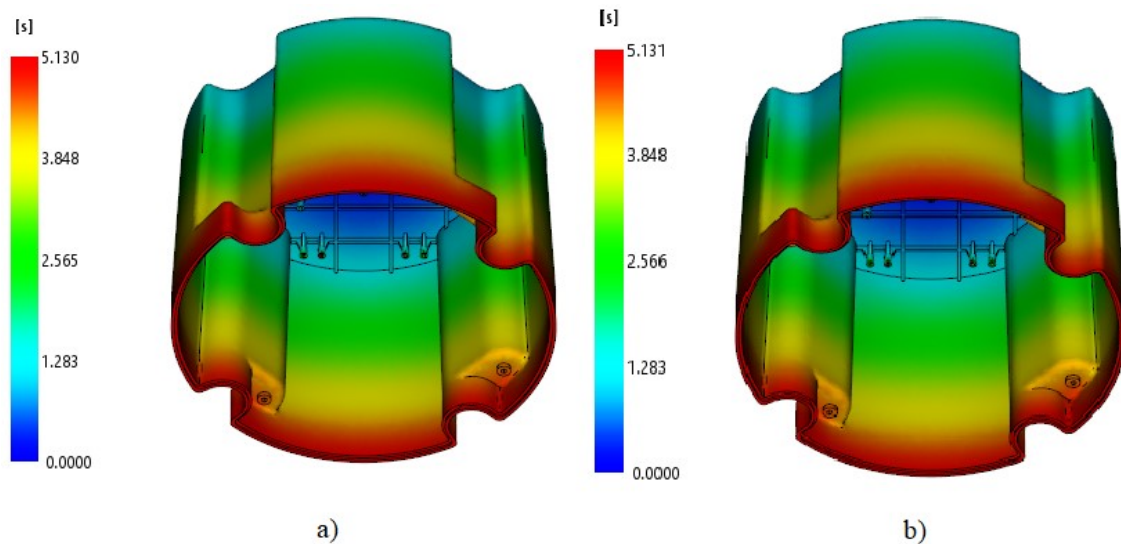
Vzhledem k tomu, že knihovna vstřikovacích strojů této verze programu nebyla aktuální, nebylo pro analýzu možno použít vybraný stroj. Pro analýzu byl vybrán defaultní stroj, u kterého byly upraveny hodnoty tak, aby odpovídaly zvolenému stroji Allrounder 920 S 3200. Procesní parametry byly u obou variant temperace použity totožné.

Tabulka 6 Procesní parametry

Teplota taveniny [°C]	250
Doba otevření formy [s]	5
Čas vstřikování, dotlaku, chlazení	Automatický
Teplota povrchu formy [°C]	50
Vyhazovací teplota [°C]	105
Minimální procento ztuhlých částí [%]	95
Kontrola plnění	Automatická
Přepnutí dotlaku [%]	99
Ovládání dotlaku podle plnicího talku a času	0 s -90 %; 10 s 90%
Analýza orientace vláken	Ne
Analýza krystalizace	Ne
Zahrnutí roztažnosti formy	Ano
Izolace příčin deformace	Ano
Zahrnutí rohových efektů	Ano
Výpočtová matice	Automatická

10.1 Čas plnění

Časy plnění byly u obou variant téměř identické. Vrtaná varianta se vykazovala časem 5,130 s a konformní temperace časem 5,131 s. Časy plnění jsou si podobné, jelikož rozdílný vliv teplot je při takovém krátkém času nezatelný. Ze stejného důvodu je i také postup plnění tvarové dutiny téměř identický.



Obrázek 35 Čas plnění

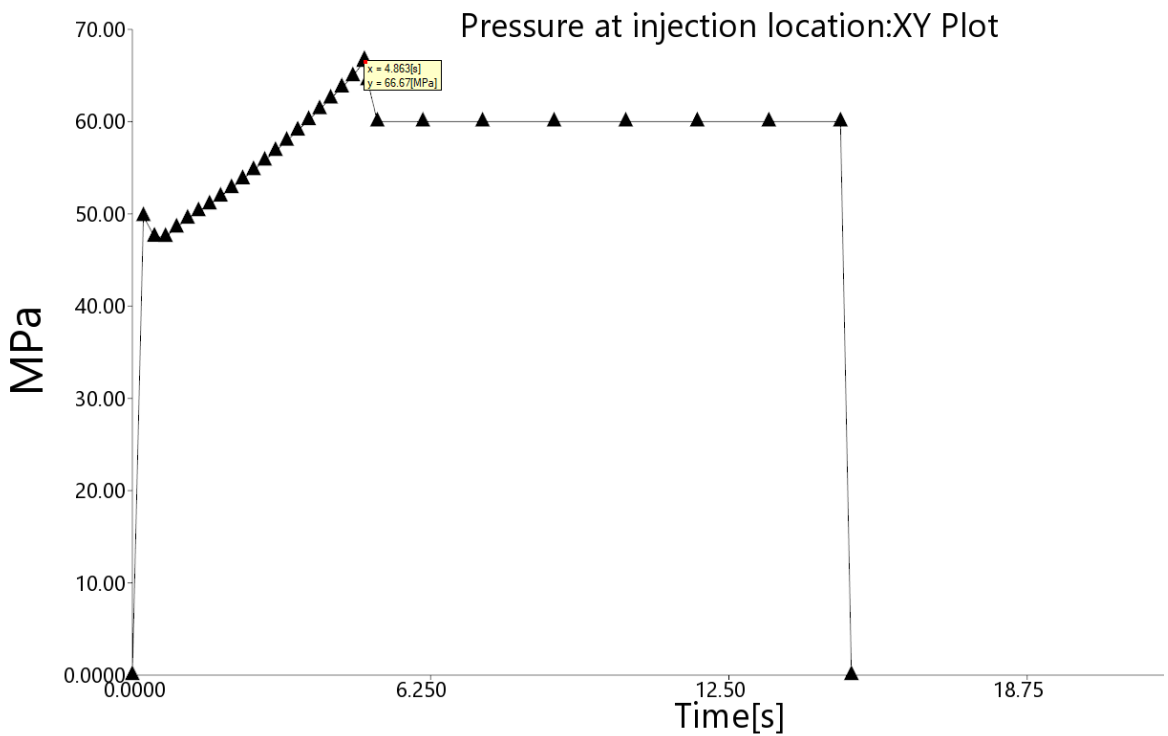
a) vrtaná varianta b) konformní varianta

10.2 Rychlost smykové deformace

Aby se předešlo degradaci vstříkového materiálů, je potřeba, aby nebyla překročena kritická hodnota rychlosti smykové deformace. U vybraného materiálu byla kritická hodnota 60000 s^{-1} . U obou variant byly výsledky opět téměř totožné. Vrtaná temperace se vykazovala rychlostí smykové deformace 38828 s^{-1} a konformní temperace se vykazovala hodnotou 38829 s^{-1} . Hodnota smykové deformace nebyla překročena ani v jednom případě, takže k degradaci materiálu by docházet nemělo.

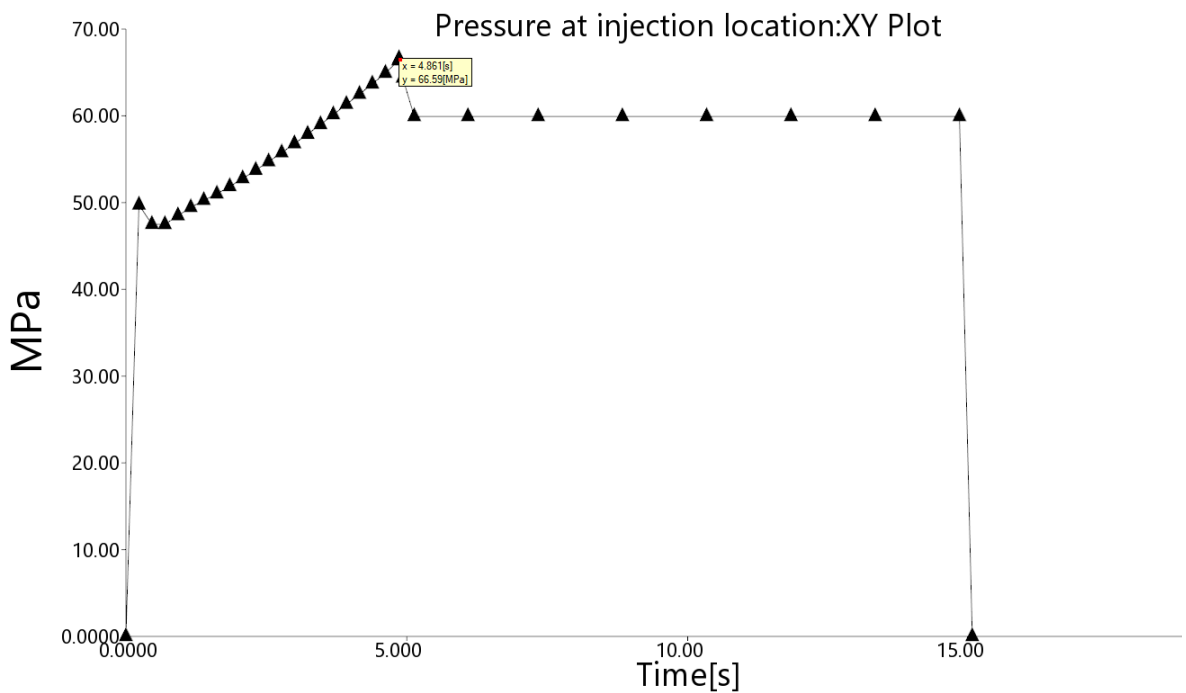
10.3 Tlak v místě vstříku

U vrtané varianty temperace bylo dosaženo největšího tlaku v místě vstříku v čase 4,863 s a to 66,67 MPa.



Obrázek 36 Tlak v místě vstříku u vrtané varianty

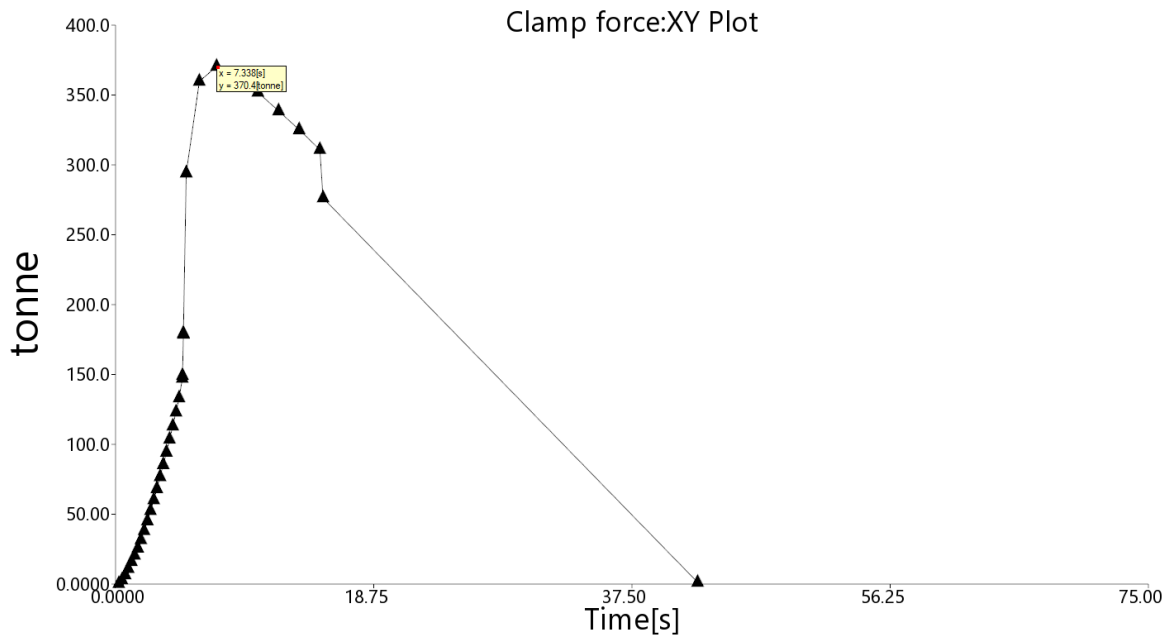
Konformní temperace dosáhla nejvyšší hodnoty v čase 66,59 MPa, v čase 4,861 s. Ani v jednom případě nedošlo k překročení maximální hodnoty stanovené výrobcem a to 158 MPa.



Obrázek 37 Tlak v místě vstříku u konformní varianty

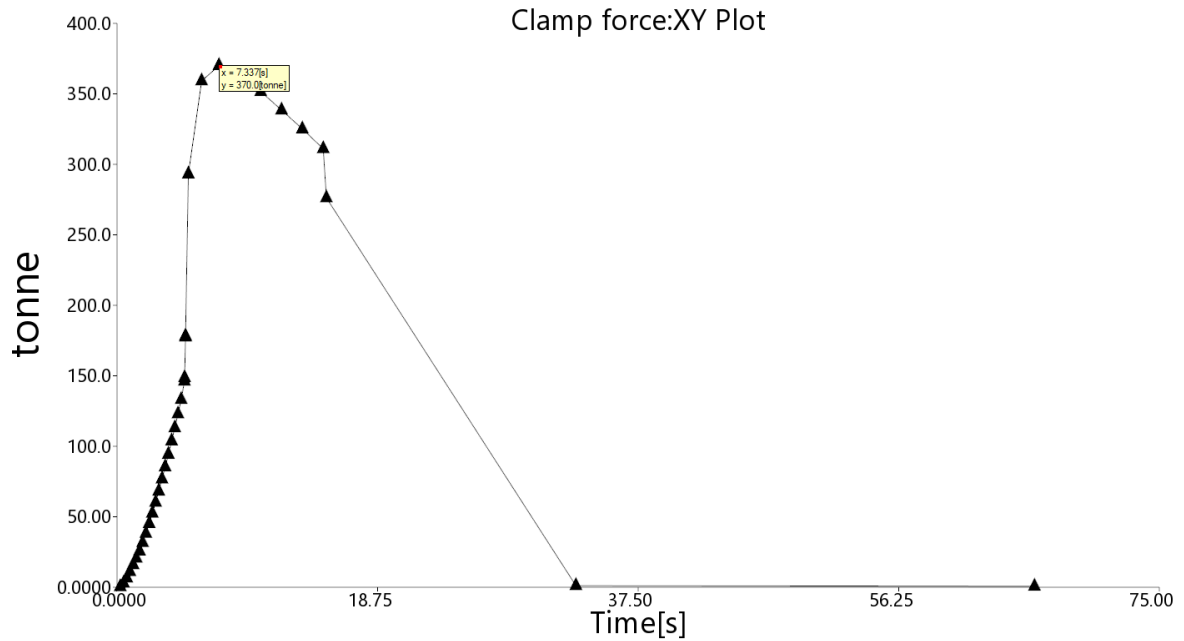
10.4 Hodnota uzavírací síly

Maximální hodnota uzavírací síly, kterou je schopen stroj vyvinout je 500 tun. Maximální síla, která byla vyvinuta, byla 370,4 tuny v čase 7,338 sekund. Při započtení bezpečnostní rezervy 20% byla hodnota u vrtané temperace 444,48 tun.



Obrázek 38 Hodnota uzavírací síly u vrtané varianty

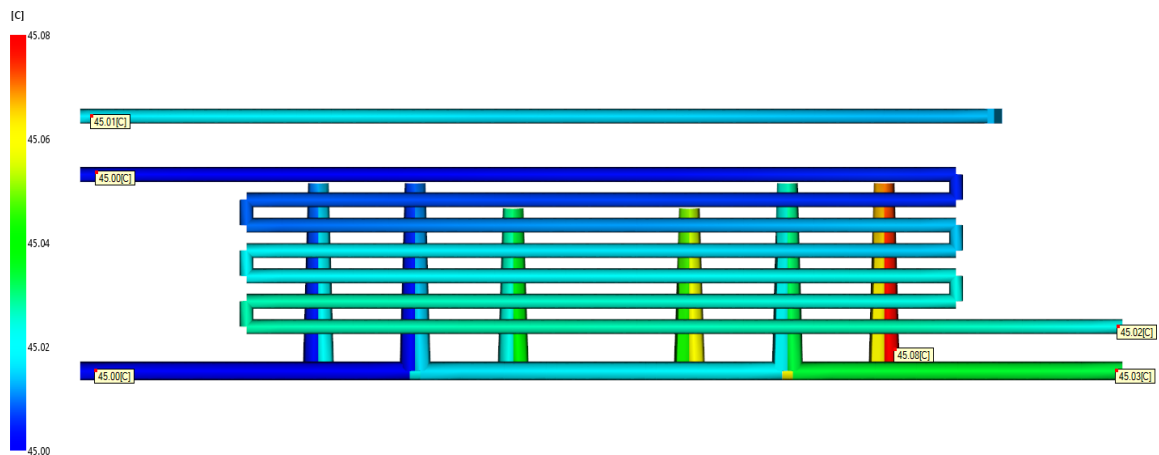
U konformní temperace byla hodnota 370 tun v čase 7,337 sekund. Po připočtení bezpečnostní rezervy byla hodnota 444 tun. Obě hodnoty nepřekračují udávanou maximální hodnotu stroje. Kdyby byla tato hodnota překročena, bylo by třeba zvolit stroj s větší uzavírací silou.



Obrázek 39 Hodnota uzavírací síly u konformní varianty

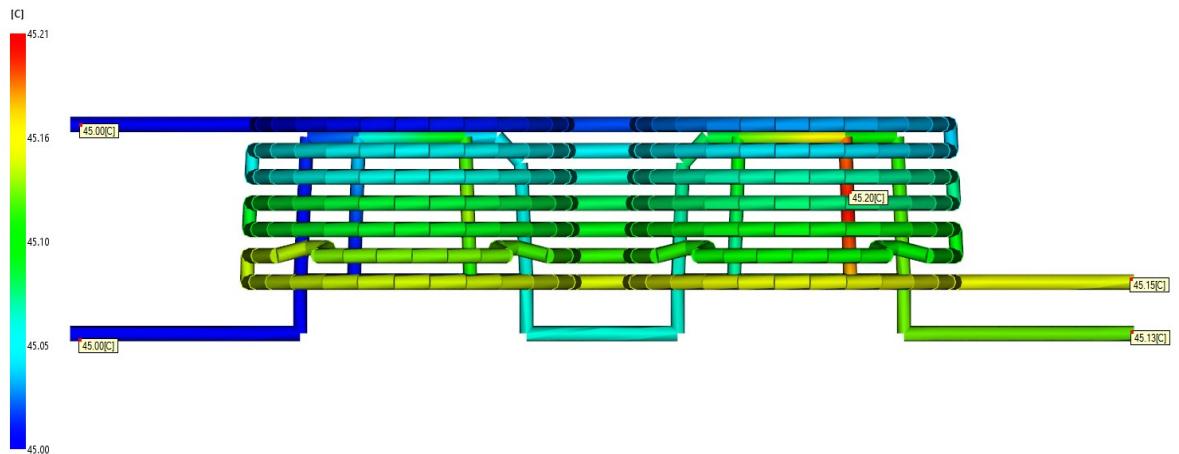
10.5 Teplota temperačního média

Aby byla zaručena co největší účinnost odvodu tepla, nedoporučuje se, aby rozdíl teploty temperačního média na vstupu a výstupu byl větší, jak 3°C . U obou variant byla tato podmínka splněna. Rozdíl teplot u vrtané temperace dosahuje $0,03^{\circ}\text{C}$. Nejvyšší teploty bylo dosaženo v přepážce, a to $45,08^{\circ}\text{C}$.



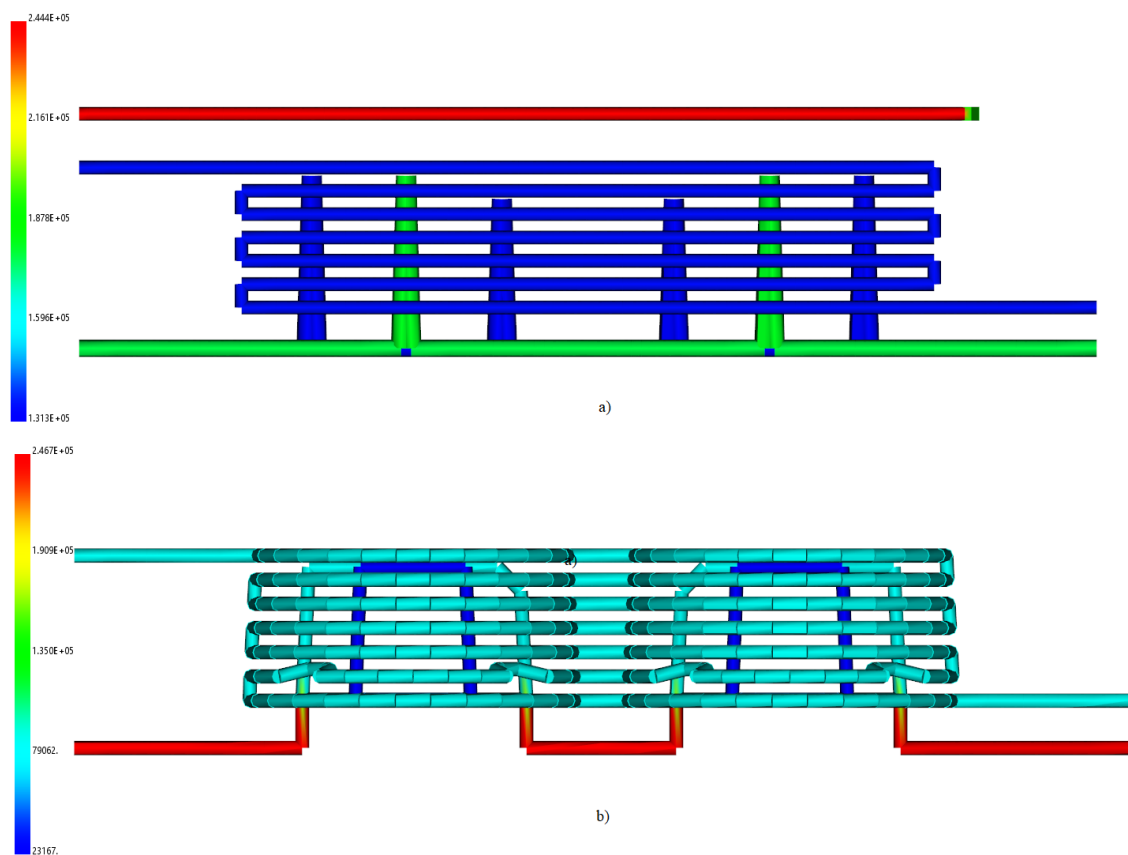
Obrázek 40 Teplota temperačního média vrtané varianty

U konformní temperace rozdíl dosahuje $0,15^{\circ}\text{C}$. Konformní temperace dosahuje většího rozdílu teplot, jelikož dráha kanálů lépe kopíruje tvar výrobku a tím se dostává více do styku s horkými místy formy, čímž odvádí více tepla.



Obrázek 41 Teplota temperačního média konformní varianty

10.6 Hodnota Reynoldsova čísla



Obrázek 42 Hodnota Reynoldsova čísla

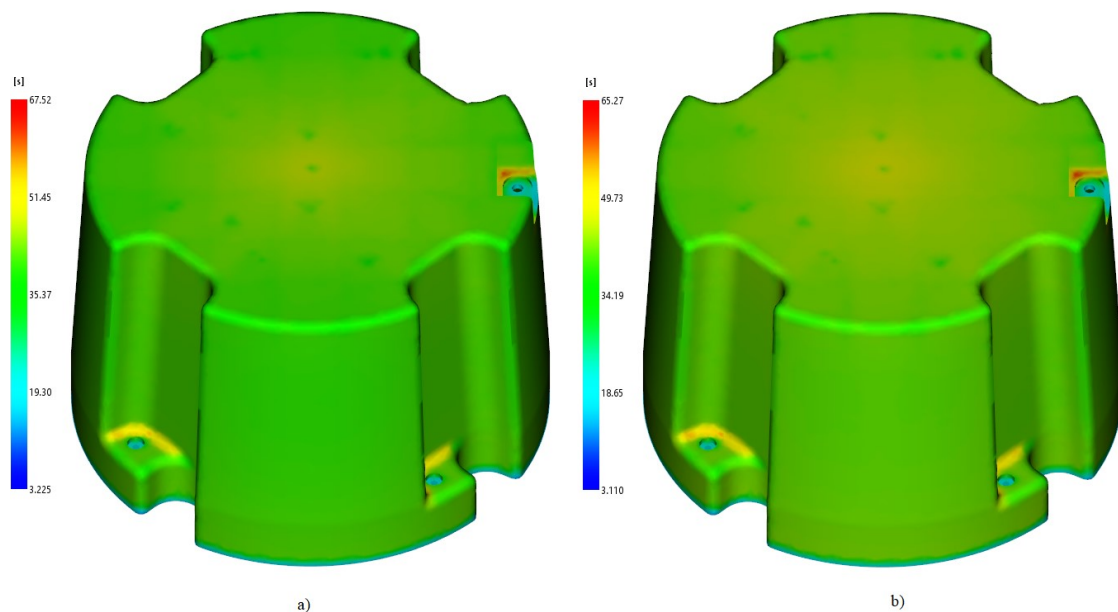
a) vrtaná varianta b) konformní varianta

O tom jak médium proudí temperačním systémem se informujeme hodnotou Reynoldsova čísla. Cílem je, aby pro nejlepší odvod tepla bylo v kanálech turbulentní

proudění. Aby bylo jisté, že v kanálech panuje turbulentní proudění, je nutno, aby hodnota Reynoldsova čísla překročila hodnotu 4000. Této podmínky se dosáhlo u obou variant temperančních systémů.

10.7 Čas pro dosažení vyhazovací teploty

Na to aby bylo možno hodit výrobek z formy, materiál se musel z teploty 250 °C ochladit na vyhazovací teplotu, v tomto případě byla vyhazovací teplota 105 °C. Výrobek chlazen konformní temperací dosáhne vyhazovací teploty v čase 65,27 s, což je dříve než u výrobku chlazeného temperací vrtanou. Vyhazovací teploty u výrobku s vrtanou temperací bude dosaženo za 67,52 s. U obou variant lze určit, že místa, která se chladí nejdéle, jsou místa pro přívod kabelů a rohy výstupků pro umístění šroubů. Z výsledků se lze dozvědět, že u vybraného výrobku a vstříkovaného materiálu typ temperace nemá příliš velký vliv na to, jak dlouho bude výrobek chlazen, potažmo na celkový čas výrobního cyklu. Rozdíl mezi jednotlivými variantami činí pouhých 2,25 sekund.



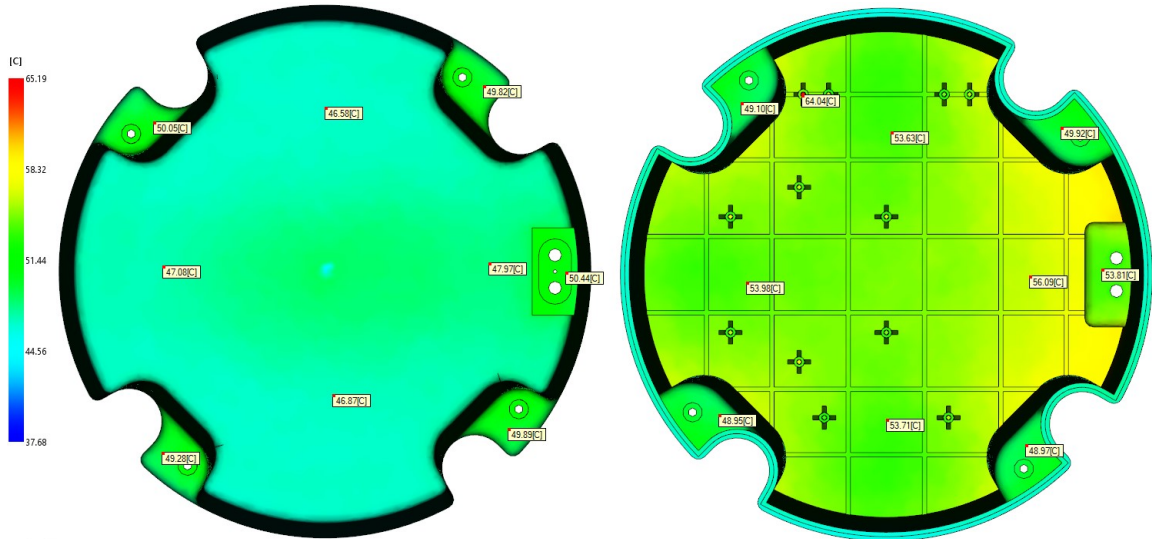
Obrázek 43 Čas pro dosažení vyhazovací teploty

a) vrtaná variant b) konformní varianta

10.8 Teplota formy

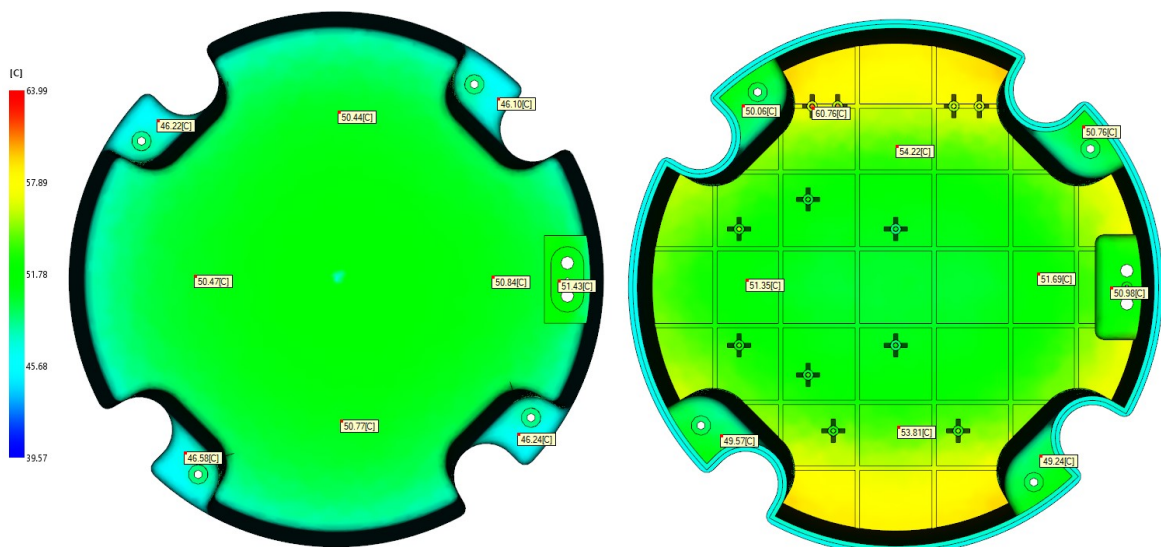
Rozsah teplot mezi tvárníkem a tvárnicí by se měl pohybovat v ideálním případě v rozmezí maximálně 5 °C. U vrtané varianty nebylo tohoto kritéria dosaženo. U vrtané

temperace je maximální rozsah mezi tvárníkem a tvárnici 27,51 °C. Nejvyššího rozdílu bylo dosaženo v otvorech pro šrouby na žebrování. Ve zbytku formy se rozdíl mezi teplotami pohyboval v rozmezí 2 - 7 °C.



Obrázek 44 Teplota tvárníku a tvárnice vrtané varianty

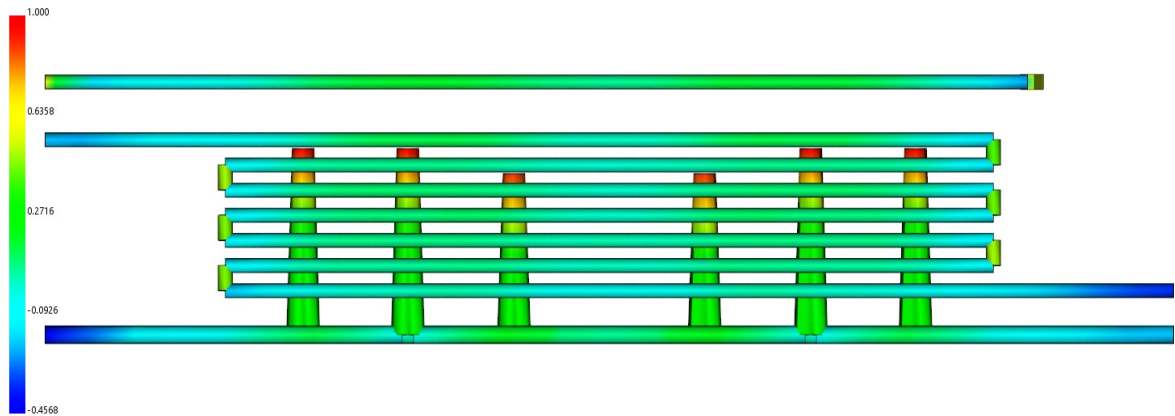
Podmínka rozdílu teplot nebyla také u konformní temperace také dodržena. Zde byl maximální rozsah teplot mezi tvárníkem a tvárnici 24,42 °C, takto velkých rozdílů bylo dosaženo ale pouze v zanedbatelně malých místech. Ve zbytku formy se rozdíl mezi teplotami pohyboval v rozmezí 1 - 5 °C. Což lze označit za uspokojivý výsledek.



Obrázek 45 Teplota tvárníku a tvárnice konformní varianty

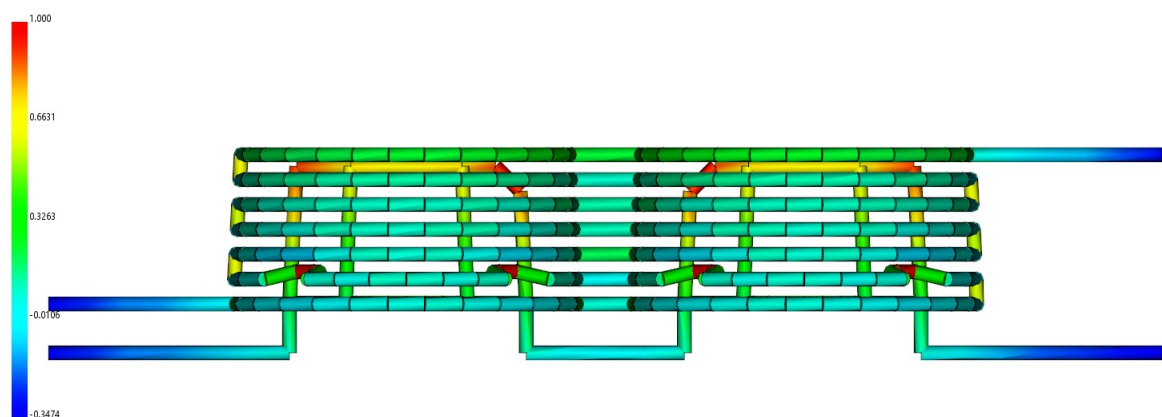
10.9 Účinnost odvodu tepla

Z výsledků byly identifikovány místa v temperačních systémech, které je teplo odváděno s největší účinností. Z obrázku lze vyčíst, že teplo bylo odváděno nejlépe z míst v blízkosti vrcholů přepážek. Tyto místa sice dobře odvádějí teplo, ale také mohou být příčinou zvýšených deformací, vzhledem ke vzniku špiček efektivity.



Obrázek 46 Účinnost odvodu tepla vrtané temperace

Z výsledků lze vyčíst, že navržené kanály mají největší účinnost odvodu tepla v kritických místech výrobku, a to u otvorů pro přívod kabelů a otvorů pro šrouby. Na rozdíl od vrtané varianty tvárníku, v místech kde byly použity přepážky, bylo dosaženo mnohem rovnoměrnějšího odvodu tepla.

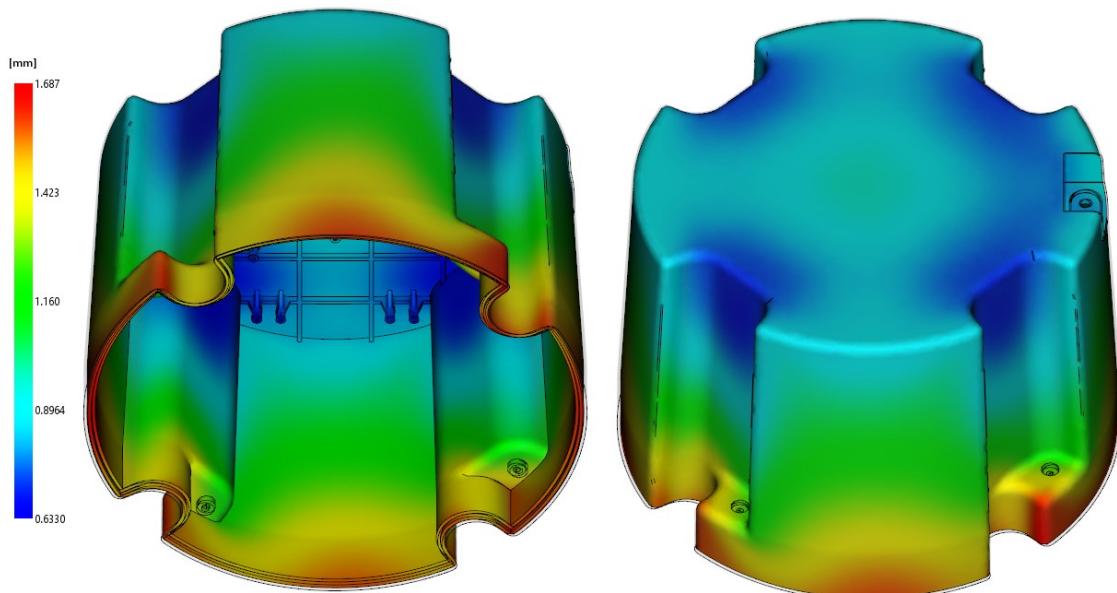


Obrázek 47 Účinnost odvodu tepla konformní temperace

10.10 Celková deformace

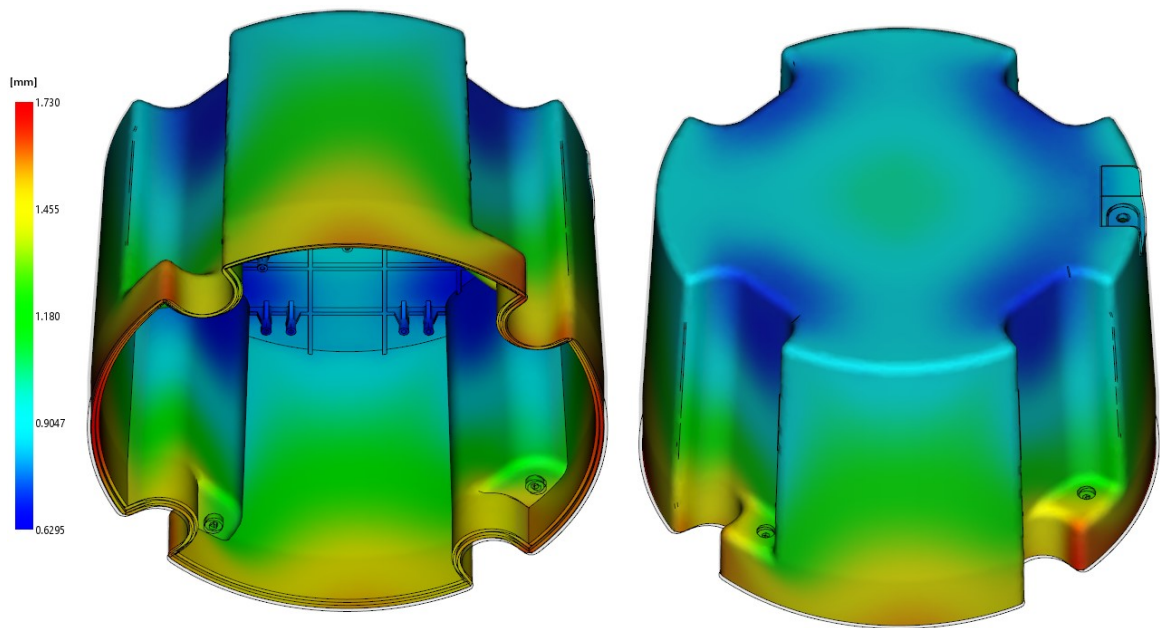
Celková deformace u vstřikovaného výrobku je součtem všech typů deformací přítomných při procesu vstřikování. V celkové deformaci je zahrnuta deformace vzniklá smrštěním, deformace zapříčiněná rohovými efekty, deformace vlivem chlazení a dalšími faktory. Deformace zapříčiněná smrštěním a rohovými efekty měly největší podíl na celkové deformaci.

U vrtané varianty největší deformace dosahovala hodnoty 1,687 mm. Tato hodnota se nacházela především na okrajích výrobku. Průměrná hodnota deformace byla 1,16 mm, vzhledem k rozměrům a tloušťce výrobku je tato hodnota uspokojivá.



Obrázek 48 Celková deformace vrtané varianty

Výrobek chlazený za pomoci konformní temperace vykazoval oproti vrtané temperaci mírné navýšení v celkové deformaci výrobku. Maximální deformace se vyskytovala ve stejných místech jako u vrtané temperace, ale hodnota vzrostla na 1,730 mm. Tento nárůst se dá vysvětlit zvýšenou teplotou média způsobenou delší dráhou temperačního média, to by bylo možno vyřešit úpravou dráhy temperačního média, zvýšením tlaku, popřípadě změnou časů vstřikovacího cyklu.



Obrázek 49 Celková deformace konformní varianty

11 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem této práce bylo vytvoření dvou různých variant temperačních systémů pro daný výrobek. První variantou byl temperační systém vytvořený konvenčními metodami, v tomto případě to byly vratcí a frézovací operace. Druhá varianta byla vytvořena za pomoci nekonvenční metody DMLS patřící do skupiny technologií „rapid prototyping“. Obě tyto metody byly odzkoušeny pomocí tokových analýz a následně byly porovnány. Pro tokové analýzy byl použit program Autodesk Moldflow Insight 2016.

Zadaným výrobkem byl kryt reproduktoru. Pro to aby výrobek plnil požadované funkce, musel pro něj být zvolen vhodný materiál. Pro výrobek byl tedy zvolen akrylonitrilbutadienstyren který splňoval vlastnosti požadované po výrobku. Použitý akrylonitrilbutadienstyren byl vybrán z portfolia firmy Styrolution s obchodním názvem HH-106.

Tokové analýzy ukázaly oproti očekáváním, že vliv na vstřikovací cyklus měly obě varianty téměř stejný. Výsledky časů plnění byly téměř totožné a postup jakým se tvarová dutina plnila, byl také stejný. Z analýzy vhodnosti umístění vtoku bylo ověřeno, že umístění vtoku u daného výrobku se ukázalo jako vhodné. Dále se ukázalo, že zvolený vstřikovací stroj Arburg Allrounder 920s se svými parametry vyhovoval.

Parametry zvolené pro použité temperační médium byly navoleny dobře. Jako temperační médium byla zvolena čistá voda, která byla hnána do okruhu pod tlakem 5 bar s teplotou 45 °C. U obou variant temperačních systémů bylo po celé délce jejich dráhy udržováno turbulentní proudění. Dále nebyla porušena podmínka maximálního rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem. U vrtané temperace rozdíl dosahoval pouze 0,03 °C, u konformní temperace byl rozdíl teplot 0,15 °C.

Oproti hlavním očekáváním se čas potřebný na ochlazení na vyhazovací teplotu zkrátil pouze minimálně, a to o 2,55 sekund. Tento výsledek může být zapříčiněn, že vrtaná varianta pro daný výrobek byla dostatečná a proto konformní varianta nepřestavovala dostatečný posun v kvalitě temperace. Konformní temperace nepředstavovala velký posun v kvalitě, i když byla navržena tak aby kopírovala vnější tvar výrobku a dostatečně chladila kritická místa, jak vně tak i uvnitř výrobku. Většího rozdílu mezi časy by bylo možno dosáhnout u výrobků s větší tvarovou složitostí. Zde se ukázalo, že dostatečného chlazení kruhového profilu se dá dosáhnout i klasickou vrtanou temperací.

Výsledky deformací byly ve prospěch vrtané deformace, kde maximální deformace dosahovala hodnoty 1,687 mm oproti 1,730 mm i tak se jedná o zanedbatelný rozdíl. S designového hlediska bylo dosaženo takových hodnot deformace především kvůli tloušťce daného výrobku.

Vzhledem k nepatrným rozdílům výsledků z provedených analýz a vyšší pořizovací DMLS výrobků, pro daný výrobek bych konformní variantu teploty nedoporučoval.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření a porovnání dvou různých variant temperačního systému pro daný výrobek.

Teoretická část se zabývá polymery, vstřikováním polymerů, konstrukcí forem, temperačními systémy a dále popisuje technologii DMSL.

V praktické části byly navrženy dvě varianty temperačních systémů pro formu. První vytvořena za pomoci konvenčních metod a druhá varianta byla vytvořena nekonvenční metodou DMLS. Obě varianty temperačního systému byly navrženy tak, aby nejlépe plnily svou funkci a při simulačních testech u nich byly použity stejné procesní podmínky. Výsledky obou temperačních systémů byly následně diskutovány a porovnány mezi sebou a následně shrnuty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1.* 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s.
- [2] BOBČÍK, L. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2.* 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 214 s.
- [3] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 8070806176
- [4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů.* Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503
- [5] MMSPEKTRUM. *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování* [online]. [cit. 2019-10-10] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [6] LENFELD, L. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online] [cit. 2019-10-10] Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [7] MG PLASTIC *Termoplastické elastomery TPE* [online] [cit. 2019-10-10] Dostupné z: <http://www.tpe.mgplastics.cz/clanky/28/produkty/>
- [8] LENFELD, L. *Vstřikování plastů* [online] [cit. 2019-10-10] Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [9] ARBURG. *Vstřikovací stroje* [online] [cit. 2019-11-22] Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/hydraulicke-stroje>
- [10] HYNEK, M. a kol. *Rámy vstřikovacích forem* [online] [cit. 2019-11-31] Dostupné z: <https://adoc.tips/ramy-vstrikovacich-forem.html>
- [11] HYNEK, M. a kol. *Studené a živé vtokové systémy* [online] [cit. 2019-11-31] Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [12] HASCO [online] [cit. 2019-11-31] Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>

- [13] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [14] ZHOU, H. *Computer modeling for injection molding: simulation, optimization, and control*. Hoboken: Wiley, 2013, 397 s. ISBN 9781118444887.
- [15] HYNEK, M. a kol. *Temperace vstřikovacích forem* [online] [cit. 2019-12-20] Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [16] COPPER *Comparison of Mold Alloy Properties* [online] [cit. 2019-12-20] Dostupné z: <https://www.copper.org/applications/industrial/CuMolds/comparison.html>
- [17] PLASTICPORTAL *Teperaci vstřikovacích forem* [online] [cit. 2019-12-20] Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-4-cast/c/3088/>
- [18] SD3D *Direct Metal Laser Sintering – DMLS 3D Printing* [online] [cit. 2020-01-10] Dostupné z: <https://www.sd3d.com/dmls-3d-printing/>
- [19] STRATASYS *The Complete Guide to 3D Printing Metal Parts with DMLS Printing* [online] [cit. 2020-01-10] Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/technologies/direct-metal-laser-sintering#dmls-materials>
- [20] KELLER, P. *3D tisk z kovových materiálů* [online] [cit. 2020-01-10] Dostupné z: <https://www.slideshare.net/technologyfuture/petr-keller-tuv-3d-tisk-z-kovovch-materil-technologyfuture-2016>
- [21] Autodesk Moldflow Insight 2016 [počítačový program] *Ver. Educational Edition Service Pack 1. Autodesk Inc., 2016* [cit. 2020-03-30]
- [22] ARBURG. *Allrounder 920S* [online] [cit. 2020-03-30] Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_920S_TD_528995_en_GB.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
λ	Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
ν	Poissonova konstanta [-]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
BeCu	Beryliová měď
CAD	ComputerAided Design
D	Průměr [mm]
d	Délka [mm]
DIN	Německá národní norma
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
F_p	Přisouvací síla
F_u	Uzavírací síla
G	Modul pružnosti ve smyku [MPa]
h	Hloubka [mm]
LCP	Polymery tekutých krystalů
l	Délka [mm]
PA	Polyamin
PB	Polybuten
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PEEK	Polyetherketon
PE	Polyethylen
PMMA	Polymethylmethakrylát

POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PSU	Polysulfon
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styrenakrylonitril
š	Šířka [mm]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
T _m	Teplota tání [°C]
v	Výška [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [4].....	12
Obrázek 2 Vnitřní struktura termoplastů [4].....	12
Obrázek 3 Oblast využití amorfních polymerů [1].....	13
Obrázek 4 Oblast využití semikrystalických polymerů [1]	14
Obrázek 5 Vnitřní struktura reaktoplastu [6].....	14
Obrázek 6 Vnitřní struktura elastomeru [6].....	15
Obrázek 7 Vnitřní struktura termoplastického elastomeru [7]	15
Obrázek 8 Vstřikovací cyklus [8]	17
Obrázek 9 Vstřikovací stroj [9]	18
Obrázek 10 Schéma šnekové vstřikovací jednotky [8].....	19
Obrázek 11 Uzavírací jednotka [8].....	20
Obrázek 12 Nepohyblivá část formy (žlutá) a pohyblivá část formy (modrá) [10]	22
Obrázek 13 Studený vtokový systém [11].....	26
Obrázek 14 Vyhazovací kolíky [12].....	28
Obrázek 15 Vliv rozmístění temperančních kanálů [2].....	31
Obrázek 16 Schéma zapojení temperančních kanálů [14].....	32
Obrázek 17 Upevnění izolační desky na formě [15]	34
Obrázek 18 Elektrické topné články [15]	35
Obrázek 19 Příklad řešení temperačního okruhu [15].....	36
Obrázek 20 Výrobky vytvořené technologií DMLS [18].....	38
Obrázek 21 Princip technologie DMLS [20].....	39
Obrázek 22 Vstřikovaný výrobek	42
Obrázek 23 Vstřikovací stroj Allrounder 920 S [9].....	44
Obrázek 24 Rám použité vstřikovací formy	45
Obrázek 25 Vodící systém formy	46
Obrázek 26 Vyhazovací systém formy	47
Obrázek 27 Horký vtokový systém	48
Obrázek 28 Tvarové vložky.....	49
Obrázek 29 Manipulační prvky	49
Obrázek 30 Vrtaná temperace tvárnice.....	50
Obrázek 31 Vrtaná temperace tvárníku s přepážkami	51
Obrázek 32 Konformní temperace tvárnice.....	51
Obrázek 33 Konformní temperace tvárníku	52
Obrázek 34 Vhodnost umístění vtoku	53

Obrázek 35 Čas plnění.....	55
Obrázek 36 Tlak v místě vstříku u vrtané varianty.....	56
Obrázek 37 Tlak v místě vstříku u konformní varianty.....	56
Obrázek 38 Hodnota uzavírací síly u vrtané varianty.....	57
Obrázek 39 Hodnota uzavírací síly u konformní varianty.....	58
Obrázek 40 Teplota temperačního média vrtané varianty.....	58
Obrázek 41 Teplota temperačního média konformní varianty.....	59
Obrázek 42 Hodnota Reynoldsova čísla.....	59
Obrázek 43 Čas pro dosažení vyhazovací teploty.....	60
Obrázek 44 Teplota tvárníku a tvárnice vrtané varianty.....	61
Obrázek 45 Teplota tvárníku a tvárnice konformní varianty.....	61
Obrázek 46 Účinnost odvodu tepla vrtané temperace.....	62
Obrázek 47 Účinnost odvodu tepla konformní temperace.....	62
Obrázek 48 Celková deformace vrtané varianty.....	63
Obrázek 49 Celková deformace konformní varianty.....	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Teploty formy při zpracování polymerů a požadované teploty taveniny [2]	30
Tabulka 2 Tepelná vodivost vybraných materiálů [16]	33
Tabulka 3 Temperační média [2]	34
Tabulka 4 Parametry vybraného vstřikovacího stroje [22]	44
Tabulka 5 Vybrané vlastnosti oceli 1.2311	54
Tabulka 6 Procesní parametry	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD-ROM, který obsahuje tyto přílohy:

- Elektronická verze diplomové práce