

Vliv teploty cívek při zastříknutí na proces vstřikování

Bc. Lukáš Gargulák

Diplomová práce
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Gargulák**
Osobní číslo: **T16609**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv teploty cívek při zastříknutí na proces vstřikování**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracovat literární studii na dané téma**
2. **Provedení analýzy vstřikovacího procesu v software Moldflow**
3. **Příprava vzorků a statistické vyhodnocení**
4. **Měření rozměrových vlastností zastříknuté cívky**

Rozsah diplomové práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018


doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2018



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédně k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem teploty vkládaného dílu při procesu overmouldingu na procesní parametry a rozměrové vlastnosti daného dílu. V teoretické části je popsán proces vstřikování, nastíněna teorie plastů a jejich dělení. Dále je zde vysvětlen proces overmouldingu a možnosti hodnocení vtokových vlastností polymeru. Jde zde také popsán proces smršťování a faktory, jež ho ovlivňují.

Praktická část je věnována softwarové analýze vstřikování pomocí programu Moldflow, přípravě a rozdělení vzorků, porovnání vstřikovacích parametrů a následnému měření rozměrů. Dále bylo vytvořeno vyhodnocení vlivu teploty na rozměr pomocí CT snímků. V závěru práce jsou shrnuty výsledky vlivu teploty vkládaných dílů.

Klíčová slova: overmoulding, teplota vkládaného dílu, smršťování, rozměrové vlastnosti, procesní parametry

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the influence of the temperature of the inserted part during the overmoulding process to the process parameters and dimensional qualities of the given parts. The theoretical part describes the injection process, there is theory of plastics materials and their sorting. There is an explanation of the overmoulding process and the possibility of evaluating the inlet properties of the polymer. It also describes the shrinking process and the factors that affect it.

Practical part includes software analysis of injection molding with Moldflow program, there is a preparation and sorting of samples, followed by measurement and evaluation of studied parameters. In addition, an evaluation of the effect of the temperature on the dimension with CT images was made. At the end of the thesis are summarized the effects of the temperature of the inserted parts.

Keywords: overmoulding, temperature of inserted part, shrinking, dimensional qualities, process parameters

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za vedení, technické konzultace a za čas, který věnoval mojí diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat společnosti WOCO STV s.r.o. za možnost realizace diplomové práce. Taktéž bych chtěl poděkovat přítelkyni Marii Sábové a sestře Bc. Aleně Gargulákové za podporu v rámci celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS STROJE.....	12
1.3 ZAŘÍZENÍ PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	14
1.3.1 Rozdělení vstřikovacích strojů.....	14
1.3.2 Vstřikovací šneková jednotka.....	15
1.4 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	16
1.4.1 Části forem.....	17
1.4.2 Temperační systém.....	17
1.4.3 Vyhazovací systém.....	18
1.4.4 Vtokový systém.....	18
2 TEORIE PLASTŮ	19
2.1 PŘÍPRAVA PLASTŮ.....	19
2.2 ROZDĚLENÍ PLASTŮ.....	20
Termoplasty.....	20
2.2.1 Amorfnní plasty.....	21
2.2.2 Semikrystalické plasty.....	22
2.3 PLASTY PRO STROJÍRENSKÝ PRŮMYSL.....	22
2.4 POLYFENYLENSULFID.....	23
2.4.1 Vlastnosti PPS.....	24
2.4.2 PPS v průmyslu.....	24
3 OVERMOULDING	25
3.1 VÝHODY TECHNOLOGIE OVERMOULDING.....	26
3.2 VSTUPNÍ DÍL PRO TECHNOLOGII OVERMOULDING.....	26
4 HODNOCENÍ TOKOVÝCH VLASTNOSTÍ POLYMERU	27
4.1 INDEX TOKU TAVENINY (MFI).....	27
4.2 SPIRÁLOVÁ ZKOUŠKA ZABÍHAVOSTI TAVENIN POLYMERU – PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	28
4.3 HODNOCENÍ TOKOVÝCH VLASTNOSTÍ NA VSTŘIKOVACÍCH STROJÍCH.....	29
4.3.1 iQ weigh control.....	29
5 SMRŠTĚNÍ A FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SMRŠTĚNÍ	30
5.1 MATERIÁL.....	31
5.1.1 Amorfnní a částečně krystalické plasty.....	31
5.1.2 Plniva a plněné materiály.....	32
5.2 PROCESNÍ PARAMETRY.....	32
5.2.1 Teplota stěny formy.....	33

5.3	KONSTRUKCE VÝSTŘIKU	33
5.3.1	Tloušťka stěn.....	33
5.3.2	Vliv žebër na výstřiku	33
5.4	FORMA – TEMPERACE.....	34
II	PRAKTICKÁ ČÁST	35
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	36
7	SPOLEČNOST WOCO STV S.R.O.....	37
7.1	POPIS PRODUKTU.....	38
7.1.1	Popis obstříknuté cívky	38
8	ANALÝZA – MOLDFLOW.....	39
8.1	ČAS PLNĚNÍ	39
8.2	TEPLOTA NA ČELE TAVENINY	42
8.3	VSTŘIKOVACÍ TLAK A BOD PŘEPNUTÍ NA DOTLAK	43
8.4	ČAS POTŘEBNÝ K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	44
8.5	ZAMRZNUTÍ PODÍLU VRSTVY V URČITĚM ČASE.....	45
8.6	OBJEMOVÉ SMRŠTĚNÍ	46
9	PŘÍPRAVA VZORKŮ - CÍVEK	49
9.1	VYHODNOCENÍ VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ	50
9.1.1	Vyhodnocení vstřikovacího tlaku	50
9.1.2	Vyhodnocení materiálového polštáře.....	53
10	MĚŘENÍ ROZMĚROVÝCH VLASTNOSTÍ ZASTŘÍKLÉ CÍVKY	54
10.1	VYHODNOCENÍ VNĚJŠÍHO PRŮMĚRU 31,60 MM.....	55
10.2	VYHODNOCENÍ VNITŘNÍHO PRŮMĚRU 20,10 MM	57
10.3	VYHODNOCENÍ ROZMĚROVÝCH VLASTNOSTÍ POMOCÍ CT SNÍMKŮ	59
10.3.1	Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 0°C	60
10.3.2	Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 25°C	61
10.3.3	Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 80°C	62
10.3.4	Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 150°C	63
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ	65
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69

ÚVOD

Automobilový průmysl v posledních desítkách let prodělal enormní růst. S tím je úzce spojen tlak, který je vyvíjen na jednotlivé společnosti, aby vytvářely nové technologie a materiály, tak aby se zvýšila kvalita dílů a snížily se náklady. Z toho důvodu se čím dál více začínají využívat nové technologie, jako jsou např. overmoulding, PIM aj. S rozvojem nových technologií vznikají nové polymerní materiály, které jsou svými vlastnostmi jedinečné. Jedná se o materiály, které řadíme do skupiny HIGH-TECH. Do této skupiny patří materiály PTFE, PPS a další. Tyto materiály jsou náročnější na zpracování než běžné komoditní plasty jako např. PP a PE.

Téma diplomové práce „Vliv teploty cívek při zastříknutí na proces vstřikování“ vzniklo ve společnosti WOCO STV s.r.o. při přípravě nových projektů, kde technologie overmoulding tvoří jednu z částí procesu nové výrobní montáže. Při tvorbě projektu byla vytvořena FMEA, což je analytická metoda, jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku vad ve výrobě a předejít tak případným problémům a reklamacím. Jedním z bodů, který bylo nutné zanalyzovat je právě téma diplomové práce.

Důvod proč se téma objevilo ve FMEA je ten, že vkládaný díl, jenž nám tvoří vnitřní část stěny formy, může mít během procesu overmoulding různou teplotu. Faktory ovlivňující teplotu jsou např. skladování v chladných prostorách před zpracováním nebo nejednotná teplota zapříčiněná rozdílným časem cyklu. Vzhledem k rozdílu teplot na vnější a vnitřní stěně dutiny formy lze předpokládat, že teplota vstupního dílu může ovlivnit výslednou kvalitu jak procesu, tak výrobku.

Cílem diplomové práce je zjistit možnou velikost vlivu teploty cívek při zastříknutí na procesní parametry vstřikování a na rozměrové vlastnosti již obstříknuté cívky.

K dosažení výsledků bude využito programu Moldflow, ve kterém bude vytvořena analýza vstřikování pro různé teploty vkládaného dílu. V dalším kroku bude zhotoven plastový obal na skupinách cívek o různých teplotách pomocí technologie overmoulding, během které budou zaznamenávána vstřikovací data a poté vyhodnocena. V poslední části budou zastříknuté cívky změřeny na dotykovém přístroji a vyhodnoceny. Následně bude využito počítačové tomografie k porovnání 3D modelu vůči vyrobeným dílům. Tyto jednotlivé kroky by měly být dostatečné k celkovému zhodnocení vlivu teploty vstupního dílu v procesu zastříknutí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

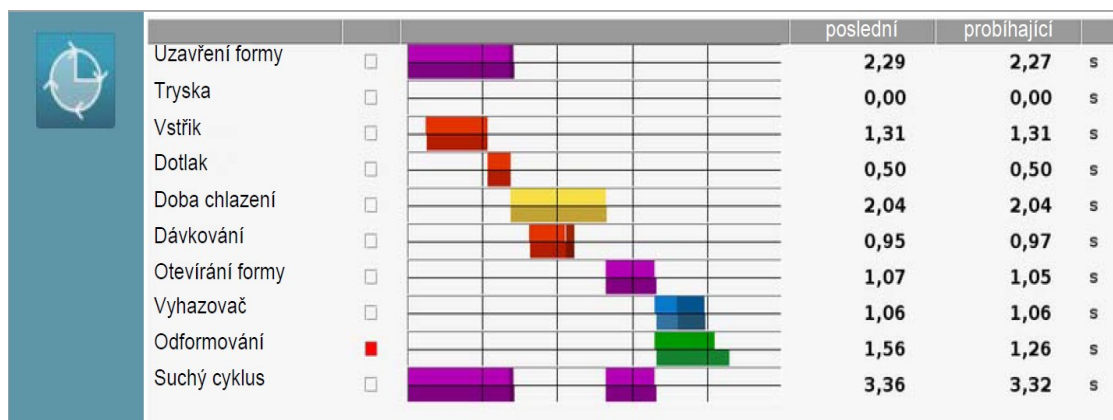
V oblasti zpracování plastů je proces vstřikování klasifikován, jako jedna z nejdůležitějších a nejrozšířenějších technologií v plastikářském průmyslu vůbec. S plastovými výrobky se setkáváme prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Technologií vstřikování plastů lze vyrobit výrobky o velké tvarové členitosti, u kterých lze dosáhnout relativně vysoké rozměrové přesnosti. Další výhodou je velké využití zpracovaného materiálu a v neposlední řadě i možnost automatizace procesu. Z důvodu vysokých investičních nákladů vstřikovacího stroje a vstřikovacího nástroje je technologie vhodná především pro velkosériovou výrobu. [1], [2], [3]

1.1 Princip vstřikování

Vstřikovací proces je děj cyklický. Plast v podobě prášku nebo granulí se ve vstřikovací jednotce roztaví, zhomogenizuje a vstříkne se do uzavřené tvarové dutiny nástroje za působení velké vstřikovací rychlosti, kde tavenina vlivem velkého teplotního gradientu rychle tuhne. Po zchlazení finálního výrobku na vyhazovací teplotu se nástroj otevře a výrobek je vyhozen z formy za pomoci vyhazovacího systému a poté je proces opakován. [1], [2], [3]

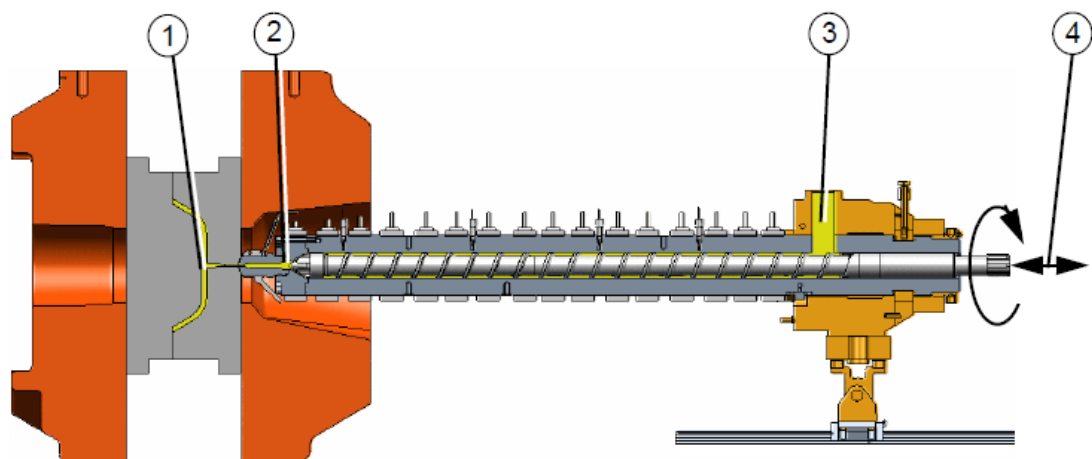
1.2 Vstřikovací cyklus stroje

Stroj provádí řadu kroků za sebou podle výrobního programu. Jednotlivé kroky vstřikování se mohou překrývat a všechny kroky dohromady vytváří vstřikovací cyklus. Každý finální výrobek je jinak složitý, má jinou strukturu a musí splňovat určitou kvalitu, tím se celkový čas vstřikovacího cyklu u jednotlivých výrobců různí. Na Obr. č. 1 jsou zobrazeny jednotlivé kroky vstřikovacího cyklu stroje. [1], [2], [3], [4]



Obr. 1 Příklad jednotlivých kroků vstřikovacího stroje [5]

- V prvním kroku vstřikovacího cyklu se forma uzavře. V případě zastříknutí musí dojít k za-aretování vloženého dílu. Následně je vyvinuta síla uzavírací jednotkou, která musí být větší než vstřikovací tlak. Tuto sílu nazýváme uzavírací.
- V druhém kroku přijede vstřikovací jednotka k formě, kde je přidržena přítlačnou silou. Ta nám zajišťuje, aby se vstřikovací jednotka neposunula od formy během vstřiku a dotlaku. Materiál je ve vstřikovací jednotce ve formě taveniny připravený ke vstříknutí do nástroje.
- Třetím krokem je vstřík a dotlak taveniny. Tavenina je vstřikována do všech dutin formy rovnoměrně podle nastaveného profilu vstřiku. Důležitým faktorem je, aby vstřikovací čas byl co nejkratší. Při ochlazování materiálu dochází k smrštění taveniny a zmenšení jejího objemu. Aby se zamezilo propadu materiálu nebo vzniku dutin, je nutné, aby stroj po vstříknutí materiálu přepnul na dotlak. Dotlak je část vstřikovacího cyklu při kterém stroj (šnek) doplňuje taveninu do doby zatuhnutí ústí vtoků.
- Čtvrtým krokem je ochlazování. Je to doba, po kterou je tavenina ochlazována bez působení tlaku. Celkový čas ochlazování závisí především na zpracovávaném plástu, tloušťce stěny výrobku, temperaturaci formy apod. Během tohoto kroku nezávisle probíhají kroky vstřikovací jednotky, jako jsou dávkování, plastikace, a homogenizace materiálu pro další cyklus.
- Pátým krokem je odformování výrobku. Dochází k odstranění uzavírací síly. Poté se otevře forma a pomocí vyhazovacího systému je výrobek odformován z pohyblivé části formy.



- [1] Naplněné kavity
- [2] Prostor před šnekem pro taveninu (specifický zpětný tlak)
- [3] Prostor pro natažení materiálu
- [4] Regulace zpětného tlaku

Obr. 2 Vstřik taveniny, dávkování ve vstřikovací jednotce [5]

1.3 Zařízení pro vstřikování plastů

Vstřikovací stroj má za úkol převést vstupní plast do taveniny. Poté tuto taveninu dopravit do dutiny formy a po ochlazení odformovat výrobek z formy. Nejdůležitější části strojů pro vstřikování plastů jsou plastikační a uzavírací jednotka. Aby vstřikovací stroj mohl plně fungovat v součinnosti se strojem, používá se celá řada periferních zařízení, jako jsou: temperační zařízení, sušárny a zásobníky granulátu, dopravníky, manipulatory a další.

1.3.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

Dle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky: [5]

- Horizontální,
- Vertikální.

Dle typu zpracovávaného plastu: [5]

- Pro zpracování reaktoplastů,
- Pro zpracování termoplastů,
- Pro zpracování elastomerů.

Dle typu pohonu: [5]

- Hydraulické vstřikovací stroje,

- Elektrické vstřikovací stroje,
- Hybridní vstřikovací stroje (kombinace obou typů pohonů).

Dle počtu šneků: [5]

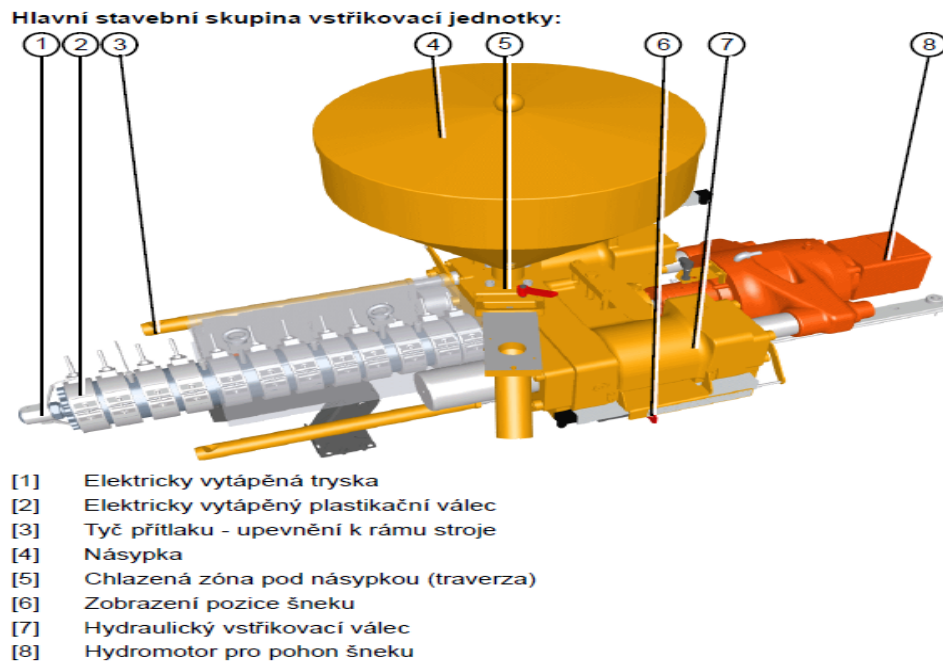
- Jednošnekové,
- Vícešnekové.

Dle maximální síly, kterou je uzavírací jednotka schopna vyvinout: [5]

- Malé vstřikovací stroje (do 500kN),
- Střední vstřikovací stroje (500 až 5000kN),
- Velké vstřikovací stroje (nad 5000kN).

1.3.2 Vstřikovací šneková jednotka

Vstřikovací jednotka má dva hlavní úkoly při procesu vstřikování. Jeden z úkolů je přeměnit granulát nebo prášek na taveninu, která bude viskózně homogenní. Druhá funkce je dopravit taveninu do dutiny formy. Na šneku je možné rozlišit tři funkční pásma. Pod nasypkou, kudy vstupuje materiál, tuto část šneku nazýváme vstupní nebo také dopravní. Zpracovávaný materiál je v této oblasti především stlačován a tím vytlačován přebytečný vzduch, který se nachází mezi materiálem. V druhém pásmu se průměr jádra šneku směrem k trysce zvětšuje a tím se šnekový kanál zmenšuje. Tím dochází ke stlačování materiálu a k intenzivnímu tání granulí. Proto se toto pásmo nazývá kompresní nebo přechodové. Poslední pásmo se nazývá homogenizační nebo výstupní. V tomto pásmu šneku dochází k homogenizaci materiálu. V tomto pásmu vzniká materiálový polštář, což je objem taveniny po skončení dotlakové fáze, jenž zbývá před čelem šneku v plastikační komoře. Tento polštář slouží jako kontrola objemu taveniny vstříknuté do formy. [1], [2], [3], [4], [5]



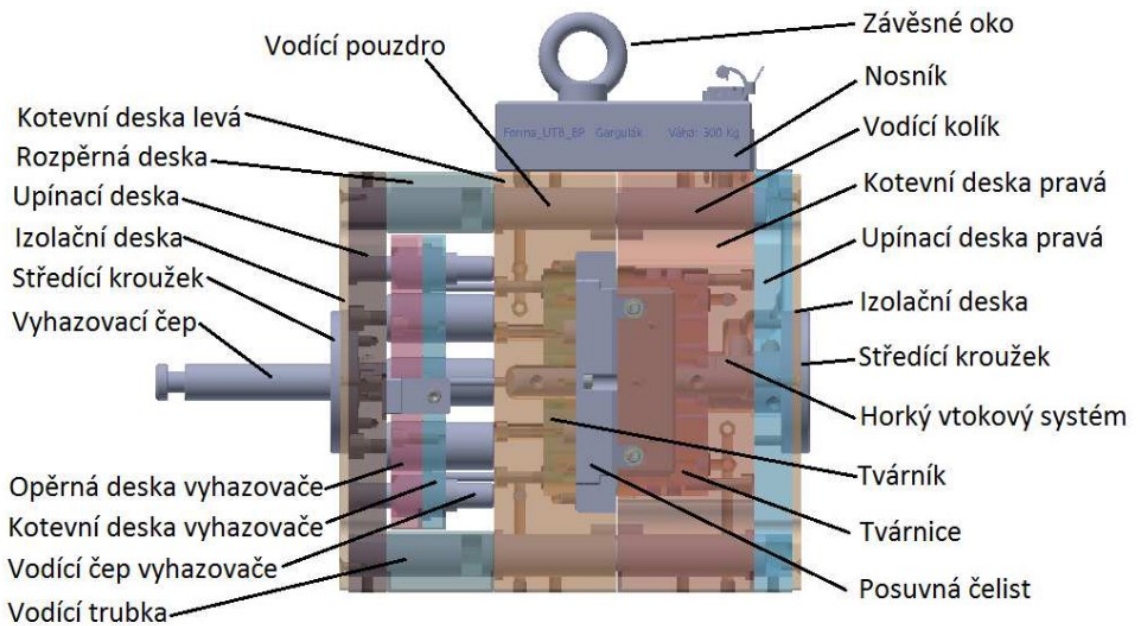
Obr. 3 Vstřikovací jednotka [5]

Při plastikaci se šnek otáčí a zároveň posunuje zpět. Tím dochází k tomu, že tavenina se hromadí mezi tryskou a špičkou šneku.

1.4 Vstřikovací forma

Vstřikovací nástroj je jeden z nejdůležitějších prvků, který má vliv na výslednou kvalitu finálního výrobku. V případě chyby při konstruování nebo výrobě nástroje se dané chyby projeví na výsledné kvalitě výrobku, ty jsou poté nevratné a nemohou být během vstřikovacího procesu již odladěny. Z tohoto důvodu je stále více kladen důraz na odstranění chyb v nástroji při samotném projektování. K tomu slouží software pro simulační analýzu vstřikovacího procesu daného výrobku, kde jsou odhaleny případné nedostatky navrženého nástroje. [6], [7]

Vnitřní tvar vstřikovací formy udává výsledný tvar a velikost finálního výrobku. Forma jako celek musí splňovat celou řadu požadavků, jako například odolnost vysokým teplotám a tlakům. Forma musí zajistit snadné odformování výrobku a také udává rozměrovou a tvarovou přesnost finálního výrobku. [6], [7]



Obr. 4 Vstřikovací forma

1.4.1 Části forem

Jednotlivé části forem lze rozdělit do 3 skupin. První skupina jsou díly rámu formy. Do této skupiny patří například opěrné desky, kotevní a upínací desky, vodící sloupky a pouzdra, rozpěrky, středící kroužky. Další skupinou jsou díly pro mechanický systém. Do této skupiny můžeme zařadit vyhazovací tyče a desky, pneumatické a hydraulické válce, pružiny a také šikmé kolíky. Poslední skupina udává výsledný tvar výrobku. Jedná se tedy o skupinu dílů tvarových částí. V této skupině nalezneme díly, jako jsou tvárník, tvárnice, tvarové vložky, jádra a vtokové vložky. [6], [7]

1.4.2 Temperační systém

Temperační systém je soustava vrtaných kanálů, kterou protéká temperační médium. Temperační systém má za úkol stabilizovat teplotu formy během celého procesu vstřikování a zajistit co možná nejrovnoměrnější ochlazování taveniny tak, aby se zabránilo její deformaci během ochlazování. [6], [7]

1.4.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém má za úkol vyhodit výstřik z formy po ochlazení. Z důvodu ochlazení výstřiku dojde k jeho smrštění. To má za následek ulpívání na tvarových částech formy. Nejrozšířenějším vyhazovacím systémem je typ mechanický. Dalším typem vyhazovacího systému je pneumatický, ten se využívá především pro tenkostěnné výrobky. [6], [7]

1.4.4 Vtokový systém

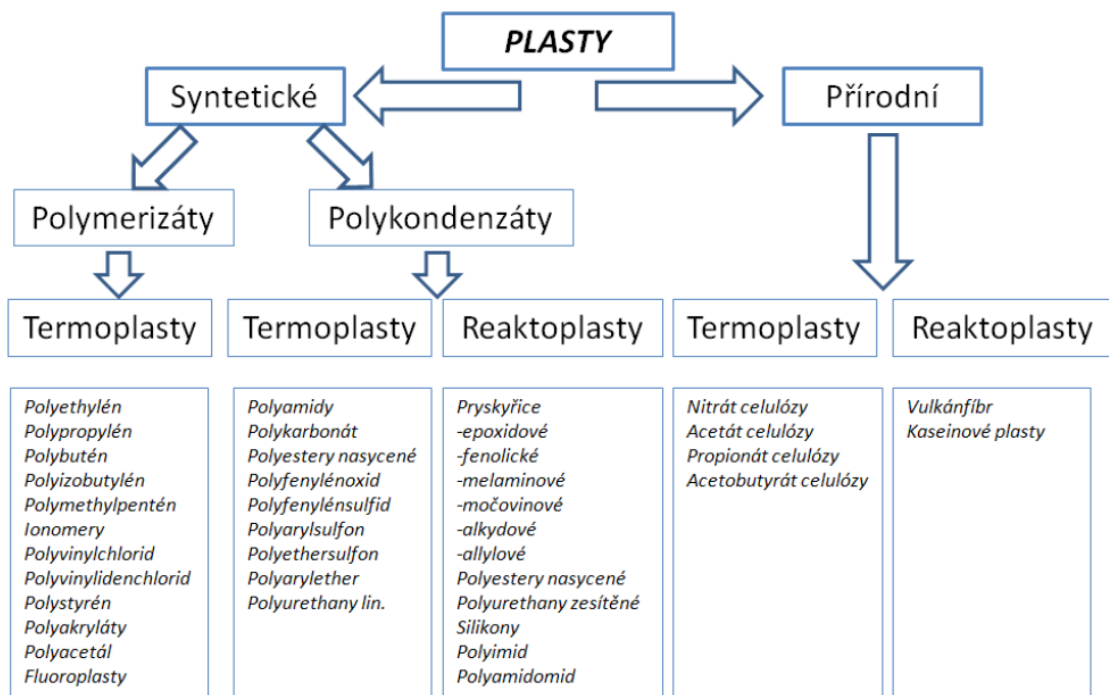
Vtokový systém má za úkol zajistit naplnění tvarových dutin současně. Vtokový systém má velký vliv na finální jakost výrobku. Proto je velmi důležité zvolit správný typ vtokového systému a také jeho samotné umístění na výstřiku. Vtok by měl být navržen tak, aby všechny tvarové dutiny byly naplněny v co nejkratším čase a to bez teplotních a tlakových ztrát. Vtokové systémy dělíme: [6], [7]

- Horký vtokový systém,
- Studený vtokový systém,
- Kombinace horkého a studeného vtokového systému.

2 TEORIE PLASTŮ

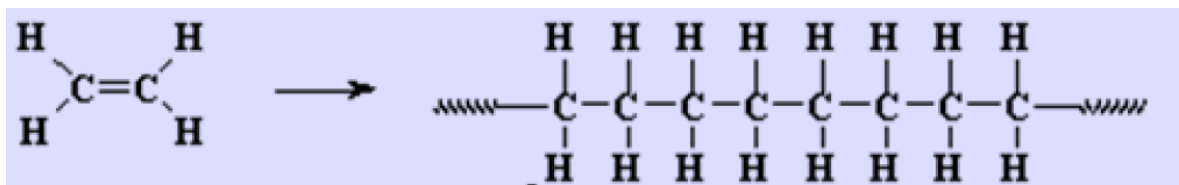
2.1 Příprava plastů

Plast jako materiál je založen na makromolekulárních látkách, polymerech. Polymer je sloučenina přírodní nebo syntetická. Syntetický polymer vzniká polyreakcemi (polymerace, polykondenzace, polyadice). [8]



Obr. 5 Schéma rozdělení plastů

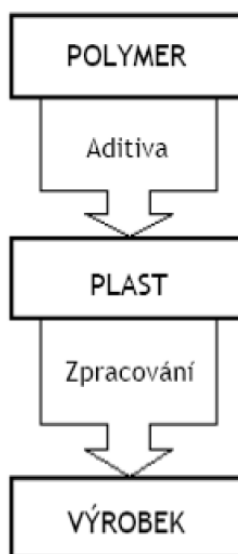
Jedná se o mnohokrát se opakující jednoduché reakce, ke kterým je nutné dodat energii, aby samotné reakce vznikly. Tím je počáteční nízkomolekulární sloučenina monomeru přeměněna na vysokomolekulární látku zvanou polymer. V polymerní makromolekule se opakují základní monomerní jednotky.



Obr. 6 Vznik polymeru následným řazením monomerů [8]

Plast pro zpracování technologií vstřikováním bývá nejčastěji ve formě granulí, prášku nebo tablet a jeho potřebné vlastnosti jsou získány smísením polymerních látek s dalšími

nezbytnými přísadami. Polymer představuje chemickou látku, zatímco plast je materiál s vhodnými uživatelskými vlastnostmi. [2]



Obr. 7 Etapy výroby a zpracování plastu [2]

2.2 Rozdělení plastů

Plasty je možné rozdělit dle různých hledisek. Mezi nejdůležitější dělení je možné považovat dělení na základě chování plastů při různých teplotách, tedy rozdělení dle chemické struktury:

- Termoplasty,
- Reaktoplasty,
- Kaučuky, pryže a elastomery.

Vzhledem k materiálu užitému v diplomové práci bude dále pojednáno o termoplastech s částečnou komparací s reaktoplasty. [1,3]

Termoplasty

Jedná se o lineární nebo rozvětvené polymery. Při dodání tepla se uvolní soudržnost řetězců a plast se stává viskózním. Při tomto stavu je možnost plast tvářet. Poté při ochlazení se řetězce dostanou do původního pevného stavu. Tento proces měknutí a opětovného tuhnutí lze teoreticky provádět opakovaně bez omezení. V případě reaktoplastů proces opakovaného měknutí a tuhnutí není možný z důvodu chemické reakce, která vzniká vlivem teploty a

tlaku během procesu zesíťování. U reaktoplastů jsou řetězce propojeny příčnými chemickými vazbami. Tyto příčné vazby nám vytváří trojrozměrnou prostorovou síť. [1,3]



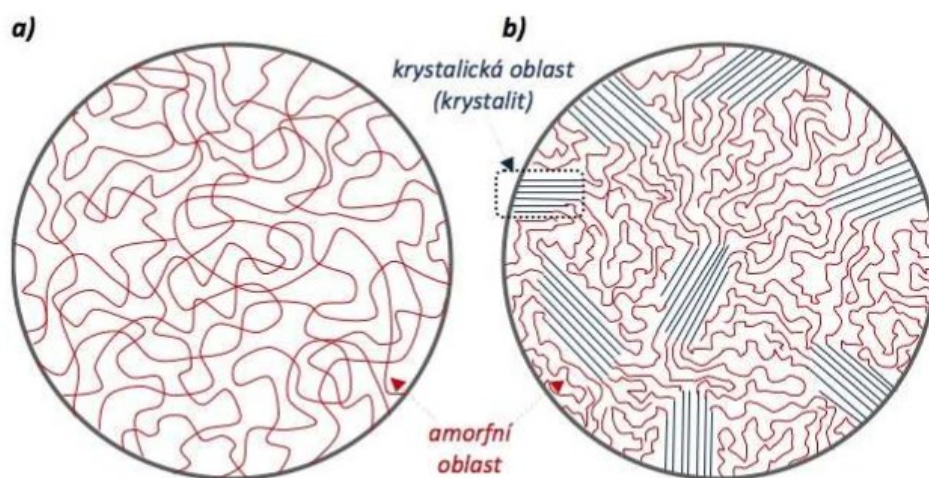
Obr. 8 Molekulární struktura plastů. Rozvětvená struktura vlevo, lineární struktura vpravo [8]

Podle nadmolekulární struktury dělíme termoplasty:

- Amorfní plasty,
- Krystalické (semikrystalické) plasty.

2.2.1 Amorfní plasty

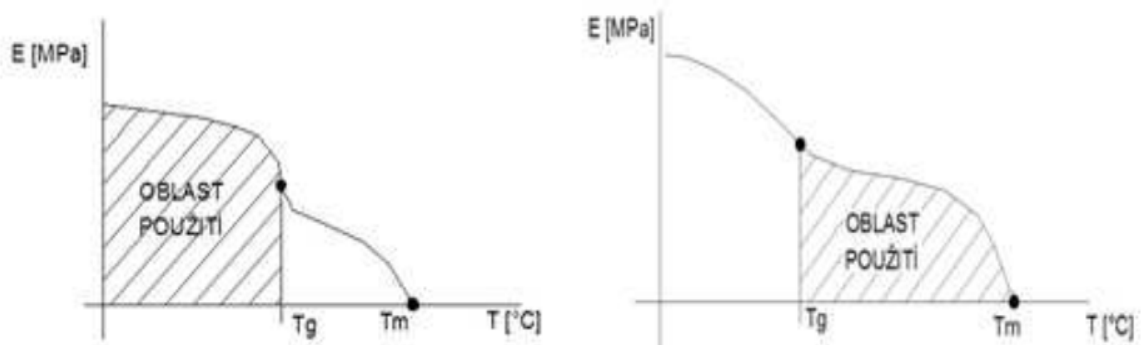
Jedná se plasty, které mají nepravidelně uspořádané řetězce. Jsou typické vysokou pevností, tvrdostí a křehkostí. Můžou být průhledné z důvodu nízkého indexu lomu. Vlastnosti plastů jsou závislé na teplotě. Pro amorfní plasty je teplota využití pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer při této teplotě je pevný. Zvyšováním teploty nad teplotou skelného přechodu (T_g) materiál přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy je možné jej zpracovávat. [3]



Obr. 9 Struktura termoplastů; a) amorfní termoplast; b) semikrystalický termoplast

2.2.2 Semikrystalické plasty

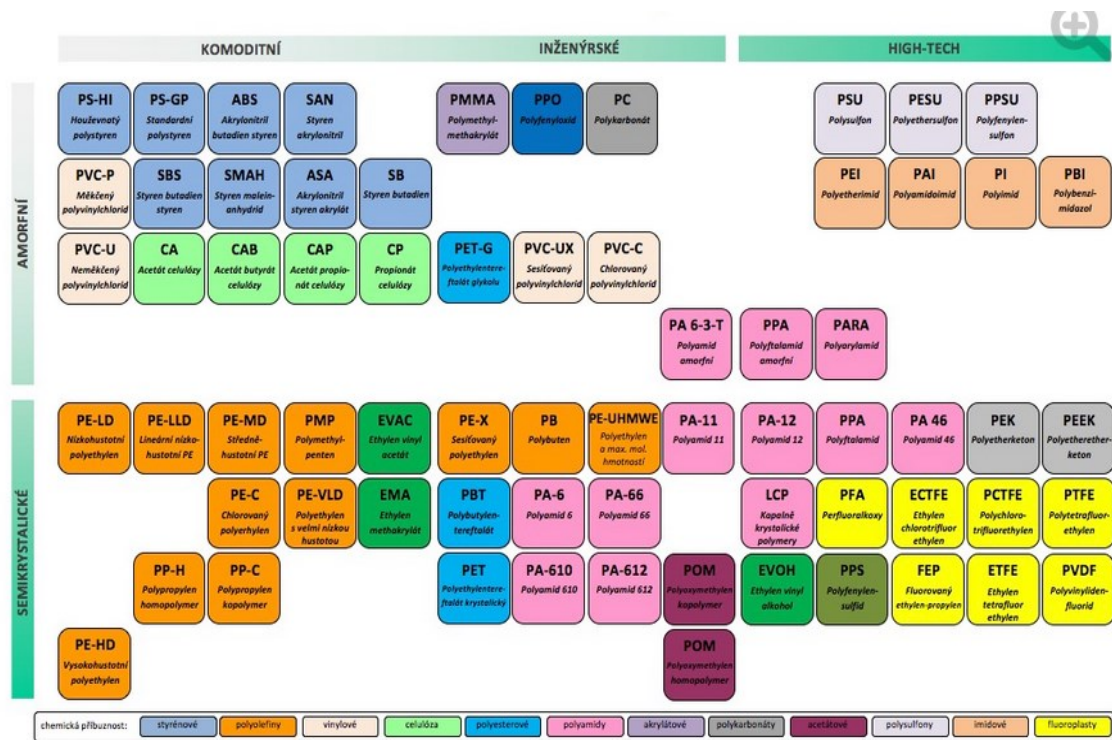
Semikrystalické plasty jsou tvořeny částí makromolekul, které jsou vázány v lamelách ve sférolitech krystalické fáze. Poměr uspořádané a amorfni oblasti je označován jako stupeň krystalinity. Semikrystalické plasty nikdy nemůžou dosáhnout 100% uspořádání a proto je nazýváme semikrystalickými. Modul pružnosti a pevnosti se odvíjí od stupně krystalinity. Pro semikrystalické plasty je velmi důležitá teplota tání (T_m), při které dochází k rozpadu krystalitů a tím se mění vlastnosti polymeru. Při zvyšování teploty se jako první uvolní část makromolekul z amorfni oblasti, poté i ostatní. Použití semikrystalických plastů je nad teplotou skelného přechodu (T_g), kdy využíváme výhodnou kombinaci houževnatosti a pevnosti. [3]



Obr. 10 Oblasti využití u amorfních a semikrystalických termoplastů [3]

2.3 Plasty pro strojírenský průmysl

V současné době je na trhu několik tisíc druhů plastů. Výrobky z plastu pro automobilový průmysl jsou stále více podrobovány přísnějším kritériím, jako jsou například zvýšená pevnost při statickém a dynamickém namáhání, zvýšená tuhost, pevnost a deformovatelnost, dále dodržení rozměrových tolerancí i při zvýšené teplotě, mrazu, vlhkosti. Při volbě materiálu je nutné brát také v úvahu cenu a i zpracovatelnost daného materiálu. Jednotlivé materiály můžeme rozdělit podle tepelné odolnosti a ceny do tří skupin viz. Obrázek 11.

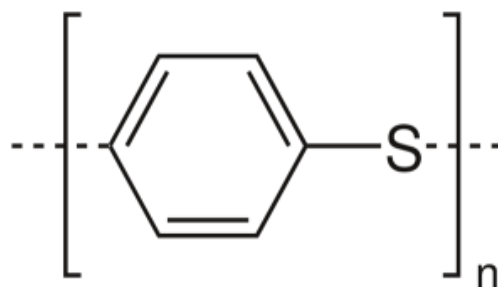


Obr. 11 Periodická tabulka termoplastů, rozdělení termoplastů do 3 skupin (komoditní, inženýrské, HIGH-TECH)

Pro jednotlivé komponenty v automobilovém průmyslu je nutné zvolit vhodný typ materiálu, který svými vlastnostmi bude splňovat všechna kritéria pro danou součást. Vzhledem k materiálu použitému v diplomové práci se dále budeme zabývat polyfenylensulfidem. Ten je vhodný pro elektrické součásti, části potrubí a jiné prvky pod kapotou motoru.

2.4 Polyfenylensulfid

Polyfenylensulfid (dále jen PPS) je semikrystalický, vysoce odolný technický plast s mimořádně vysokou mechanickou odolností při vysokých teplotách a vysokou chemickou odolností, která často činí z PPS materiálů vhodnou náhradu za kovy nebo termosety. [9]



Obr. 12 Chemický vzorek PPS [9]

2.4.1 Vlastnosti PPS

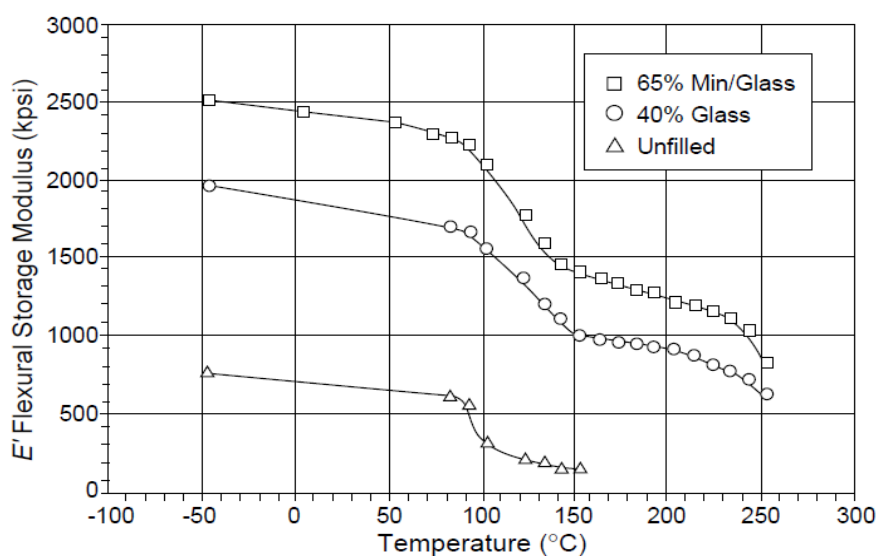
PPS materiál vykazuje velmi vysokou odolnost proti křípu při vysokých teplotách i dlouhodobém zatížení a proto je PPS materiálem používaným v celé řadě náročných aplikací. Jeho hlavní výhody jsou: [9]

- Možnost použití až do teploty 240°C,
- Přirozená samozhášivost,
- Velmi nízká nasákavost vodou,
- Vysoká chemická odolnost (materiál je nerozpustný ve všech známých rozpouštědlech při teplotách pod 200 °C),
- Velmi vysoká křípová odolnost i při extrémně vysokých teplotách.

2.4.2 PPS v průmyslu

PPS je obvykle dodáván naplněný s obsahem skleněných vláken (30 až 40 %). Materiál pro technologii vstřikování má název Fortron a patří k nejdražším plastům na trhu. Nejčastěji PPS využíváme v oblastech, jako jsou: [9], [10]

- Elektrické a elektronické komponenty (zásuvky, cívky, relé, vícebodové komponenty)
- Automobilové díly (čerpadla, ventily, těsnění, díly systémů pro vedení vzduchu, komponenty palivových systémů, chirurgické nástroje)



Obr. 13 Graf závislosti modulu pružnosti na teplotě pro materiál PPS s různým množstvím skleněných vláken

3 OVERMOULDING

Overmoulding je proces vstřikování, který drasticky změnil estetiku, design a funkčnost mnoha produktů v posledních několika letech. Jedná se o proces přidávání další vrstvy materiálu přes již existující výrobek. Technologie spočívá v založení základní součásti ve vstřikovacím nástroji, kde poté je základní součást obstríknuta horkým roztaveným plastem, jenž vyplňuje oblast kolem tvarových vložek. Tato technologie se většinou uskutečňuje na běžných vstřikovacích strojích. [11]

Při overmouldingu musí být vstupní součást vždy stejně zaaretována ve formě, a k tomu využíváme nejčastěji vertikálních vstřikovacích strojů, kde působením gravitační síly dosáhneme snadného uložení vstupního výrobku ve formě. Poté samotnou aretaci provádíme nejčastěji pomocí jader. Velmi často se využívají formy s několika spodními částmi a jednou horní částí. Více spodních částí nám umožňuje do jedné části zakládat a zároveň druhá spodní část s horní částí tvoří celek pro samotné zastříknutí vstupního dílu. Formy mohou být vícenásobné a toto dovoluje vkládat více vstupních dílů během zastříkávání a tím zkrátit celkový čas cyklu. Typickým příkladem technologie overmouldingu, je vytvoření rukojeti na dřívku šroubováku.



Obr. 14 Výrobky vyrobené technologií overmoulding

3.1 Výhody technologie Overmoulding

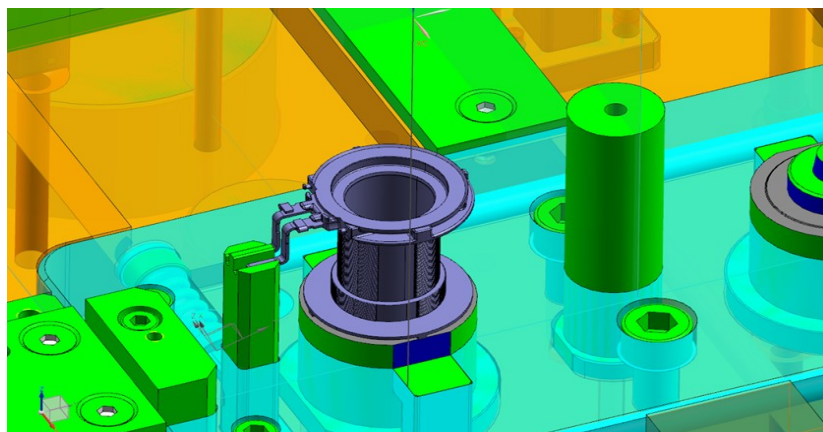
Technologie overmoulding má mnoho výhod jako jsou:

- snižuje náklady (eliminuje sekundární montážní operace),
- díly mohou dosáhnout vysokého stupně hydroizolace a odolnosti proti nárazu,
- díly jsou tuhé, lehké a chemicky odolné,
- různé povrchové úpravy,
- různou ergonomií,
- dvoubarevnou estetiku,
- tlumení vibrací a ochrana proti vniknutí.

Overmoulding je z důvodu těchto výhod široce používán v mnoha průmyslových odvětvích včetně vojenského, automobilového, námořního, energetického, průmyslového řízení, senzorů a audio komponentů a je vhodný pro výrobky jako: kabelové sestavy, elektronické součástky, konektory, kolíky a spojovací prvky. [11]

3.2 Vstupní díl pro technologii overmoulding

Používané materiály pro vstupní díl jsou kovy, plasty, ale v některých případech využíváme materiály, jako jsou keramika či dřevo. Při navrhování musí být zvolen materiál, který bude mít dobrou adhezi se vstříkovaným materiálem. Vstupní díl musí být navržen tak, aby odolal vysokým teplotám a tlakům během procesu zastříknutí a nedošlo k jeho deformaci. V některých případech je možné využít koncepce formy například pomocí jader tak, aby nám zvýšila tuhost vstupního dílu během zastříkávání.



Obr. 15 Vložený vstupní díl ve formě před zastříknutím

4 HODNOCENÍ TOKOVÝCH VLASTNOSTÍ POLYMERU

V průmyslové oblasti zpracování polymeru od dodavatelů materiálu, přes jejich zpracovatele, výrobce forem a strojů je nutné znát tokové vlastnosti a reologické chování tavenin polymerů.

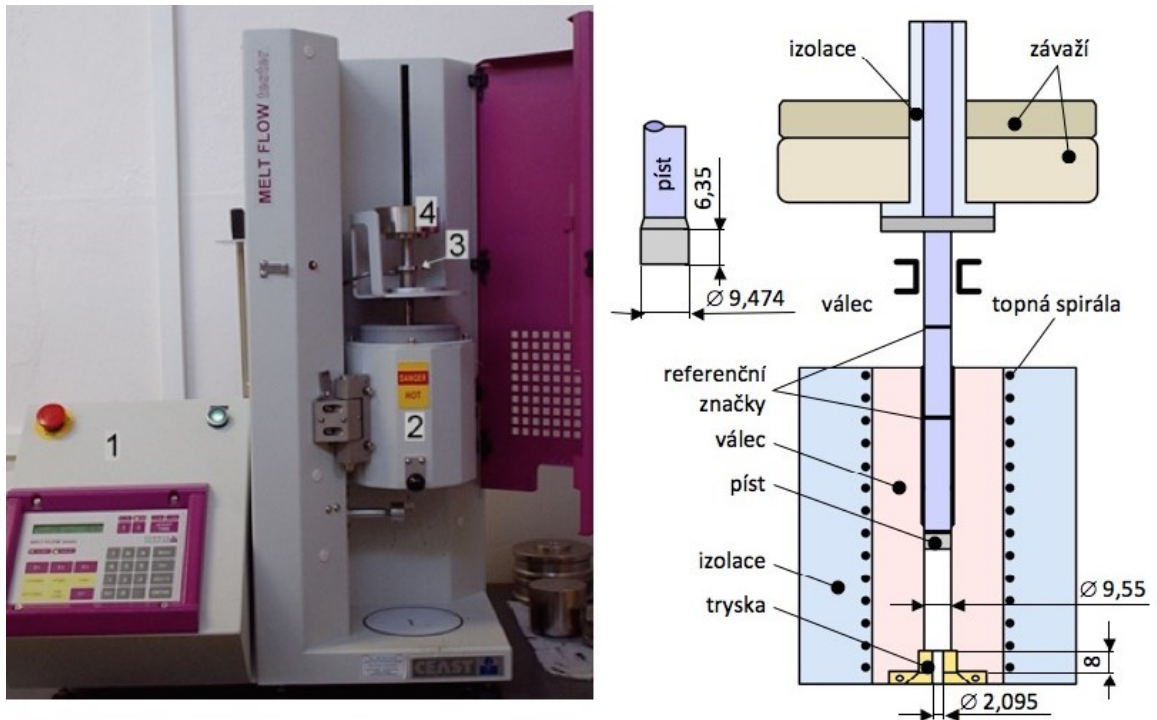
Dodavatelé materiálu musí znát tokové vlastnosti polymeru pro zajištění stejnoměrné kvality vstupního materiálu a zpracovatelé materiálu pro kontrolu technologických parametrů. Při navrhování vstřikovacích strojů je nutné znát konkrétní tokové vlastnosti zpracovávaného materiálu, aby byla zvolena správná konstrukce šneku, vstřikovací jednotky a trysky a také při výpočtu pohonů apod. Dále při samotné konstrukci plastového výrobku musí být známy tokové vlastnosti, z důvodu optimálního návržení výrobku. [12], [13]

4.1 Index toku taveniny (MFI)

Jedná se o normalizovanou (ČSN EN 923;2016) technologickou zkoušku k ověření vstupního materiálu. Výsledky jsou především ovlivněny molekulovou strukturou, zejména molekulovou hmotností. Touto zkouškou lze velmi rychle odhalit kolísání v molární hmotnosti plastu a tím tak zamezit zhoršení kvality ve výrobním procesu. MFI je definován jako množství polymeru v gramech nebo v cm^3 , jenž proteče kapilárou definovaných rozměrů za předem daných podmínek (teplota a zatížení) za deset minut. Rozsah MFI je obvykle mezi hodnotami 1 – 25. Vysoká hodnota MFI znamená nízkou viskozitu a nízkou molekulovou hmotnost. [12], [13]

Index toku taveniny se používá především pro:

- Hodnocení kvality materiálu (šarží). S každou novou šarží je také dodáván deklarovaný inspekční certifikát k danému polymeru, ve kterém je vždy napsána hodnota MFI. Pokud naměřená hodnota MFI neodpovídá hodnotám na inspekčním certifikátu, tak je zřejmé, že se liší také jeho tekutost a polymer nebude vyhovovat mechanickým vlastnostem.
- Hodnocení neplněných a plněných termoplastů
- Hodnocení kvality výrobního procesu. U granulátu lze stanovit MFI a vzájemným porovnáním zjistit degradaci taveniny způsobenou nevhodnými technologickými podmínkami během procesu vstřikování. Například delší dobou zdržení materiálu ve vstřikovací jednotce nebo vysokou teplotou taveniny apod.) [12], [13]



Obr. 16 Výtlačný plastometr (fa. Ceast); Schéma výtlačného plastometru [13]

4.2 Spirálová zkouška zabíhavosti tavenin polymeru – při vstřikování

Jedná se o technologickou zkoušku, kdy se roztavený materiál vstříkne do formy při definovaných technologických podmínkách. Dutina formy má tvar ploché Archimédovy spirály. Šířka spirály je 10 mm a výška může být 2 nebo 4mm. Měřítkem zabíhavosti je délka spirály. Tato zkouška umožňuje vyhodnotit tokové chování polymeru za podmínek, které jsou téměř shodné s podmínkami při samotném vstřikování. Při této zkoušce je také možnost zjistit vliv technologických parametrů na změnu zatékavosti daného polymeru.



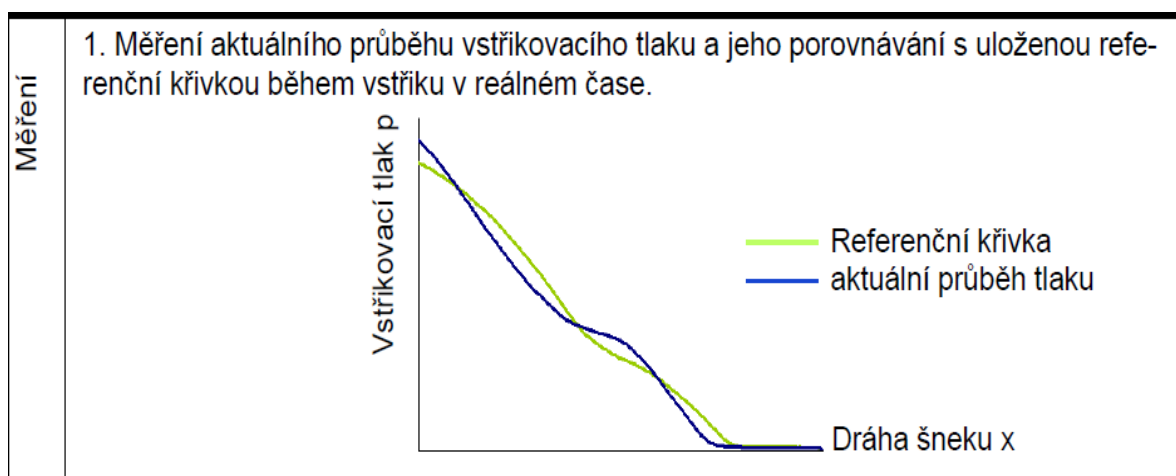
Obr. 17 Spirálová zkušební forma pro termoplastické vstřikování

4.3 Hodnocení tokových vlastností na vstřikovacích strojích

S rostoucími požadavky na kvalitu vyráběných dílů se také vytváří nové aplikace, které slouží k tomu, abychom daných požadavků byli vůbec schopni dosáhnout. Jedna z těchto aplikací je aplikace iQ weigh control od firmy ENGEL. Tato aplikace je součástí softwaru vstřikovacího stroje.

4.3.1 iQ weigh control

Aplikace umožňuje kontrolovat, popřípadě regulovat množství vstřikovaného materiálu a také měřit a kontrolovat změnu viskozity materiálu. Sleduje průběh tlaku v závislosti na pozici šneku během vstřikování, kdy je regulovaná rychlost. Porovnání křivky průběhu tlaku a jejím porovnáním s uloženou referenční křivkou se vypočítají parametry, které vypovídají o průběhu vstřikovacího procesu. Na základě těchto parametrů se kontrolují změny v procesu, které jsou způsobeny např. vnějšími vlivy nebo změnami vlastností materiálu. Tyto změny se pomocí integrované regulace procesu eliminují. Regulace ovlivňuje profil rychlosti ve fázi vstřiku a bod přepnutí na dotlak. Dotlak samotný nijak neovlivňuje.[5]



Obr. 18 Graf závislosti vstřikovaného tlaku v závislosti na dráze šneku [5]

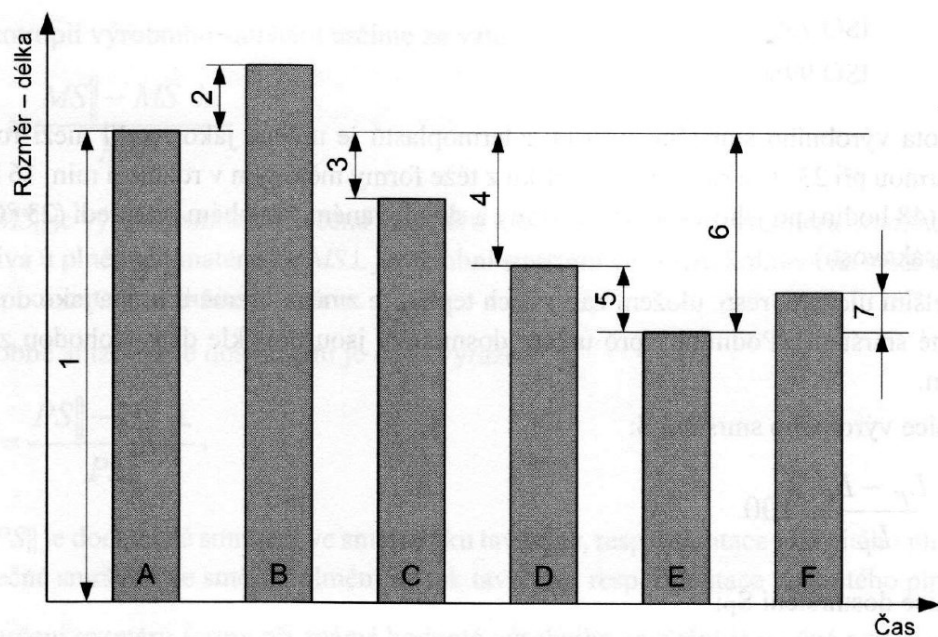
5 SMRŠTĚNÍ A FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SMRŠTĚNÍ

Smrštění je děj, který je vždy spjat s technologií vstřikování amorfního nebo částečně krystalického termoplastu. Smrštění způsobuje, že rozměry výstřiku, po jeho vyhození z nástroje, se liší s přibývajícím časem od jeho výroby. Rozměrové rozdíly jsou právě často spojovány se smrštěním nebo deformacemi. Velmi důležité je odlišovat, zda jsou rozdíly zapříčiněny deformacemi nebo důsledkem smrštění.

Smrštění - objemová změna při tuhnutí polymerní taveniny

Deformace – změna tvaru při zachování konstantního objemu výstřiku

Na změnu objemu, rozměrů má také vliv i navlhavost a nasákavost termoplastů, což oba jsou procesy vratné. [4]



1 – rozměr formy, 2 – tepelná expanze ve formě, 3 – smrštění po vyhození z formy S_C , 4 – výrobní smrštění S_D , 5 – dosmrštění S_E , 6 – celkové smrštění S_F , 7 – rozměr po kondicionaci, A – studená forma – teplota okolí, B – forma na pracovní teplotě, C – výstřik po vyhození z formy, D – výstřik po 24hodinách od vyhození z formy uložený za normálních podmínek, E – výstřik po delším skladování nebo tepelné kondicionaci, F – díl po kondicionaci ve vodě

Obr. 19 Změna rozměru výstřiku v závislosti v důsledku smrštění [4]

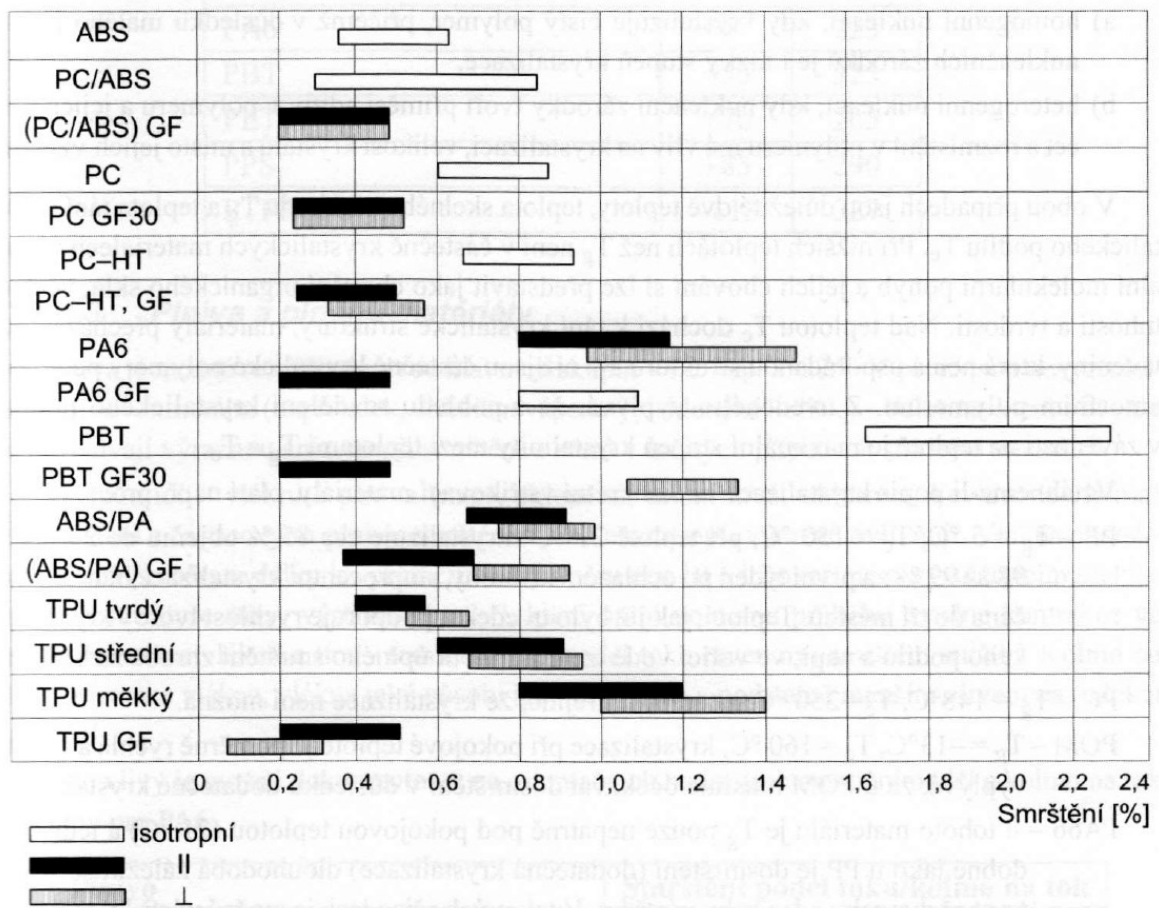
Faktory ovlivňující smrštění jsou všechny složky vstupující do procesu vstřikování – materiál, výrobní proces, konstrukce výstřiku a formy. Vazby mezi jednotlivými složkami, které ovlivňují smrštění, jsou velmi komplexní a ovlivňují se navzájem. Z důvodu působení jednotlivých faktorů navzájem a jejich vliv při celkovém působení na smrštění je velmi obtížné vysledovat. Proto se hodnotí jednotlivý vliv faktorů samostatně. [4]

5.1 Materiál

5.1.1 Amorfni a částečně krystalické plasty

Smrštění u amorfniých polymerů je obvykle nižší než 1 %. Nejčastěji se smrštění pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,8 %. Smrštění výrobku z amorfniho polymeru po vyhození z formy dosahuje cca 90 až 95 % celkové hodnoty smrštění. Zbylé dosmrštění je u amorfniých polymerů malé a trvá přibližně 3 až 6 hodin po vyhození z formy. U amorfniých polymerů je smrštění závislé také na směru toku taveniny. Obecně platí, že smrštění ve směru kolmo na tok taveniny je menší než ve směru podél toku taveniny. [4]

U materiálů, které jsou plněny vyztužujícími (vláknitými) plnivými, je patrná závislost anizotropie na obsahu plniva. U těchto materiálů je smrštění závislé na orientaci plniv, z toho důvodu mají tyto materiály vyšší tendenci k deformacím. [4]



Obr. 20 Rozsah smrštění pro vybrané typy amorfniých a částečně krystalických plastů [4]

5.1.2 Plniva a plněné materiály

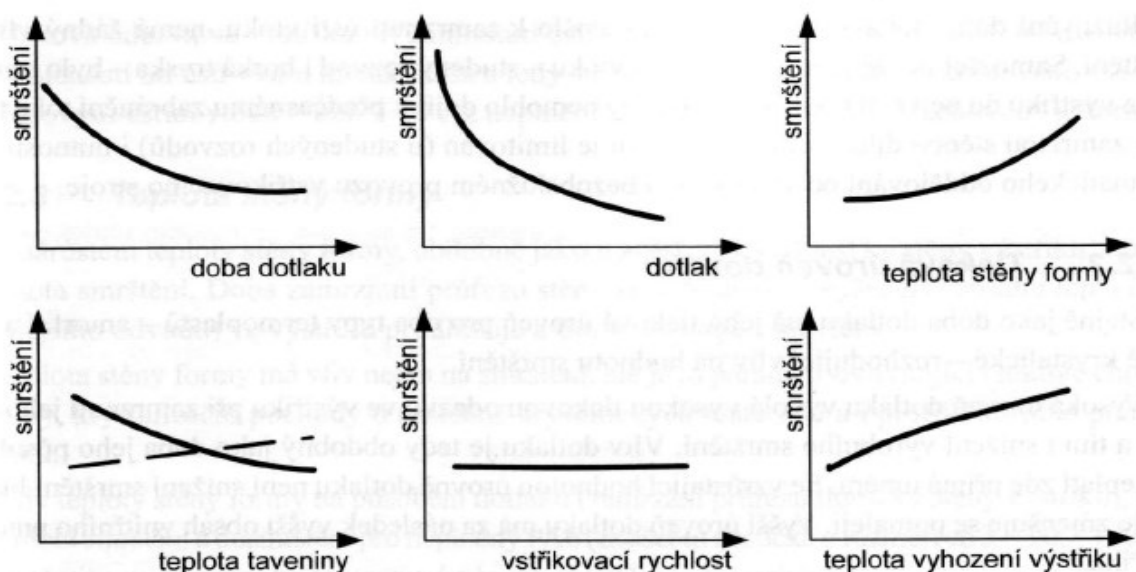
Plniva je možné rozdělit do dvou skupin. První skupina jsou nevyztužující plniva, která obvykle nemají velký vliv na anizotropii smršťení a v určitých případech smršťení dokonce zmenšují. Druhou skupinou jsou plniva vyztužující. Jedná se o vláknitá plniva, jako jsou např. skleněná, uhlíková, kevlarová, aramidová vlákna. Tyto plniva velmi ovlivňují anizotropii smršťení. Vlákna, která mají poměr délky vůči průměru větší než 10:1, vytváří ve stavbě stěny výstřiku překážku, která brání tepelné koncentraci. Ve směru podél toku taveniny se smršťení snižuje. Ve směru kolmém na orientaci vláken je podstatně menší vliv na redukci smršťení. [4]

Plnivo	Smršťení podél toku/kolmo na tok
bez plniva	1,0/1,2
minerální plnivo	1,2/1,2
30 % skleněných vláken	0,2/0,8
15 % balotina / 25 % skleněných vláken	0,3/0,9

Obr. 21 Tabulka orientačních hodnot smršťení podél a kolmo na tok taveniny pro PA6 [4]

5.2 Procesní parametry

Vzájemná závislost mezi smršťením a jednotlivými technologickými parametry je souhrnně zobrazena na obrázku 22. Z procesních parametrů se dále budeme zabývat závislosti smršťení na teplotě stěny formy. [4]



Obr. 22 Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smršťení [4]

5.2.1 Teplota stěny formy

S rostoucí teplotou formy vzrůstá hodnota smrštění. Je to zapříčiněno důsledkem zvýšeného obsahu tepla (pomalejšího odvodu) ve výstřiku, což má za následek prodloužení doby zamrznutí průřezu stěny.

Teplota stěny formy má také vliv na tokové chování taveniny, její krystalizační pochody a u semikrystalických materiálu na profil vnitřního pnutí. [4]

PA 6	Teplota formy	
	40 °C	120 °C
Výrobní smrštění rovnoběžně s tokem taveniny	0,8 %	1,4 %
Dosmrštění rovnoběžně s tokem taveniny	1,4 %	1,46 %
Výrobní smrštění kolmo na tok taveniny	0,9 %	1,6 %
Dosmrštění kolmo na tok taveniny	1,5 %	1,67 %

Obr. 23 Tabulka vlivu teploty stěny formy na výrobní smrštění a dosmrštění pro neplněný PA6 [4]

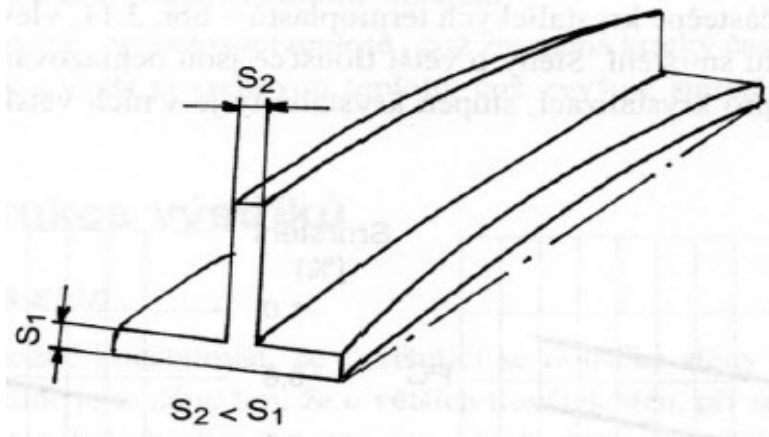
5.3 Konstrukce výstřiku

5.3.1 Tloušťka stěn

S větší tloušťkou stěny výstřiku se zvětšuje i její smrštění. Je to dáno tím, že větší tloušťka stěny má větší uzavřený tepelný obsah, než stěny s menší tloušťkou. Větší tepelný obsah uvnitř průřezu má za následek větší smrštění. [4]

5.3.2 Vliv žeber na výstřiku

Žebra u výstřiku můžou mít vliv na smrštění a jeho deformace. Při konstruování žeber je velmi důležitý poměr tloušťky stěny výstřiku a tloušťky stěny připojeného žebra. Rozdíl mezi tloušťkou stěny výstřiku a tloušťkou stěny měl by být co nejmenší z důvodu, aby nedocházelo k hromadění taveniny ve spoji, a také z důvodu rozdílného smrštění a následné deformace. [4]

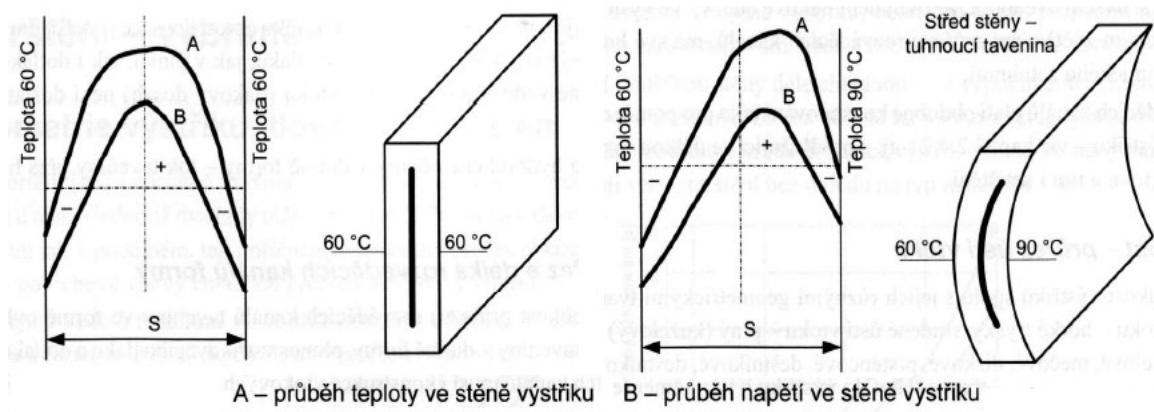


Obr. 24 Deformace výstřiku v důsledku rozdílů v tloušťce stěny žebra a základny, k níž je žebro připojeno [4]

5.4 Forma – teplota

Rozdíly teplot stěn formy v jednotlivých částech formy mají za následek rozdíly v gradientu chlazení stěn výstřiku, tedy i rozdílné smrštění.

Rozdílné teploty stěn formy na vnější a vnitřní straně výstřiku způsobí, že materiál ve styku s teplejší stěnou formy bude mít větší smrštění. Rozdíl teplot stěn jedné a druhé strany výstřiku má za následek posunutí teplotního profilu chladnoucí taveniny. Tím se vytvoří rozdílný potenciál pro smrštění a výsledkem je rozdílné vnitřní pnutí na vnější a vnitřní straně výstřiku. Z toho důvodu se nám vytvoří deformace na stěně výstřiku, jenž je výsledkem asymetrického rozdělení vnitřního pnutí po jeho vyhození z formy. [4]



Obr. 25 Deformace stěny výstřiku jako výsledek rozdílů teploty na stěnách formy [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Provedení analýzy vstřikovacího procesu v softwaru Moldflow.
3. Příprava vzorků a statistické vyhodnocení.
4. Měření rozměrových vlastností zastříknuté cívky.

V teoretické části této diplomové práce jsou shromážděny poznatky o vstřikování plastů, o plastech a jejich rozdělení, o technologii overmoulding a také poznatky o tokových vlastnostech polymerů a jejich měření. Závěr teoretické části je věnován poznatkům o smršťování.

Praktická část této diplomové práce je zaměřena na zjištění vlivu teploty vkládaného dílu pro technologii overmoulding na výsledné rozměrové vlastnosti zastříknutého výrobku. První část praktické diplomové práce je zaměřena na vytvoření analýzy v programu Moldflow. V druhé části se zabýváme jednotlivými skupinami vzorků a možným vlivem na procesní parametry vstřikování. V další části jsou porovnávány jednotlivé skupiny pomocí měření zvolených rozměrů a CT snímků a jejich vyhodnocení. Diskuze výsledků a závěr je zaměřen na shrnutí celé praktické části a její vyhodnocení.

7 SPOLEČNOST WOCO STV S.R.O.

Němečtí majitelé společnosti WOCO po revoluci hledali nové možnosti na trhu v České Republice. V roce 1991 proto zahájili jednání s firmou MEZ Vsetín. Spolupráce byla úspěšně vyjednána a proto se majitelé firmy WOCO rozhodli v roce 1993 založit vlastní českou pobočku s názvem WOCO spol. s.r.o. (dnes již WOCO STV s.r.o.). WOCO STV patří k největším zaměstnavatelům v okrese Vsetín. Firma má více než 1200 zaměstnanců. Kromě samotné produkce se WOCO STV podílí i na vývoji nových dílů pro automobilový průmysl a také na vývoji nových jednoúčelových strojů.

WOCO STV má sídlo i výrobní závod ve Vsetíně, kde působí ve dvou divizích:

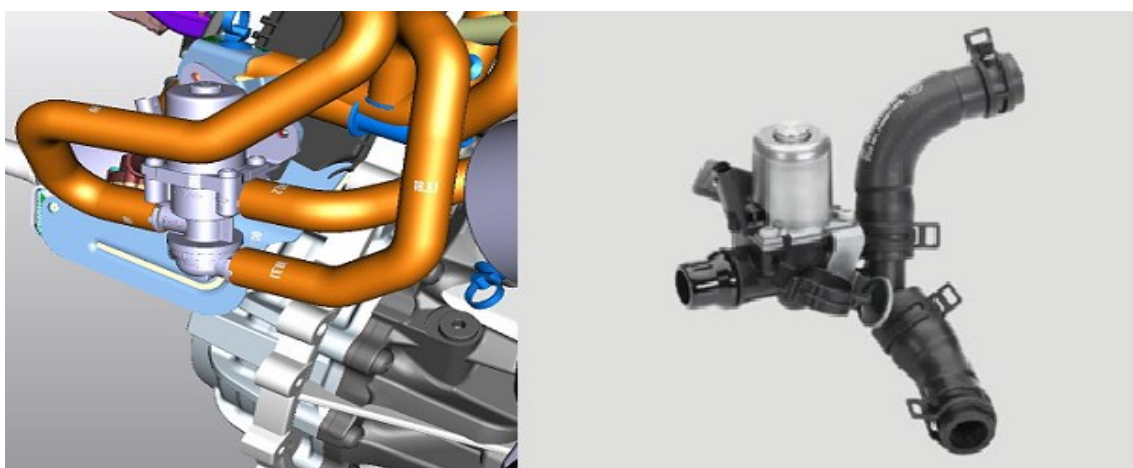
- Výroba a montáž aktuatorů (např. ovládací jednotky pro vzduchové pérování automobilů, vodní ventily a součásti pro klimatizace automobilů, elektrické, pneumatické a mechanické řídicí moduly, dózy pro turbomychadla, řadící systémy, pneumatické vedení apod.)
- Výroba gumových dílů pro automobilový průmysl (výroba těsnění, membrán, průchodek apod.)



Obr. 26 Fotografie administrativní budovy společnosti WOCO STV s.r.o.

7.1 Popis produktu

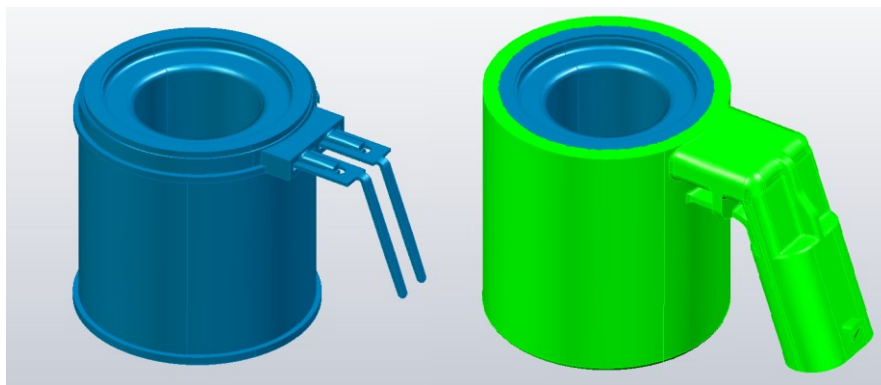
Obstříknutá cívka je jednou ze součástí elektromagnetického vodního ventilu. Tento ventil se používá v chladicím okruhu u automobilů. Jeho hlavní činností je odpojování nebo připojování sekundárních okruhů nebo tepelných výměníků a zdrojů. Ventily se používají u automobilů pro přepínání klimatizací, dále také v systémech pro chlazení převodových a motorových olejů. Ventily se také využívají u nových aplikací, jako například u hybridních automobilů k přepínání chlazení baterií.



Obr. 27 Nalevo ventil nainstalován v prostoru motoru; napravo ventil s hadicemi

7.1.1 Popis obstříknuté cívky

Jednou ze součástí ventilu je cívka, která je nezbytná pro funkci celého ventilu. Pro snadnou montáž a zapojení k elektrickým obvodům automobilu, je nutné dát cívce patřičný tvar pomocí plastového obalu, který bude chránit cívku proti venkovním vlivům, jako jsou mechanické nárazy, chemické látky a jiné. K tomu využíváme proces overmoulding, pomocí kterého vytvoříme plastový obal okolo cívky.



Obr. 28 Nalevo cívka před obstříknutím; napravo obstříknutá cívka

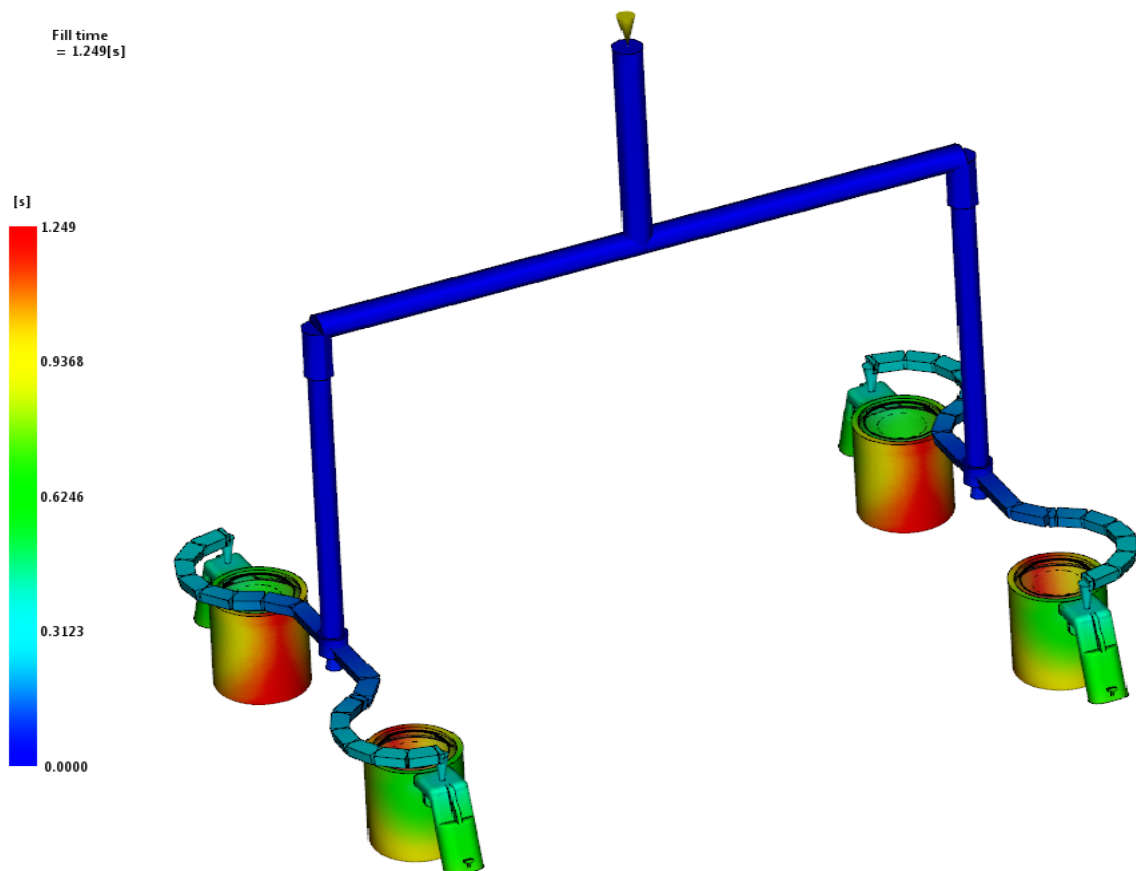
8 ANALÝZA – MOLDFLOW

V této části diplomové práce budeme interpretovat výsledky analýzy, která byla vytvořena v programu Moldflow. Analýza obsahuje výsledky času plnění a času, který je potřebný k bezpečnému vyhození výrobku z formy. Tato analýza byla vytvořena pro celou formu, která obsahuje čtyři kavity, studený a horký vtokový systém. Při této analýze byly nastaveny teploty na vstupním materiálu na hodnotu 25°C.

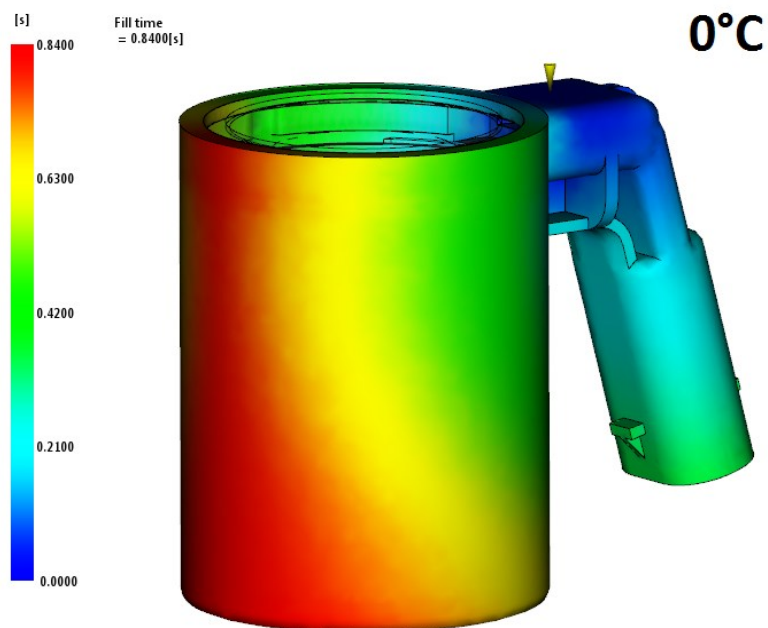
Dále byly vytvořeny analýzy pro jednotlivé díly o různých vstupních teplotách (0°C, 25°C, 80°C, 150°C) vkládaného dílu. Na těchto analýzách budeme sledovat rozdíly v jednotlivých výsledcích a zjišťovat tak vliv vstupní teploty vkládaného dílu na proces overmouldingu.

8.1 Čas plnění

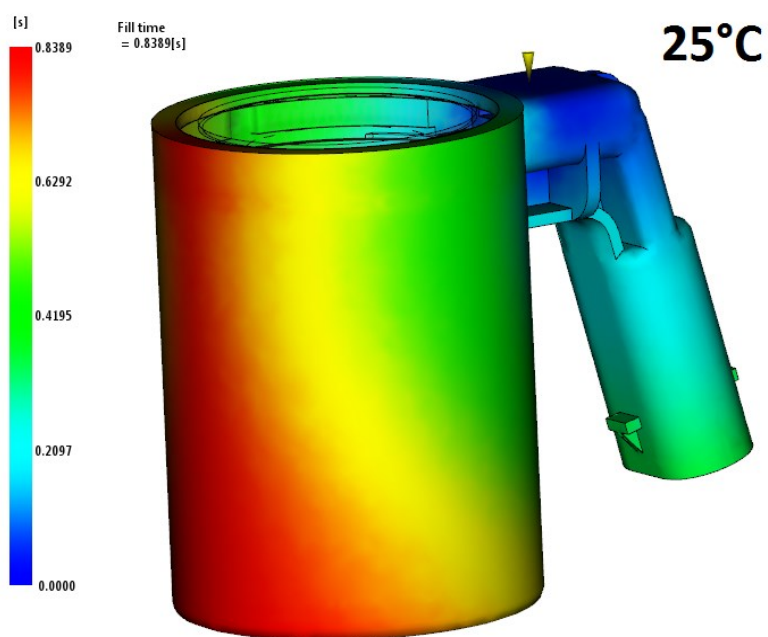
Čas zaplnění celé dutiny formy materiálem proběhne za 1,24 sekundy. Na obrázku 29 jsou vidět místa, která jsou zaplněna nejdříve a místa, která jsou zaplněna jako poslední.



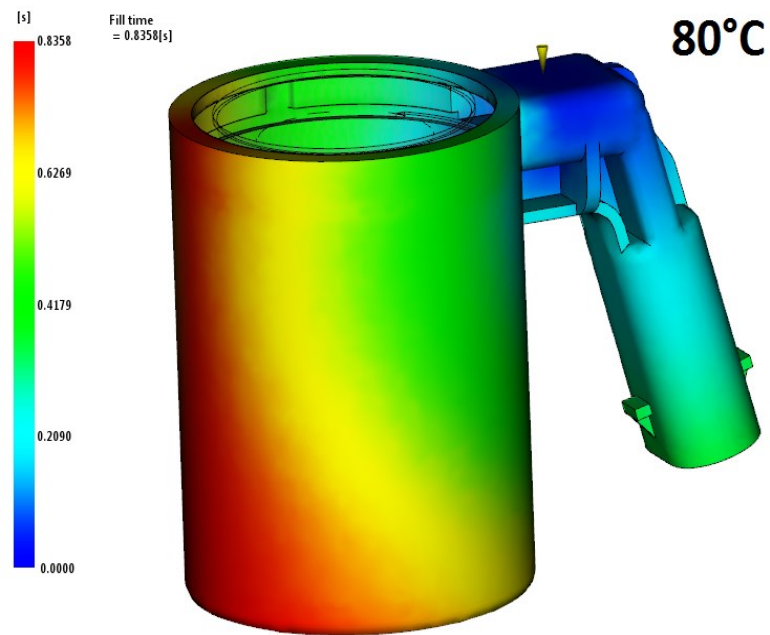
Obr. 29 Analýza času zaplnění formy pro celou formu s vstupními cívkami o teplotě 25°C



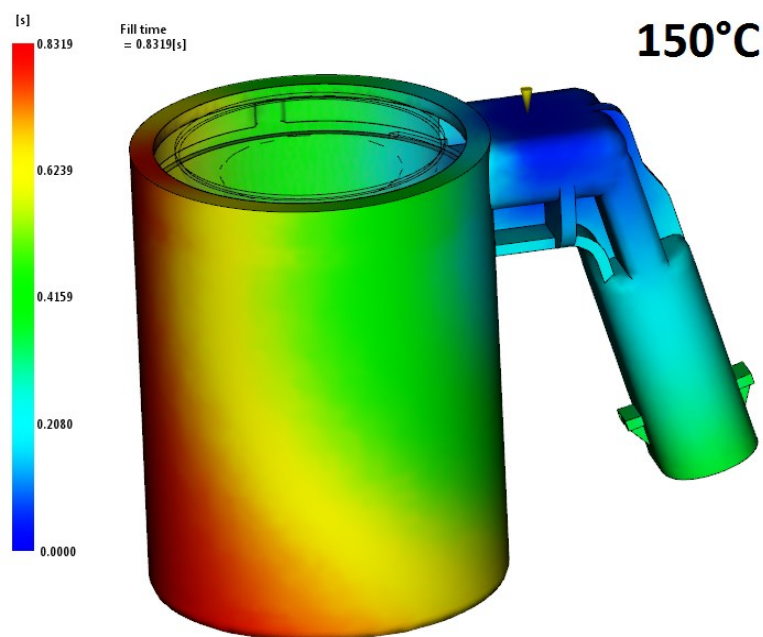
Obr. 30 Čas plnění kavity se vstupní dílem o teplotě 0°C



Obr. 31 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 25°C



Obr. 32 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 80°C

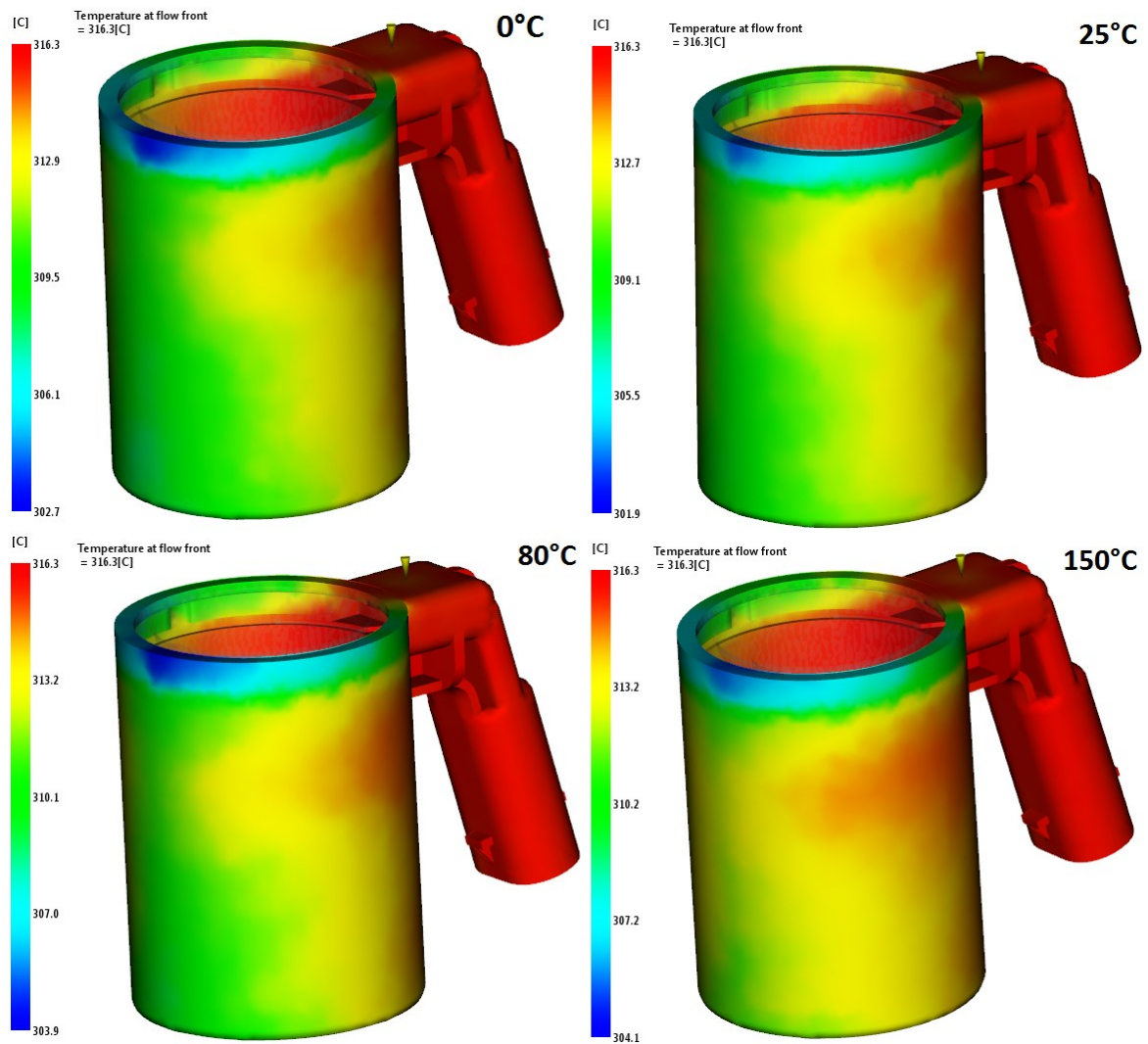


Obr. 33 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 150°C

Na obrázcích 30 – 33 můžeme sledovat čas, který je potřebný k naplnění kavity pro jednotlivé skupiny cívek. Nejdelší čas k zaplnění formy je pro vstupní díl o teplotě 0°C a naopak nejkratší je pro vstupní díl o teplotě 150°C. Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším časem je necelou 1 setinu sekundy. Tato analýza ukazuje, že různá teplota vkládaného dílu nemá vliv na výsledný čas zaplnění formy.

8.2 Teplota na čele taveniny

V této části se zabýváme teplotou taveniny v určitých místech v dutině formy. Teplota taveniny byla nastavena na 315°C. Dle materiálového listu je možné taveniny vstříkovat v rozmezí teplot 300 – 330°C.

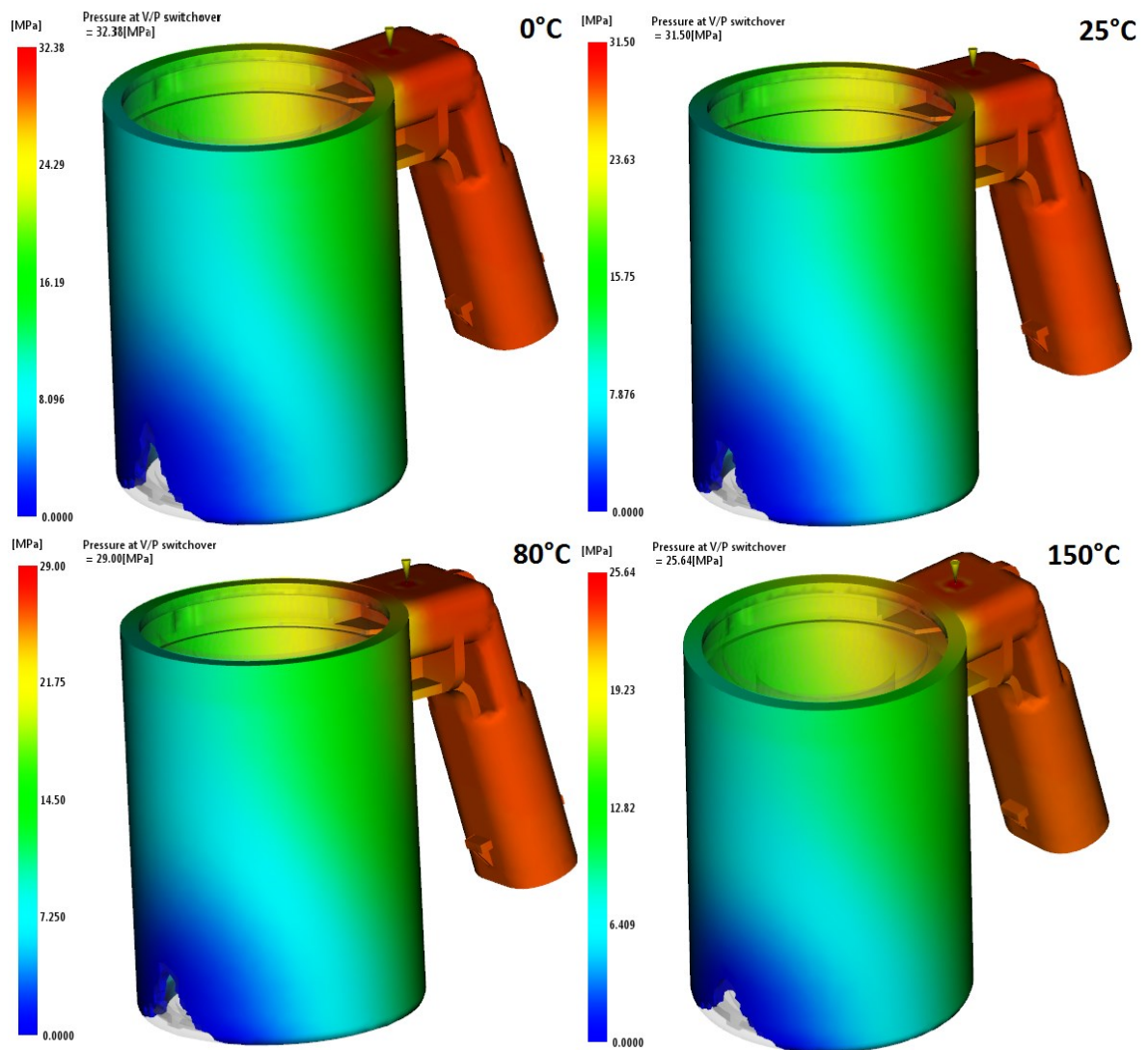


Obr. 34 Analýza teplota taveniny pro různé teploty obstríkových dílů

Na obrázku 34 můžeme vidět, že teplota taveniny ve všech čtyřech případech vzroste během plnění dutiny formy o 1,3 °C a tedy nehrozí degradace materiálu. Zvýšená teplota taveniny je v oblasti konektoru, kde dochází během plnění k zvýšení smykového namáhání. Z obrázku 34 je patrné, že s rostoucí teplotou vkládaného dílu se teplota taveniny na vnějším průměru cívky téměř nesnižuje a tudíž se blíží teplotě, která byla nastavená jako vstříkovací.

8.3 Vstřikovací tlak a bod přepnutí na dotlak

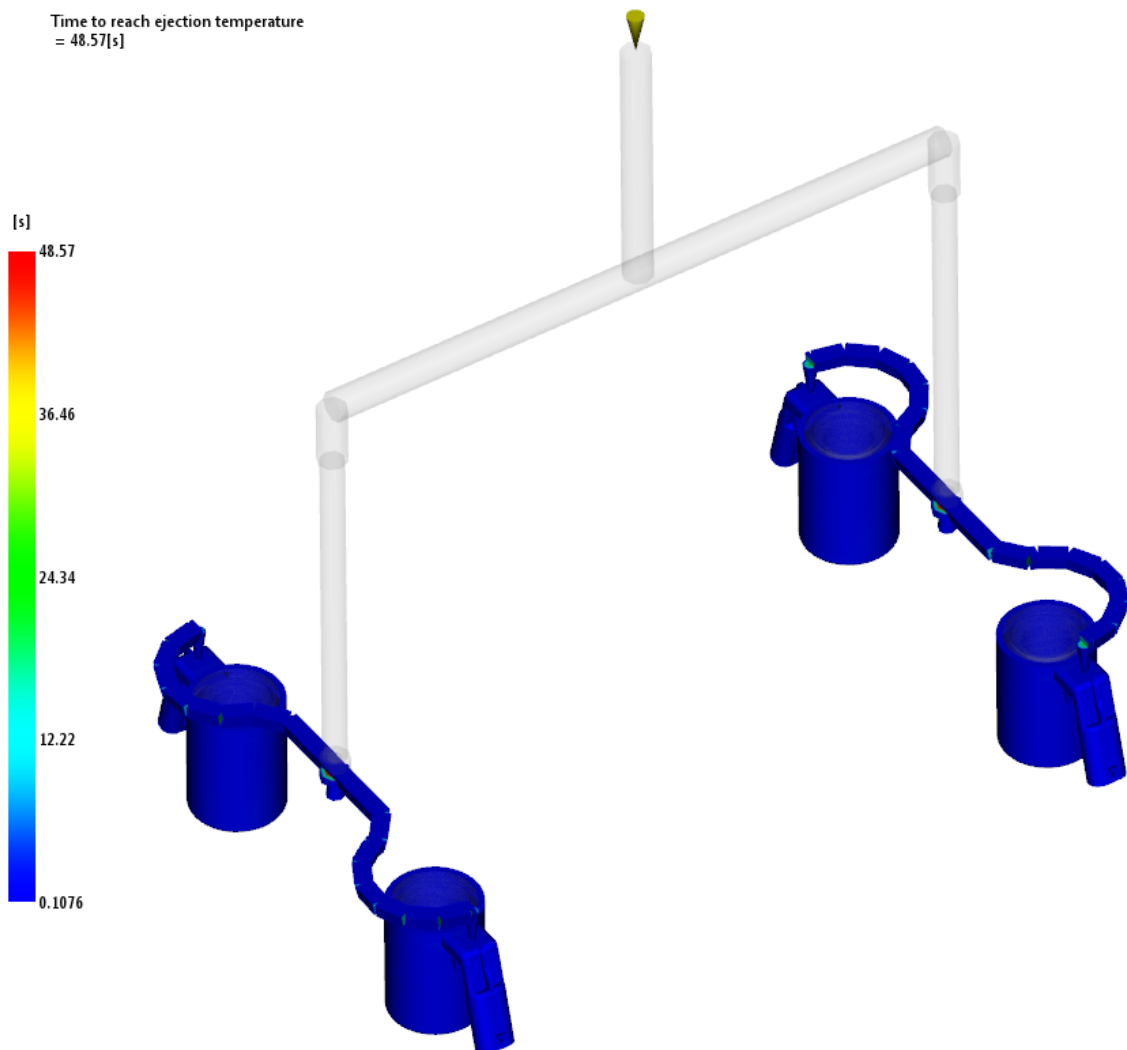
Na obrázku 35 lze pozorovat rozložení tlaku v dutině formy při přepnutí na dotlak pro cívky o různé vstupní teplotě, a můžeme také vidět, že v okamžiku přepnutí na dotlak není dutina formy zcela zaplněna. To je zapříčiněno nastavením stroje. Nejvyšší vstřikovací tlak je pro cívku o vstupní teplotě 0°C o hodnotě 32,3 MPa, kdy s rostoucí teplotou se vstřikovací tlak zmenšuje. Nejnižší vstřikovací tlak byl pak analyzován u cívky o vstupní teplotě 150°C, kdy velikost hodnoty vstřikovacího tlaku byla 25,64 MPa. Zvýšený odpor toku taveniny, který vzniká při chladnutí taveniny na stěně cívky, je důvodem rozdílného vstřikovacího tlaku u jednotlivých cívek. S větším rozdílem teplot mezi stěnou obštrikované cívky a taveniny vzrůstá odpor toku taveniny.



Obr. 35 Analýza vstřikovacího tlaku pro různé teploty obštrikovaných dílů

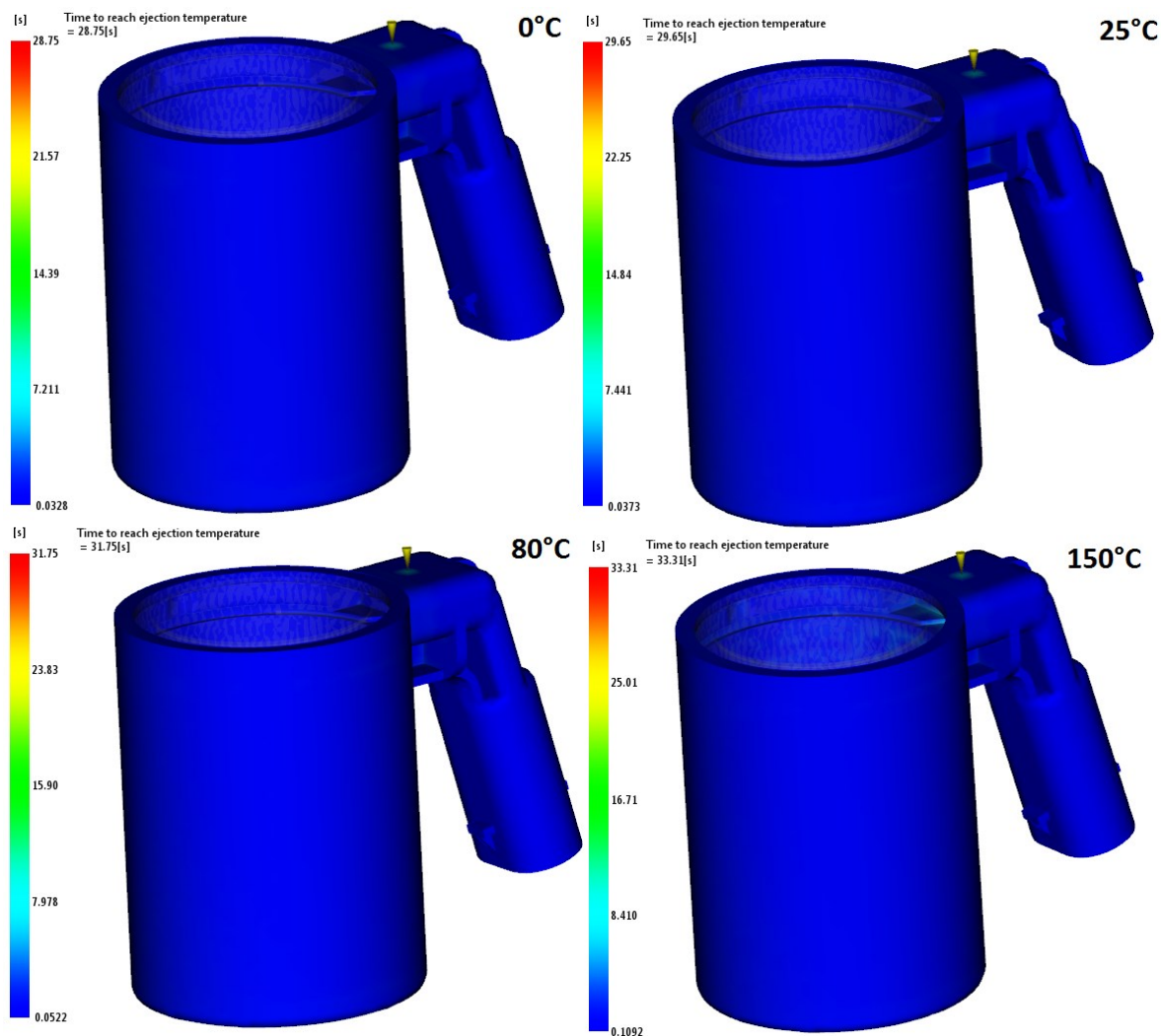
8.4 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Z této analýzy můžeme zjistit, jak dlouhý je potřebný čas na ochlazení výrobku na bezpečnou vyhazovací teplotu. Na obrázku 36 je vytvořena analýza pro celou formu. Čas, jenž byl vytvořen analýzou je tvořen součtem všech časů od počátku vstřikování (vstřikování, dotlak, chlazení).



Obr. 36 Analýza času potřebného k bezpečnému vyhození výrobku z formy pro vstupní cívkou o teplotě 25°C

Dále na obrázku 37 lze zaznamenat rozdíly mezi zastříknutými cívkami, které měly jinou vstupní teplotu. Nejkratší čas byl u cívkou o vstupní teplotě 0°C. Je to zapříčiněno největším rozdílem teplot mezi taveninou a teplotou stěny obstříkované cívkou. Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější mít vstupní materiál co nejchladnější, jelikož výrazně urychluje proces chlazení a tím zkracuje celkový čas cyklu.



Obr. 37 Analýza času potřebného k dosažení vyhazovací teploty pro různé teploty obstríkováných dílů

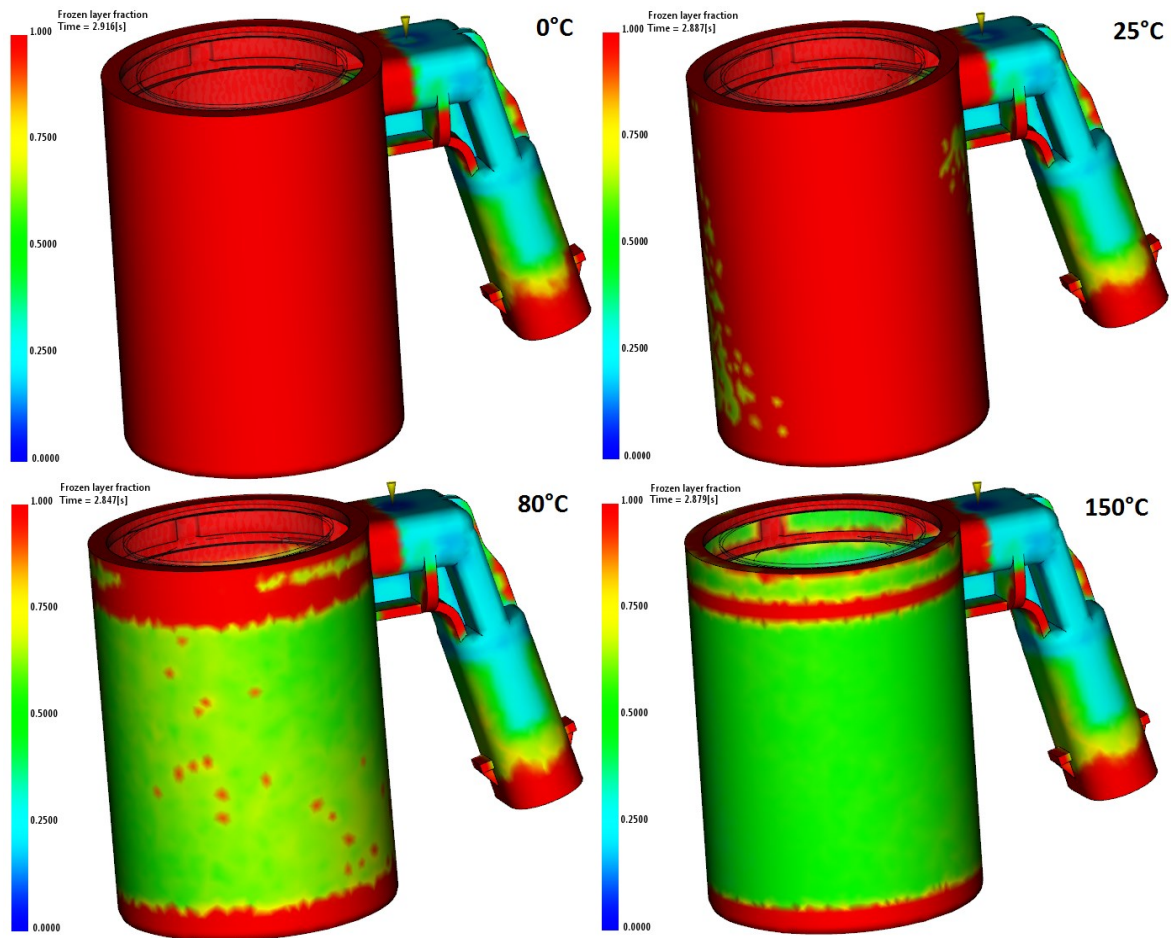
8.5 Zamrznutí podílu vrstvy v určitém čase

Jedná se o analýzu, která popisuje poměr zamrznuté vrstvy vůči tloušťce materiálu, který je v daný čas ještě tekoucí. Hodnoty výsledků se pohybují od 0 do 1. Vyšší hodnota představuje tlustší zmrzlou vrstvu a tedy vyšší odolnost proti průtoku.

Na obrázku 38 můžeme vidět, jak je zamrznutý materiál pro cívky s různou teplotou v čase 2,9 sekundy od začátku vstřikování, kdy v procesu vstřikování probíhá dotlak.

Cívka, která měla vstupní teplotu 0°C je v čase, kdy probíhá dotlak z větší části již zamrznutá. Dotlak tedy ovlivňuje pouze oblast vtokového ústí, kde je nejvíce materiálu a v místě konektoru. S rostoucí teplotou na vkládané cívce se začínají objevovat místa, která nejsou

zcela zamrzlá. Na cívce, která měla teplotu před vstřikováním 150°C je jen pár míst, která jsou zamrzlá a proto je tato cívka mnohem více ovlivněna dotlakem.

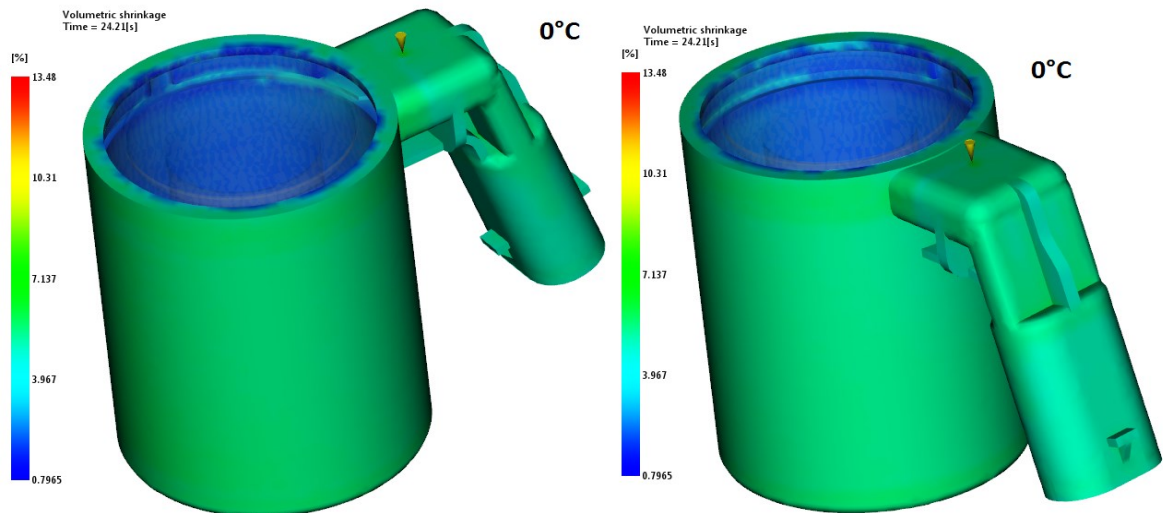


Obr. 38 Analýza zamrznutí podílu vrstvy pro různé teploty obstrikovaných dílů

8.6 Objemové smrštění

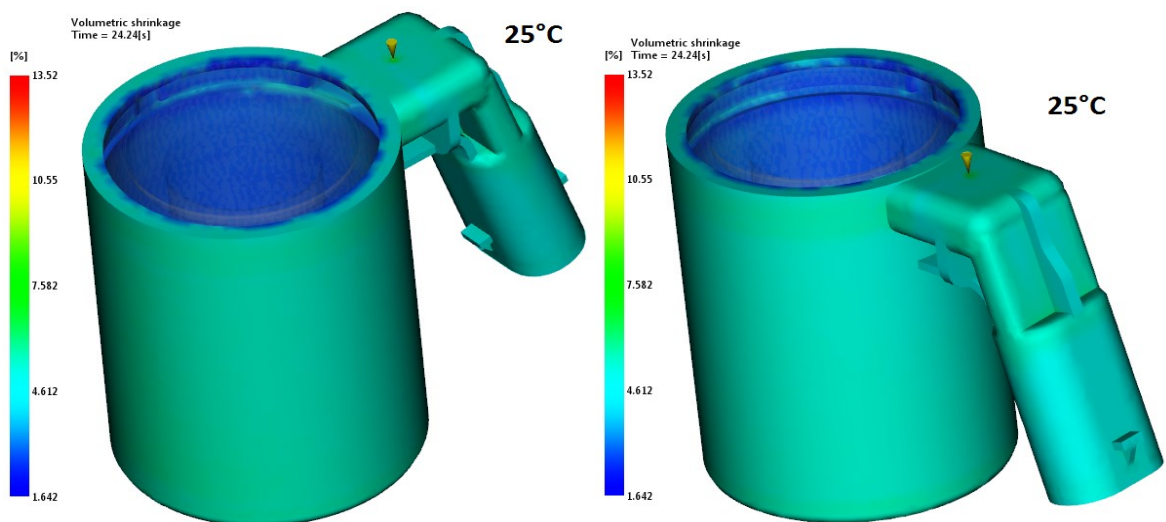
Jedná se o analýzu, která popisuje objemové smrštění, což je rozdíl objemu tvarové dutiny při 23°C vůči objemu vyrobeného dílu při teplotě 23°C. Hodnoty objemového smrštění by měly být jednotné v celé části výrobku, což nám zaručuje strukturální a vizuální celistvost výrobku.

Na obrázku 39 je vidět objemové smrštění pro cívku, která měla teplotu 0°C před zastříknutím. Jsou zde vidět velké rozdíly v objemovém smrštění, kdy na vnitřní straně, kde vstupní materiál tvořil vnitřní část formy, je smrštění v rozsahu 0,79 - 4 %. V místech, kde se taveniny chladila o stěny formy, se objemové smrštění pohybuje okolo hodnoty 6%.



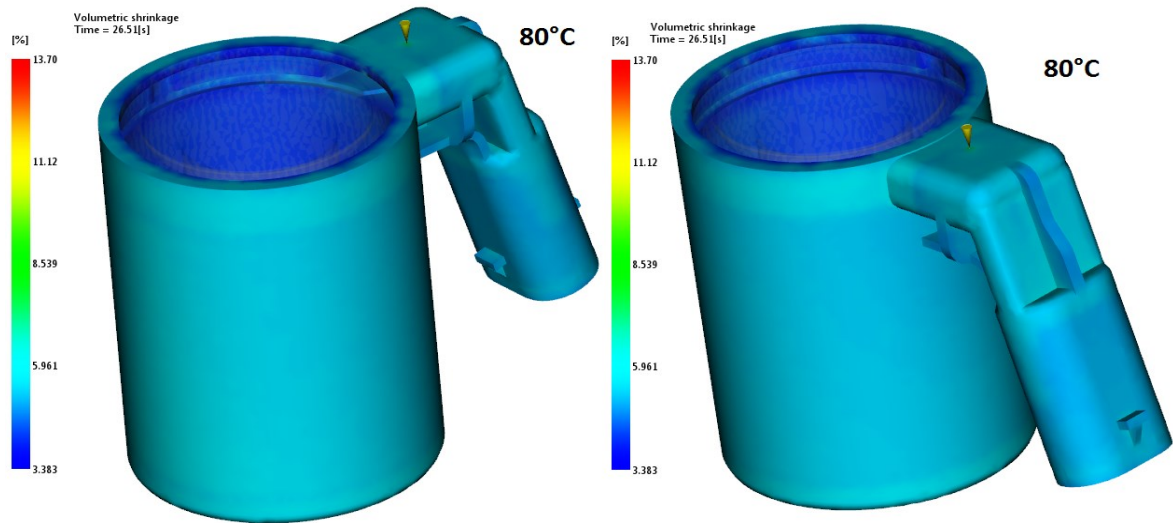
Obr. 39 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 0°C

Na dalším obrázku 40 je analýza objemového smrštění pro cívku, která měla teplotu před zastříknutím 25°C. Zde můžeme vidět, že s rostoucí teplotou se mění objemové smrštění na vnitřní straně výrobku, kdy nejmenší hodnoty smrštění můžeme najít na vnitřní straně výrobku s velikostí 1,64 % což je přibližně o 1% více než u cívky se vstupní teplotou 0°C.



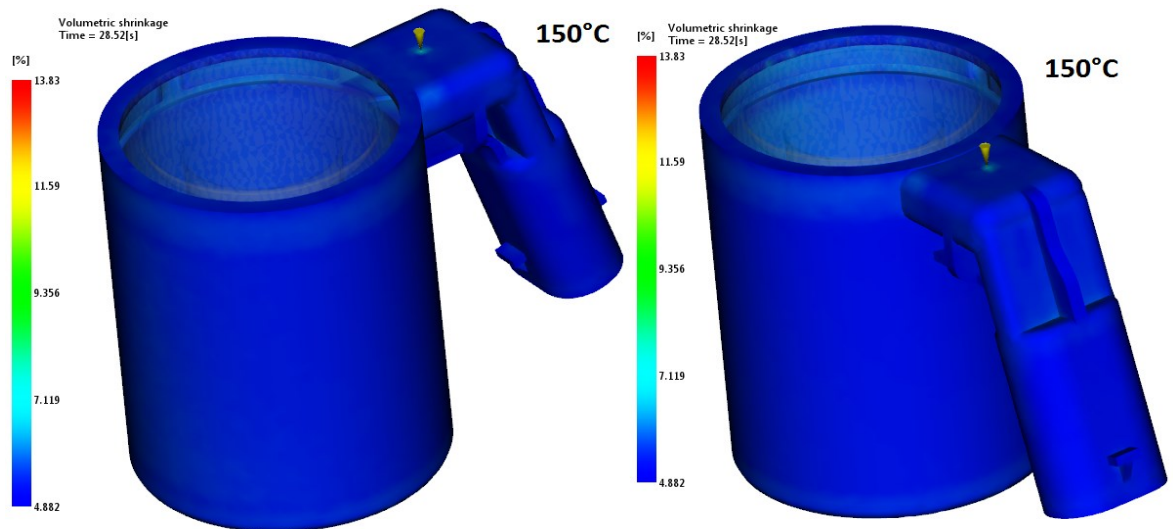
Obr. 40 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 25°C

Analýza objemového smrštění pro cívku o vstupní teplotě 80°C je zobrazena na obrázku 41. Můžeme sledovat, že objemové smrštění na vnějšku dílu se teplotou vkládaného dílu nemění. Mění se pouze smrštění na vnitřní straně. Hodnota nejmenšího objemového smrštění je 3,38 % což je téměř 2krát větší hodnota než u cívky se vstupní teplotou 25°C.



Obr. 41 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 80°C

Obrázek 42 zobrazuje hodnoty objemového smrštění pro cívku o vstupní teplotě 150°C. Z obrázku je patrné, že teplota vkládaného dílu ovlivňuje objemové smrštění na vnitřní straně výrobku. Lze vysledovat, že pokud se teplota vkládaného dílu rovná teplotě stěny formy, pak je smrštění na celém výrobku jednotné. Hodnota nejmenšího objemového smrštění je 4,88 % u daného dílu.



Obr. 42 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 150°C

9 PŘÍPRAVA VZORKŮ - CÍVEK

Pro praktické zkoumání byly vytvořeny čtyři skupiny vzorků, které vychází z předchozí analýzy Moldflow. Skupiny se mezi sebou liší pouze v teplotě cívek. Byly tedy vytvořeny skupiny po 40 ks. Jednotlivé skupiny byly pojmenovány podle vstupní teploty cívek. První skupinou jsou cívky, které mají teplotu 0°C. Tato skupina má simulovat materiál, které může být v chladnějším dnech uskladněn v netemperovaných skladech nebo materiál, který je přepravován mezi firmami a může zde dojít k ochlazení vstupního materiálu. Druhou skupinou jsou cívky s teplotou 25°C. Tyto cívky mají zastupovat skupinu materiálu, který je běžně zpracováván. Tedy materiál, který je temperován v hale a jeho teplota se téměř rovná teplotě ve výrobních halách. Třetí skupinou jsou cívky s teplotou 80°C. Tato skupina má být přechodovou skupinou mezi druhou a poslední skupinou. Poslední, tedy čtvrtou je skupina cívek o teplotě 150°C. Tato skupina má stejnou teplotu jako tvarové části vstřikovací formy. Cívky, které při procesu overmouldingu představují vnitřní část tvarové dutiny, by měly mít přibližně stejnou teplotu jakou tvarové části formy, které jsou temperovány pomocí temperačního média a vytváří vnější tvary obštríknuté cívky.

Pro vytemperování cívek na požadovanou teplotu jsme využili teplotní komory. Jednotlivé skupiny byly temperovány přímo u stroje, abychom se vyhnuli velké teplotní ztrátě během převozu mezi halami.



Obr. 43 Nalevo teplotní komora; napravo cívky uloženy v komoře

9.1 Vyhodnocení vstřikovacích parametrů

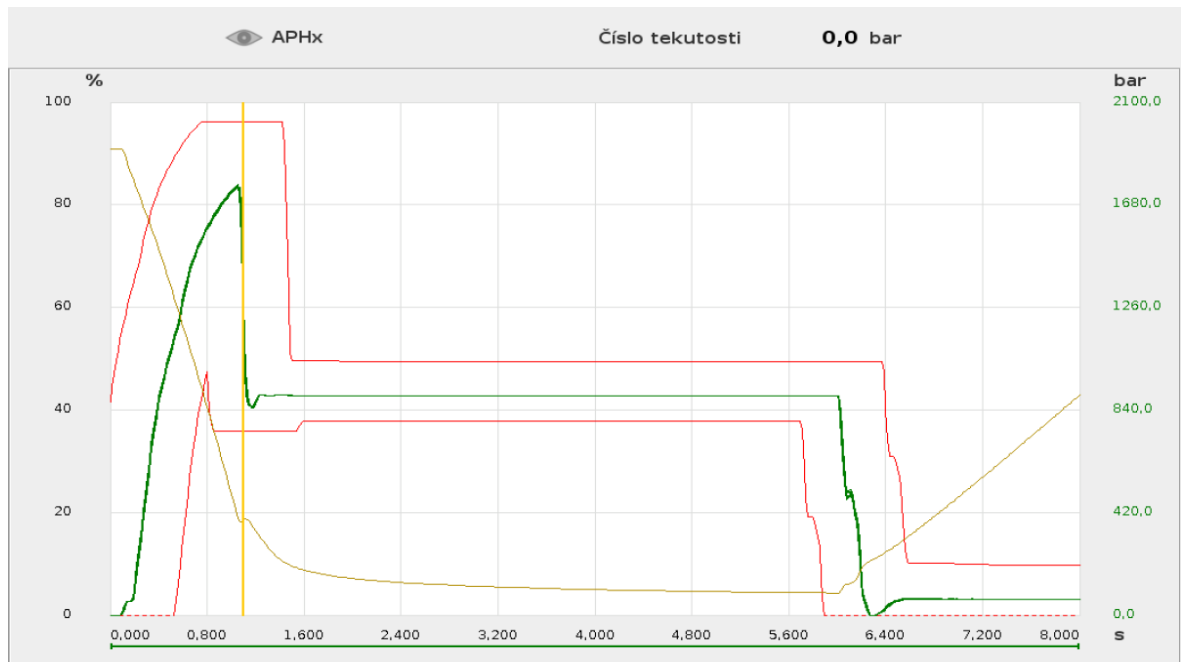
Vyhodnocení vstřikovacích parametrů probíhalo rovnou na vstřikovacím stroji během výroby vzorků. Bylo využito aplikace, která snímá vstřikovací tlak během celého procesu vstřikování. Této aplikaci jsme využili k porovnávání tlaků pro všechny 4 skupiny. Dále jsme využili výrobních protokolů, z kterých jsme získali data pro jednotlivé zdvihy všech skupin. Jak již bylo zmíněno, každá skupina obsahuje 40 kusů. Jelikož se jedná o čtyřtiskovou formu, tak bylo vždy porovnáváno 10 zdvihů. Prvním vyhodnoceným parametrem byl vstřikovací tlak během celého procesu vstřikování. U každé skupiny byl zaznamenáván průběh tlaku po dobu vstřikování a dotlaku. Soustavy křivek pro jednotlivé skupiny byly zaznamenány v micrografech.

9.1.1 Vyhodnocení vstřikovacího tlaku

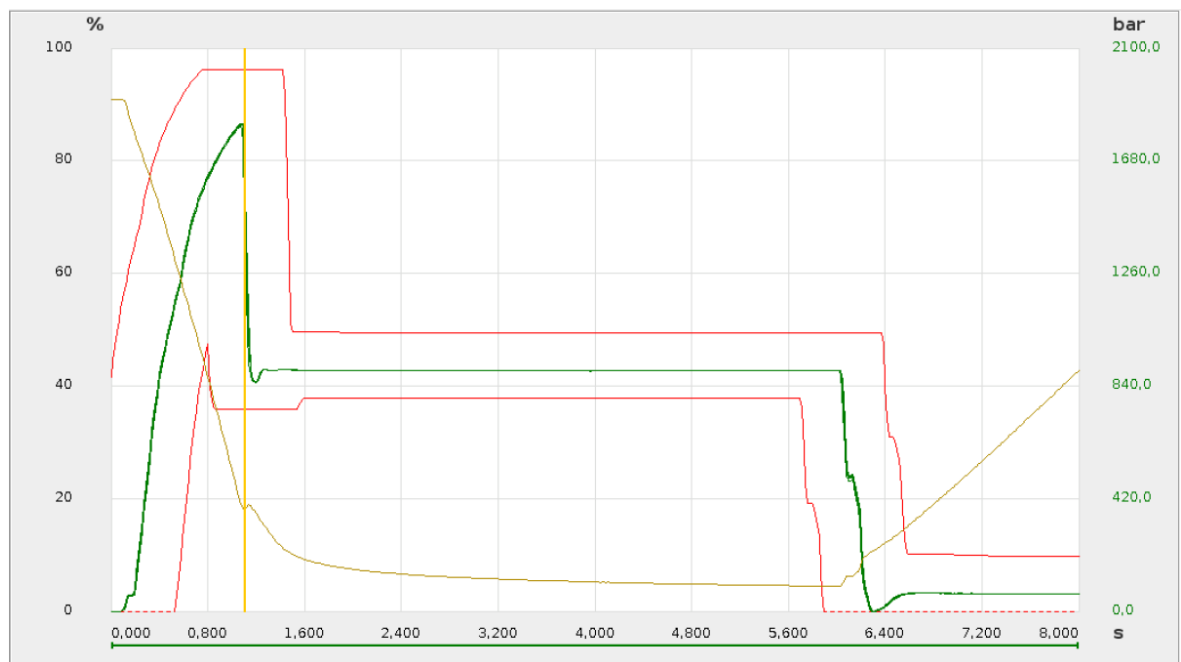
Na obr. 44,45,46,47 jsou grafy pro jednotlivé skupiny. Zelená křivka znázorňuje skutečný tlak během vstřikování a dotlaku. Červené křivky jsou nastavené toleranční limity pro vstřikovací tlak pro zajištění stability procesu. Žlutá křivka ukazuje čas přepnutí vstřikování na dotlak. Světlé hnědá křivka představuje množství materiálu ve šneku během průběhu vstřikování a dotlaku.



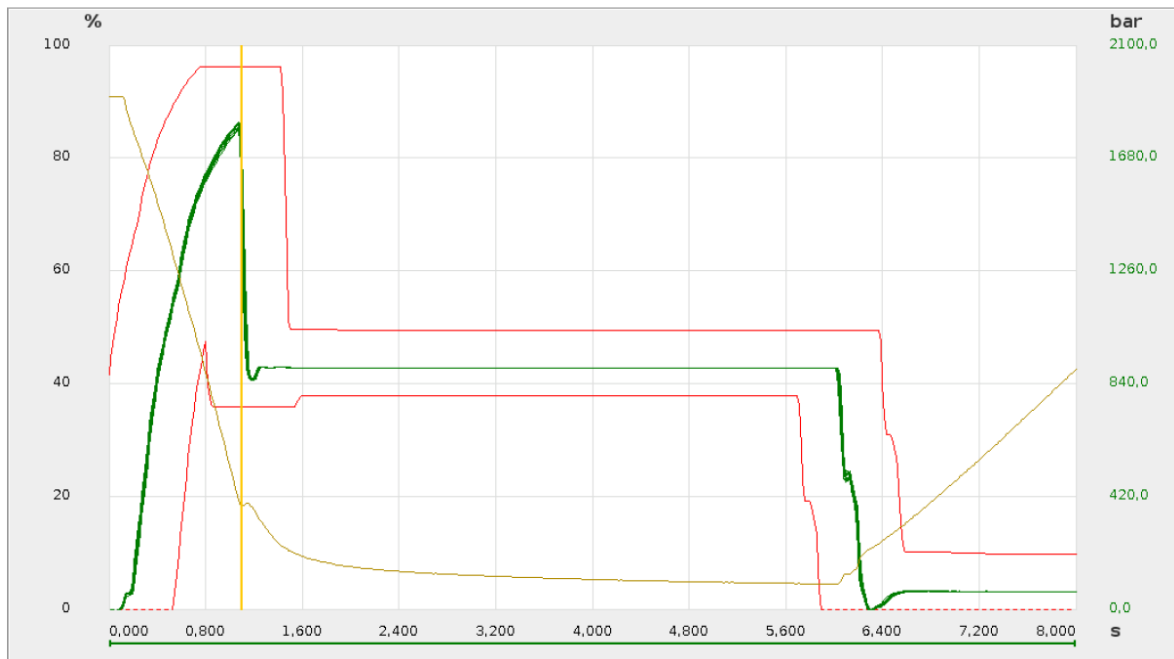
Obr. 44 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 0°C



Obr. 45 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 25°C



Obr. 46 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 80°C



Obr. 47 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 150°C

Již ze zmíněných micrografů je vidět, že vstřikovací tlak během celého procesu vstřikování je téměř pro všechny 4 skupiny stejný a jednotlivé soustavy křivek se nemají tendenci měnit a ani se přibližovat k jednotlivým tolerančním mezím.

Jednotlivé hodnoty vstřikovacího tlaku byly převzaty z výrobních protokolů a vloženy do jedné tabulky pro snazší porovnání, kde můžeme najít rozdíly v desítkách barů mezi skupinami.

		Vstřikovací tlak [bar]			
Skupina		0°C	25°C	80°C	150 °C
Zdvih	1	1757,7	1799,3	1827,3	1793,3
	2	1757,4	1799,4	1821,3	1804,2
	3	1759,5	1798,6	1825,8	1811,6
	4	1760,6	1800,7	1823,2	1809,3
	5	1762,6	1800,9	1826	1811,6
	6	1760,6	1797,1	1825,3	1812,7
	7	1761,4	1801,4	1823,2	1812,7
	8	1758,3	1801,9	1820,9	1813,3
	9	1765,7	1793,7	1820,2	1816,5
	10	1763,9	1802,7	1820,2	1816,5
Průměrná hodnota:		1760,8	1799,6	1823,3	1810,2

Obr. 48 Tabulka vstřikovacích hodnot pro jednotlivé skupiny

9.1.2 Vyhodnocení materiálového polštáře

Pro vyhodnocení materiálového polštáře byla data vybrána z výrobních dat pro jednotlivé skupiny. Hodnoty materiálového polštáře byly přepočítány na podíl k celkové dávce a vloženy do tabulky viz obr. 49. Z hodnot vyplývá, že rozdílná teplota vkládaných dílů nemění velikost materiálového polštáře. Největší rozdíl je mezi skupinou 0°C a 80°C a to 0,28% materiálu. Z toho vyplývá, že změna teplot vkládaných dílů nemá žádný vliv na procesní parametry a tedy díly s různou teplotou nejsme schopni z výrobních dat rozpoznat.

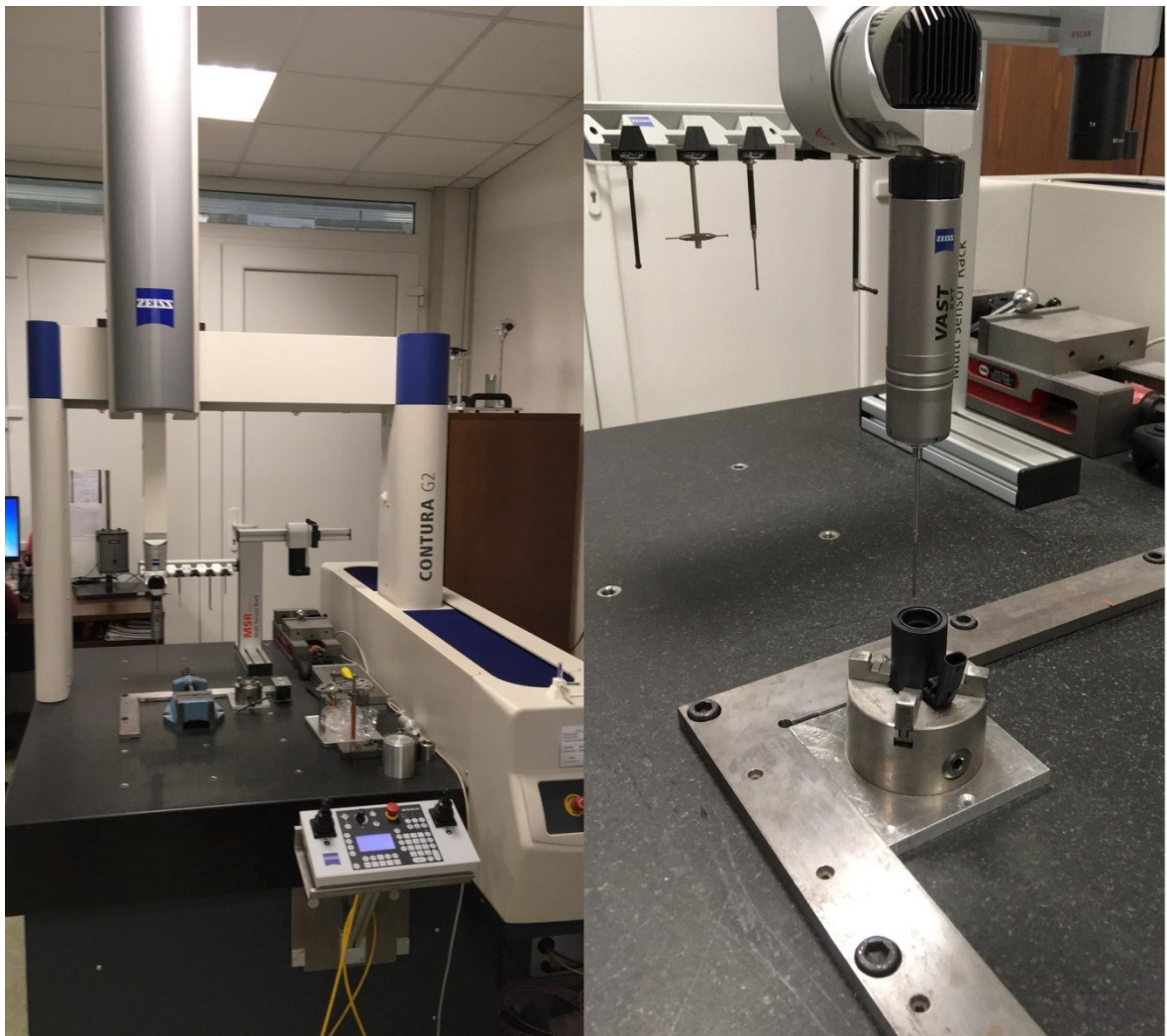
Podíl materiálového polštáře k celkové dávce					
Skupina		0°C	25°C	80°C	150 °C
Zdvih	1	6,08%	6,69%	6,39%	5,82%
	2	5,81%	6,32%	6,17%	5,86%
	3	6,00%	6,39%	6,29%	5,89%
	4	5,86%	6,15%	6,29%	5,97%
	5	5,88%	6,40%	6,21%	5,99%
	6	5,97%	6,25%	6,29%	6,13%
	7	5,89%	6,51%	6,29%	6,15%
	8	5,99%	6,19%	6,19%	5,89%
	9	6,18%	6,24%	6,21%	6,08%
	10	6,01%	6,25%	6,21%	6,08%
Průměrná hodnota:		5,97%	6,34%	6,25%	5,99%

Obr. 49 Tabulka podílu materiálového polštáře k celkové dávce

10 MĚŘENÍ ROZMĚROVÝCH VLASTNOSTÍ ZASTŘÍKLÉ CÍVKY

V této části diplomové práce se budeme zabývat srovnáváním rozměrových vlastností zastříknutých cívek z jednotlivých skupin. Pro měření byly vybrány rozměry, které jsou důležité pro další montáž a dále pro funkci celého ventilu. Zastříknuté cívky byly změřeny po více jak 24 hodinách a to z důvodu dodatečného smrštění. Byly porovnávány mezi sebou vždy kusy pouze z jedné kavity a to z důvodu, aby se do výsledků nepromítly jednotlivé rozměrové odchylky, které jsou na tvarových částech formy mezi jednotlivými kavitami.

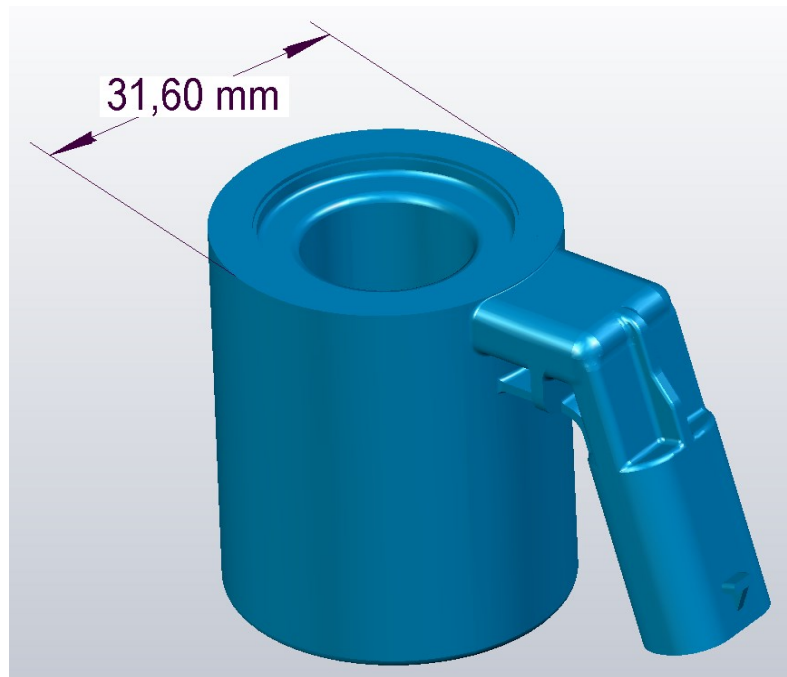
Rozměry byly měřeny na stroji ZEISS CONTURA G2. Jedná se o dotykové zařízení, které především disponuje přesností měření. Další výhodou je měření ve stejných místech z důvodu uchycení výrobku v přípravku a vytvoření programu pro měření.



Obr. 50 Fotografie dílu při měření na měřícím stroji ZEISS CONTURA G2

10.1 Vyhodnocení vnějšího průměru 31,60 mm

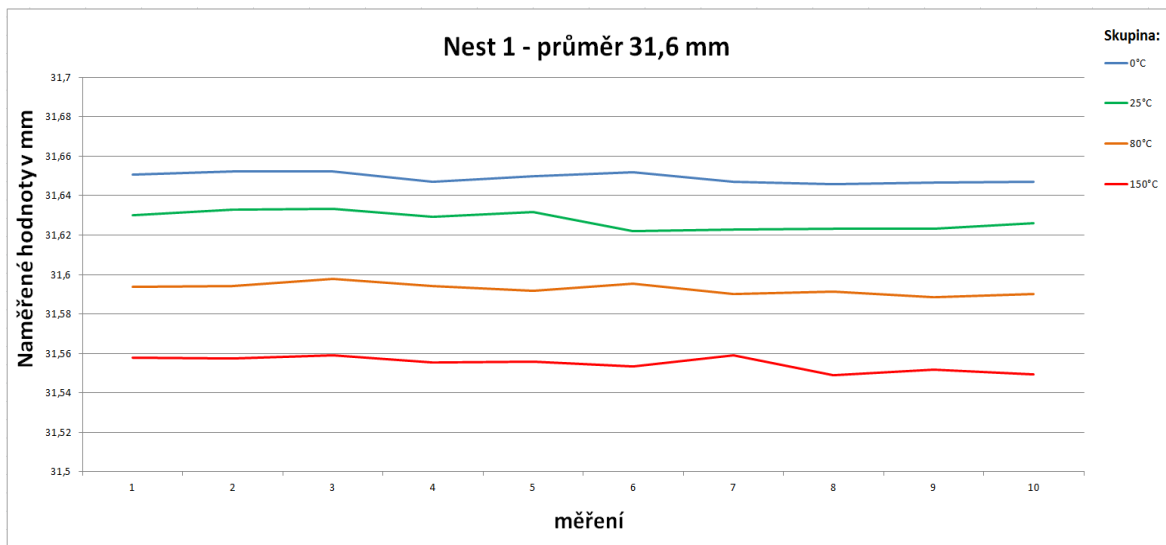
Nejprve byl porovnáván vnější průměr 31,60 mm, který je důležitý pro další montáž ventilu. Bylo vždy změřeno 10 kusů z dvou kavit. Byly zvoleny kavity 1 a 4. Naměřené hodnoty z jednotlivých skupin byly porovnány mezi sebou.



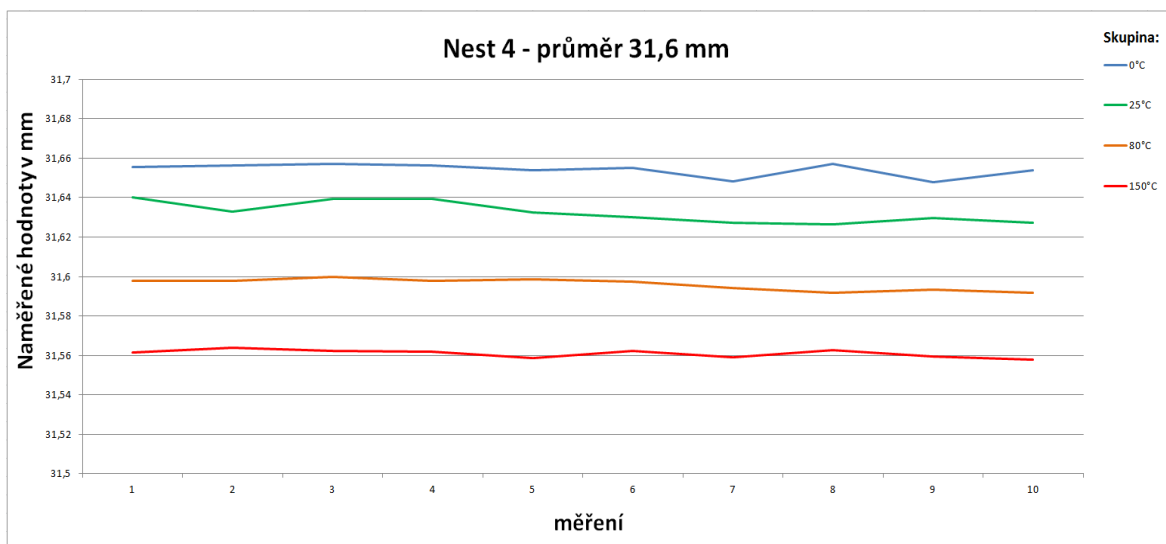
Obr. 51 Zastříknuté cívky s označeným vnějšího průměru

Nest 1 - průměr 31,60 mm					Nest 4 - průměr 31,60 mm				
Zdvih	Skupina				Zdvih	Skupina			
	0°C	25°C	80°C	150°C		0°C	25°C	80°C	150°C
1	31,65	31,63	31,59	31,56	1	31,66	31,64	31,60	31,56
2	31,65	31,63	31,59	31,56	2	31,66	31,63	31,60	31,56
3	31,65	31,63	31,60	31,56	3	31,66	31,64	31,60	31,56
4	31,65	31,63	31,59	31,56	4	31,66	31,64	31,60	31,56
5	31,65	31,63	31,59	31,56	5	31,65	31,63	31,60	31,56
6	31,65	31,62	31,60	31,55	6	31,66	31,63	31,60	31,56
7	31,65	31,62	31,59	31,56	7	31,65	31,63	31,59	31,56
8	31,65	31,62	31,59	31,55	8	31,66	31,63	31,59	31,56
9	31,65	31,62	31,59	31,55	9	31,65	31,63	31,59	31,56
10	31,65	31,63	31,59	31,55	10	31,65	31,63	31,59	31,56

Obr. 52 Tabulky naměřených hodnot pro průměr 31,60 mm jednotlivé nesty 1, 4



Obr. 53 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 31,60 pro jednotlivé skupiny



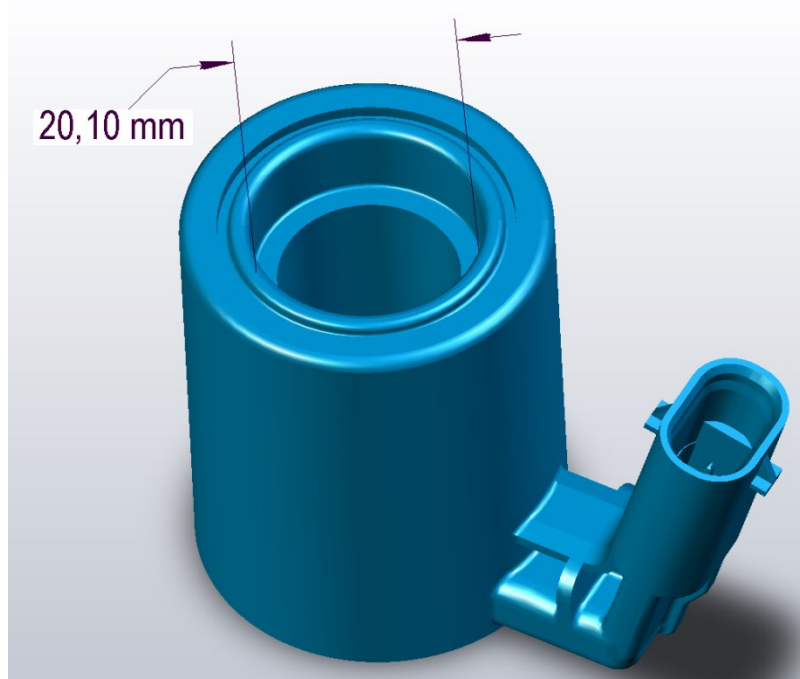
Obr. 54 Graf naměřených hodnot na nestu 4 pro průměr 31,60 pro jednotlivé skupiny

Z naměřených hodnot, které jsou v tabulce obr. 52 a v grafech obr. 53 a 54 je vidět, že na vnějším průměru zastříknuté cívky jsou rozdíly v naměřených hodnotách mezi jednotlivými skupinami. Je zřejmé, že cívky ze skupiny cívek, které měly při vkládání 0°C mají po zastříknutí největší průměr. S rostoucí teplotou vkládaných cívek se vnější průměr zastříknuté cívky zmenšuje. Rozdíly naměřených hodnot mezi skupinami cívek, které měly vstupní teplotu 0°C a 25°C jsou v setinách milimetrů. S vyšším rozdílem teplot mezi skupinami se zvětšuje i rozdíl v naměřených hodnotách. Rozdíl v naměřených hodnotách je

mezi skupinami 0°C a 150°C dle měření až 0,1 mm. Tento rozdíl na vnějším průměru na zastříknuté cívce může mít další vliv při následné montáži i na celkovou funkci ventilu.

10.2 Vyhodnocení vnitřního průměru 20,10 mm

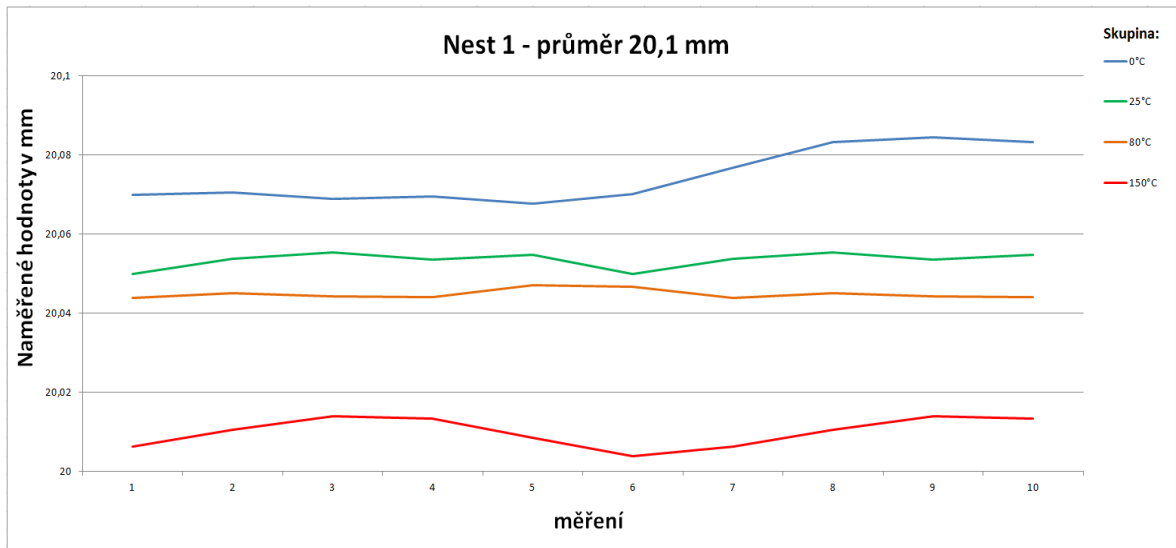
Dále byl vyhodnocen vnitřní průměr na zastříknuté cívce. Tento rozměr je nutné držet v tolerančním rozpětí a to z důvodu, aby byla zaručena přesná montáž ventilu a tím i funkce celého ventilu.



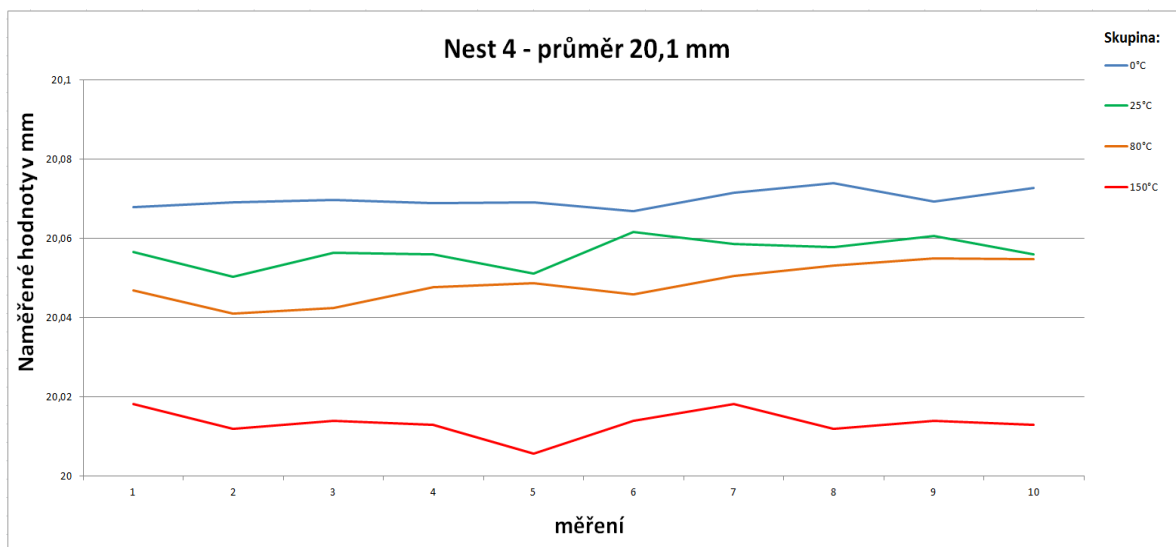
Obr. 55 Zastříknuté cívky s označením vnitřního průměru

Nest 1 - průměr 20,10 mm					Nest 4 - průměr 20,10 mm				
Zdvih	Skupina				Zdvih	Skupina			
	0°C	25°C	80°C	150°C		0°C	25°C	80°C	150°C
1	20,07	20,05	20,04	20,01	1	20,07	20,06	20,05	20,02
2	20,07	20,05	20,05	20,01	2	20,07	20,05	20,04	20,01
3	20,07	20,06	20,04	20,01	3	20,07	20,06	20,04	20,01
4	20,07	20,05	20,04	20,01	4	20,07	20,06	20,05	20,01
5	20,07	20,05	20,05	20,01	5	20,07	20,05	20,05	20,01
6	20,07	20,05	20,05	20,00	6	20,07	20,06	20,05	20,01
7	20,08	20,05	20,04	20,01	7	20,07	20,06	20,05	20,02
8	20,08	20,06	20,05	20,01	8	20,07	20,06	20,05	20,01
9	20,08	20,05	20,04	20,01	9	20,07	20,06	20,06	20,01
10	20,08	20,05	20,04	20,01	10	20,07	20,06	20,05	20,01

Obr. 56 Tabulky naměřených hodnot pro průměr 20,10 mm jednotlivé nesty 1, 4



Obr. 57 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 20,10 pro jednotlivé skupiny

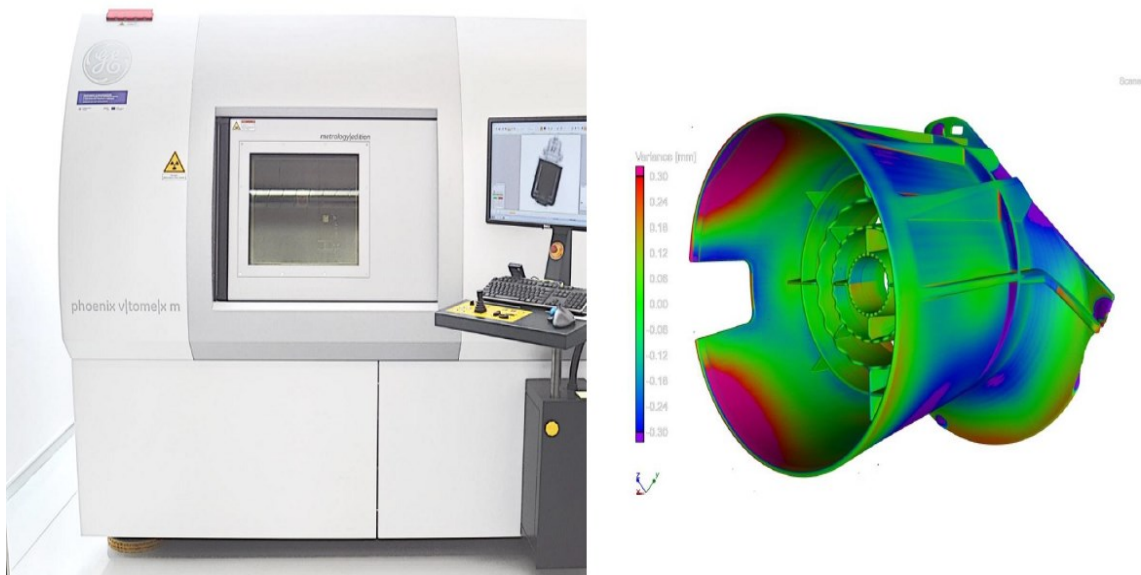


Obr. 58 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 20,10 pro jednotlivé skupiny

Z naměřených hodnot lze vidět, že stejně jak vnější, tak i vnitřní průměr obstříknuté cívky je pro jednotlivé skupiny odlišný. Mezi skupinami 0°C až 80°C jdou vidět velmi malé rozdíly v setinách milimetrů v naměřených hodnotách. Největší rozdíl je mezi skupinami 0°C a 150°C, kdy rozdíl v naměřených hodnotách na vnitřním průměru je více jak 0,07 mm. Z grafu na obr. 57 a 58 lze vidět, že s rostoucí teplotou vkládaných cívek se vnitřní průměr zmenšuje. Ze všech tabulek a grafů lze vidět, že existuje vliv teploty vkládaných cívek na výsledné rozměry zastříknuté cívky.

10.3 Vyhodnocení rozměrových vlastností pomocí CT snímků

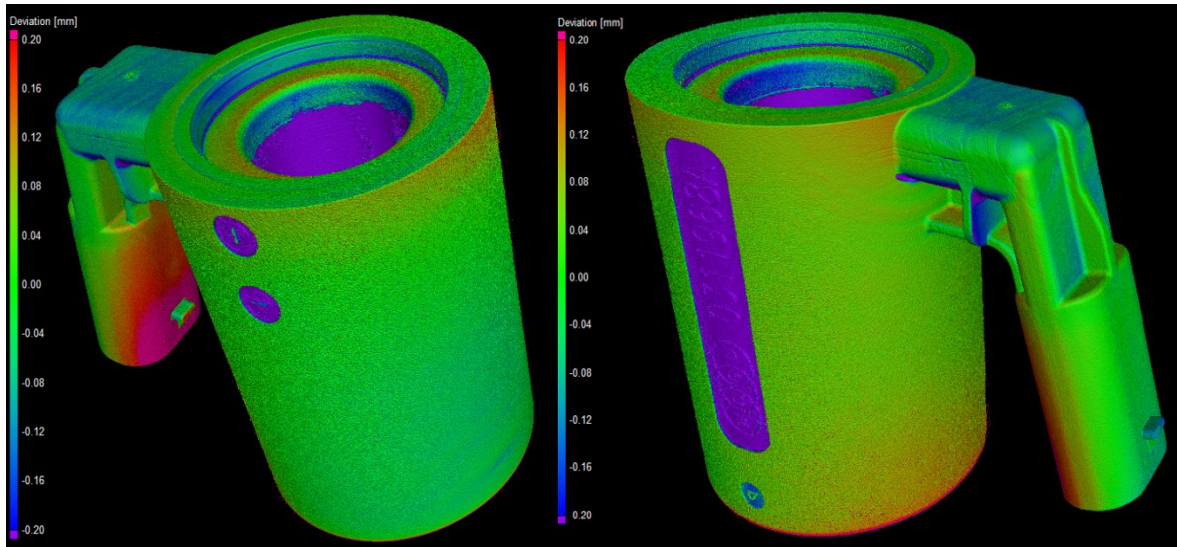
Tato část diplomové práce se zabývá rozměrovými odchylkami dílů z daných skupin s 3D modelem. K vyhodnocení bylo využito výpočetní tomografie. Dané díly z jednotlivých skupin byly nasnímány a porovnány s 3D modelem. K nasnímání bylo použito CT zařízení, které je součástí technické laboratoře společnosti WOCO STV s.r.o. K vyhodnocení byl použit program MyVGL, který umožňuje přímé srovnání voxelových (objemových) dat s CAD daty. Jednotlivé rozměrové rozdíly jsou barevně kódovány dle velikosti. Růžová až žlutá škála barev na snímcích vykresluje odchylku v kladných hodnotách, pak tedy můžeme říci, že snímáný díl má větší rozměry než jsou rozměry 3D modelu. Zelená barva je pro nás nejoptimálnější, jelikož jsou zde nejmenší odchylky mezi rozměry nasnímaného dílu a rozměry 3D modelu. Rozměry nasnímaného dílu, které jsou menší než rozměry 3D modelu se zobrazují na snímcích v modré až fialové škále barev. Pomocí porovnání můžeme zjistit, v kterých místech dané zastříknuté cívky se liší jednotlivé rozměry. Tato metoda je velmi vhodná pro výrobek, jenž je tvořen pouze jedním materiálem, jelikož zde nedochází k vytváření různých artefaktů z důvodu vykreslování různých hladin pro jednotlivé materiály. V našem případě výrobek obsahuje více jak jeden materiál, proto nebudeme vyhodnocovat vnitřní prostor zastříknuté cívky, jelikož v tomhle místě došlo právě k zmíněným chybám při snímání a samotném vykreslování. Proto budeme vyhodnocovat pouze vnější průměr, na kterém budeme sledovat změny rozměrů pro jednotlivé skupiny zastříknutých cívek.



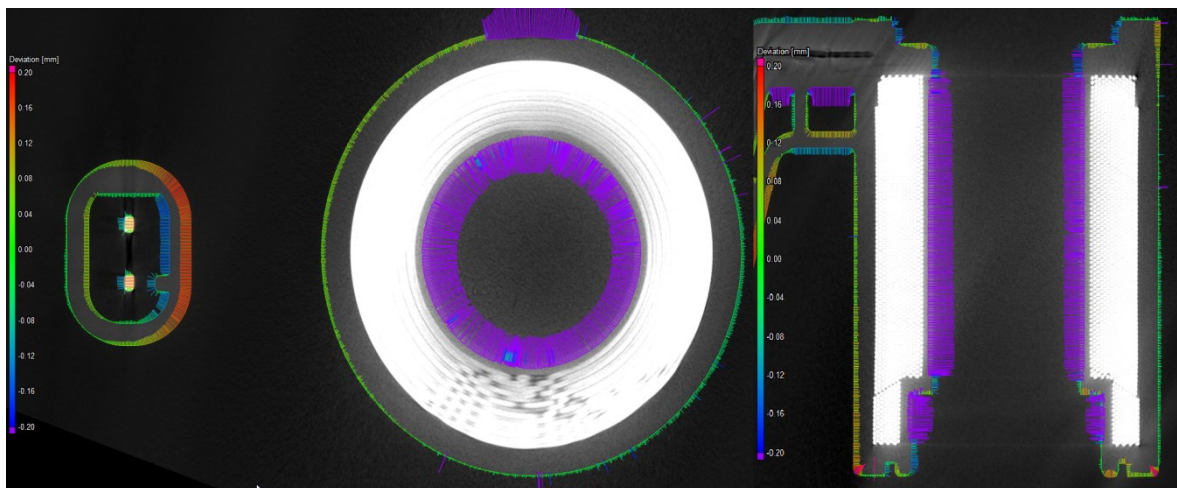
Obr. 59 Nalevo fotografie CT zařízení; napravo plastový díl porovnaný s 3D daty

10.3.1 Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 0°C

První díl, který byl nasnímán a porovnán s 3D modelem, byl ze skupiny cívek, které měly teplotu před zastříknutím 0°C. Z předchozího měření byly na vnějším průměru naměřeny nejvyšší hodnoty.



Obr. 60 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 0°C před vstřikováním



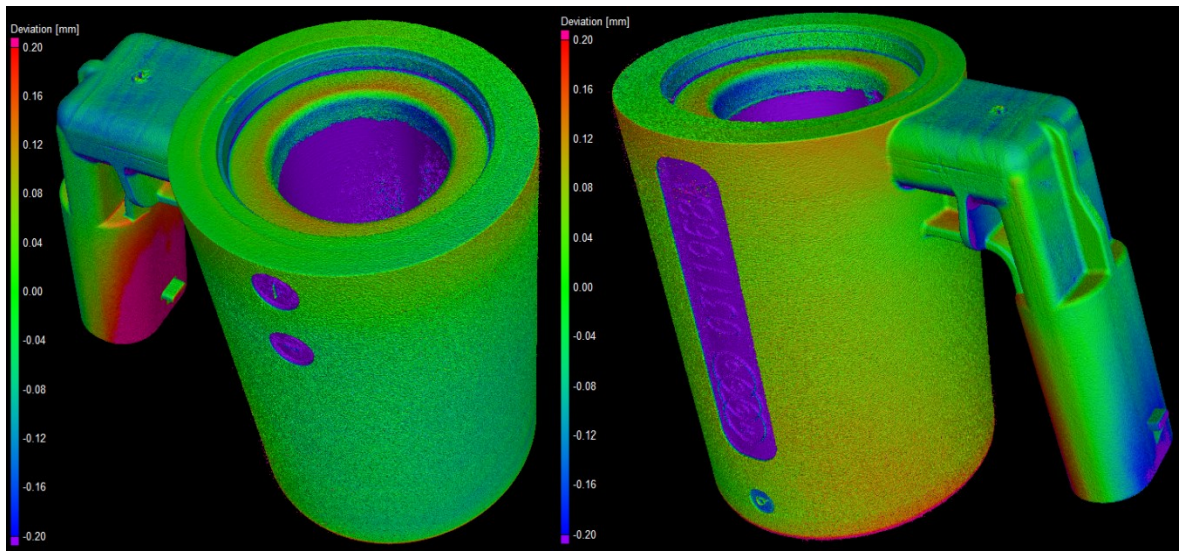
Obr. 61 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 0°C před vstřikováním

Z obrázku 60 můžeme vidět, že oblast vnějšího průměru je téměř celá vykreslená v zelených barvách, což značí, že zastříknutá cívka z dané skupiny má minimální odchylky v této oblasti vůči 3D modelu. Na obrázku 61 jsou zobrazeny řezy zastříknuté cívky, na kterých můžeme vidět menší odchylku na pravé straně vnějšího průměru. Pravou stranou je

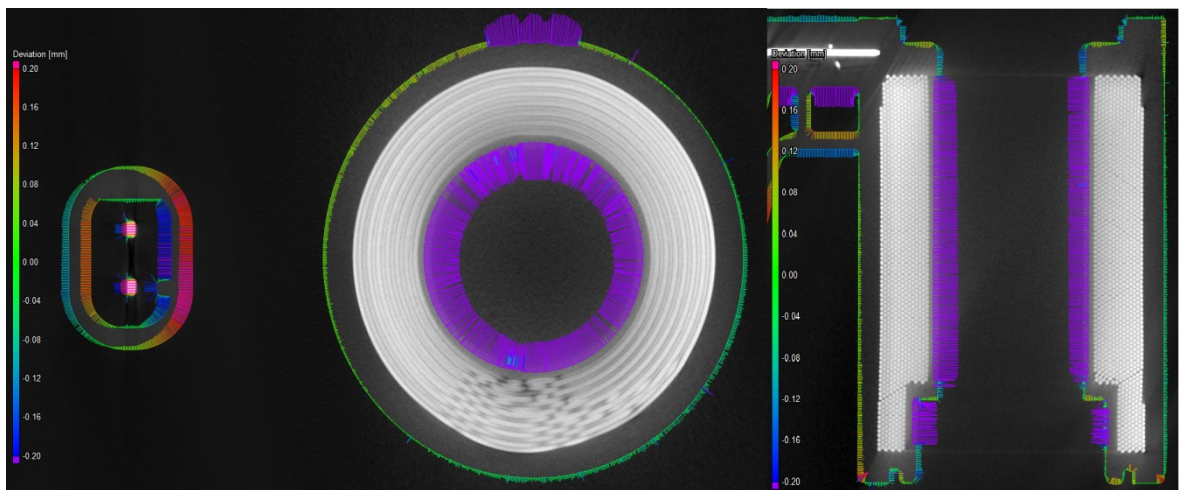
myšlena strana, která je nejvíce vzdálené od konektoru, tedy od bodu místa vtoku materiálu. Dále na obrázcích 60 a 61 je velmi výrazně fialovou barvou vykreslena oblast v místě popisu dílu a datumovky. Je to proto, že pro porovnání byl použit 3D model, který neobsahoval tato značení. Tato místa jsou tak tedy vykreslena na všech dílech ze všech skupin a na funkci celého ventilu nemají vliv a proto se jimi dále nebudeme zabývat.

10.3.2 Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 25°C

Další díl, který byl porovnáván, je ze skupiny cívek, které měly teplotu před zastříknutím 25°C. Jedná se o skupinu cívek, podle které byly dělány korekce formy tak, aby se výsledné rozměry co nejvíce blížily nominálním hodnotám.



Obr. 62 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 25°C před vstřikováním

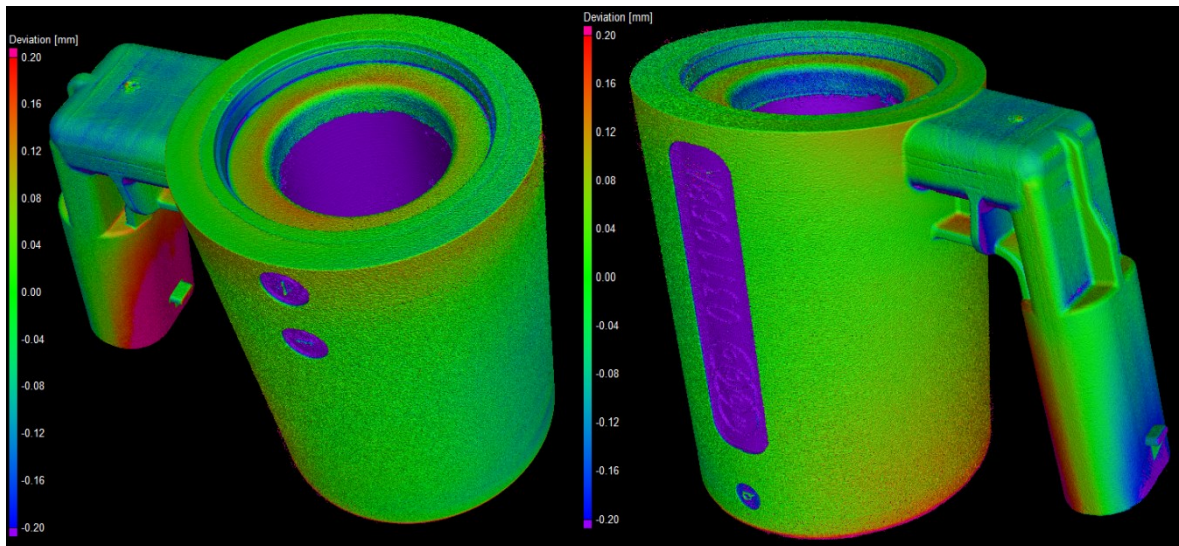


Obr. 63 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 25°C před vstřikováním

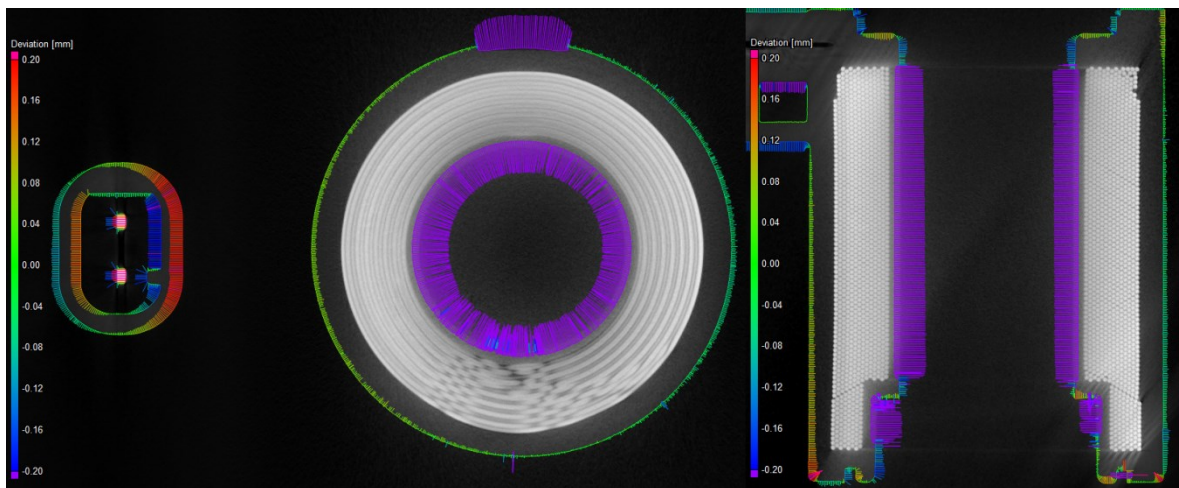
Na obrázku 62 můžeme vidět, že zastříknutá cívka s počáteční teplotou 25°C před vstřikováním má na vnějším průměru podobné hodnoty jako 3D model. Je to způsobeno korekcemi, které byly v minulosti na nástroji provedeny. Z obrázku 63 lze vidět, že odchylky na vnějším průměru jsou velmi podobné jak na předchozím díle. Jedná se o velmi malé odchylky vůči 3D modelu.

10.3.3 Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 80°C

Třetí díl, jenž byl nasnímán, je ze skupiny zastříknutých cívek, které měly teplotu před zastříknutím 80°C. Tato skupina cívek byla vytvořena pro přechod mezi skupinou s teplotou 25°C a skupinou s 150°C. Již v předchozím měření se projevil vliv zvýšené teploty oproti předchozím skupinám.



Obr. 64 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 80°C před vstřikováním

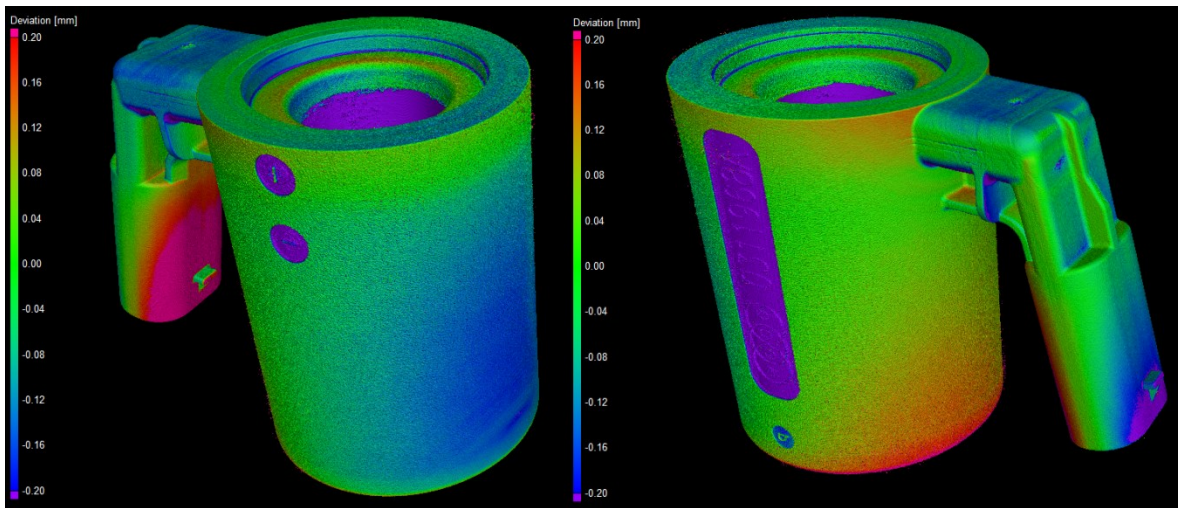


Obr. 65 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 80°C před vstřikováním

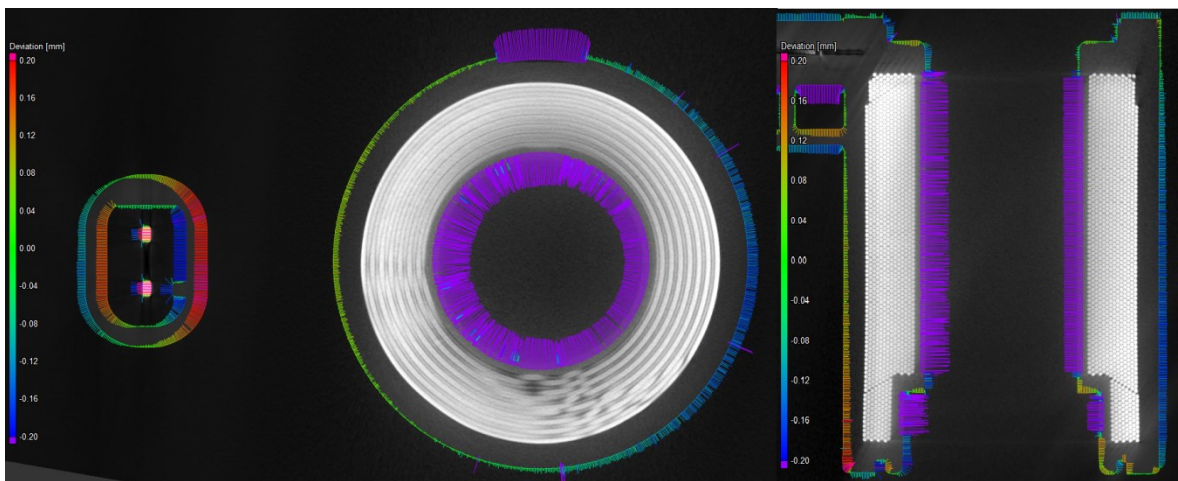
Z předchozího měření bylo zřejmé, že na cívkách ze skupiny s vyšší teplotou byly naměřeny nižší hodnoty na vnějším průměru než na cívkách s nižší teplotou před zastříknutím. Z obrázků 64 a 65 můžeme sledovat, že rozdíly na vnějším průměru jsou především na vzdálenější straně od konektoru. V případě cívky ze skupiny o teplotě 80°C se jedná o velmi malé odchylky v řádech setin.

10.3.4 Vyhodnocení zastříknuté cívky se vstupní teplotou 150°C

Poslední díl, který byl nasnímán a porovnán byl ze skupiny zastříknutých cívek, které měly teplotu před zastříknutím 150°C. Z předchozího měření bylo vidět, že cívky z této skupiny měly naměřené nejmenší hodnoty na vnějším průměru.



Obr. 66 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 150°C před vstřikováním



Obr. 67 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 150°C před vstřikováním

Z obrázku 66 a 67 je patrné, že s rostoucí teplotou se vnější průměr zmenšuje. Je zde dobře vidět, že odchylky na průměru se zvětšují v závislosti od vzdálenosti konektoru.

Z CT snímků a porovnání můžeme říci, že teplota vkládaného dílu má přímý vliv na vnější průměr zastříknuté cívky, a to zejména v oblasti nejvíce vzdálené od vtoku materiálu.

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro potřeby této diplomové práce byla vytvořena analýza v programu Moldflow pro různé teploty (0°C; 25°C; 80°C; 150°C) vkládaných dílů. Z analýzy je patrné, že teplota vkládaného dílu neovlivňuje plnicí čas, který je pro všechny teploty stejný. Na analýze můžeme vidět rozdíly teplot čela tavenin pro různé teploty. Nejmenší rozdíl teploty čela taveniny vůči vstřikovací teplotě, je u cívky o teplotě 150°C, kde teplota čela taveniny se téměř rovná nastavovací teplotě. S teplotou čela taveniny je spojen tlak v dutině formy a jeho velikost při přepnutí na dotlak. Z výsledků analýzy vstřikovacího tlaku pro jednotlivé teploty je zřejmé, že s rostoucí teplotou klesá potřebný tlak k zaplnění dutiny formy. Dále byl pomocí analýzy zjištěn čas, který je potřebný k bezpečnému vyhození výrobku z formy. Z výsledků vyplývá, že čas nejkratší, tedy ekonomicky nejvýhodnější, je pro cívku o vstupní teplotě 0°C. Dále byl v analýze porovnáván podíl zamrzlé vrstvy v daném čase. Pomocí daných výsledků můžeme konstatovat, že vkládané cívky, které mají vyšší teplotu, jsou více ovlivněny dotlakem, než cívky, které mají nižší teplotu. Poslední analýzou bylo porovnáváno objemové smrštění pro jednotlivé teploty. Z výsledků analýzy je patrné, že největší rozdíly v objemovém smrštění na vnější a vnitřní straně vstříknutého plastu jsou u vkládané cívky o vstupní teplotě 0°C, kde rozdíly dosahují až 5,3%. S rostoucí teplotou vkládaných cívek se rozdíly objemového smrštění na vnější a vnitřní straně zmenšují. Pro vkládanou cívku o teplotě 150°C jsou hodnoty objemového smrštění téměř jednotné, což zaručuje strukturální celistvost výrobku.

Z výsledků vstřikovacích dat, jež byla zaznamenána během výroby vzorků jednotlivých skupin, můžeme konstatovat, že teplota vkládaných cívek nijak neovlivňuje vstřikovací parametry, které byly zkoumány.

Dále byly zastříknuté cívky o různých vstupních teplotách změřeny a porovnány na rozměrové vlastnosti. Zde byl vybrán vnější a vnitřní průměr zastříknuté cívky, a to z důvodu styku velké plochy o měnící se teplotě. Z výsledků vyplývá, že s rostoucí teplotou se rozměry na obou průměrech zmenšují. Rozdíl na vnějším průměru mezi zastříknutými cívkami o vstupní teplotě 0°C a 150°C je průměrně 0,09 mm, což může mít negativní vliv na další montážní operace.

Z výsledků získaných pomocí počítačové tomografie je patrné, že s rostoucí vzdáleností od místa vtoku se rozměry, vzhledem k nominální hodnotě na vnějším průměru zastříknuté cívky, zmenšují v závislosti na vyšší teplotě vkládaných cívek.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit možnou velikost vlivu teploty cívek při zastříknutí na procesní parametry vstřikování a na rozměrové vlastnosti již obstříknuté cívky.

K dosažení výsledků bylo využito programu Moldflow, ve kterém byla vytvořena analýza vstřikování pro různé teploty vkládaného dílu. V dalším kroku byl zhotoven plastový obal na skupinách cívek o různých teplotách pomocí technologie overmoulding, během kterého byla zaznamenávána vstřikovací data a poté vyhodnocena. V poslední části byly zastříknuté cívky změřeny na dotykovém přístroji a zjištěné údaje vyhodnoceny. Následně bylo využito počítačové tomografie k porovnání 3D modelu vůči vyrobeným dílům. Tyto jednotlivé kroky byly dostatečné k celkovému zhodnocení vlivu teploty vstupního dílu v procesu zastříknutí.

Z výsledků vyplývá, že s různou teplotou vkládaných cívek se procesní parametry nemění a tím není nijak ovlivněna procesní stabilita.

Ovlivněny jsou především rozměrové vlastnosti, kdy s rostoucí teplotou vkládaných cívek se některé rozměry zmenšují. Z toho vyplývá, že je nutné udržovat stabilní teplotu vkládaných cívek od zahájení výroby po celou její dobu, tak aby výsledné rozměry zastříknuté cívky nebyly negativně zasaženy tímto vlivem.

Z toho plyne doporučení pro výrobky, na něž jsou kladeny vysoké nároky v oblasti mechanické odolnosti, aby se teplota vstupního dílu co nejvíce přiblížila teplotě stěny dutiny formy, tím je možné dosáhnout jednotného smrštění v celém objemu výrobku a tím i nejmenšího vnitřní pnutí.

Naopak u výrobků, kde nároky mechanické odolnosti nejsou prvořadé, je žádoucí teplotu vstupního dílu snižovat na minimum, čímž je možné snížit čas, který je potřebný k bezpečnému vyhození výrobku z formy. Tím lze zkrátit celkovou dobu cyklu vstřikovacího procesu, což vede ke snížení nákladů dané výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-037-x.
- [2] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 8086229157.
- [3] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986.
- [4] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [5] Harald Pichler, *Operator Manual – Maschine ENGEL*, Schwertberg, 2014.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s.
- [7] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 2. 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 214 s.
- [8] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [9] Miltonplastics. [Http://www.miltonplastics.com/index.php/Picture/show/8.html](http://www.miltonplastics.com/index.php/Picture/show/8.html) [online]. [cit. 2018-04-29].
- [10] Resinex. [Http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pps.html](http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pps.html) [online]. [cit. 2018-04-29].
- [11] Crescentind. [Https://info.crescentind.com/blog/bid/69598/what-is-insert-molding-for-plastic-components](https://info.crescentind.com/blog/bid/69598/what-is-insert-molding-for-plastic-components) [online]. [cit. 2018-04-29].
- [12] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 807318-039-1
- [13] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. [cit. 2018-04-29]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/08.html>
- [14] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 1569902917.
- [15] SMARTPLAST. [Http://www.smartplast.cz/software.php](http://www.smartplast.cz/software.php) [online]. [cit. 2018-05-02].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CT	Computed Tomography – počítačová tomografie
kN	KiloNewton – jednotka síly
Tg	Teplota skelného přechodu
Tm	Teplota tání krystalické fáze
°	Stupeň
C	Celsius
PPS	Polyfenylensulfid
MFI	Melt Flow Index – Index toku taveniny
PA6	Polyamid 6
s	Jednotka času
mm	Jednotka délky
MPa	Jednotka tlaku
%	Procento
Bar	Jednotka tlaku
3D	3 Dimensional – třírozměrný
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporované navrhování
PIM	Powder injection moulding – Práškové vstřikování
PTFE	Polytetrafluorethylen
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Příklad jednotlivých kroků vstřikovacího stroje [5]</i>	12
<i>Obr. 2 Vstřik taveniny, dávkování ve vstřikovací jednotce [5]</i>	14
<i>Obr. 3 Vstřikovací jednotka [5]</i>	16
<i>Obr. 4 Vstřikovací forma</i>	17
<i>Obr. 5 Schéma rozdělení plastů</i>	19
<i>Obr. 6 Vznik polymeru následným řazením monomerů [8]</i>	19
<i>Obr. 7 Etapy výroby a zpracování plastu [2]</i>	20
<i>Obr. 8 Molekulární struktura plastů. Rozvětvená struktura vlevo, lineární struktura vpravo [8]</i>	21
<i>Obr. 9 Struktura termoplastů; a) amorfni termoplast; b) semikrystalický termoplast</i>	21
<i>Obr. 10 Oblasti využití u amorfniích a semikrystalických termoplastů [3]</i>	22
<i>Obr. 11 Periodická tabulka termoplastů, rozdělení termoplastů do 3 skupin (komoditní, inženýrské, HIGH-TECH)</i>	23
<i>Obr. 12 Chemický vzorek PPS [9]</i>	23
<i>Obr. 13 Graf závislosti modulu pružnosti na teplotě pro materiál PPS s různým množstvím skleněných vláken</i>	24
<i>Obr. 14 Výrobky vyrobené technologií overmoulding</i>	25
<i>Obr. 15 Vložený vstupní díl ve formě před zastříknutím</i>	26
<i>Obr. 16 Výtlačný plastometr (fa. Ceast); Schéma výtlačného plastometru [13]</i>	28
<i>Obr. 17 Spirálová zkušební forma pro termoplastické vstřikování</i>	28
<i>Obr. 18 Graf závislosti vstřikovaného tlaku v závislosti na dráze šneku [5]</i>	29
<i>Obr. 19 Změna rozměru výstřiku v závislosti v důsledku smrštění [4]</i>	30
<i>Obr. 20 Rozsah smrštění pro vybrané typy amorfniích a částečně krystalických plastů [4]</i>	31
<i>Obr. 21 Tabulka orientačních hodnot smrštění podél a kolmo na tok taveniny pro PA6 [4]</i>	32
<i>Obr. 22 Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [4]</i>	32
<i>Obr. 23 Tabulka vlivu teploty stěny formy na výrobní smrštění a dosmrštění pro neplněný PA6 [4]</i>	33
<i>Obr. 24 Deformace výstřiku v důsledku rozdílů v tloušťce stěny žebra a základny, k níž je žebro připojeno [4]</i>	34
<i>Obr. 25 Deformace stěny výstřiku jako výsledek rozdílů teploty na stěnách formy [4]</i>	34

<i>Obr. 26 Fotografie administrativní budovy společnosti WOCO STV s.r.o.</i>	37
<i>Obr. 27 Nalevo ventil naistalován v prostoru motoru; napravo ventil s hadicemi</i>	38
<i>Obr. 28 Nalevo cívka před obstríknutím; napravo obstríknutá cívka</i>	38
<i>Obr. 29 Analýza času zaplnění formy pro celou formu s vstupními cívkami o teplotě 25°C</i>	39
<i>Obr. 30 Čas plnění kavity se vstupní dílem o teplotě 0°C</i>	40
<i>Obr. 31 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 25°C</i>	40
<i>Obr. 32 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 80°C</i>	41
<i>Obr. 33 Čas plnění kavity se vstupním dílem o teplotě 150°C</i>	41
<i>Obr. 34 Analýza teplota taveniny pro různé teploty obstríkových dílů</i>	42
<i>Obr. 35 Analýza vstřikovacího tlaku pro různé teploty obstríkových dílů</i>	43
<i>Obr. 36 Analýza času potřebného k bezpečnému vyhození výrobku z formy pro vstupní cívky o teplotě 25°C</i>	44
<i>Obr. 37 Analýza času potřebného k dosažení vyhazovací teploty pro různé teploty obstríkových dílů</i>	45
<i>Obr. 38 Analýza zamrznutí podílu vrstvy pro různé teploty obstríkových dílů</i>	46
<i>Obr. 39 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 0°C</i>	47
<i>Obr. 40 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 25°C</i>	47
<i>Obr. 41 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 80°C</i>	48
<i>Obr. 42 Analýza objemového smrštění dílu se vstupní teplotou vkládaného dílu 150°C</i>	48
<i>Obr. 43 Nalevo teplotní komora; napravo cívky uloženy v komoře</i>	49
<i>Obr. 44 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 0°C</i>	50
<i>Obr. 45 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 25°C</i>	51
<i>Obr. 46 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 80°C</i>	51
<i>Obr. 47 Micrograf průběhů tlaků během vstřikování pro skupinu o teplotě 150°C</i>	52
<i>Obr. 48 Tabulka vstřikovacích hodnot pro jednotlivé skupiny</i>	52
<i>Obr. 49 Tabulka podílu materiálového polštáře k celkové dávce</i>	53
<i>Obr. 50 Fotografie dílu při měření na měřícím stroji ZEISS CONTURE G2</i>	54
<i>Obr. 51 Zastříknuté cívky s označeným vnějším průměrem</i>	55
<i>Obr. 52 Tabulky naměřených hodnot pro průměr 31,60 mm jednotlivé nesty 1, 4</i>	55
<i>Obr. 53 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 31,60 pro jednotlivé skupiny</i>	56
<i>Obr. 54 Graf naměřených hodnot na nestu 4 pro průměr 31,60 pro jednotlivé skupiny</i>	56
<i>Obr. 55 Zastříknuté cívky s označením vnitřního průměru</i>	57

<i>Obr. 56 Tabulky naměřených hodnot pro průměr 20,10 mm jednotlivé nesty 1, 4</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 57 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 20,10 pro jednotlivé skupiny</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 58 Graf naměřených hodnot na nestu 1 pro průměr 20,10 pro jednotlivé skupiny</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 59 Nalevo fotografie CT zařízení; napravo plastový díl porovnaný s 3D daty.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 60 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 0°C před vstřikováním.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 61 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 0°C před vstřikováním</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 62 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 25°C před vstřikováním.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 63 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 25°C před vstřikováním</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 64 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 80°C před vstřikováním.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 65 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 80°C před vstřikováním</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 66 CT snímky zastříknuté cívky s počáteční teplotou 150°C před vstřikováním.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 67 CT snímky řezů zastříknuté cívky s počáteční teplotou 150°C před vstřikováním</i>	<i>63</i>