Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu rychlovarné konvice

Bc. Martin Sklář

Diplomová práce
2015

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Martin Sklář**
Osobní číslo:	**T13507**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia:	**prezenční**
Téma práce:	**Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu rychlovarné konvice**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracujte literární studii na dané téma.**
2. **Navrhněte 3D model plastového dílu rychlovarné konvice.**
3. **Proveďte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.**
4. **Návrh ověřte pomocí analýz.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

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

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická
L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno: Sklář Martin Obor: Konstrukce technologických zařízení

P R O H L Á Š E N Í

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 4. 5. 2015 .....

[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 nevýdělečně 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 vzdělávacího 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 jím 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný díl. Zadaným dílem je kryt rychlovarné konvice. Kryt konvice slouží jako nosná část celého finálního výrobku, která chrání jak vnitřní elektroniku tak uživatele před částmi konvice, které jsou během provozu pod proudem.

Teoretická část popisuje technologii vstřikování a její princip, materiály používané pro výrobky, materiály používané pro konstrukční části forem, konstrukce vstřikovacích forem a jejich jednotlivých částí.

Praktická část vychází z 3D modelu zadaného dílu. Praktická část se v první části zabývá vlastní konstrukcí formy. V druhé části se práce zaměřuje na vliv použití konvenčních možnostech temperace a konformní temperací. Pro konstrukci formy a její výkresovou dokumentaci byl zvolen program CATIA V5R19. Jako CAE software byl zvolen program AUTOCAD SIMULATION Moldflow Synergy 2015.

Klíčová slova: vstřikovací formy, technologie vstřikování, chlazení, Moldflow

ABSTRACT

This thesis describes the design and construction of injection mold for a given part. Specified work is covered kettle. Cover pot serves as a supporting part of the entire end product, which protects internal electronics users from parts of the kettle, as during operation under power.

Theoretical part describes the injection molding technology and its principles, materials used for the products, materials for component mold, injection mold design and their individual parts.

The practical part is based on the 3D model of a given part. There is described complete injection mold desing in the first part. The second part focuses on the impact of using conventional-tion possibilities of tempering and annealing conformist. For the design of the mold and its drawings was chosen CATIA V5R19. As CAE software was chosen program AUTOCAD SIMULATION Moldflow Synergy 2015.

Keywords: injection mold, injection molding technology, temperature system, Moldflow

Tím to bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, rady a poskytnutý čas, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat Ing. Petru Halaškovi za odborné rady ohledně konstrukce formy a tokových simulací.

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

OBSAH

ÚVOD **11**
I TEORETICKÁ ČÁST **12**
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ **13**
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ 13
1.1.1 Vstřikovací cyklus 14
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ A JEHO DĚLENÍ 16
1.2.1 Hydraulický vstřikovací stroj 17
1.2.2 Elektrický vstřikovací stroj 17
1.2.3 Hybridní vstřikovací stroj 17
1.2.4 Vstřikovací jednotka 18
1.2.5 Uzavírací jednotka 19
1.2.6 Ovládání 21
1.3 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ 21
1.3.1 Termoplasty 22
1.3.2 Reaktoplasty 22
1.3.3 Elastomery 23
1.3.4 Volba materiálu při návrhu součásti 23
2 KONSTRUKCE VÝROBKU **25**
2.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU 25
2.1.1 Zkosení hran výrobků 25
2.1.2 Zaoblení rohů, koutů a hran 26
2.1.3 Vhodná tloušťka stěny a její přechod 27
2.1.4 Použití žeber a rýhování na výrobku 27
2.1.5 Použití okrajů a obrub 29
2.1.6 Zálisky, zástřiky, inserty z kovových materiálů 29
2.1.7 Závity na plastových výrobcích 30
2.1.8 Nápisy a značky 30
2.2 DODATEČNÉ ÚPRAVY VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU 31
2.3 JAKOST VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU 31
2.3.1 Smrštění výrobku 32
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA **34**
3.1 KONSTRUKCE FOREM 35
3.1.1 Postup při navrhování konstrukce formy 35
3.1.2 Zaformování vstřikovaného dílu 36
3.1.3 Násobnost formy 36
3.1.4 Materiály částí vstřikovací forem 37
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM 37
3.3 SVS - STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM 38
3.3.1 Centrální vtokový kanál 41
3.3.2 Rozváděcí kanál 41
3.3.3 Vtokové ústí 42
3.4 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS) 46
3.4.1 Vyhřívané trysky 48

3.4.2 Vyhřívané rozvodné bloky 49
3.5 TEMPERACE FOREM 49
3.5.1 Prostředky temperace 50
3.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 52
3.6.1 Mechanický vyhazovací systém 52
3.6.2 Pneumatický systém vyhazování 55
3.6.3 Hydraulický systém vyhazování 55
4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI 56
II PRAKTICKÁ ČÁST 57
5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE 58
6 ZADANÝ DÍL 59
6.1 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY DÍLU 59
6.2 ZAFORMOVÁNÍ A NÁSOBNOST VÝROBKU 59
6.3 MATERIÁL VÝROBKU 61
6.4 KONTROLNÍ VÝPOČTY 62
6.5 VSTŘIKOVACÍ STROJ 63
7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY 64
7.1 KONSTRUKČNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY 65
7.1.1 Vyhazovací systém 66
7.1.2 Vyhazovací část vstřikovací formy 67
7.1.3 Vstřikovací část formy 69
7.1.4 Doplňkové části formy 70
7.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY 71
7.2.1 Temperační systém shodný pro obě varianty 72
7.2.2 Standardní temperační systém 73
7.2.3 Konformní temperační systém 74
7.2.4 Výroba konformních kanálů DMLS 75
7.2.5 Výroba 77
7.3 TOKOVÉ ANALÝZY 77
7.3.1 Plnění 78
7.3.2 Tlak v bodě přepnutí 80
7.3.3 Uzavírací síla, průběh tlaku v místě vtokových ústí 80
7.3.4 Smykový rychlost 82
7.3.5 Uzavřený vzduch 83
7.3.6 Studené spoje 84
7.3.7 Standardní temperační systém 85
7.3.8 Konformní temperační systém 86
7.3.9 Celková deformace dílu 87
7.3.10 Teplota temperačního média 88
7.3.11 Reynoldsovo číslo 89
7.3.12 Teplota formy 90
7.3.13 Doba pro dosažení vyhazovací teploty 91
7.4 POROVNÁNÍ TEMPERAČNÍCH SYSTÉMŮ 92
8 DISKUZE VÝSLEDKŮ 94
9 ZÁVĚR 94

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **96**
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **99**
SEZNAM OBRÁZKŮ **100**
SEZNAM TABULEK **104**
SEZNAM PŘÍLOH **105**

ÚVOD

První, kdo se zabýval procesem vstřikování, byl John Wesley Hyatt (1718), který vynalezl plnící stroj složený z páry vyhřívané komory a hydraulicky ovládanými písty. Vývoj nových materiálů a jejich aplikace vedly k vyvinutí pístových a šnekových vstřikovacích strojů. Šnekové vstřikovací stroje jsou využívány pro 95% všech aplikací. Pístové vstřikovací stroje se používají pro polymery, které nesnáší míchání při zpracovávaní. [18]

Vstřikování je technologie pro výrobu výrobků z polymerních materiálů. Nejběžněji se touto technologií zpracovávají termoplasty, ale můžou být zpracovány i reaktoplasty, vulkanizáty a silikony. Nejběžněji používanými termoplasty jsou polystyreny, polyamidy, polypropyleny, polyetyleny a polyvinylchloridy. [30]

V současné době se pracovává technologií vstřikování značné množství polymerních materiálů a s vývojem nový materiálů potenciál této technologie neustále roste. Pomocí této technologie je možné efektivně produkovat přesné výrobky. Při jedné operaci se z polotovaru (granulát) stává hotový výrobek. Odpad vzniklý zpracování polymerů vstřikováním (vtokové zbytky, přetoky) může být recyklován a dále přidáván jako plnivo do další výroby. [7]

Vstřikováním se vyrábí výrobky, které mají buď charakter finálního výrobku, a nebo to jsou polotovary a díly pro další technologie, kterými se dosáhne konečného výrobku. Technologií vstřikování se vyrábí výrobky s vysokou rozměrovou a tvarovou přesností. Tato technologie se vyznačuje vysokou úrovní reprodukovatelnosti mechanických a fyzikálních vlastností výrobků.Vstřikování je proces cyklický. [38]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologií vstřikování se může při splnění určitých podmínek zpracovávat reaktoplasty, kaučuky i silikony. Vstřikováním vznikají tvarově přesné a složité výrobky, které je možné použít v nejrůznějších oborech - zdravotnictví, potravinářství, automobilový průmysl a elektrotechnice. [38]

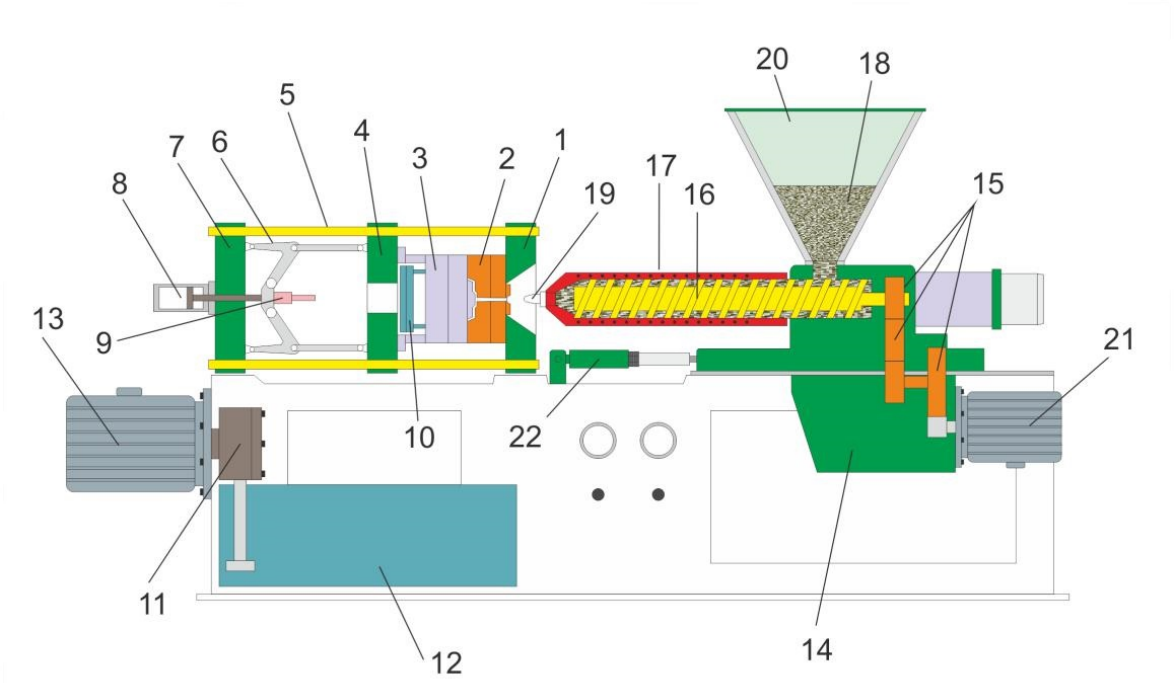
1.1 Vstřikování

Technologie vstřikování plastů je poměrně složitý proces, který ovlivňuje celá řada vnějších faktorů, mezi které patří:

- polotovar - zpracovávaný materiál, ze kterého se za působení tepla a tlaku vyrábí požadované součásti,
- parametry výrobního cyklu, kterými se ovlivňuje příprava taveniny a její distribuce do dutiny formy za určitých podmínek,
- nástroj - vstřikovací forma, která zajišťuje tvar výrobku.

Výše uvedené faktory ovlivňují výsledné vlastnosti a kvalitu výstřiku na konci pracovního cyklu (vyrobené součásti). [1]

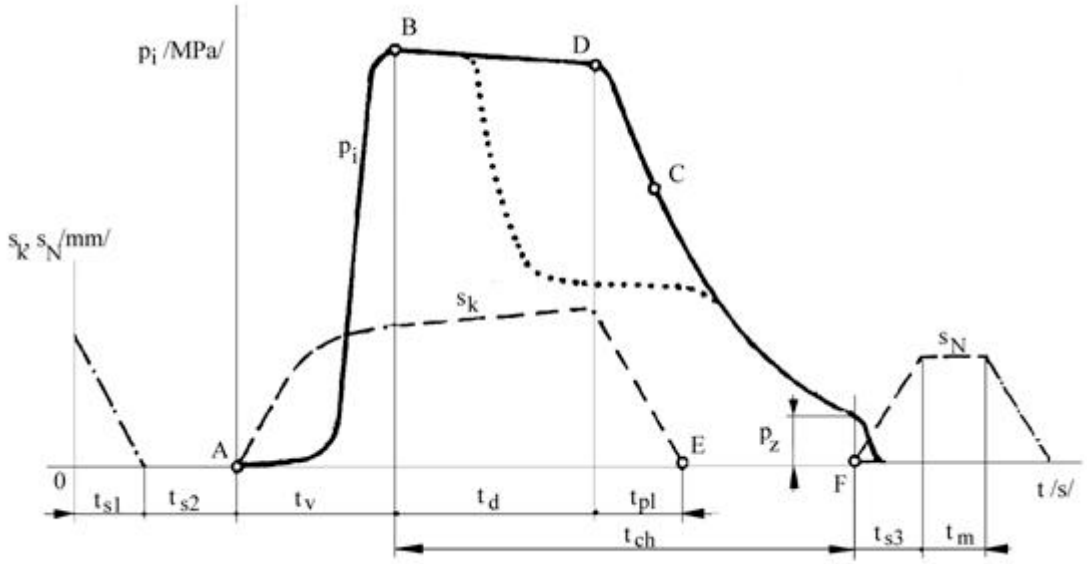
Výroba touto technologií spočívá v plnění polotovaru (plastového granulátu) do násypky vstřikovacího stroje, ze kterého ji do pracovního válce odebírá plastikační šnek. Šnek tlačí materiál do plastikační jednotky, kde se granulát za pomocí topných pásů a disipace ohřívá a postupně taví. Po úplném roztavení je tavenina tlačena do trysky plastikační jednotky, kterou je pod vysokým tlakem vstříknuta do dutiny formy. V dutině formy dochází k chlazení až na vyhazovací teplotu, kdy je tvar výrobku dostatečně zafixován, aby nebyl vyhozením poškozen. Po vyhození výrobku se forma opět uzavírá a celý cyklus se opakuje. [36]



Obr. 1. Schéma vstřikovacího stroje, 1- pevná deska, 2- pevná část formy, 3- pohyblivá část formy, 4- pohyblivá deska, 5- vedení, 6- uzavírací mechanizmus, 7- deska, 8- ovládací válec uzavíracího mechanizmu, 9- táhlo, 10- vyhazovací systém, 11- olejové čerpadlo, 12- zásobník oleje, 13- elektromotor, 14- skříň převodovky, 15- ozubená kola, 16- šnek, 17- plastikační válec, 18- granulát, 19- tryska, 20- násypka, 21- elektromotor, 22- ovládání plastikační jednotky. [37]

1.1.1 Vstřikovací cyklus

Zpracování polymerů technologií vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích. Před vlastním vstřikování se musí stroj a forma připravit. Přípravou se myslí temperace formy, zahřátí stroje, vložení zástřiku do dutiny formy, závitových jader apod. Temperování formy závisí na typu zpracovávaného materiálu, členitosti dutiny, tloušťce stěn výrobků apod. [1]

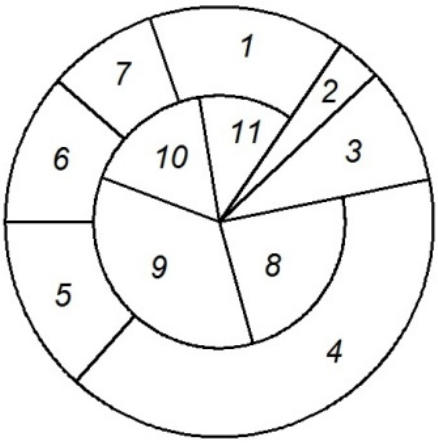


Obr. 2. Průběh tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [38]

s_k-pohyb šneku, s_N- pohyb nástroje (formy)

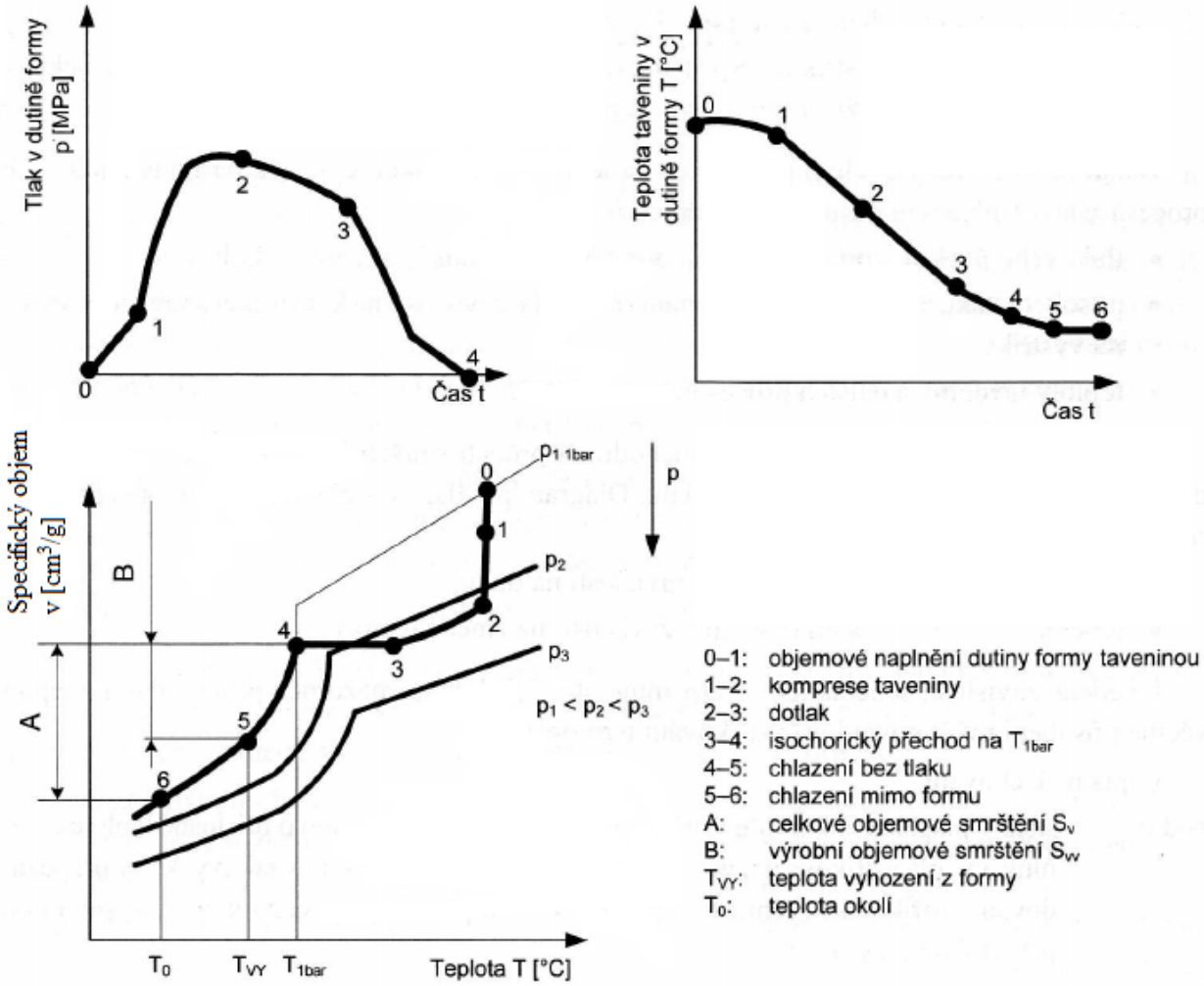
t_{s1} – doba uzavírání formy, t_{s2} – doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě, t_{s3} - doba otevírání formy , t_m- doba otevření formy, t_v- doba vstřikování, t_d- doba dotlaku, t_{pl}- doba plastikace, t_{ch}-doba chlazení, p_i- tlak, p_z-zbytkový tlak při otevírání formy

A - začátek vstřikování, B - konec vstřikování, začátek dotlaku a chlazení, C - chlazení při nižším tlaku, D- konec dotlaku, E- konec plastikace (pohybu šneku), F-začátek pohybu formy [38]



Obr. 3. Vstřikovací cyklus [1]

1 - uzavření formy, 2- vstříknutí, 3- dotlak, 4 - chlazení, 5- otevření formy, 6- vyprázdnění formy, 7- příprava formy,8- odjezd plastikační jednotky, 9 - plastikace , 10- prodleva, 11 - příjezd plastikační jednotky [1]



Obr. 4. pvT diagram semikrystalického polymeru [4]

1.2 Vstřikovací stroj a jeho dělení

Vstřikovací stroj jako jeden z hlavních činitelů má přímý vliv na jakost finálního výrobku. Od vstřikovacího stroje se vyžaduje, aby zajišťoval výrobu jakostních výrobků. V současné době existuje velký počet konstrukčních řešení strojů a jejich nejrůznější uspořádání, které se od sebe liší provedením, stupněm řízení a automatizací, výrobními možnostmi, snadnou obsluhou i cenou.

Každý vstřikovací stroj se skládá ze:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [1]

Vstřikovací stroj se dělí podle orientace jeho vstřikovací jednotky na dvě základní varianty:

- horizontální vstřikovací stroj,
- vertikální vstřikovací stroj.

Každý zákazník může zvolit doplňkové vybavení jednotlivých strojů, tak jak potřebuje v jednotlivých provozech. Tímto příslušenstvím může docílit částečné nebo plné automatizace pracoviště. Mezi příslušenství patří manipulátory, roboti, temperační zařízení, sušárny,dávkovací a míchací zařízení, dopravní pásy pro výrobky a vtoky. [38]

Dělení vstřikovacích strojů:

- hydraulické,
- elektrické,
- kombinace - hybridní.

1.2.1 Hydraulický vstřikovací stroj

Hydraulický vstřikovací stroje je nejrozšířenější typ vstřikovacího stroje. Výhodou toho typu strojů je vysoká uzavírací síla a její přesné nastavení v širokém rozmezí hodnot např. hydraulický vstřikovací stroj od firmy ARBURG nastavitelnou hodnotu uzavírací síly od 125 až 5000 kN . Nevýhodou je pomalejší chod, hlučný provoz a nižší účinnost oproti elektrickému vstřikovacímu stroji. [19, 30, 18]

1.2.2 Elektrický vstřikovací stroj

Plně elektrické řízení se využívá především u malých a středních vstřikovacích strojů. Vstřikovací stroje používají pro ovládání vstřikování, plastikace, uzavírání formy a vyhazování výrobků elektrické servomotory. Toto řešení umožňuje přesné nastavení polohy a její kontrolu např. plastikační jednotky. Elektrické vstřikovací stroje jsou rychlejší, tišší a mají vysokou přesnost polohování. Nevýhoda elektrických strojů je vyšší cena než např. hydraulické. [18, 30]

1.2.3 Hybridní vstřikovací stroj

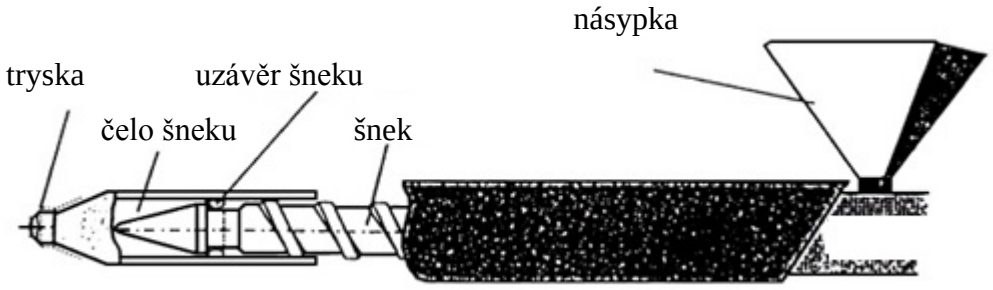
Hybridní vstřikovací stroje jsou kombinací kladných vlastností hydraulického a elektrického vstřikovacího stroje. Tyto stroje jsou velmi rychlé a díky elektrické části velmi přesné. O dosažené vlastnosti se stará kombinace servoelektrického kloubového me-

chanismu, elektrického dávkování a hydraulického akumulátoru. Hybridní stroje jsou až o 40% úspornější než vstřikovací stroje hydraulické. Vyznačující se vysokou reprodukovatelností procesu. [19, 30]

1.2.4 Vstřikovací jednotka

Mezi hlavní úkoly vstřikovací jednotky patří doprava granulátu/taveniny, tavení polymerních granulí, hromadění taveniny před čelem plastikačního šneku, vstříknutí taveniny do dutiny formy, dosažení a výdrž na úrovni hodnoty tlaku (dotlak) během chlazení výrobku v dutině formy. Vstřikovací jednotka se skládá z :

- násypky,
- šneku,
- topných pásů,
- zpětný uzávěr,
- tryska. [16]

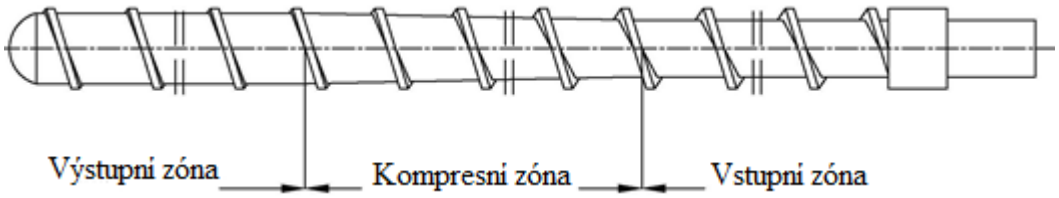


Obr. 5. Schéma vstřikovací jednotky [16]

Násypka slouží jako zásobník pro plastový granulát. U materiálů, které potřebují před zpracováním vysoušet, bývá před násypkou umístěna sušárna. Píst u vstřikovací jednotky zajišťuje generování vstřikovacího tlaku. Šnek má za úkol dopravovat a tavit granulát, Zpětný uzávěr slouží jako zpětná klapka vstřikování, aby roztavený materiál netekl zpět v závitech plastikačního šneku. Tryska zajišťuje pevné spojení plastikační jednotky se vstřikovací formou. [14]

Plastikační šnek se dělí na 3 pásma:

- 1. pásmo - vstupní zóna - zajišťuje dodávání granulátu
- 2. pásmo - kompresní zóna - přitlačuje natavený granulát k vyhřívané stěně válce
- 3. pásmo - výstupní zóna - zajišťuje homogenizaci taveniny



Obr. 6. Schéma plastikačního šneku [32]

Při vstřikování se musí počítat s bezpečnostní rezervou naplastikovaného materiálu, která musí zůstat v plastikační jednotce. Tato rezerva slouží jako zásoba roztaveného materiálu při doplňování materiálu do dutiny formy při dotlakové fázi pracovního cyklu. Slouží také jako bezpečná zóna, aby nebylo možné nabourat čelem šneku do pracovního válce. Maximální vstřikované množství by mělo být 80% objemu plastikační jednotky. [1]

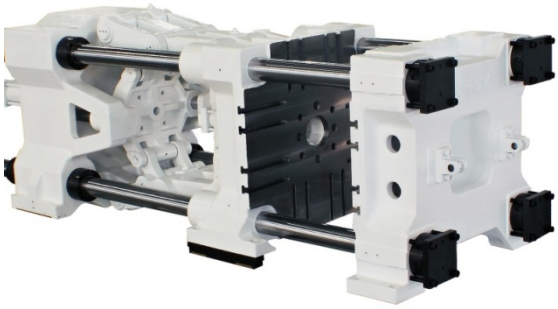
Při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavící komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům. [9]

1.2.5 Uzavírací jednotka

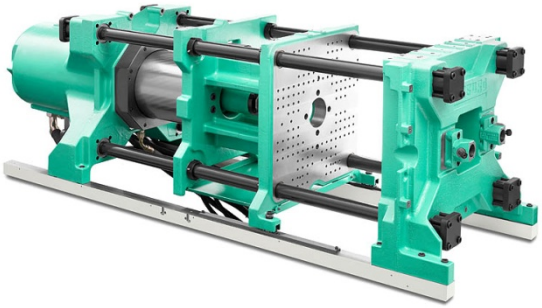
Úkolem uzavírací jednotky je uzavření a otevření upnuté formy. Uzavírací jednotka musí zajistit, že nedojde během plnění a dotlaku k pootevření formy. Velikost uzavírací síly je nastavitelná podle použitého typy uzavírací jednotky a je přímo závislá na velikosti vstřikovaného výrobku. Hlavní částí uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus. [14]

Uzavírací jednotky mohou být v několika provedeních např. mechanické, hydraulické, elektrické a jejich kombinace. [9]

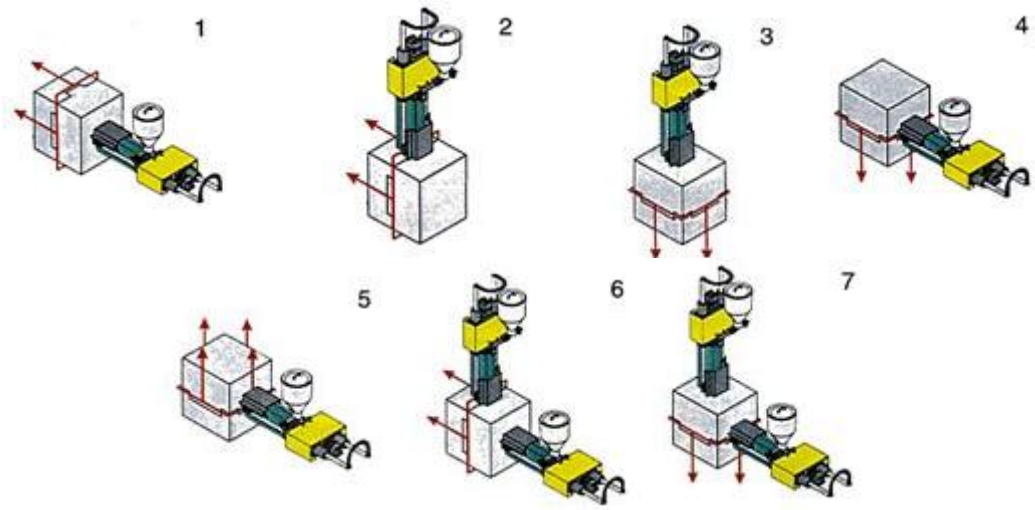


Obr. 7. Příklad mechanické uzavírací jednotky [31]



Obr. 8. Příklad hydraulické uzavírací jednotky [19]

Vstřikovací stroje se dělí na vstřikovací stroje vertikální a horizontální. Toto druhy označují vzájemnou polohu vstřikovací jednotka s jednotkou uzavírací. Nejčastěji použité uspořádání strojů je horizontální poloha uzavírací a vstřikovací jednotky. [38]



Obr. 9. Vzájemné uspořádání uzavírací a vstřikovací jednotky [38]

červené šipky znázorňují směr uzavírací síly, 1 - standardní pracovní poloha horizontální, 2 - vstřikování do dělící roviny, 3 - U verze, pro zástřiky, 4 - vstřikování do dělící roviny se zakládáním zástřiků, 5 - zastříkávání komplikovaných zástřiků, 6 - dvoukomponentní vstřikování

1.2.6 Ovládání

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídícími a regulačními prvky. [1]

Ovládání by mělo být navrženo následovně:

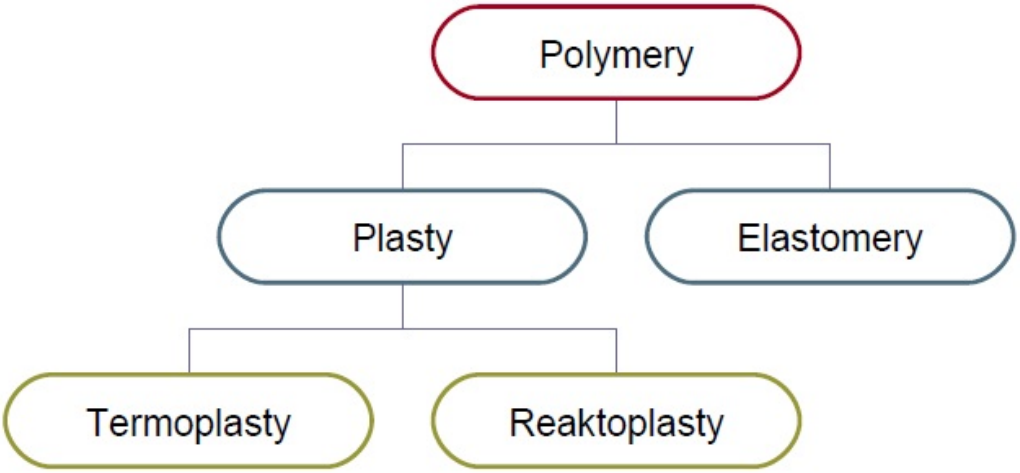
- ovládací panel je umístěn v blízkosti vstřikovací a uzavírací jednotky, aby bylo možné snadno ovládat a monitorovat,
- operace stroje jsou řízeny pomocí tlačítek nebo přímo na dotykovém displeji,
- ovládání by mělo být schopno nastavit a uložit procesní podmínky u daného produktu,
- displej by měl informovat obsluhu o vzniklých problémech a závad stroje. [18]

1.3 Plasty používané pro vstřikování

Všechny syntetické polymery se skládají z makromolekul, které jsou tvořeny jednou se stále opakující základní jednotkou. Základní jednotka (mer) je odvozena od výchozí molekuly - monomeru. Makromolekula je jeden dlouhý řetězec, ve kterém se opakuje základní jednotka (mer). Polymer se může charakterizovat pomocí distribuční křivky molekulových hmotností. Distribuční křivka molekulových hmotností udává různorodost délek makromolekulárních řetězců obsažených v polymeru. Distribuční křivka se dělí na:

- úzkou distribuční křivku molekulových hmotností - polymerní řetězce mají podobnou délkou,
- širokou distribuční křivku molekulových hmotností - polymerní řetězce mají různorodou délku.

Výsledné fyzikální a chemicko-fyzkální vlastnosti polymeru určuje chemické složení základní jednotky makromolekuly. [4]



Obr. 10. Dělení polymerů [20]

1.3.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, které jsou za běžné (pokojové) teploty v tuhém stavu. Při zahřátí dochází k přechodu z pevného stavu do plastického stavu, kdy jej se může opětovně tvarovat. U termoplastů se tento proces může opakovat teoreticky bez omezení, protože ve struktuře nedochází ke změnám chemickým ale fyzikálním. Termoplasty v plastickém stavu vykazují vysokou viskozitu. Termoplast přechází do tuhého stavu při ochlazení pod teplotu skelného přechodu T_g pro amorfní plasty a pod teplotu tání T_m pro semikrystalické plasty. Pro termoplasty se dutina formy temperuje na teplotu nižší než je teplota taveniny.

Příklady termoplastů: polyetylen (PE), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA6, PA66) a mnoho dalších. [38, 16]

1.3.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které se dají tvářet, ale pouze krátkou dobu a za přesně definované teploty. Při zvýšení teploty dochází k chemické reakci (tzv. vytvrzování), kdy se ve struktuře materiálu vytváří prostorová síť. Pro tyto typy polymerů se dutina formy vyhřívá, aby došlo k zesíťování, proto dochází k ochlazování výrobků mimo formu. Vytvrzování je chemickou reakcí, která je nevratná. Při aplikování zvýšené teploty materiál začíná přímo degradovat. Při zpracování se musí dbát nato, aby se lokálně nezvýšila teplota

taveniny (např.: průchodem vtokového ústí) a nedošlo k předčasnému lokálnímu vytvrzení, které by negativně ovlivnilo hotový výrobek.

Příklady reaktoplastů: fenolformaldehydové hmoty (PF), epoxidové pryskyřice (EP), polyesterové hmoty (UPE) a mnoho dalších. [38, 16]

1.3.3 Elastomery

Elastomery jsou polymerní materiály, které se skládají z amorfních materiálů a dalších přísad (např.: vulkanizační a ochranný systém). Chemickou reakcí (vukanizací) toho materiálu vzniká guma (pryž). Elastomery se dají zpracovávat krátkou dobu za přesně definovaných podmínek. Při zvýšení teploty dochází k chemické reakci (tzv. vulkanizování) kdy se ve struktuře vytvoří prostorová síť. Při zpracování se musí dbát nato, aby nedocházelo k předčasnému navulkanizování ještě před zaplněním dutiny formy. Elastomer (pryž) vykazuje vysokou hodnotu vratné (elastické) deformace. Elastomery se dále dělí na přírodní (NR) a syntetický (NBR) materiály. [8]

1.3.4 Volba materiálu při návrhu součásti

Obecně platí, že tvar výrobku a jeho vlastnosti musí odolávat pracovnímu prostředí po stanovenou dobu životnosti. Pro zvýšení mechanických vlastností a trvanlivosti výrobku se můžou přidávat do taveniny plniva (např. skleněná vlákna, mastek, kuličky). Tvar a vlastnosti výrobku musí odpovídat použitému plastu a zvolené technologii zpracování. Při volbě materiálu se musí zhodnotit funkční a zpracovatelské hledisko.

Hledisko funkční hodnotí:

- mechanickou pevnost (např. dlouhodobou, krátkodobou),
- elektrické vlastnosti (např. vodivost),
- chemickou odolnost (např. odolnost proti agresivnímu prostředí, ve kterém bude výrobkem pracovat),
- optické vlastnosti (např. transparentnost, barva, lesk).

Hledisko zpracovatelské hodnotí:

- tekutost: zásadně ovlivňuje tloušťku stěn při návrhu výrobku, koncepci zaformování, typ, umístění a velikost vtokového ústí, temperaci formy,

- smrštění: určuje výrobní přesnost výrobku, při návrhu musí být dutina formy o danou hodnotu smrštění zvětšena, aby po vychladnutí a smrštění byl výrobek v požadovaném tolerančním poli,
- citlivost na procesní podmínky: např. citlivost na lokální přehřátí taveniny. [1]

2 KONSTRUKCE VÝROBKU

Při navrhování plastového dílů se nemůže držet zásad, které platí pro navrhování dílu z kovu. Konstruktér nového dílu musí zvažovat, jaké děje budou probíhat během procesu vstřikování jak v oblasti přípravy materiálu, tak při samotném plnění dutiny formy. [1]

2.1 Konstrukční zásady při návrhu vstřikovaného výrobku

Při konstrukčním návrhu součástí z plastu se konstruktér musí řídit zásadami danými pro materiál budoucího výrobku (smrštění, pevnost, zatékavost ..). Pro realizaci plastových dílů jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by neměly být překročeny. Při překročení (např. ostrá hrana, skokový přechod v tloušťce stěny, velká tloušťka stěny) těchto mezí má za následek vznik defektů na finálním výrobku (propadliny, spálená místa ..). Všeobecně platí, že čím je jednodušší tvar a konstrukce, tím jsou pevnostní podmínky nového díly výhodnější, snadněji se dodržuje tolerovaných rozměrů a méně nákladná formy. [5]

2.1.1 Zkosení hran výrobků

Úkosy a podkosy jsou skolony stěn plastového dílu, které jsou kolmo k dělící rovině. Pomocí úkosů na výrobku se snižuje velikost vyhazovací síly, která odformovává díl z dutiny formy. Úkosy a podkosy se můžou dělit podle jejich umístění na výrobku na zkosení vnější a zkosení vnitřní. Podkosy se umisťují na formu tam, kde se potřebuje přidržet (např. vtokový zbytek) na pohyblivé straně formy. Tedy podkosy svým tvarem zabraňují snadnému odformování dílu. Velikost těchto zkosení ovlivňuje především použitý materiál (smrštění, elasticita polymeru), ale také i jakost povrchu tvarové dutiny formy (např.: při použití dezénu na výrobku se musí zvolit větší úhel zkosení). S ohledem na tyto faktory se pak volí jejich velikost dle *Tab. 1.* [1]

Tab. 1. Velikost úkosů [10]

Úkosy pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30´ - 2°
Vnitřní plochy	30´ - 3°
Otvory do hloubky 2D	30´ - 1°
Hluboké otvory	1°-10°
Žebra, nálitky	1°-10°
Výstupky	2°-10°

Hodnota úkosů u termoplastů je větší na vnitřní straně výrobku, protože u termoplastu dochází ke smrštění na vystouplé tvary duriny formy (jádra, tvárníky, trny). Při ochlazování taveniny z termoplastu dochází k objemovým změnám a následnému smrštění. Toto smrštění může částečně eliminovat, pokud jsou správně navrženy tloušťky stěn výrobku, zařazením dotlaku do vstřikovacího cyklu. [3]

U reaktoplastů je situace úplně jiná. V okamžiku vyhazování neexistují smršťující síly, protože smršťující síly vzniklé v konečné fázi síťovací reakce jsou vyrovnány zvýšenou teplotou formy. Proto se u výrobků z reaktoplastů umisťují větší úkosy na vnější strany. [5]

2.1.2 Zaoblení rohů, koutů a hran

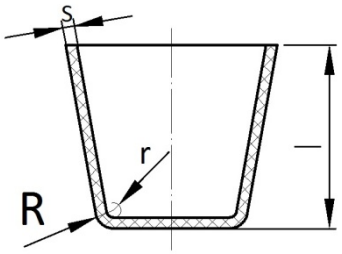
Většina polymerů je citlivá na ostré rohy a vruby. Ostrým rohům by se mělo při konstrukci výrobku vyhnout. Vnitřní ostrý roh působí ve výrobku jako koncentrátor napětí při namáhání. Jakákoliv změna průřezu způsobí zvýšení napětí. Vnitřní poloměr zaoblení by měl být minimálně 50% tloušťky hlavní stěny. [6, 10]

Zaoblení hran, rohů a koutů se usnadní tok taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebení formy, protože přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. Rázová houževnatost součásti se tím zvýší až o 50%. [1, 15]

Rozdíl mezi vnitřním poloměrem r a vnějším poloměrem R je tloušťka stěny s.

Tab. 2. Zaoblení hran a rohů [10]

Minimální poloměr			**Doporučený poloměr**		
Plast	r	R		l	r
Plněné PA , PC	1,5	r + s		>50	1,6
				50-100	2,5
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r + s		100-150	4
				150-200	5
				200-250	6
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, ABS, SAN	0,5	r + s		250-300	8
				300-400	12
				400-500	20

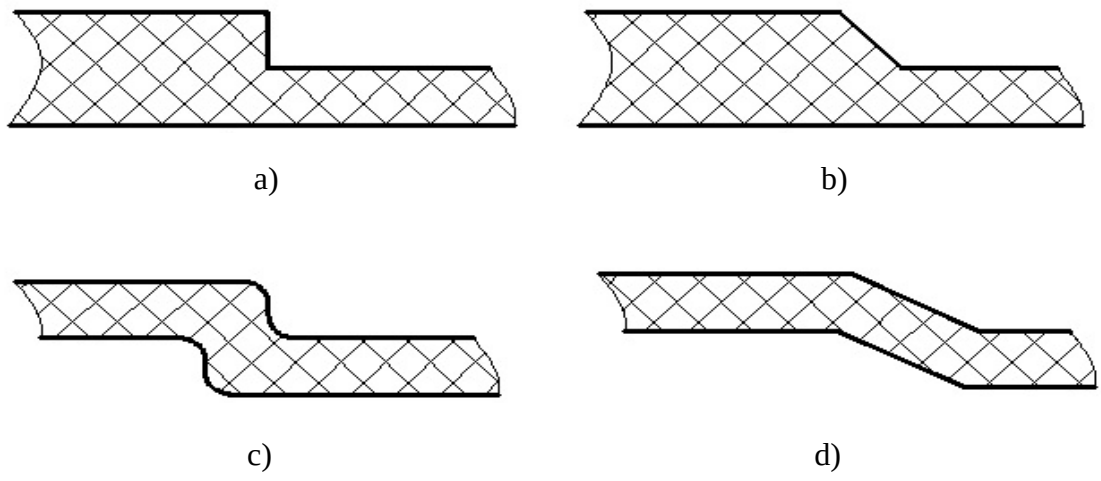


2.1.3 Vhodná tloušťka stěny a její přechod

Tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční – tzn. pevnost, tuhost. Tuhost je spolu s pevností závislá na volbě materiálu, na tloušťce stěny, respektive tvaru namáhaného profilu, popřípadě typu použitého plniva. Obvyklé tloušťky stěn u výrobků z termoplastů bývají podle velikosti dílů kolem 5 mm. U tlouštěk větších než 5 mm mohou vlivem smrštění vznikat vady (vtaženiny a lunkry). Tyto vady mohou být eliminovány použitím dotlaku. Tam, kde nám to výrobek dovolí se může použít speciální metody vstřikování s podporou plynu (GIT) nebo tlakovou vodou (WIT). Těmito technologiemi vznikají velké a duté výrobky. [5, 15]

Zásady správné konstrukce tloušťky stěn:

- pokud je to možné použití jednotné tloušťky stěny,
- vyhnout se náhlým a ostrým přechodům v tloušťkách stěn,
- pokud se nevyhne použití tlustých stěn je vhodné použít vylehčení, nejlépe na opačné straně stěny. [1, 10]



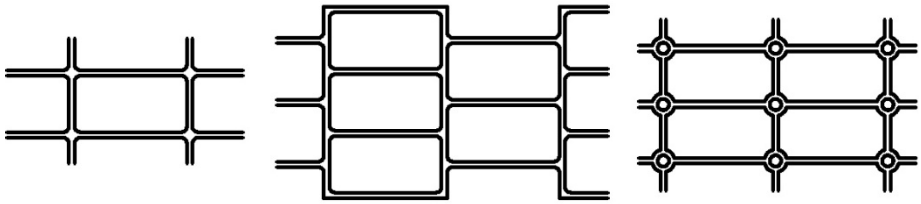
Obr. 11. Příklady přechodů tloušťky stěn a) nevhodné, b) lepší, c,d) vhodné [6]

2.1.4 Použití žeber a rýhování na výrobku

Žebra se dělí na dva druhy, které se používají na vstřikovaných dílech. Žebra, které zabezpečují pevnost a tuhost součásti tzv. technická žebra. Žebra, které umožňují optimální plnění dutiny formy, nebo brání předpokládanému vzniku vad na výrobku nebo zabraňují zborcení stěny výrobku, jsou tzv. technologická žebra. Žebra jsou v první řadě použitá k tomu, aby zvýšila tuhost specifické oblasti na výrobku. [1]

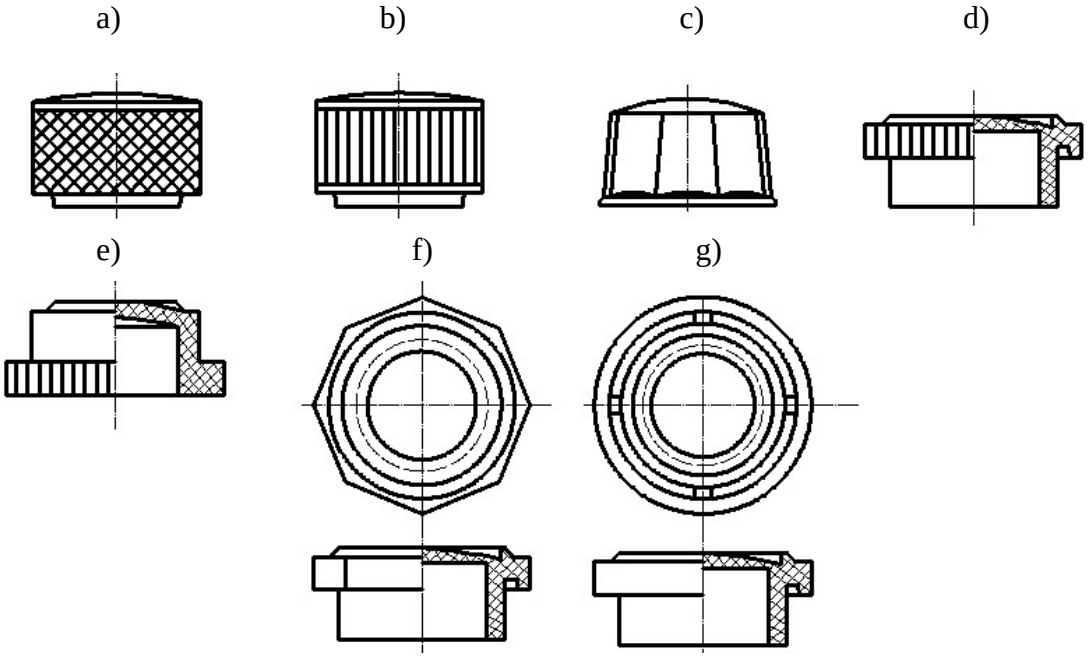
Přesná konstrukce a velikost žeber je silně závislá na zpracovávaném materiálu. Zásady správné konstrukce žeber:

- maximální tloušťka žebra by měla být 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny,
- základna žebry by měla být zaoblena, velikost zaoblení by mělo být 0,25 násobek tloušťky hlavní stěny,
- výška žebra by měla být 2,5 až 5 násobek tloušťky hlavní stěny. [6, 9]



Obr. 12. Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [10]

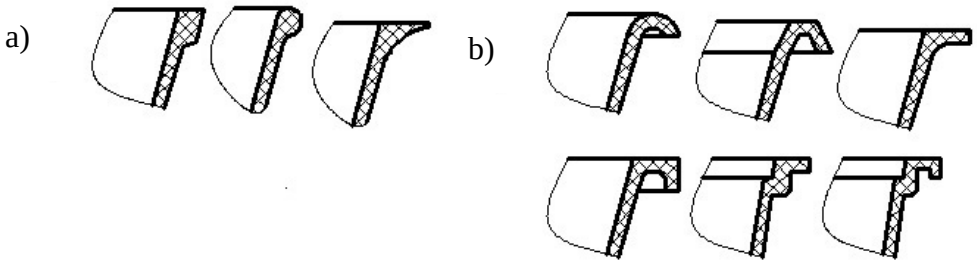
Rýhování se používá u různých držáků a ovládacích prvků, které má za úkol usnadnit manipulaci s daným držákem. Rýhování má být lehce zaformovatelné. Křížové rýhování (Obr. 14a) činí při vyhazování velké potíže. Proto se používá podélného rýhování s různým osazením a kuželovými stěnami. [1]



Obr. 13. Příklady rýhování [10]

2.1.5 Použití okrajů a obrub

Okraje a obruby umístěné do dělící roviny se vyznačují malou tuhostí, proto se tato část výrobku často vyztužuje. Okraje a obruby zvyšují pevnost a tuhost tenkostěnných výrobků. [1]



Obr. 14. Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [10]

2.1.6 Zálisky, zástřiky, inserty z kovových materiálů

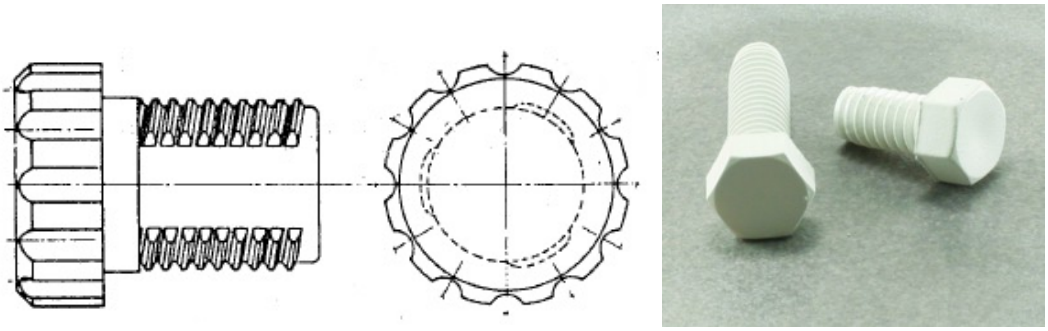
Zálisky z kovových materiálů zastříknuté v součásti, mají zpevnit, nebo zajistit její rozměrovou stabilitu, případně vyztužit a realizovat pevné spojení s ostatními díly. Zajišťují se proti otáčení a vytažení tvarovými zápichy různého provedení. Technologie zastříknutí zálisků má však některé nevýhody mezi které patří problémy s automatizací výroby, i zvyšující pracností. V plastu vzniká napětí z důvodu vyššího koeficientu teplotní roztažnosti plastu oproti kovovým dílcům, to vyvolává nebezpeční vzniku trhlin. Z toho důvodu musí být kolem zálisku dostatečná tloušťka stěny z plastu a také nesmí ležet blízko kraje. [1, 15]

Obr. 15. Příklad použití zástřiků [22]

2.1.7 Závity na plastových výrobcích

Závity na plastových dílech se vyznačují menší pevností. Není vhodné vyrábět ostré malé závity, které se obtížně zaformování. Proto se doporučuje vyrábět větší průměry se závity s větším stoupáním a oblého tvar, které jsou výrobně i pevnostně vhodnější. [1]

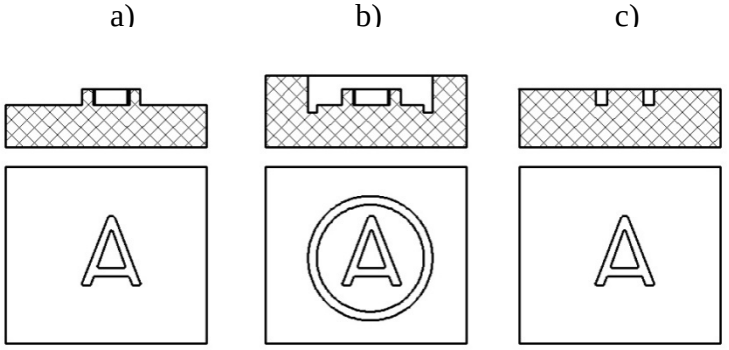
Tvarování vnějších závitů se provádí pomocí čelistí, závitových kroužků, rozpínacích trnů. Tvarování vnitřních závitů se provádí závitovými kolíky, závitovými trny s vytáčením, jádry s pohyblivými segmenty. Závity mají menší pevnost, malé průměry závitů a malá stoupání je vhodné vyřezat. Závit nesmí začínat na okraji výrobku. [5, 9]



Obr. 16. Plastový šroub [1, 23]

2.1.8 Nápisy a značky

Nápisy a značky se většinou zhotoví na výrobku při jeho výrobě. Nápisy a značky vystouplé jsou výrobně nejjednodušší, ale účelově nejméně vhodné Obr. 18a. Zapuštěné písmo je výrobně obtížné Obr. 18b. Kombinací prvních dvou možností docílíme nejvhodnějšího řešení, tedy vystouplé písmo v zahloubení tak, aby nepřesahovalo nad povrch Obr. 18c. Ve formě jsou tyto popisky realizovány vkládáním např.: tzv. datumovkami, které se vkládají do dutiny formy tak, aby je zaplnil plast a vznikl požadovaný popisek [1]



Obr. 17. Způsoby značení [10]

Obr. 18. Datumovka [33]

2.2 Dodatečné úpravy vstřikovaného výrobku

Vyrobený výstřik je charakterizován svými vlastnostmi, tvarem, rozměry a jakostí ploch. Charakter výrobků vyráběných technologií vstřikování je buď hotový výrobek nebo polotovar určený pro další operace. Ne vždy musí být splněny všechny složky v požadovaném tolerančním poli. Potom je třeba výstřik opravit nebo dokončit. [1]

Příklady dodatečných úprav:

- obrábění – nedodržení rozměrů, zvýšená přesnost výrobku, boční otvory, vyřezávání malých závitů,
- barvení, potisk – barva plastu je dána použitým materiálem popř. přidaným pigmentem, pokud se vyžaduje jiná barevná , nebo speciální úprava , je třeba tuto operaci provést již na hotovém výrobku,
- montáž - kompletace sestavy z plastových i neplastových dílů,
- svařování, lepení - svařování jednotlivých dílů vyrobených z termoplastu, poté následuje zkouška kvality sváru,
- temperování – tepelné zpracování pro zlepšení vlastností, nebo stabilizaci rozměrů. Provádí se za zvýšené teploty 30 - 40°C,
- kondiciování – tepelné zpracování silně navlhávajících plastů ve vodě. Dochází ke zvýšení houževnatosti a ustálení rozměrů. Používá se i jako přípravná operace pro polymerní vzorky, které budou podrobeny nějaké zkoušce. [1, 34]

2.3 Jakost vstřikovaného výrobku

Jakost povrchu výrobku je obrazem kvality povrchu dutiny formy. Z toho vyplývá, že čím lépe bude vyrobená drtina formy, tím lepší bude jakost výrobku. [1]

Z hlediska volby druhu zpracovávaného plastu má na jakost výstřiku vliv:

- plastikační rychlost, která by měla být co nejkratší, aby nedocházelo k degradaci polymeru již v plastikační jednotce,
- viskozita plastu, která má být vhodně docílena pomocí procesních parametrů a nesmí se měnit s teplotou příliš rychle,
- dostatečná tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot, která měla být co nejširší,

- uvolňování těkavých látek, takové polymery je nutné před vlastním zpracováním vysušit,
- velikost vnitřního pnutí, které má být co nejnižší, aby nedocházelo k dodatečným deformacím nebo poškození výrobku,
- smrštění plastu v jednotlivých směrech na výrobku. [38]

Z hlediska technologických parametrů má největší vliv:

- vstřikovací tlak – ovlivňuje plnění formy, uzavírací sílu, vnitřní pnutí v materiálu, smrštění atd.,
- teplota taveniny – ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smrštění, dotlak, vnitřní pnutí atd.,
- teplota formy – ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, teplotu taveniny, vnitřní pnutí atd.,
- rychlost plnění dutiny formy – má být co nejrychlejší, ale nesmí docházet k lokálnímu přehřívání materiálu, který by následně znehodnotil celý výrobek,
- hodnota a doba trvání dotlaku – ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, eliminuje vznik propadlin a lunkrů. [38]

2.3.1 Smrštění výrobku

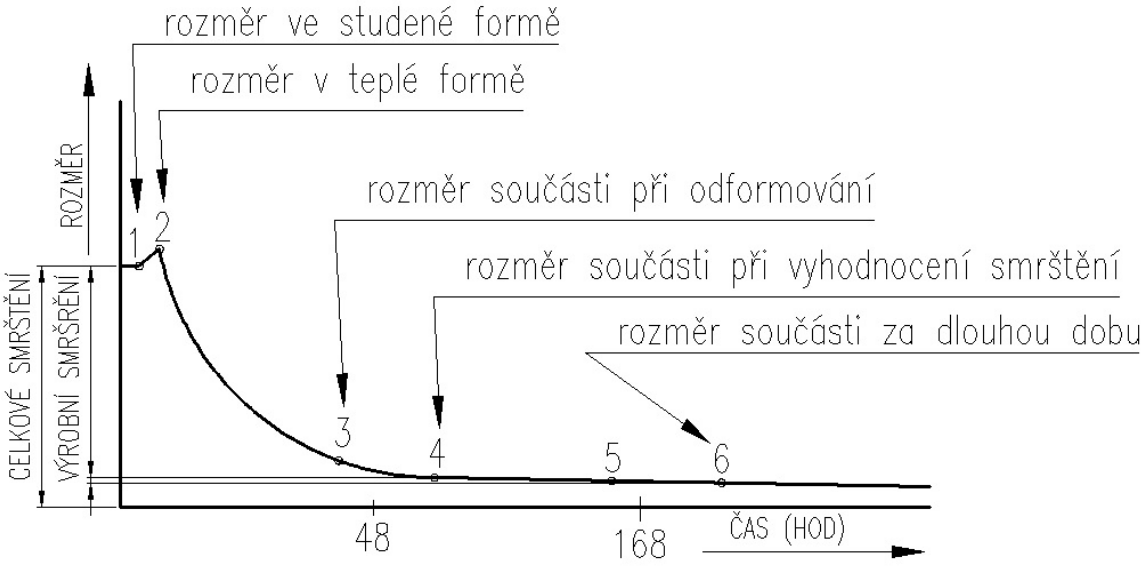
Smrštění plastových výrobků je pravděpodobně dominantním základním problémem spojeným s úspěšnou konstrukcí vstřikovaného výrobku a jeho formy. Smrštění je objemová změna vyvolána fyzikálními nebo chemickými ději. Smrštění je vyvoláno tahovým napětím mezi povrchovou již ztuhlou vrstvou a stále ještě tekutým jádrem výrobku. V průběhu vstřikování se specifický objem taveniny polymerního materiálu, která je úplně roztavená, zmenší až o 35% oproti specifickému objemu výrobku, jež je celý ztuhlý.[4, 12]

Smrštění se dělí na výrobní smrštění a dodatečné. 90 % celkového smrštění je výrobní smrštění výrobku, dodatečné smrštění je 10 % celkového smrštění. [4]

Smrštění je ovlivňováno strukturou plastu charakterizovanou:

- orientací makromolekul,
- vnitřním pnutím,
- krystalinitou,

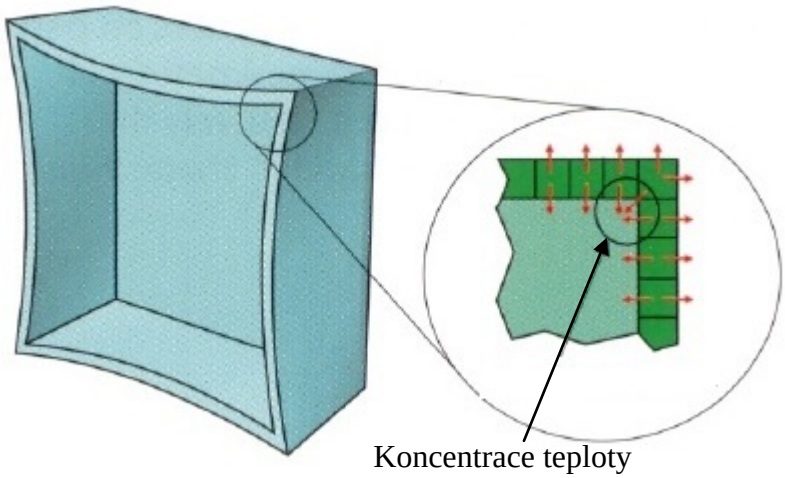
- stupněm zesíťování. [3]



Obr. 19. Průběh smrštění polymeru [24]

Smrštění výrobku jde spolu i s jeho deformací. Deformace je způsobena rozdílnou teplotou různých částí formy, kdy se díl deformuje za teplejší stranou formy. [12]

Obr. 20. Deformace dílu vlivem rozdílené teploty formy [12]

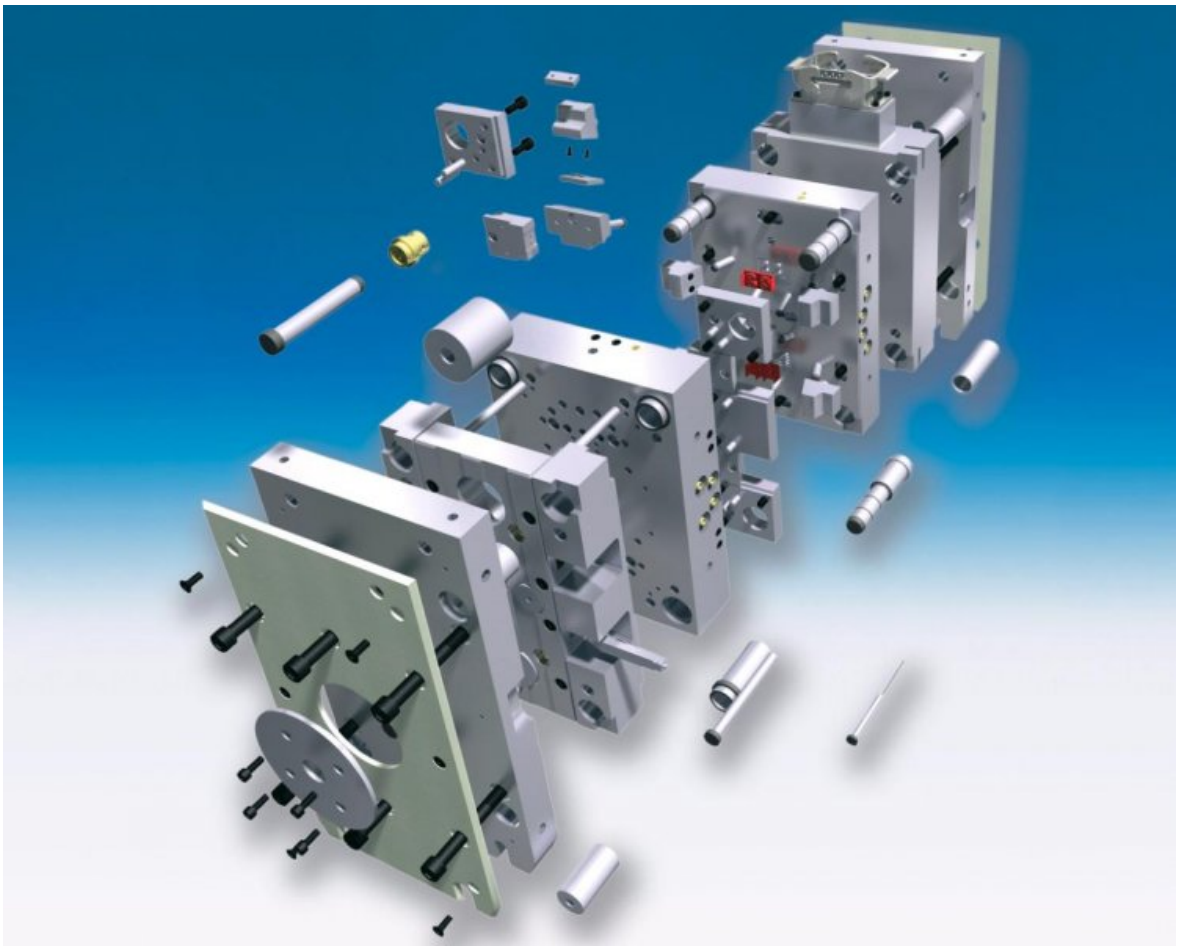


Obr. 21. Deformace dílu [12]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástrojem v technologii vstřikování. Její dutina odpovídá tvarově i rozměrově budoucímu výrobku. Její hlavní účel je zafixovat taveninu do požadovaného tvaru a ochladit ji na vyhazovací teplotu. Vstřikovací forma obsahuje tyto základní části:

- vtokový systém - skládá se z centrální vtokové vložky, rozvodných kanálů a vtokových ústí,
- vlastní tvarová dutina formy,
- temperační systém - slouží pro udržení konstantního teplotního pole,
- vyhazovací systém - složí k odformování výrobku z dutiny formy,
- upínací díly - slouží k vycentrování a upnutí formy do stroje. [18]



Obr. 22. Rozbor vstřikovací formy [35]

3.1 Konstrukce forem

Pro zvýšení produktivity se může použít vstřikovací formy s vícenásobnou dutinou, nejběžnější násobnosti dutin jsou 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, až 128. U vstřikovacích forem platí, že jakost povrchu výrobku je obrazem jakosti dutiny formy. Vstřikovací forma musí splňovat následující základní požadavky:

- musí mít dutiny, která se skládá z tvárníku a tvárnice, která zafixuje rozměry a tvar nového výrobku,
- musí obsahovat rozvodné kanály pro distribuci taveniny do dutiny,
- musí působit jako dobrý tepelný vodič, který bude rychle a rovnoměrně odvádět teplo přivedené taveninou,
- musí obsahovat mechanizmus pro odformování a vyhození výrobku,
- u vícenásobných forem bude dodrženo rovnoměrné plnění všech dutin, tzn. všechny dutiny budou naplněny ve stejný čas. [16]

3.1.1 Postup při navrhování konstrukce formy

Postup konstrukce formy by měl směřovat, pokud to výrobek a zvolená technologie dovoé, k co možné nejjednodušší konstrukci formy, která by byla snadno vyrobitelná. Konstrukce má následující postup:

- posouzení výkresové dokumentace vyráběné součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek,
- zvolení vhodného materiálu pro danou aplikace,
- určení dělící roviny výrobku a jeho způsob zaformování do formy s ohledem na vzhled a funkci,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému. Při navrhování tvarových dutin se můžou vyrábět pouze tvarové vložky. Tyto vložky jsou vyrobeny z nástrojové oceli. Výhodou této aplikace je, že se nemusí vyrábět celá deska s nástrojové oceli a při opravě se mění pouze porouchaná vložka nikoliv celá deska.

- stanovení koncepce vyhazovacího (zvolení tvaru vyhazovačů) a temperačního systému (volba temperačního média) i odvzdušnění dutiny formy (odvzdušnění se umisťuje v místech předpokládaného uzavíraní vzduchu),
- navržení rámu formy s ohledem na počet a rozmístění dutin,
- vhodné uspořádání, středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků,
- zkontrolování funkčních parametrů formy s ohledem na doporučený stroj- velikost plastikační jednotky vzhledem ke hmotnosti dílu, velikost uzavírací síly. [1]

3.1.2 Zaformování vstřikovaného dílu

Zaformování výrobku se rozumí vhodné umístění tvarové dutiny ve formě (volba dělících rovin), aby bylo možné výstřik odformovat pomocí různých konstrukčních prvků vyhazovacího systému (posuvných čelistí, válcových vyhazovačů, stírajících desek apod.). Vhodné zaformování výrobku umožňuje ekonomickou výrobu daného dílu, nejlépe v plně automatickém režimu. Vhodná volba hlavní dělící roviny náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce forem. [5]

Konstrukční podmínky pro návrh dělící roviny:

- umožnění snadného vyjímání výstřiku z formy,
- volit dělící rovinu co nejpravidelnějšího tvaru (nejlépe rovná), což vede k jednoduché výrobě a slícování dělící roviny,
- dělící rovina musí být vyrobena tak, aby zanechávala na výrobku co nejmenší stopu,
- jestli konstrukce výrobku vyžaduje větší počet dělících rovin je nutné volit jejich co nejmenší počet. [1]

3.1.3 Násobnost formy

Výroba vstřikovací formy je finančně náročná činnost, proto je výhodné vyrábět vícenásobné vstřikovací formy. Pro tvarově přesné a velké výrobky se vyrábí formy jako jednonásobné. U výroby rozměrově přesných výrobků ve vícenásobné formě by docházelo k zavádění dalších chyb např.: každá dutina byla vyrobena s jinou nepřesností, nerovnoměrné teplotní pole, jiná délka dráhy toku taveniny.

Volbu násobnosti vstřikovací formy ovlivňují:

- přesnost, složitost a charakteru vyráběného výrobku,
- velikosti a kapacitě dostupného vstřikovacího stroje,
- velikost vyráběné série a její termín dodání zákazníkovi,
- ekonomiky výroby. [1, 24]

3.1.4 Materiály částí vstřikovací forem

Vstřikovací formy jsou určeny pro výrobku velkých sérií výrobků, proto musí materiály použité pro výrobu forem splňovat určité požadavky. Materiál forem musí odolávat slám, tlaků a změnám teploty, které vyvine pracovní cyklus. Všechny části formy nejsou vyrobeny z jednoho druhu materiálu. Materiály použité ve vstřikovacích formách:

- nástrojové oceli - tyto oceli jsou použity u tvarových částí formy, které jsou v kontaktu s roztaveným materiálem. Tento materiál musí být tepelně zpracován, aby odolával opotřebení,
- konstrukční oceli tepelné zpracované - vhodné pro části forem, které jsou v kontaktu s další částí formy (pouzdra, vodící čepy),
- konstrukční oceli bez tepelného zpracování - vhodné pro ostatní části formy, které nejsou v kontaktu s taveninou nebo to nejsou posuvné prvky (kotevní, rozpěrné a opěrné desky). [17, 6]

3.2 Vtokový systém

Vtokový systém je umístěn v pevné části vstřikovací formy. Slouží k rozvodu roztaveného materiálu z plastikační jednotky do všech tvarových dutin. Tok materiálu musí být rovnoměrný do všech dutin, musí být jednoduše odformovatelný. Při navrhování vtokového systému je nutné minimalizovat rozměry vtokových systémů. Vtokový systém musí zaručit naplnění dutiny formy v co možná nejkratším čase ke všem dutinám formy. Obecná podmínka vtokových systémů je, že délka toku taveniny musí být co nejkratší. Vtokové systémy se dělí na základní typy:

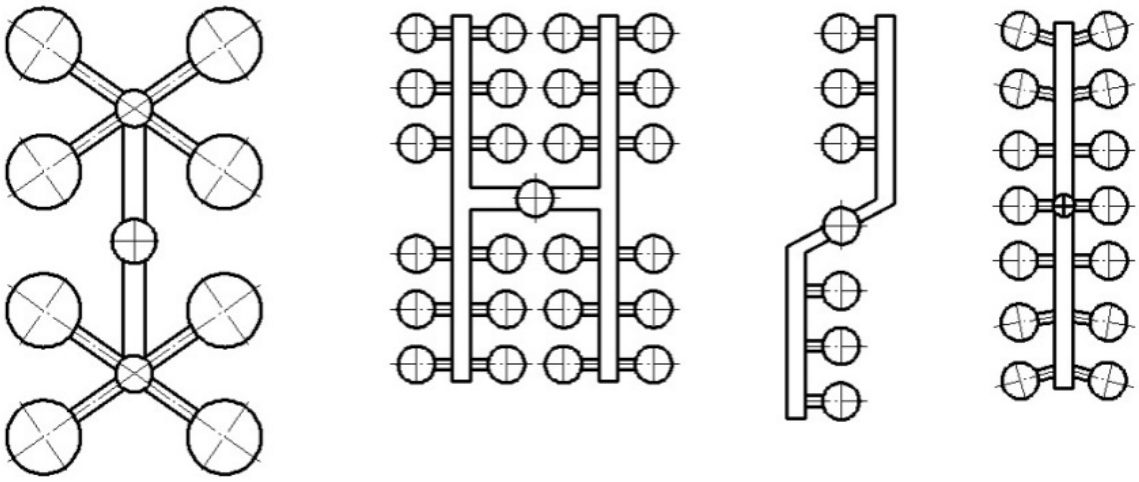
- studený rozvodný systém (SVS),
- vyhřívaný rozvodný systém (VVS),
- hybridní rozvodný systém - kombinace SVS a VVS. [18]

3.3 SVS - Studený vtokový systém

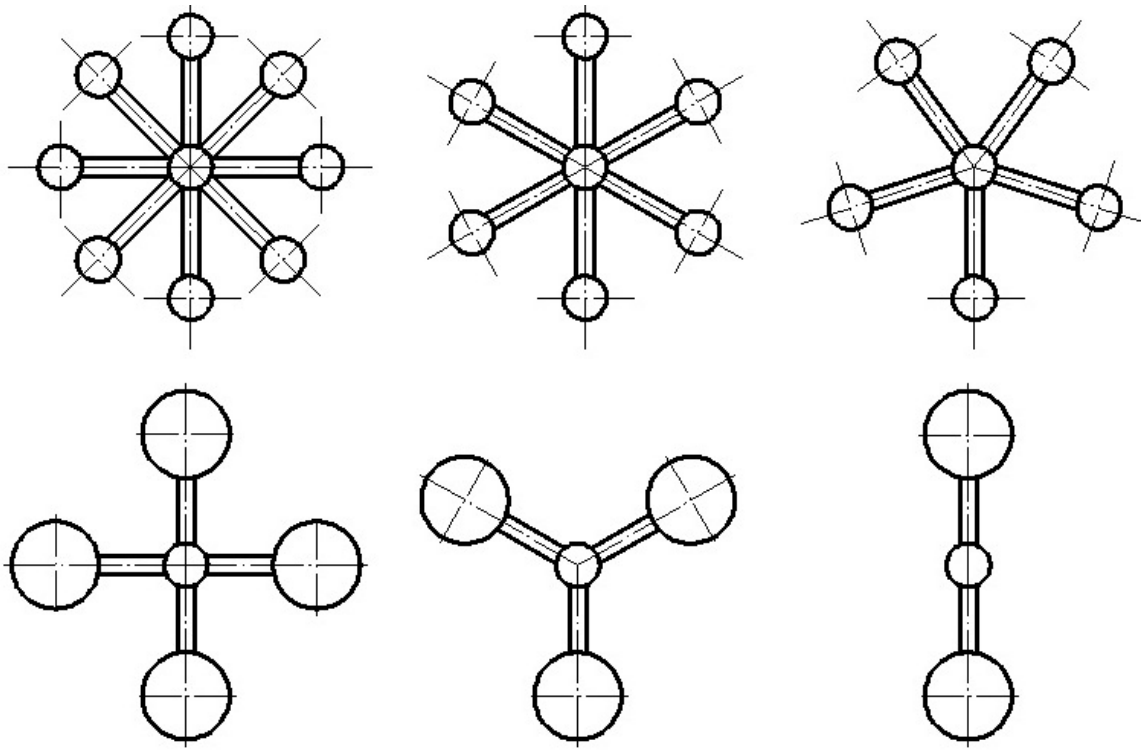
Funkce vtokového systému je vedení taveniny až do dutiny formy. Studený vtokový systém je možné použít při vstřikování termoplastů, reaktoplastů i elastomerů. Plnění dutiny tímto typem vtokového systému je relativně pomalé a tavenina začíná chladnout už při průchodu vtokovým systémem. Tavenina se vstřikuje poměrně vysokou rychlostí do chladnější formy. Při průchodu taveniny SVS se snižuje její teplota a tím roste viskozita. Nevýhodou toho systému je nutná manipulace, zpracování a případná recyklace vtokového systému. U vícenásobné formy je nutné vybalancování vtokového systému, aby byly zaručeny podmínky rovnoměrného plnění všech dutin formy. Balancování se může vyhnout při použití symetrického rozložení výrobků ve formě. [1, 12]

Typy uspořádání výrobků u vícenásobných forem:

- řadové uspořádání,
- symetrické uspořádání. [26]



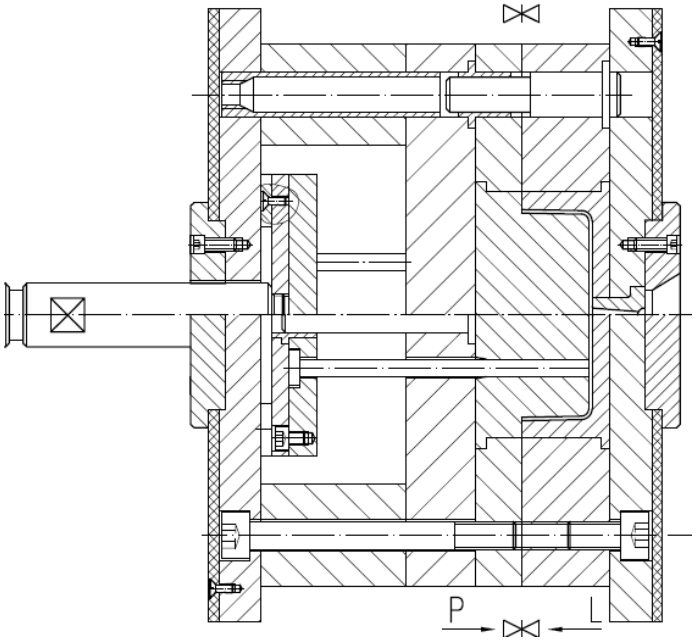
Obr. 23. Schéma řadového uspořádání výrobků *[26]*



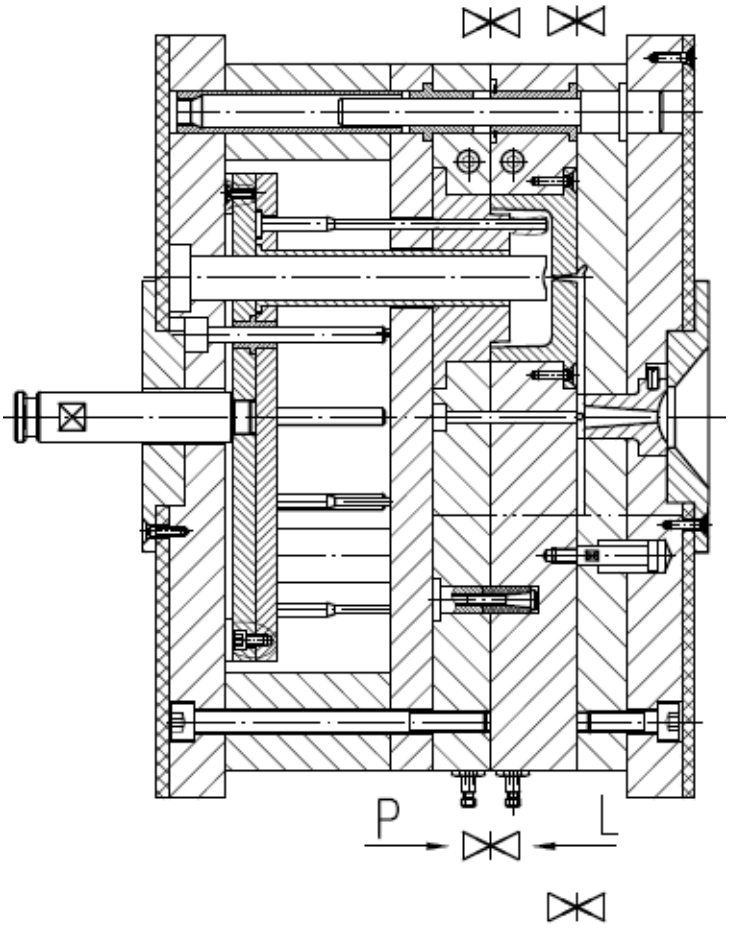
Obr. 24. Schéma symetrického uspořádání výrobků [26]

Studený vtokový systém se používá u forem:

- standardní forma:
  - nejběžnější typ formy,
  - jednoduchá konstrukce formy,
  - vhodné pro automatickou výrobu,
  - flexibilní umístění vtoku.
- tří deskový systém formy:
  - odstranění vtokového zbytku dochází již ve formě,
  - složitější konstrukce formy,
  - flexibilní umístění vtoku,
  - vyšší cena než u dvou deskového systému. [18]



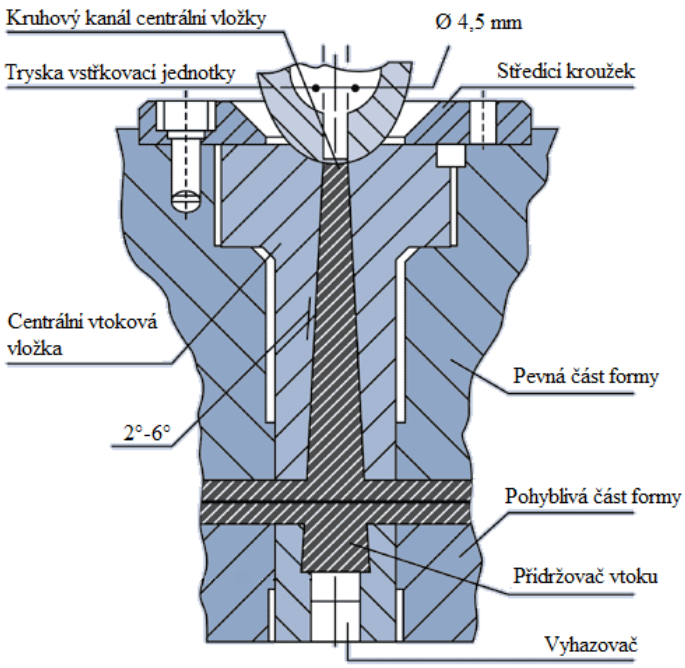
Obr. 25. Příklad standardní formy



Obr. 26. Příklad tří deskového systému formy

3.3.1 Centrální vtokový kanál

Nejobvyklejším je kuželový vtokový kanál, vytvořený uvnitř vtokové vložky. Ústí do rozvádějících kanálů, případně přímo do výstřiku. Vtoková vložka s vypracovaným vtokovým kanálem se vyrábí z nástrojové oceli a je tepelně zpracována (tvrdost kolem 58 HRC). Je velmi tepelně a mechanicky namáhána. Průměr vtokového kanálu trysky stroje je minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstřikovacího stroje. Na opačné straně největší průměr kanálu má být větší minimálně o 1,5 mm, než je největší tloušťka výstřiku. Je leštěný, s drsností Ra 0,1 s minimální úkosem 1,5°. [1]

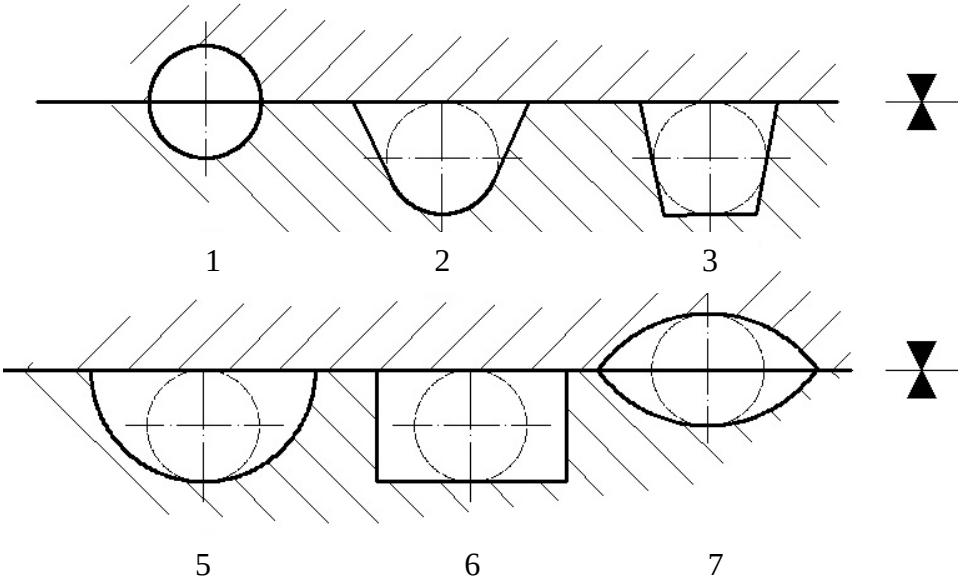


Obr. 27. Centrální vtoková vložka

3.3.2 Rozváděcí kanál

Rozváděcí kanály spojují kruhový kanál centrální vtokové vložky s ústím vtoku a dutinou vstřikovací formy. Jedná se o nejdelší část vtokového systému. Jejich délka je dána násobností formy a rozložením dílů v dělící rovině. Nejběžnější průřezy rozváděcího kanálu jsou kruhové, nebo lichoběžníkové. Všeobecně platí, že průměr rozváděcího (i vtokového) kanálu nemá překročit 1,54 násobek největší tloušťky stěny výstřiku. [1]

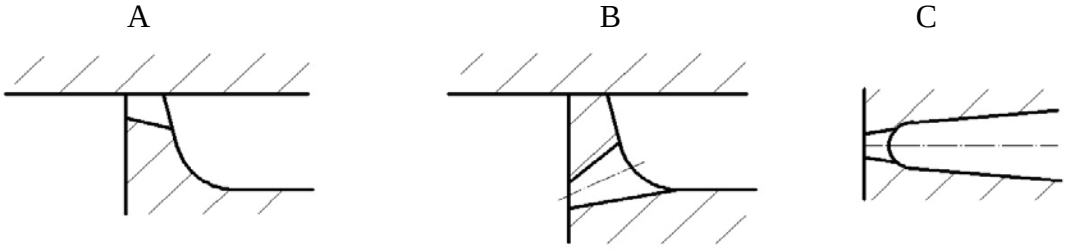
Na velikosti průřezu rozváděcího kanálu má vliv délka toku taveniny, viskozita materiálu, tloušťka a hmotnost výstřiku. [25]



Obr. 28. Typy průřezů rozváděcích kanálů, 1, 6 - výrobně nevýhodné ale nejvhodnější pro rozvod taveniny, 2, 3, 4, 5 - výrobně výhodné [10]

3.3.3 Vtokové ústí

Vtokové ústí spojuje rozváděcí kanál s dutinou vstřikovací formy. Ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Toto zúžení způsobuje zvýšení teploty taveniny, která se průchodem rozváděcího kanálu ochlazuje. Velikost vtokového ústí se volí co nejmenšího průřezu s ohledem na výstřik a použitý materiál. Vtokové ústí by mělo umožnit snadné začištění vtokového zbytku na výstřiku. Vtokové ústí musí spolehlivě naplnit dutinu formy materiálem. [1]

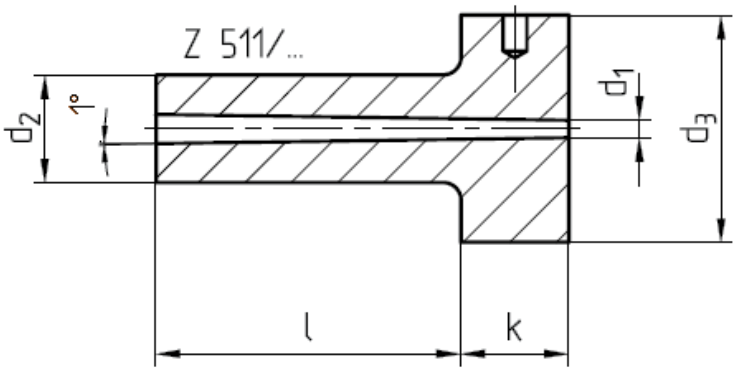


Obr. 29. Nejčastější vtoková ústí, A-boční ústí, B-tunelové ústí, C-bodové ústí [10]

Plný kuželový vtok

Přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokové ústí přímo k centrální vtokové vložky. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Plný kuželový vtok je vhodný především pro tlustostěnné a objemné výstřiky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtokové ústí tuhne ve formě jako

poslední. Jeho odstranění je pracné a zanechává stopy na výstřiku. Pro menší tloušťky stěn je vhodné konstruovat čočkovité zahloubení proti vtokovému ústí. [1]

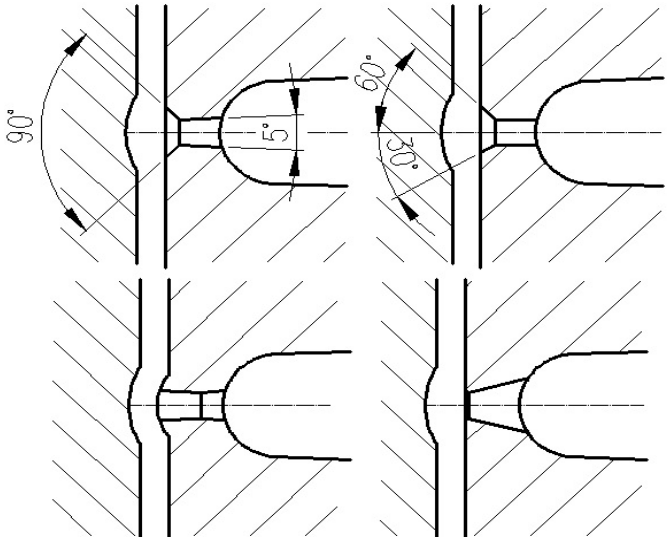


Obr. 30. Řez centrální vtokovou vložkou [35]

Bodový vtok

Je nejpoužívanější typ vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží v nebo mimo dělící rovinu. Může vycházet přímo z rozváděcích kanálů. U tohoto typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí od výrobku a teprve potom k otevření formy v dělící rovině tvarové dutiny. Při použití bodového vtoku odpadá operace odstranění vtokového ústí mimo formu. [1]

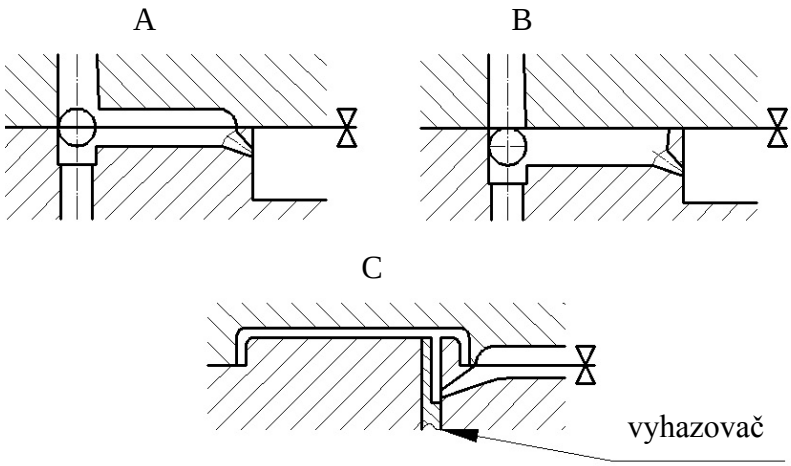
Průměr ústí bodového vtoku nejčastěji 1 mm, vhodný pro tenkostěnné výrobky. Směrem k výrobku je vtok kuželovitě rozšířen. [25]



Obr. 31. Typy zakončení bodového vtoku [10]

Tunelový vtok

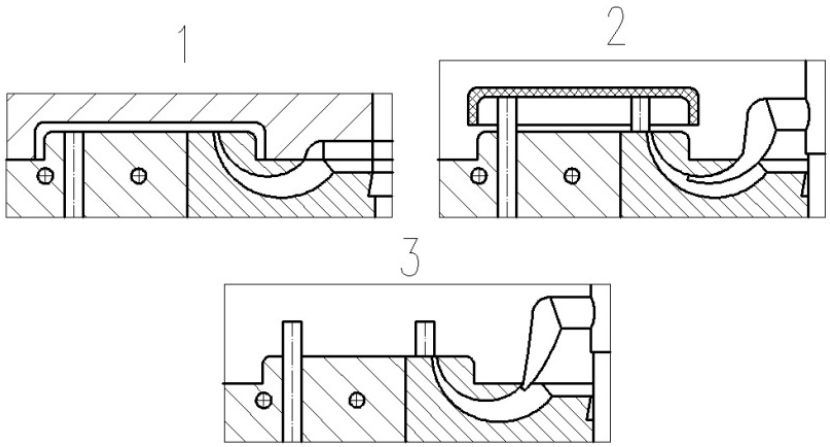
Je zvláštním případem bodového vtoku, u kterého se vtokový zbytek odděluje ve formě bez nutnosti konstrukce výrobně náročnějšího třídeskového systému. Nutností pro dobrou funkci tunelového vtoku je existence ostrých hran pro oddělení vtokového zbytku od výrobku. Oddělení vtokového zbytku od výrobku se provádí při otevírání formy nebo při vyhazování výrobku. Umístění tunelového vtoku je nejběžněji do vyhazovací (pohyblivé) části formy. [1]



Obr. 32. Tunelový vtok, A-rozváděcí kanál v obou polorovinách, B-rozváděcí kanál v jedné polorovině, C-zaústění o nálitku [10]

Srpkovitý (banánový) vtok

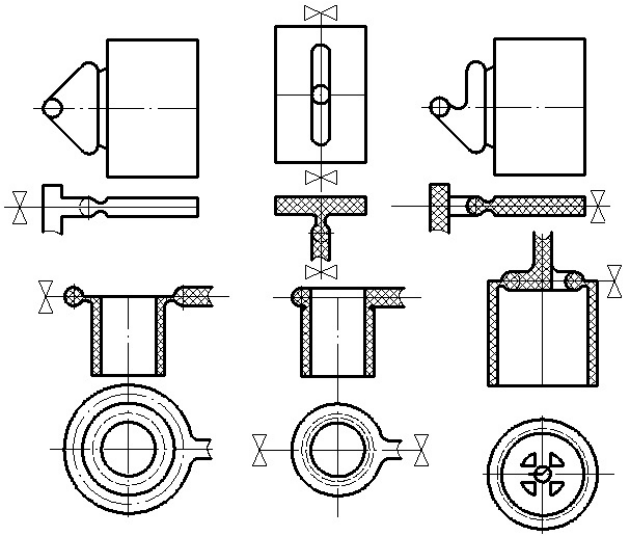
Speciálním případem tunelového vtoku je sprkovitý vtok (banánový vtok). Používá se v případech, kdy stopa po vtoku nesmí působit rušivě na pohledové části výrobku. Odstranění vtokového zbytku není zajištěna ostrou hranou ale tvarem vtokového ústí. Křehké materiály nejsou vhodné pro tento typ vtokového ústí. Při odstraňování by mohl popraskat a ucpat vtokové ústí. [1]



Obr. 33. Funkce srpkovitého vtoku *[10]*

Filmový vtok

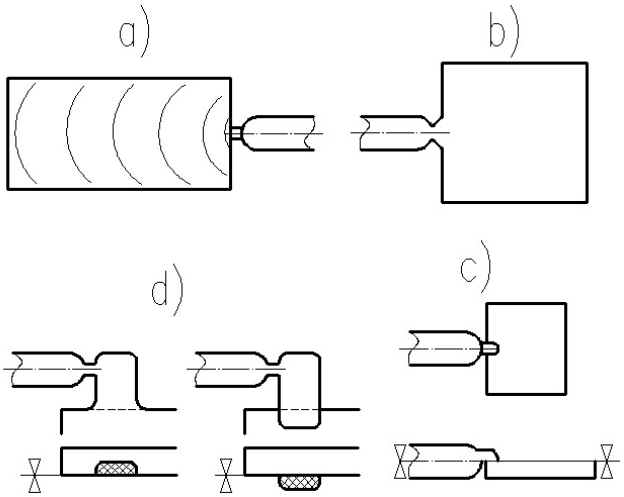
Filmový vtok se používá pro plnění kruhových a trubicových výrobků s vyššími požadavky na kvalitu výstřiku. Rozvádění taveniny do vtokového ústí není rovnoměrné. Rovnoměrné rozvádění taveniny se zajišťuje proměnnou tloušťkou rozváděcího kanálu. Vzhledem k obtížím s odřezáváním vtokového zbytku se volí minimální tloušťka vtokového ústí 0,3 - 0,5 mm. [1]



Obr. 34. Uspořádání filmového vtoku [10]

Boční vtok

Boční vtok je nejpoužívanější typ vtokového ústí obvykle obdélníkového průřezu. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průřezu. [1]



Obr. 35. Boční vtok, a) typický boční vtok, b) vějířový vtok, c) boční vtok s překryvem, d) nepřímý boční vtok [10]

3.4 Vyhřívaný vtokový systém (VVS)

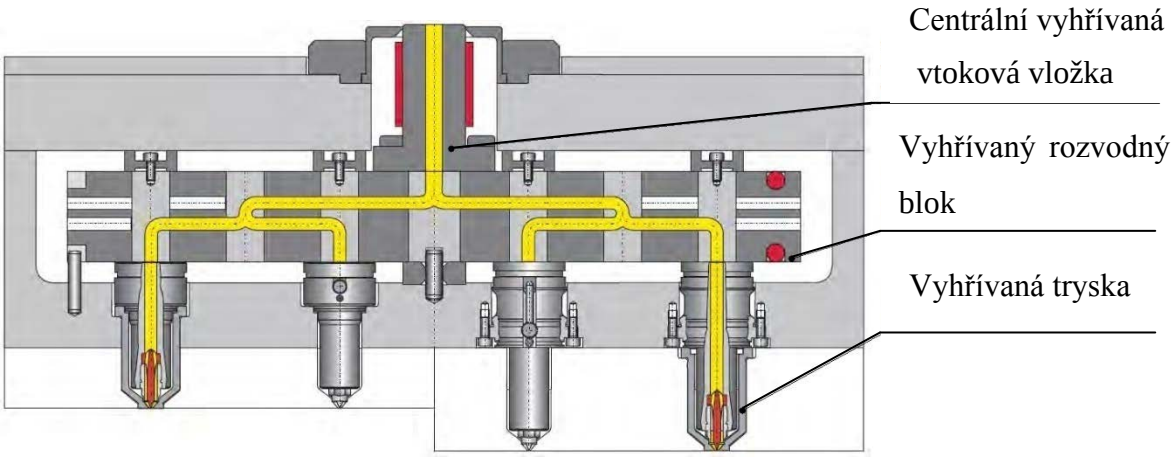
Vyhřívaný vtokový systém slouží ke spojení plastikační komory a tvarové dutiny formy, kdy celou tokovou dráhu je plast roztavený. Roztavený plast je veden přímo do dutiny formy, nebo je rozveden do více dutin formy. Vyhřívaný vtokový systém se skládá z vyhřívané centrální vložky, vyhřívaného bloku a trysek. Při použití vyhřívaného vtokového systému se mlže použít bodové ústí, ale i tak je možné pracovat s dotlakem. Při zpracovávání materiálů, které při otevírání formy táhnou vlákno, se používá tryska s uzavírací jehlou. [27]

Ekonomické výhody:

- úspora materiálu, odpadají vtokové zbytky a jejich následná recyklace,
- zkrácení pracovního cyklu,
- možnost použití menších vstřikovacích strojů,
- nižší náklady na dokončovací práce. [11]

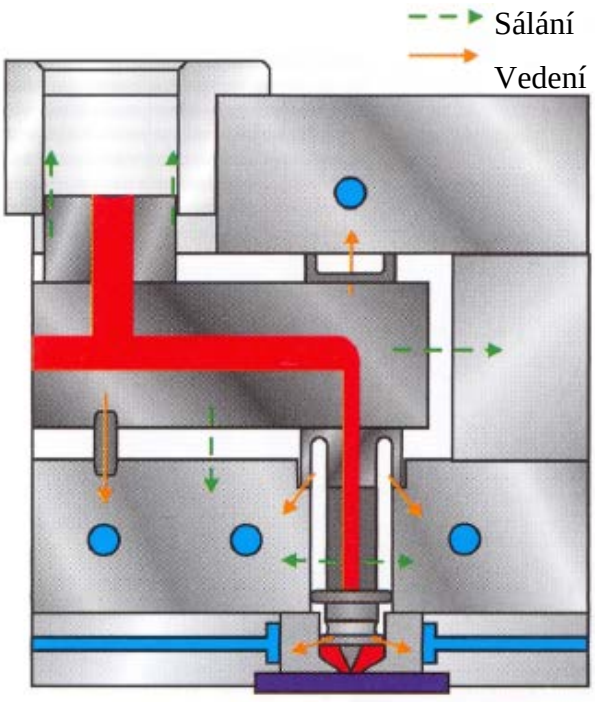
Nevýhody:

- vyšší energetická náročnost,
- použití pro tepelně odolnější materiály,
- vysoká cena komponent vtokového systému,
- technicky náročnější forma než při použití studeného vtokového systému. [11]



Obr. 36. Řez vyhřívaným vtokovým systémem [24]

Při použití vyhřívaného vtokového systému je důležití izolace vyhřívaných částí od ostatních dílů formy, aby nedocházelo k ohřívání formy. [12]



Obr. 37. Sdílení tepla z vyhřívaných částí vtokového systému do formy [12]

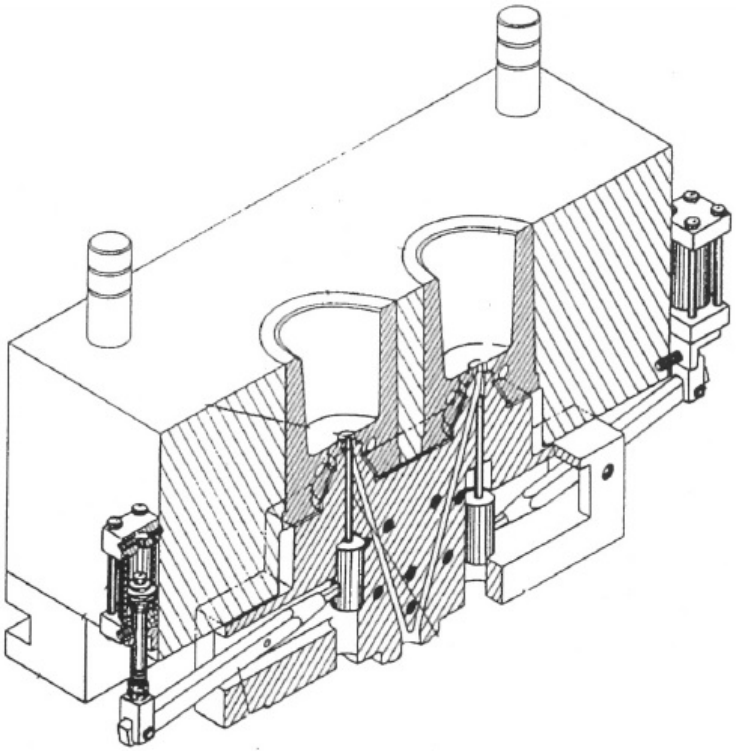
3.4.1 Vyhřívané trysky

Vyhřívané trysky slouží k propojení vyhřívaného bloku a dutiny formy. Tryska bývá vytápěna vlastním topným článkem s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Podle zpracovávaného materiálu se volí volně průtočné trysky nebo neuzavíratelné trysky. [1]

Vyhřívání trysek :

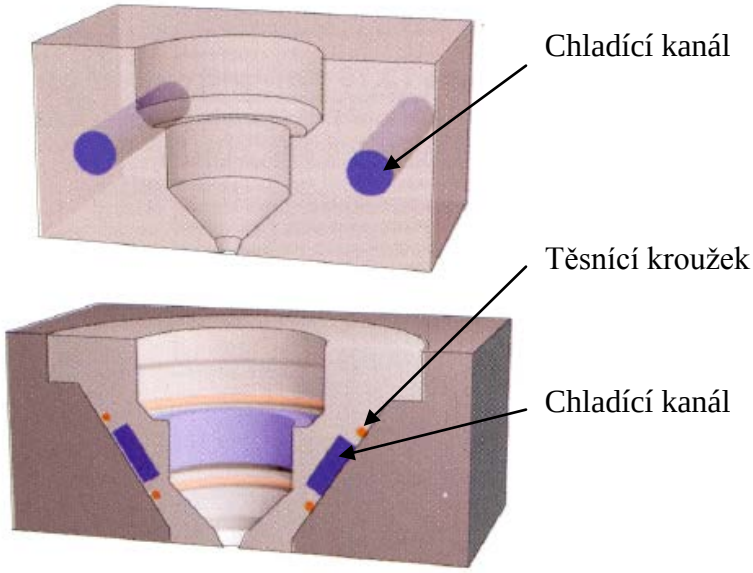
a) nepřímo vyhřívané trysky:
   - dotápěná tryska vlastním zdrojem tepla,
   - dotápěná tryska rozvodným blokem. [5]

b) přímo vyhřívané trysky:
   - s vnějším topením,
   - s vnitřním topením. [5]



Obr. 38. Řez vyhřívanými tryskami s pneumatickým ovládáním [12]

Vyhřívané trysky je nutné chladit kvůli vedení tepla z vyhřívaných trysek do dutiny formy, kde brání ztuhnutí materiálu. [12]



Obr. 39. Příklad chlazení vyhřívaných trysek vodou [12]

3.4.2 Vyhřívané rozvodné bloky

Vyhřívané rozvodné bloky slouží k rozvodu roztaveného polymeru do dutin vícenásobných forem. Podle rozložení dutin mají různé tvary. Vyhřívané rozvodné bloky jsou temperovány vlastním tepelným okruhem s regulací. Nejčastějším systémem je vyhřívání taveniny z vnějšku, pomocí topných hadů zalitých v mědi, nebo pomocí topných patron s vysokým povrchovým výkonem. [5]

Obr. 40. Příklad vyhřívaných rozvodných bloků od firmy HASCO [35]

3.5 Temperace forem

Temperace slouží k udržení konstantního teplotního pole formy. Cílem je dosáhnut optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování technologických podmínek pro výrobu jakostního výrobku. Teplota temperace je závislá na zpracovávaném materiálu.

Děje se tak ochlazováním u termoplastů, popřípadě vyhříváním celé formy u reaktoplastů. [2]

Temperační systém je nejčastěji soustava vrtaných kanálů a dutin jimiž proudí vhodné temperační médium. Temperační systém se dělí na:

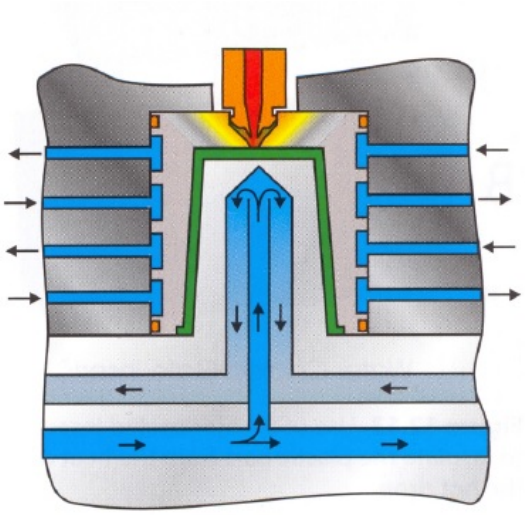
- standardní - kanály vyráběny konvenčními metodami (vrtání, elektroerozivní obrábění), které jsou doplněny o různé obtokové můstky,
- konformní - kanály jsou vyráběny speciálními metodami (sintrování), kdy se může tvar temperačních kanálů přizpůsobovat tvaru výrobku pro zvýšení efektivity odvodu tepla. [24]

3.5.1 Prostředky temperace

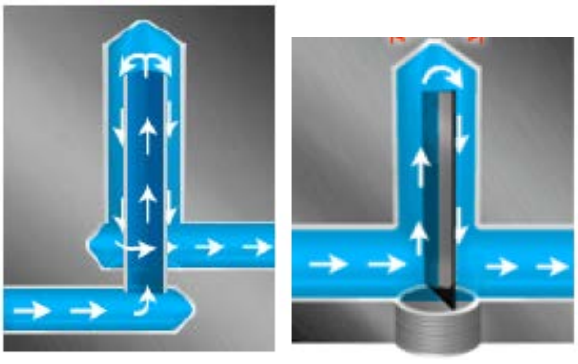
Temperační prostředky umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách.[2]

Rozdělení temperačních prostředků:

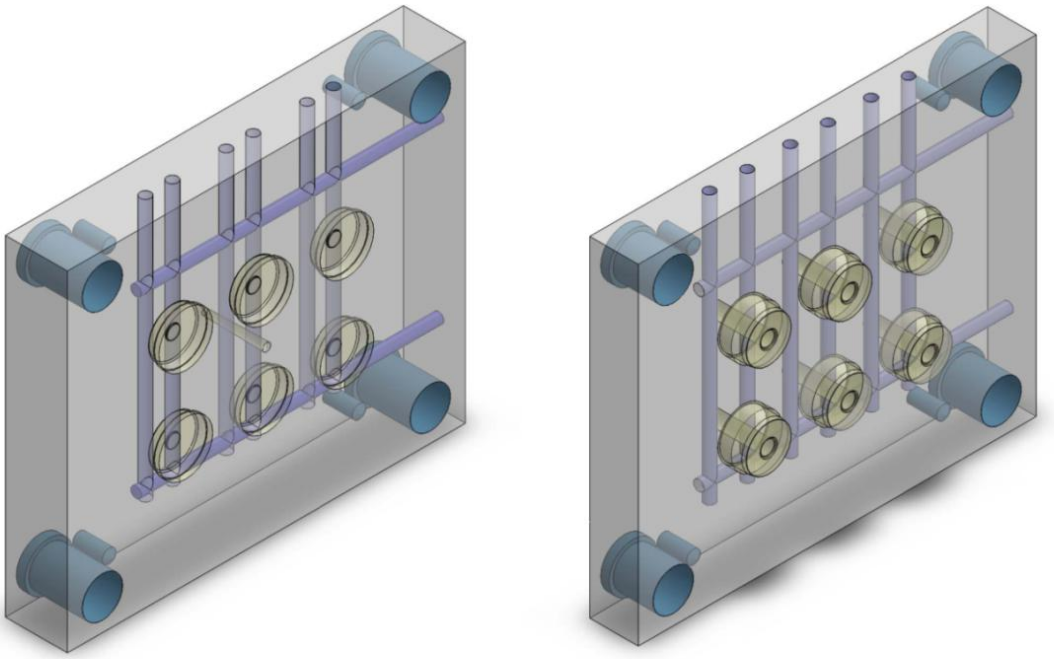
- aktivní: přivádí nebo odvádí teplo přímo z formy (proudící vzduch, kapaliny, topné elektrické články),
- pasivní: ovlivňují tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi (tepelné izolační a vodivé materiály, tepelná trubice, vzduch v okolí formy). [5]



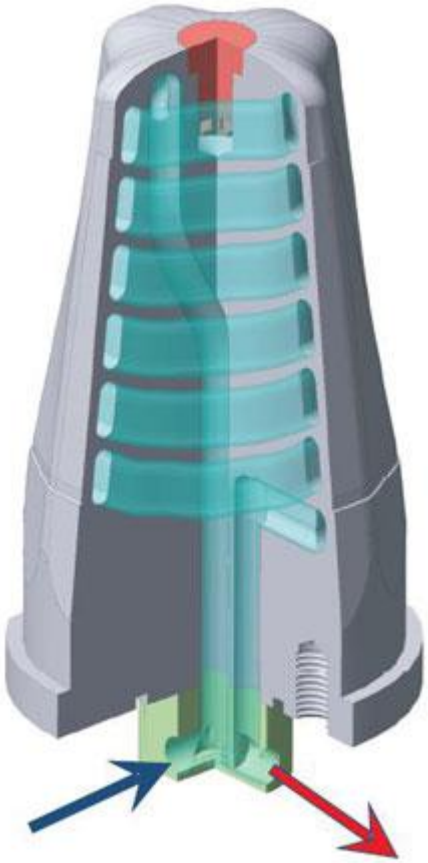
Obr. 41. Příklad chlazení dílu [12]



Obr. 42. Příklady obtokových můstků [11]



Obr. 43. Příklad standardních vrtaných kanálů [37]



Obr. 44. Příklad konformního chlazení [37]

3.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výrobku z dutiny formy. Výstřik se vyhazováním nesmí deformovat a vyhazovače nesmí poškodit povrch výrobku. Vyhazovače se umisťují na nepohledové strany a na místa, které vyhazovače nemůžou poškodit. Vyhazovací systém musí být zasunutý v původní poloze při zavírání formy, aby nedošlo k jejímu poškození. [1]

Rozdělení:

- mechanický vyhazovací systém,
- pneumatický vyhazovací systém,
- hydraulický vyhazovací systém.

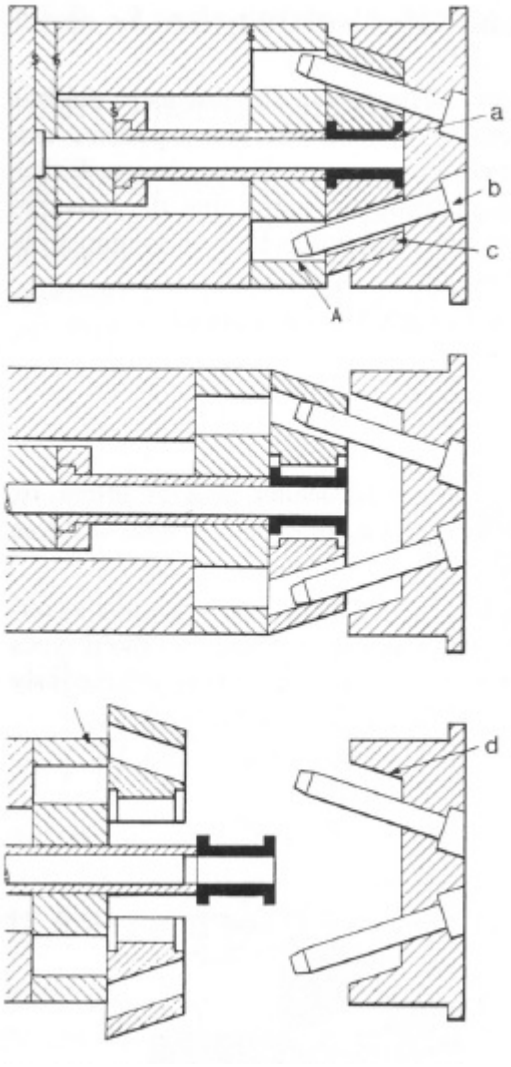
3.6.1 Mechanický vyhazovací systém

Mechanický systém vyhazování je nejpoužívanějším vyhazovacím systémem. Jeho konstrukce má různá provedení (vyhazovací kolíky různých typů, stírací desky, stírací kroužky, speciální vyhazování). Při konstrukci formy se používá kombinace jednotlivých provedení. [2]

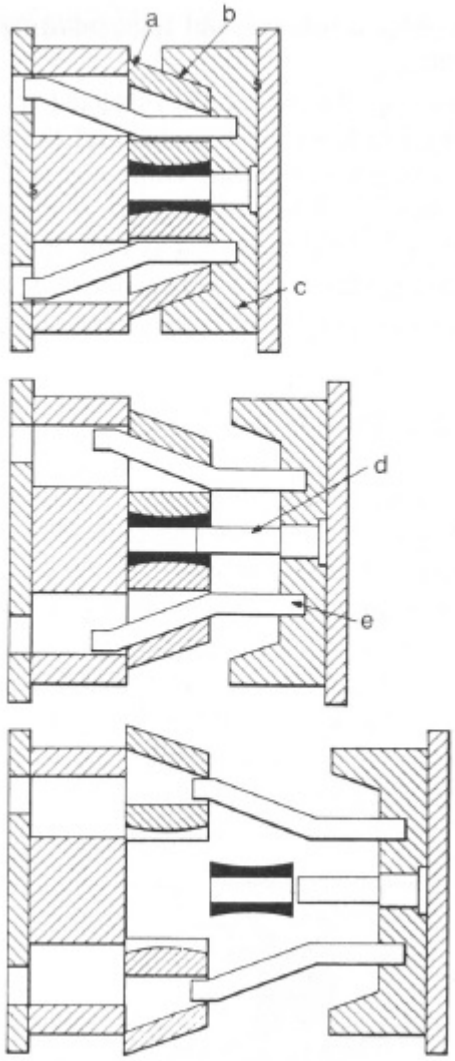
Pro mechanický vyhazovací systém se používají normalizované vyhazovače:

- válcové vyhazovače - nejčastěji používané vyhazovače, [24]
- prizmatické vyhazovače - vyhazovače s odstupňovaný průřezem, používá se pro dlouhé vyhazovače, [2]
- trubkové vyhazovače - trubkový vyhazovač je speciálním případem stírací desky, který se skládá z pevného jádra a pohyblivého pouzdra. [28]

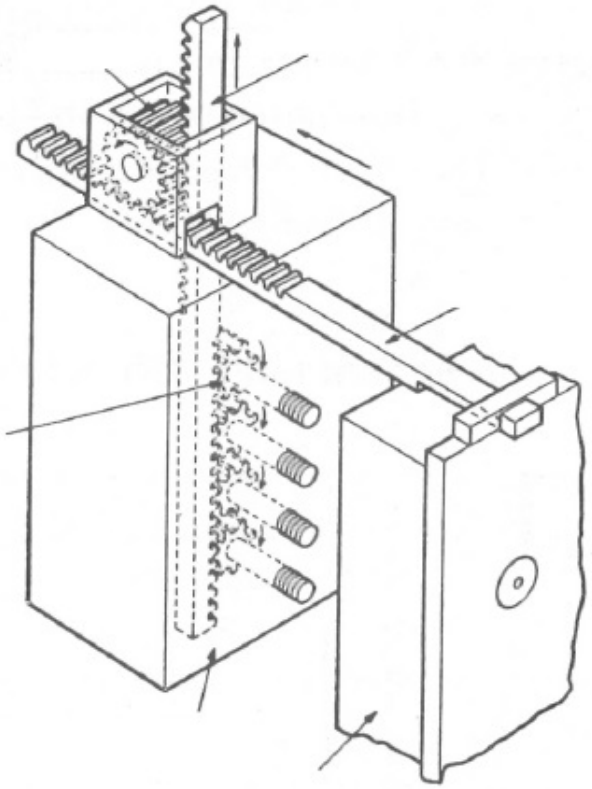
Při výrobě složitějších dílů, kdy je zapotřebí odformování tvarových částí nebo otvorů, které jsou kolmo na hlavní dělící rovinu, se používá bočních posuvných jader. Pro vyvození odformovací síly se využívá šikmých nebo lomených čepů. Lomené čepy se používají v případech, kdy je nutno odformovávat s časovým posunem. Při výrobě dílů se závitem se používá vytáčecí jádro. Pro odformování závitového jádra se využívá převod ozubenými koly nebo ozubený hřeben. [11]



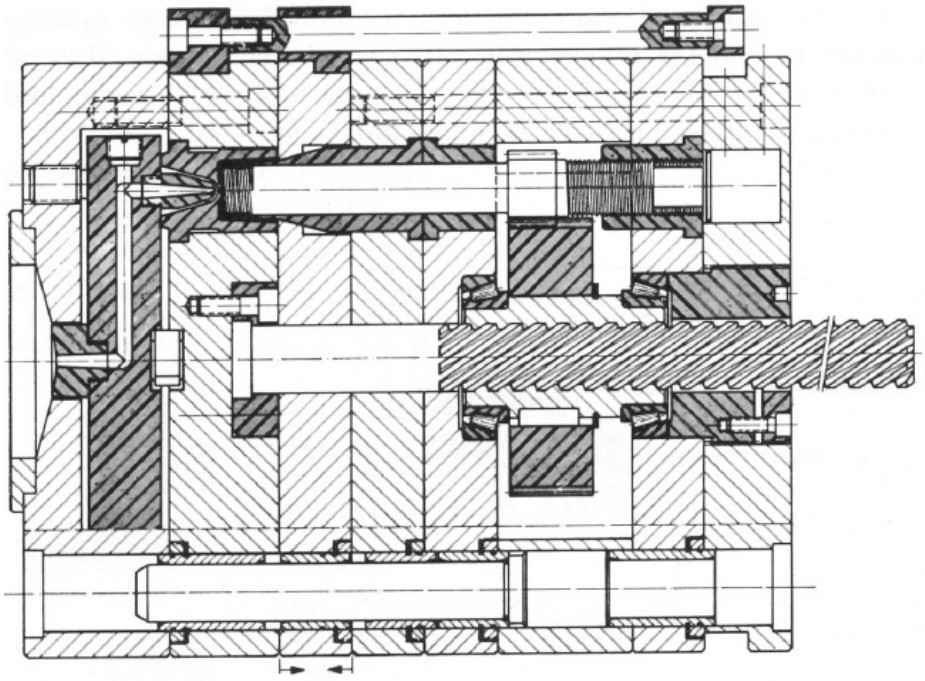
Obr. 45. Boční odformování s šikmými čepy, a - díl, b - šikmý čep, c - tvarový jezdec, d - zajišťující plocha [11]



Obr. 46. Boční odformování s lomenými čepy, a - tvarový jezdec, b - zajišťující plocha, c - tvárnice, d - jádro, e - lomený čep [11]



Obr. 47. Odformování závitů pomocí dvou ozubených hřebenů [11]



Obr. 48. Odformování závitů pomocí ozubeného převodu [11]

3.6.2 Pneumatický systém vyhazování

Pneumatický vyhazovací systém se používá pro rozměrné a tenkostěnné výrobky, které by se jinými způsoby daly těžko odformovat pro svou velikost. Pneumatické vyhazování přivádí stlačený vzduch mezi výstřik a formu. Tím je dosaženo rovnoměrného oddělení výstřiku od tvárníku. Tímto řešením se odstraňuje lokální přetížení dílu při použití vyhazovačů. [24]

3.6.3 Hydraulický systém vyhazování

Hydraulický vyhazovač se vyrábí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje do připraveného místa ve formě. Používá se hlavně k ovládání mechanických vyhazovačů, jako jsou kolíky, stírací desky, velká a těžká boční jádra apod. Charakteristickým znakem toho systému je velká vyhazovací síla, možnost pohybu vyhazovače v jakékoliv části pracovního cyklu, kratší a pomalejší zdvih. [5]

4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zabývá technologií vstřikování plastů a nástrojů, které se této technologie týkají. První část teoretické části se zabývá přímo technologie vstřikování. Další část se zabývá volbou vstřikovacího stroje, popisem jednotlivých částí stroje a zpracovávaných materiálů touto technologií. Další oblast diplomové práce se zabývá vlastní konstrukcí vstřikovaných dílů a podmínek, které musí být při konstrukci dílu dodrženy. v Poslední části se zabývá konstrukcí vstřikovacích forem a jejich jednotlivých částí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle praktické části diplomové práce byly stanoveny:

- převod reálného zadaného dílu do elektronické podoby pomocí 3D softwaru,
- návrh a 3D konstrukce vstřikovací formy,
- návrh dvou variant temperačního systému,
- provedení tokových analýz a srovnání dvou variant temperačního systému,
- srovnání obou konstrukcí s vlivem na konečný díl,
- vypracování 2D výkresové dokumentace vstřikovací formy.

6 ZADANÝ DÍL

Díl pro diplomovou práci byl zvolen kryt rychlovarné konvice. Výrobek je tenkostěnná součást válcového tvaru. Na horní části je umístěna nálevka a horní otevřená část výstřiku je vyztužena lemem s žebry a otvory pro šrouby pro zvýšení celkové tuhosti. Zadní část krytu konvice je upravena pro uchycení panelu s elektronikou a držáku celé konvice. Ve spodní části krytu je umístěno 6 zámků pro konečnou kompletaci finálního dílu. Na vnější tvarové ploše je umístěn zápich, který ovlivnil výslednou podobu vstřikovací formy. Pohledová strana krytu konvice mimo montážního panelu je opatřena pianovým leskem.

Obr. 49. Zvolený díl

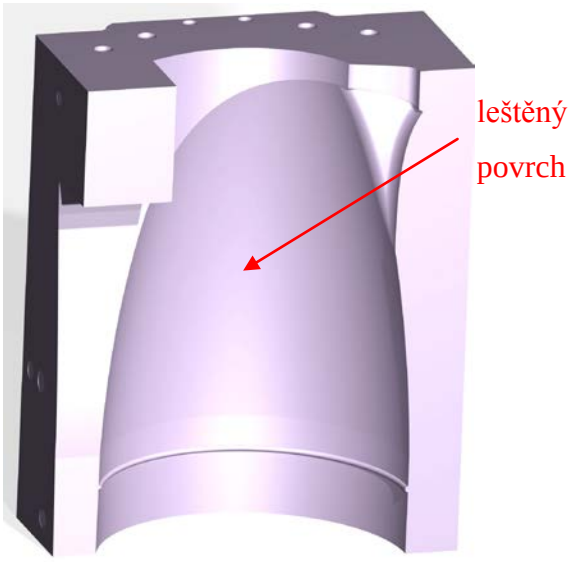
6.1 Základní rozměry dílu

Základní rozměry výstřiku jsou: průměr spodní podstavy = 164 mm, výška dílu = 245 mm, celková hmotnost dílu bez vtokového systému m = 262 g, největší tloušťka stěny dílu v = 2,5 mm.

6.2 Zaformování a násobnost výrobku

S ohledem na charakter a velikost dílu bylo rozhodnuto, že se tvarová dutina bude skládat z 5 tvarových částí, které stanoví celkový tvar výrobku. Vnější tvar bude dán tvarovými vložkami, které budou leštěny, aby bylo dosaženo pianového lesku na pohledových

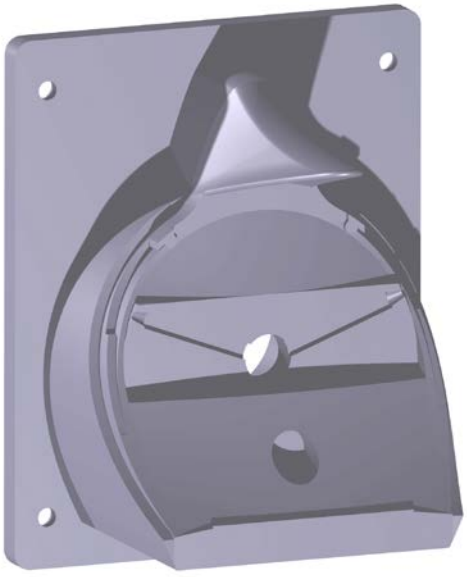
stranách výrobku. Vnitřní tvar dílu bude tvořen jádrem, ve kterém bude vytvořen prostor pro šikmé vyhazovače. Šikmé vyhazovače jsou nutné pro odformování vnitřních zámků na vnitřní straně dílu. Boční panel bude odformováván hydraulickým válcem. Vrchní část a nálevka bude pěvně upnutá na vstřikovací straně formy a bude se odformovávat při otevírání formy na konci cyklu.



Obr. 50. Tvarová vložky vnějšího tvaru krytu

Obr. 51. Tvarová vložka pro panel

Obr. 52. Jádro



Obr. 53. Tvarová vložka pro horní část formy

6.3 Materiál výrobku

Pro zadaný díl byl zvolen materiál PP (polypropylén) od firmy SABIC s obchodním označením PP 578N. Tento materiál byl zvolen pro svou dobrou zpracovatelnost, vysokou pevnost, stálost při zpracování a možnost dosahovat dobrého lesku na povrhu výstřiku. Smrštění materiálu 1,2-2,5 % v závislosti na tloušťce výrobku a nastavených procesních parametrů.

Typickými aplikacemi pro tento materiál jsou: hračky, kontejnery, nádoby, kryty domácích spotřebičů a uzávěry.

Pro zpracování zvoleného materiálu je nutné dodržet doporučené teploty taveniny, která by měla být v rozmezí 200 až 225°C. Při použití vyhřívaného vtokového systému je nutné, aby byla teplota vyhřívané trysky byla o 5°C vyšší než teplota posledního topného pásu v plastikační jednotce. Doporučená teplota formy leží v rozsahu od 15 do 40°C, při tlustostěnných výrobcích je nutné teplotu zvýšit až na 65°C.

Dle materiálové databáze softwaru od firmy AUTODESK SIMULATION Moldflow Synergy 2015 (dále jen Moldflow) má zvolený materiál dobré reologické vlastnosti, konkrétně: dovolená hodnota smykové rychlosti je 100 000 1/s, smykové napětí na stěně 0,25 MPa. [39]

6.4 Kontrolní výpočty

Kontrolní výpočty slouží k ověření zvoleného vstřikovacího stroje zdali je vhodná velikost plastikační jednotky a uzavíracího systému.

Určení množství potřebného plastu M [g] [2]:

$$M = 1{,}2.(G.n + A).\frac{a_X}{a_P}\left[g\right] \tag{1}$$

G - hmotnost výstřiku [g], A - hmotnost vtoků a kanálů [g], n - násobnost formy, $\frac{a_X}{a_P}$ - podíl poměrových hodnot určeného plastu k polystyrenu

$$M = 1{,}2.(262.1 + 4).\frac{91}{100} = 291 \text{ g}$$

Plastikační doba jednoho cyklu [2]:

$$t_{pl} = \frac{3{,}6.M}{Q}\left[kg/hod\right] \tag{2}$$

M - hmotnost výstřiku [g], Q- plastikační výkon stanovený výrobcem stroje kg/hod

$$t_{pl} = \frac{3{,}6.125}{291} = 1{,}5\ s$$

Uzavírací síla, byla vypočtena experimentálně pomocí simulace v programu Moldflow. K hodnotě vypočtené uzavírací síly byla přičtena hodnota bezpečnosti 20%.

6.5 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj, který byl určen pro výrobu dílu, byl zvolen od Firmy ARBURG. Konkrétní vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 920S GOLDEN EDITION. Volba byla provedena s ohledem na velikost a složitost výrobku.

Obr. 54. Příklad vstřikovacího stroje od firmy ARBURG [19]

Tab. 3. Vybrané technické údaje stroje Allrounder 920S [19]

ALLROUNDER 920S GOLDEN EDITION		
Průměr šneku	[mm]	60
Maximální objem dávky PP	[cm^3]	576
Maximální uzavírací síla	[kN]	5000
Vzdálenost mezi sloupky	[mm]	920x920
Maximální vyhazovací síla	[kN]	100
Velikost upínací desky	[mm]	1120x1120
Maximální vzdálenost mezi deskami	[mm]	1600
Celkový příkon stroje	[kW]	89
Maximální vstřikovací tlak	[bar]	2500

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

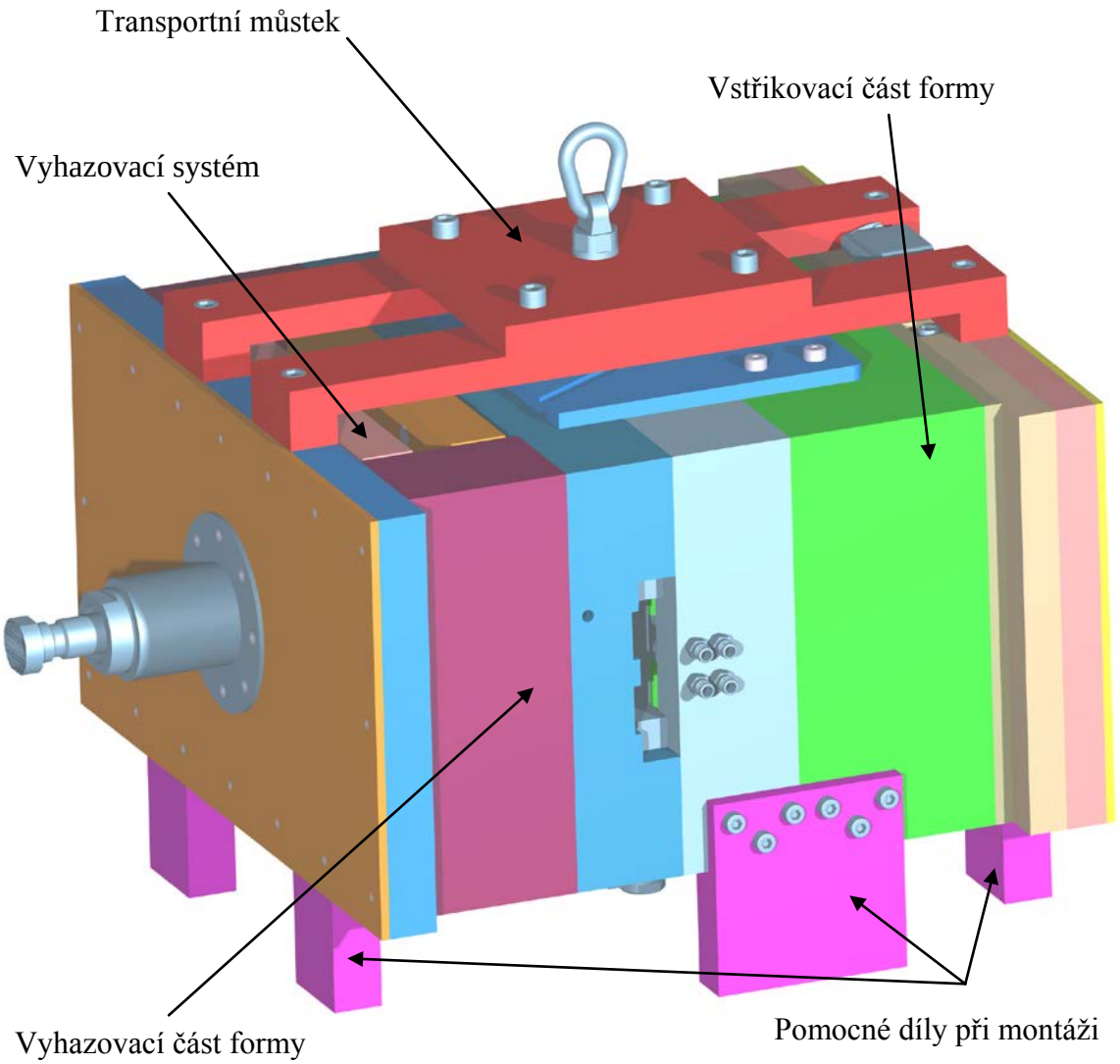
Návrh vstřikovací formy byl jedním z cílů diplomové práce. Dalším cílem bylo navrhnout dvě varianty temperačního systému. První varianta temperace byla navržena jako klasické vrtané kanály konvenčními technologiemi (vrtání, elektroerozivní obrábění). Při této metodě vrtání se kanály nedostanou do rovnoměrné vzdálenosti se stěnou dílu po celé jeho délce. Vrtané chlazení je tedy méně efektivní při odvodu tepla z dutiny formy, nebo teplotní pole formy bude nerovnoměrné což může vést ke větší deformaci výsledného výrobku.

Pro návrh konstrukce vstřikovací formy byl zvolen 3D modelovací program CATIA V5R19 od společnosti DASSAULT SYSTEMS. Pro podporu konstrukce formy byly použity normálie od firmy HASCO (desky formy, čepy, vodící pouzdra ...).

Posledním cílem práce bylo zkontrolovat navržený temperační systém pomocí tokových analýz. Pro výpočet simulace plnění a temperace byl zvolen software Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2015.

7.1 Konstrukční části vstřikovací formy

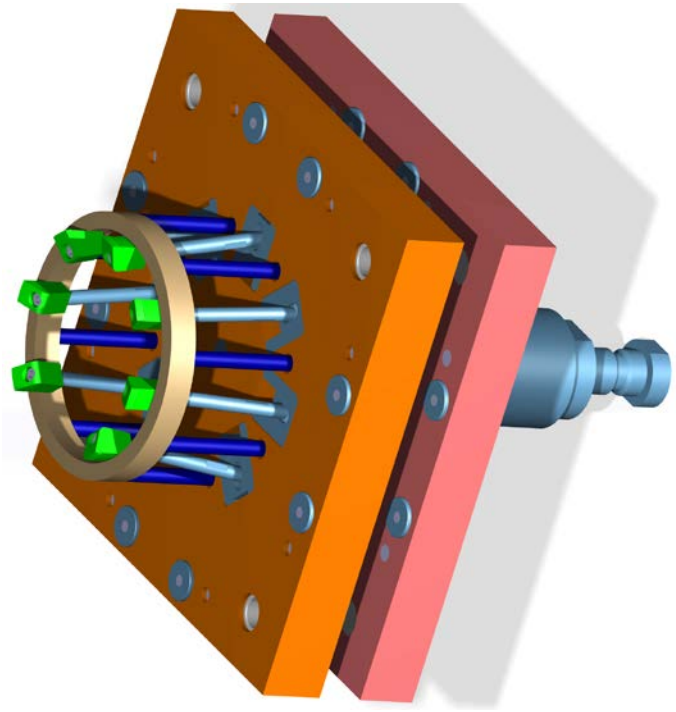
Vstřikovací forma se skládá ze 3 základních částí vstřikovací část, vyhazovací čas a vyhazovací systém. Další součásti formy jsou díly, které slouží pro transport formy a pomocné díly pro montáž. Základní části vstřikovací formy jsou shodné pro obě varianty temperačních systémů. Rozdíly v konstrukcích jsou pouze v provedení chlazení jádra formy a horní tvarové části, která je přišroubovaná ve vstřikovací straně.



Obr. 55. Kompletní vstřikovací forma

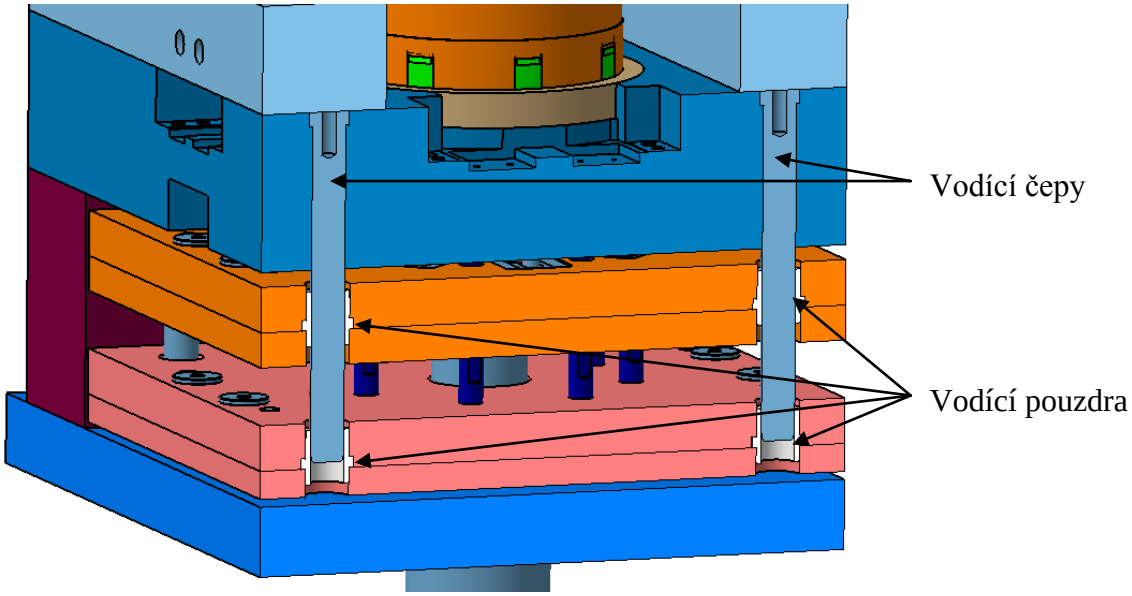
7.1.1 Vyhazovací systém

Pro vyhazování výstřiku bylo zvoleno dvoustupňové mechanické vyhazování. Daný vyhazovací systém byl zvolen z důvodu nutnosti odformovat jako první vnitřní zámky na díle a následně dojde k samotnému setření výrobku z jádra pomocí stíracího kroužku. První pohyb provede oranžový pár vyhazovacích desek, které ovládají šikmé vyhazovače. Druhý pohyb provede červený pár vyhazovacích desek, které ovládají stírací kroužek. Pro dvoustupňové vyhazování byl zvolen mechanizmus Z1692/32/60.

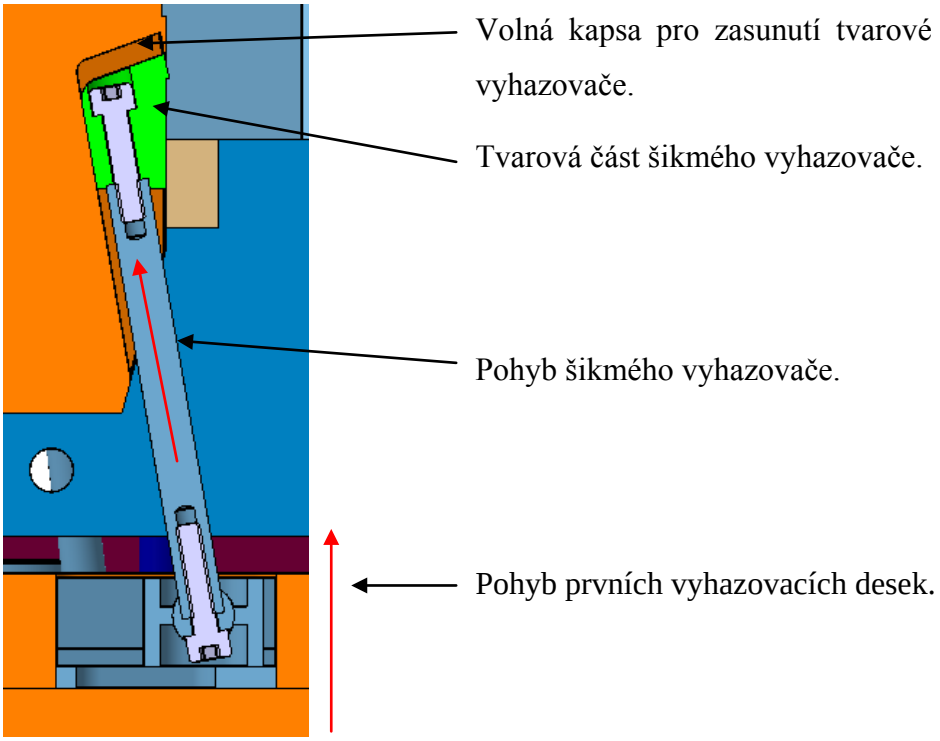


Obr. 56. Vyhazovací systém

Vyhazovací desky jsou vedeny pomocí 4 čepů (Ø20 mm) upnutých ve vyhazovací části formy. Mezi jednotlivé desky vyhazovacího systému byly vloženy vodící pouzdra pro dané vodící čepy. Jednotlivé desky vyhazovacího systému jsou přišroubovány k sobě 4 šrouby M12x30.



Obr. 57. Řez formou - vodící čepy vyhazovacího systému

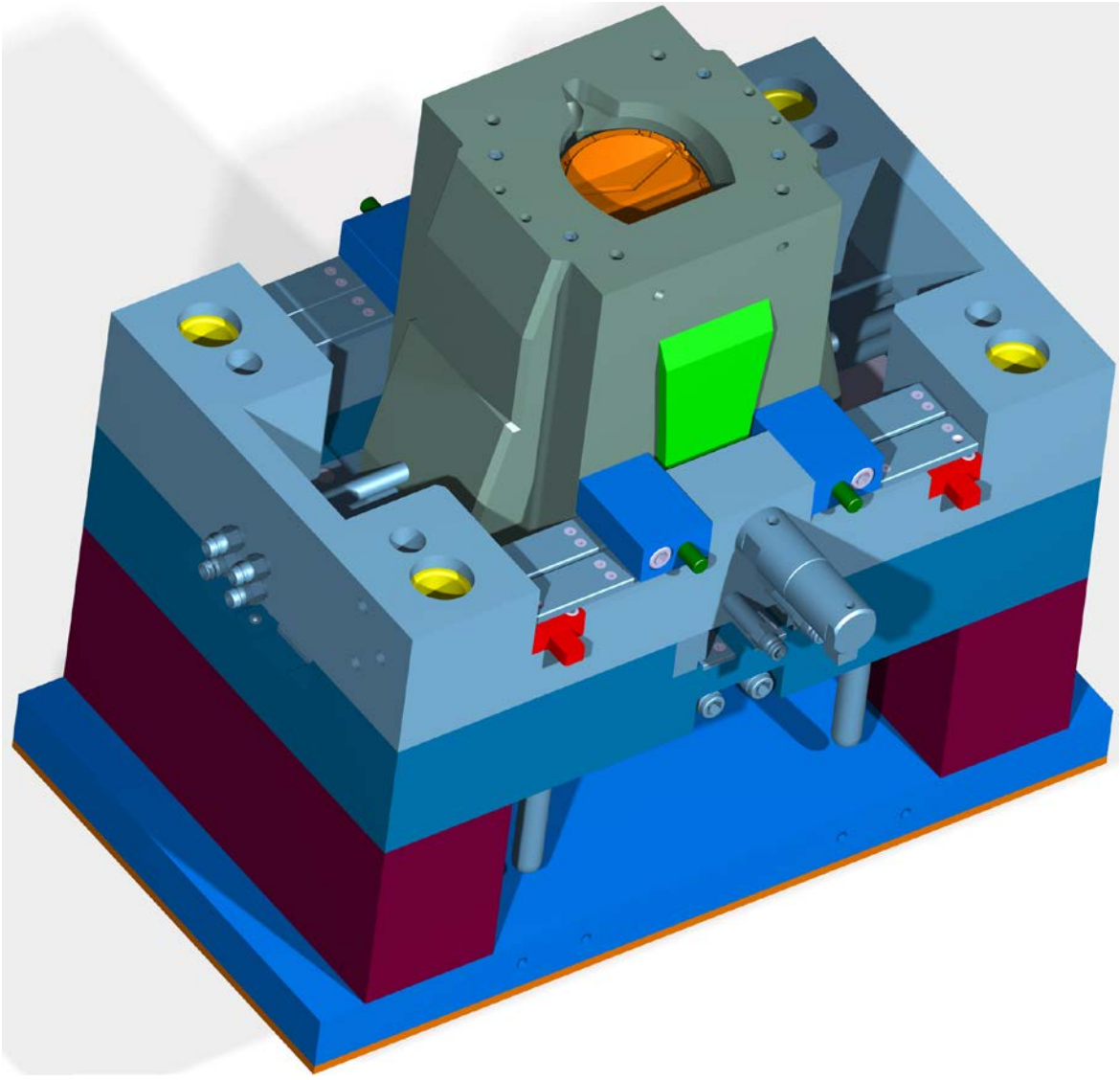


Obr. 58. Řez šikmým vyhazovačem

7.1.2 Vyhazovací část vstřikovací formy

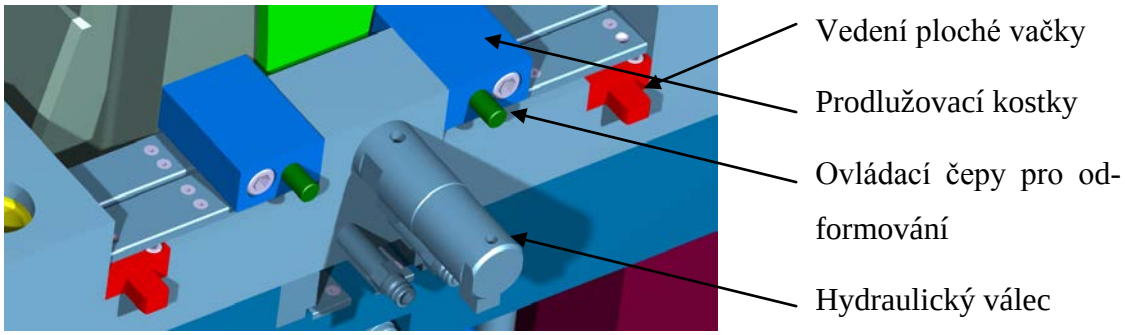
Celková velikost a tloušťka jednotlivých komponent formy byly voleny s ohledem na celkovou tuhost formy. Při odformování vnějších tvarů bylo využito principu odformování tvarů kolmých na hlavní dělící rovinu tzv. šikých vyhazovačů. Pro klasické odformování se pohyb tvarových částí vyvozuje šikmým čepem. Pro diplomovou práci by varianta

s šikmými čepy byla nevhodná (velký průměr čepu a jeho délka) s výhodou bylo zvoleno ovládání plochými vačkami. Průměr středící trubky byl zvolen s ohledem na velikost formy 42 mm. Pro sešroubování desek vyhazovací části byl zvolen šroub M24x320. Do vyhazovací strany bylo umístěno hydraulický válec (Z230/16/40) pro ovládání tvarové vložky panelu.

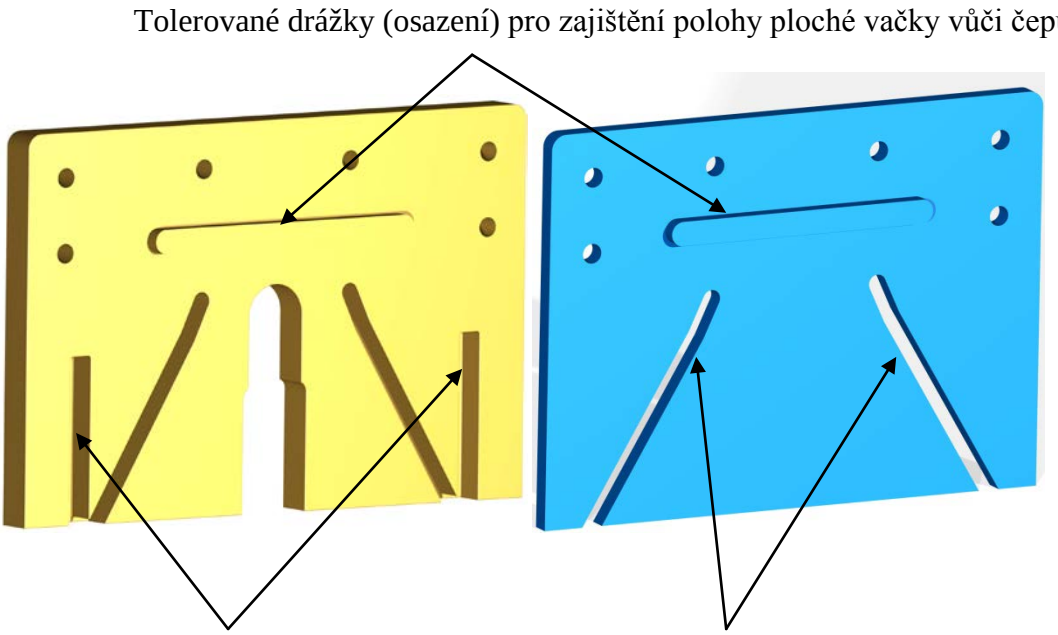


Obr. 59. Vyhazovací část formy

Pro ovládání odformování vnějších tvarů byly zvoleny ploché vačky, které byly osazeny tolerovanou drážkou pro zajištění správné polohy vzhledem k čepům tvarových vložek. Z důvodu umístění hydraulického válce na jedné straně formy, bylo nutné plochou vačku na též straně odlehčit právě pro tento válec. Pro zvýšení tuhosti vačky byly umístěny na obě strany vedení. Na obě strany tvarové vložky vnějšího tvaru výrobku byly umístěny prodlužovací kostky k ovládání odformování.



Obr. 60. Hydraulický válec, vedení

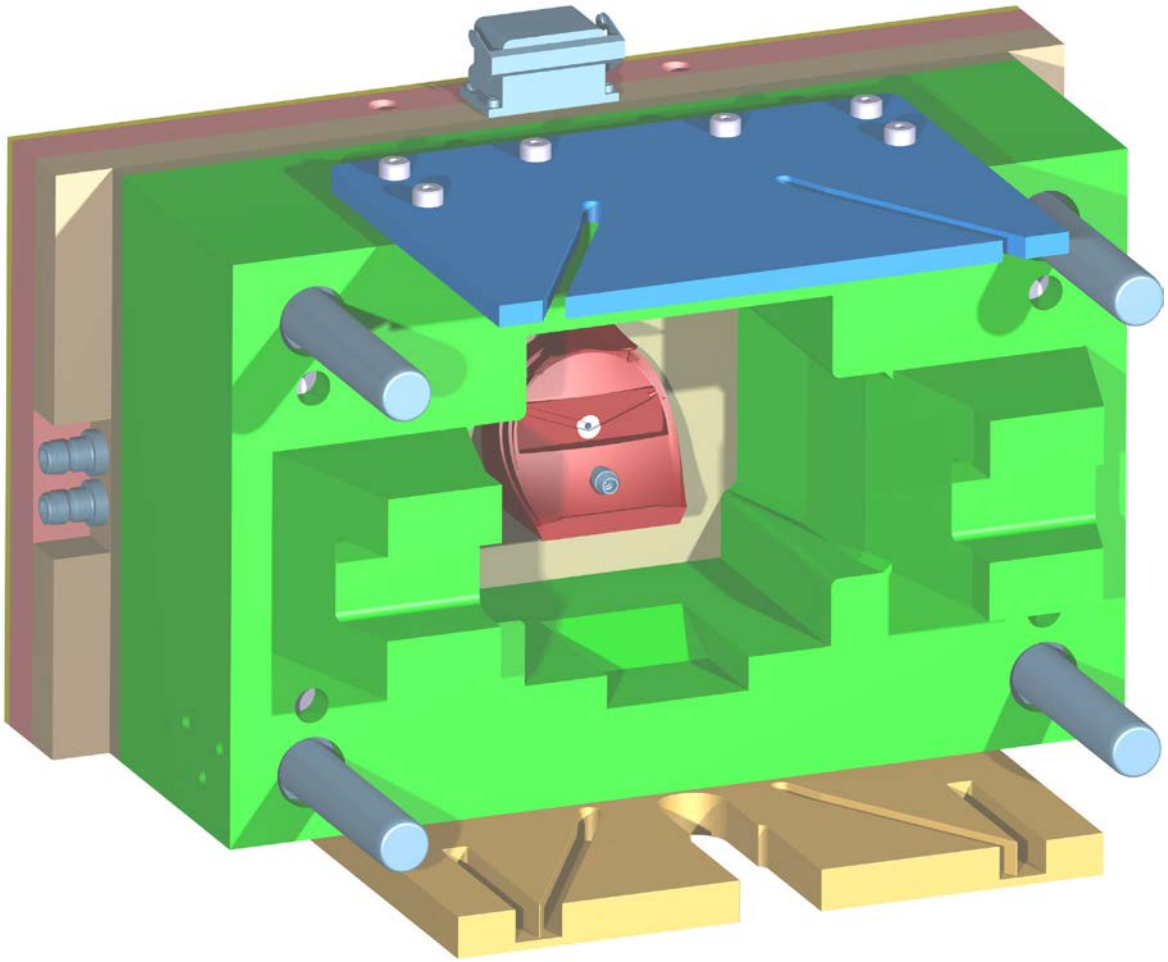


Obr. 61. Ploché vačky

7.1.3 Vstřikovací část formy

Vstřikovací část formy byla konstruovaná jako kombinace horkého a studeného vtokového systému, který se skládá z vyhřívané trysky a studeného rozvodného systému a tunelového vtokového ústí. Studená část vtokového systému je umístěna do dělící roviny. Vtokový zbytek, který při této variantě vtokového systému vzniká, se může dále recyklovat a opětovně použít. Vyhřívaná tryska byla zvolena volně průtočná vyhřívaná tryska Z3400/50/100, která ústí do lichoběžníkového kanálu. Stěna studeného rozvodného kanálu je zkosena o 10°. Vzhledem k výrobku, jeho velikosti a umístění vtokového ústí bude docházet k nerovnoměrnému plnění dutiny formy a následnému ohýbání jádra. Pro odstranění této možné deformace byl umístěn středící přípravek Z051/C2/14 do čela jádra a navíc

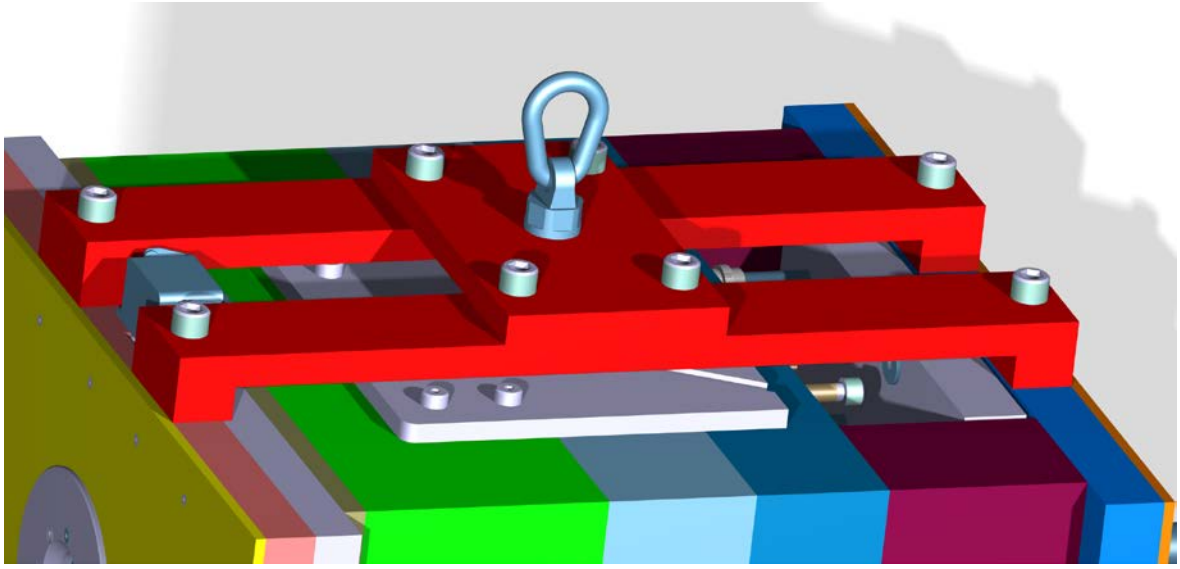
bude docházet k opěru jádra o vstřikovací stranu formy. Na horní straně formy je upevněna zásuvka napájení vyhřívané trysky Z1227_16_4. Zkosená tvarová část na desce slouží jako zámek pro uzamknutí vnějších tvarových částí formy.



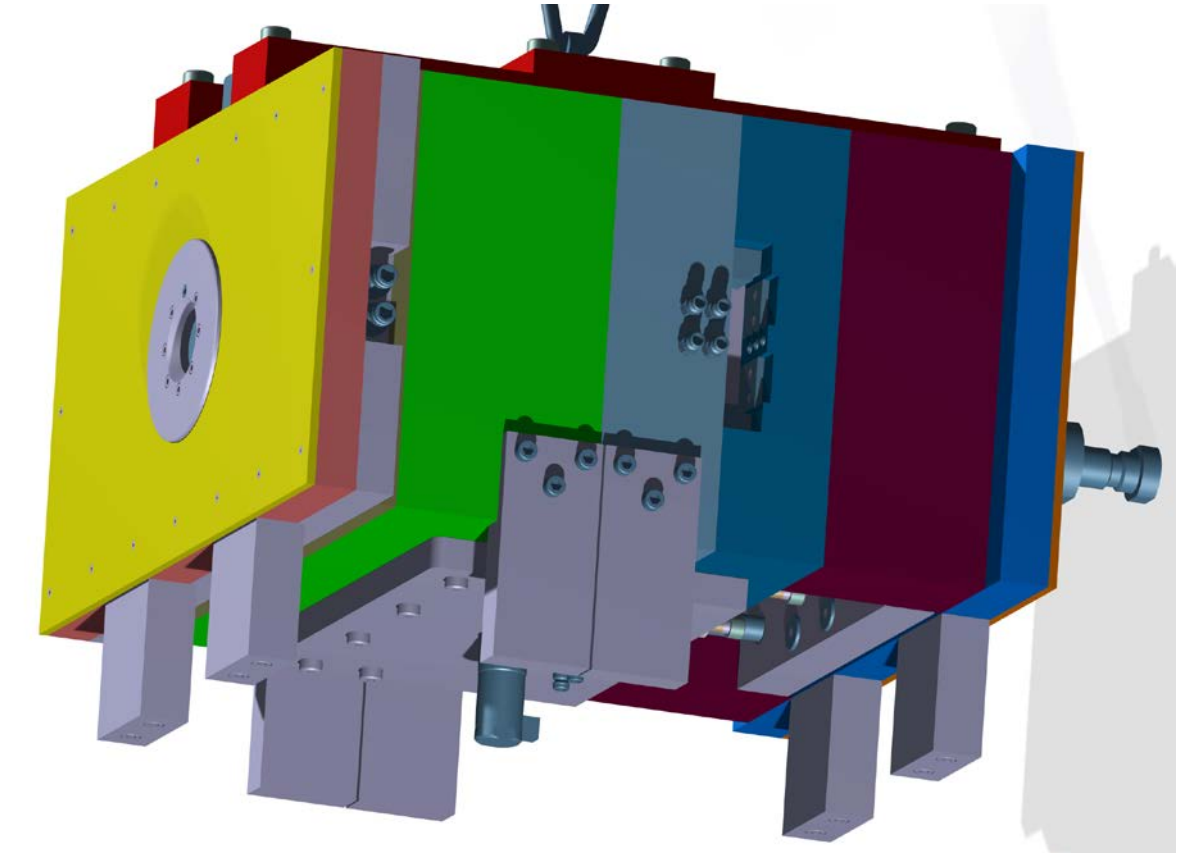
Obr. 62. Vstřikovací část formy

7.1.4 Doplňkové části formy

Vstřikovací forma je osazena transportním můstkem, který bude sloužit při manipulaci s formou a její upínaní do stroje. Můstek je přišroubován na formu šrouby M14x65. Pro upínání formy pro jeřáb slouží pojistný závěsný šroub Z721/14/20/1. Dovolené zatížení závěsného šroubu F = 2t. Na spodní straně formy jsou přišroubovány opěrné kostky, které slouží při kompletaci formy.



Obr. 63. Transportní můstek



Obr. 64. Opěrné kostky pro montáž

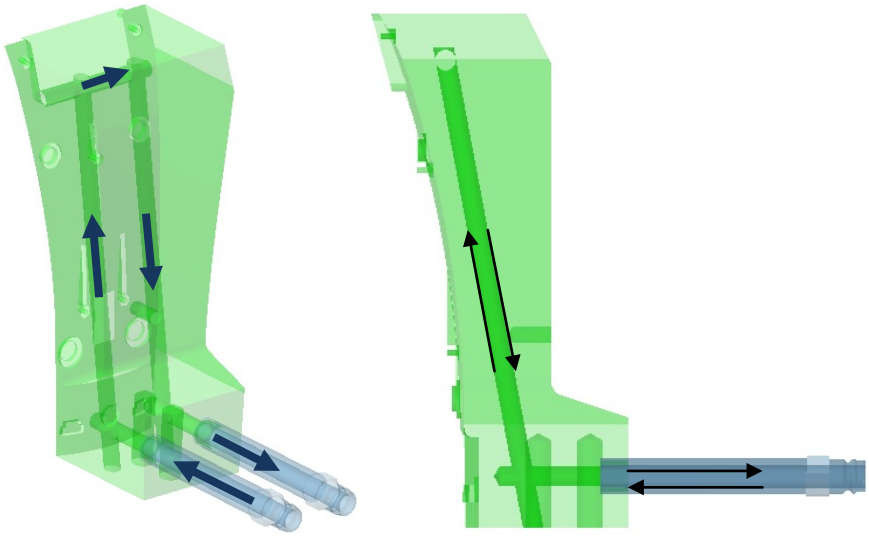
7.2 Temperační systém formy

Cílem diplomové práce bylo navrhnout temperační systém vyráběný standardní technologií výroby (vrtání) a části formy, které jsou nedostatečně temperovány. Temperač-

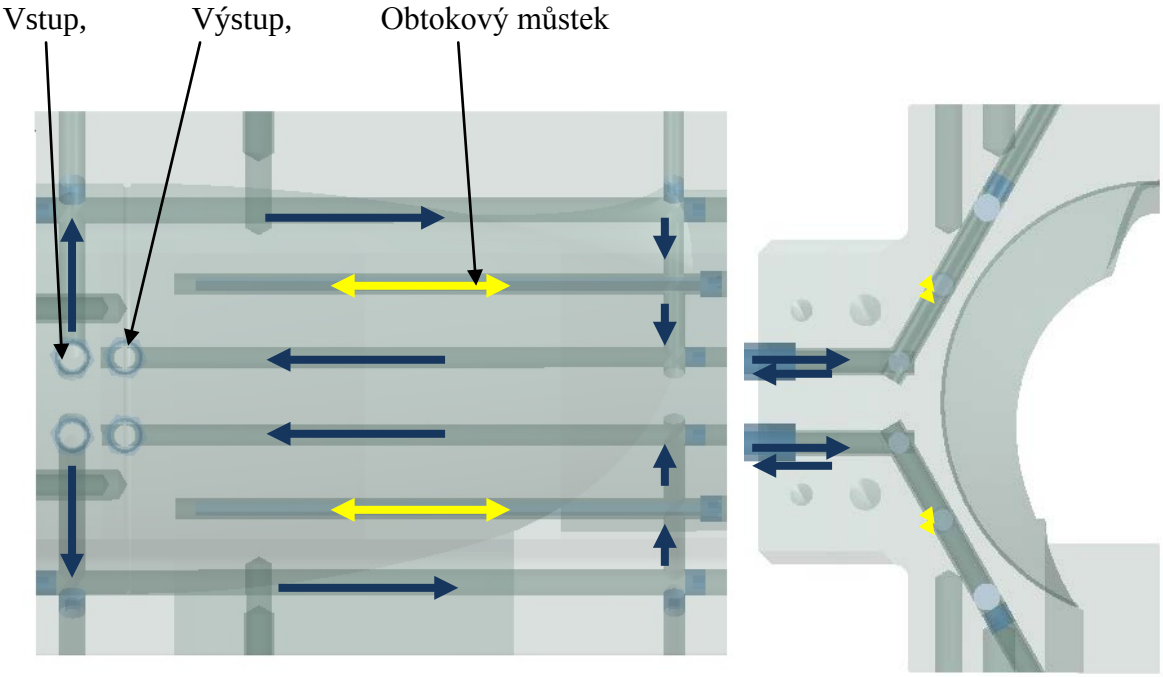
ní systém je umístěn do všech částí, které jsou v přímém kontaktu s roztaveným polymerem.

7.2.1 Temperační systém shodný pro obě varianty

Temperační systém je shodný u vnějších tvarů výrobků a u tvarové vložky panelu. U uvedených dílů je dostačující temperační systém vytvořený vrtanými kanály.



Obr. 65. Temperační systém tvarové vložky panelu

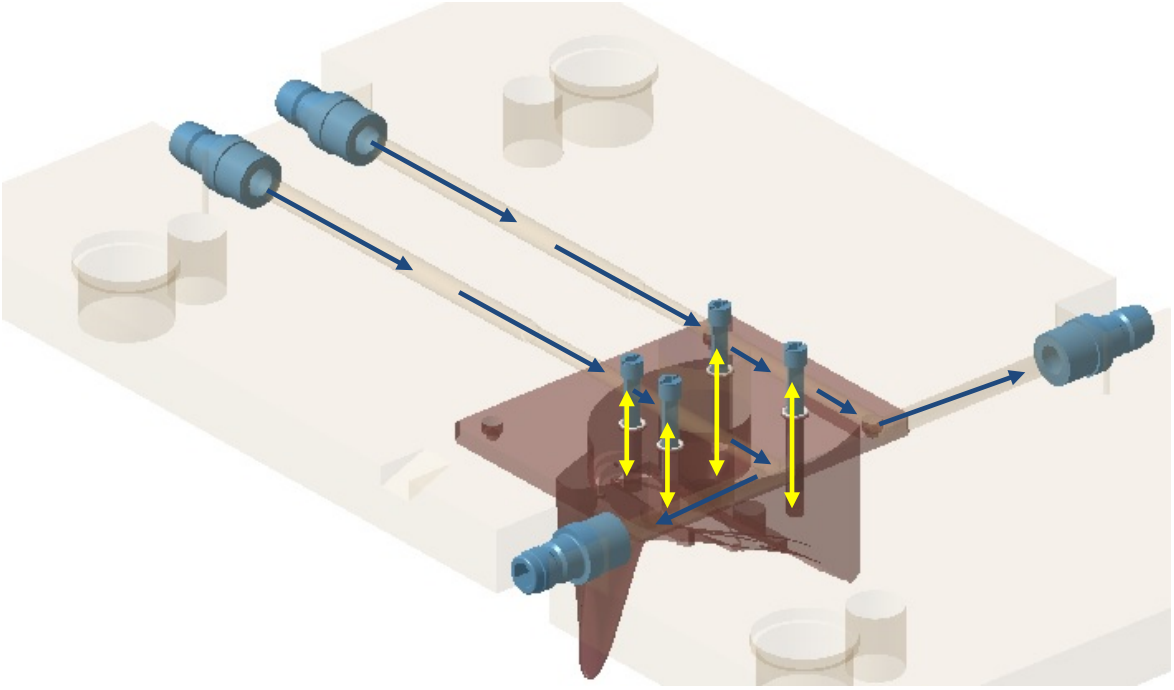


Obr. 66. Temperační systém vnějších tvarových vložek

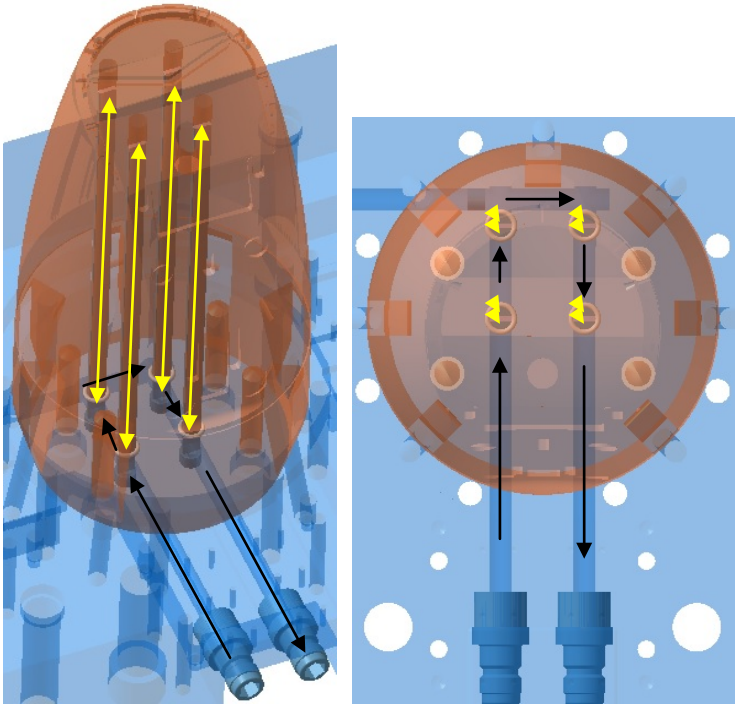
Výše uvedené temperační systémy jsou pro obě varianty forem shodné. Dále se budou temperační systémy dělit na standardní a konformní.

7.2.2 Standardní temperační systém

Standardní temperační systém bude realizovaný soustavou vrtaných kanálů a soustavou obtokových můstků. Průměr vrtaných kanálů byl zvolen 8 mm. Temperační kanály byly osazeny připojovacími nátrubky na rychlospojky Z810/19x24x1,5.



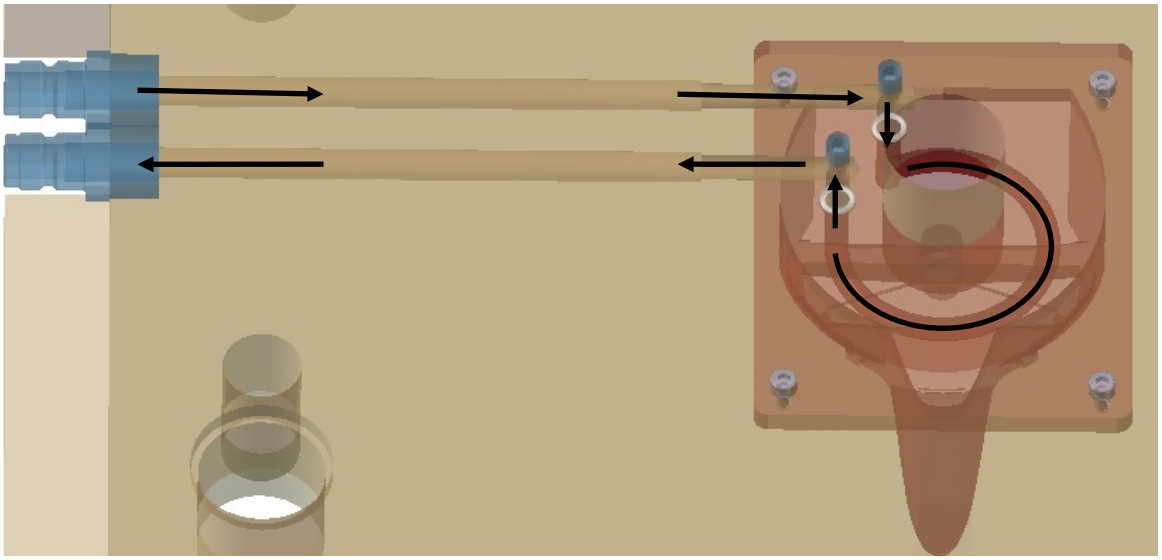
Obr. 67. Standardní temperační systém horní strany



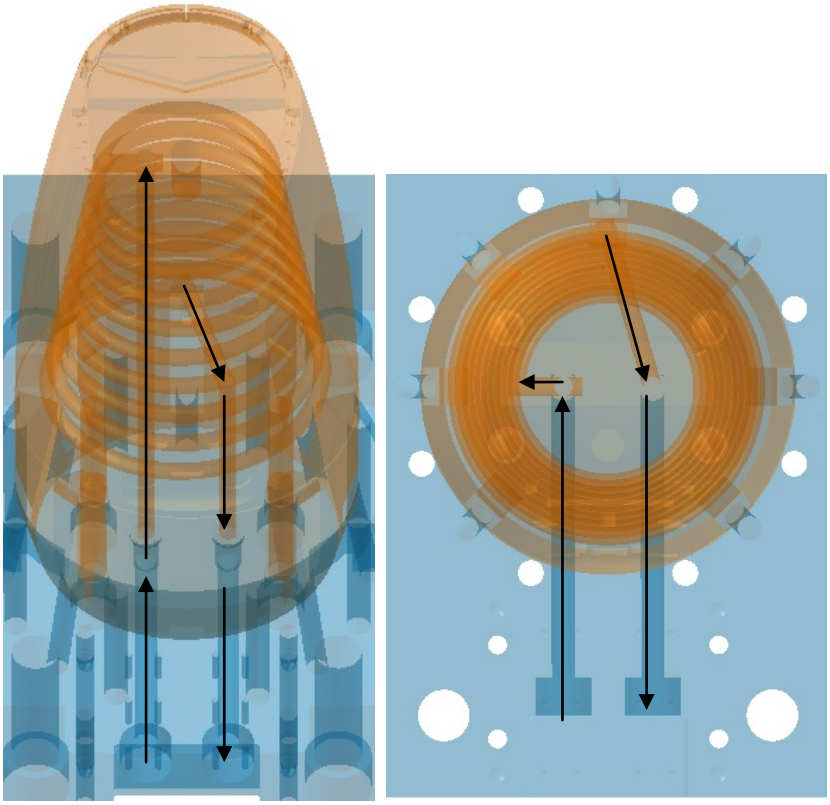
Obr. 68. Standardní temperační systém jádra

7.2.3 Konformní temperační systém

Konformní temperační kanály budou realizovány nekonvenční technologií laserového spékání kovového prášku DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Tato technologie umožní vyrobit temperační kanály různých tvarů a jejich drah.



Obr. 69. Konformní temperační systém horní strany



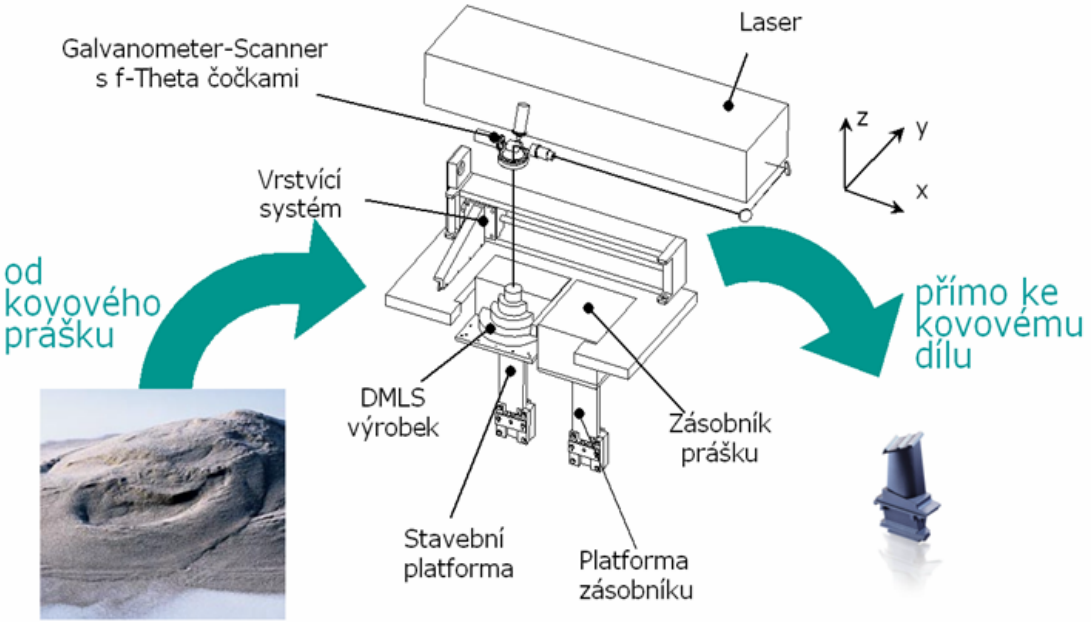
Obr. 70. Konformní temperační systém jádra

7.2.4 Výroba konformních kanálů DMLS

DMLS je nekonvenční výrobní technologie převážně prototypových dílů. Tato technologie je založena na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve "rozložen" na jednotlivé vrstvy a díl je následně vystavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně roztaví kovový prášek pouze v konturách řezu, který je definován průnikem dané roviny (vrstvy) tělesem výrobku. Po spuštění výrobního procesu je plně v automatickém režimu. Po zakončení výroby je platforma s výrobkem vyjmuta z pracovního prostoru zařízení a díl je odstraněn od platformy a od podpůrné konstrukce. Díly vyrobené technologií DMLS lze dále obrábět, brousit a leštit. [40]

Materiály používané pro výrobu dílů metodou DMLS firmou Innomia:

- MS1 - martenzitická ocel (1.2709) - sériové plastikářské formy, sériové funkční díly, funkční prototypy,
- SS - nerezová ocel (1.4542) - sériové funkční díly, funkční prototypy,
- DM20 - bronz (směs) - prototypové plastikářské formy, funkční prototypy,
- IN718 - Inconel - funkční díly pro telecký průmysl, žáruvzdorné aplikace ve strojírenství. [41]



Obr. 71. Princip DMLS [40]

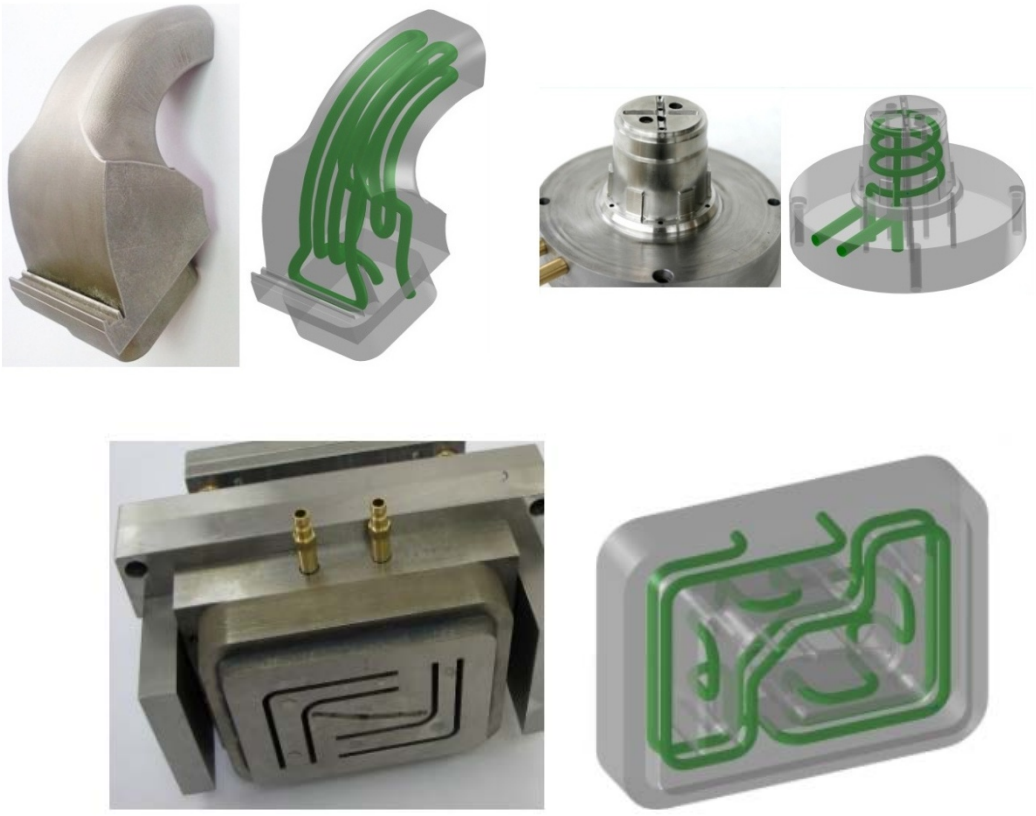
Přínos konformního chlazení vyrobeného technologií DMLS:

- snížení času chlazení až o 50%,

- snížení deformace výrobku,
- homogenní odvod tepla z dutiny formy,
- optimalizace chladícího okruhu dle výlisku ne dle výrobních možností,
- větší volnost při návrhu tvaru a průběhu chladícího okruhu.

Technické specifikace pro konformní chlazení vyrobené technologií DMLS:

- vstupní formát 3D dat: *.stl,
- garantovaný minimální průměr chladícího kanálu 3mm (bez garance i menší),
- garantovaná vzdálenost od povrchu dutiny formy 3mm (bez garance i menší),
- povrch kanálu lze opatřit antikorozní povrchovou úpravou,
- možnost následného tepelného zušlechtění až na 54 HRC,
- možnost napojení na stávající vrtaný chladící okruh,
- vhodné pro opravu tvarových částí (odfrézovat poškozenou část a připojit novou vrstvu materiálu). [41]



Obr. 72. Příklady použití DMLS technologie pro konformní chlazení [41]

7.2.5 Výroba

Výroba kompletního jádra s konformním chlazením by byla cenově nákladná a neefektivní. Výhoda zvolené metody DMLS je, že se dají napojit takto vytvořené díly na předem připravený polotovar, kdy této výhody bylo využito. Výroba jádra byla rozdělena do dvou kroků. První krok výroby byl vytvořením polotovaru standardními metodami třískového obrábění (soustružení, vrtání ...). Druhý krok výroby byl vytvoření konformního chlazení na zbylé části jádra, které se vytvářelo přímo na předem připravený polotovar.

Obr. 73. Polotovar pro druhý krok výroby

Obr. 74. Část jádra pro konformní chlazení

Cena dílu vytvořeného metodou DMLS byla stanovena firmou Innomia na 320 000 Kč, viz Příloha I. Doba výroby dílu po dodání polotovaru a modelu sintrové části byla stanovena na 12 pracovních dní.

7.3 Tokové analýzy

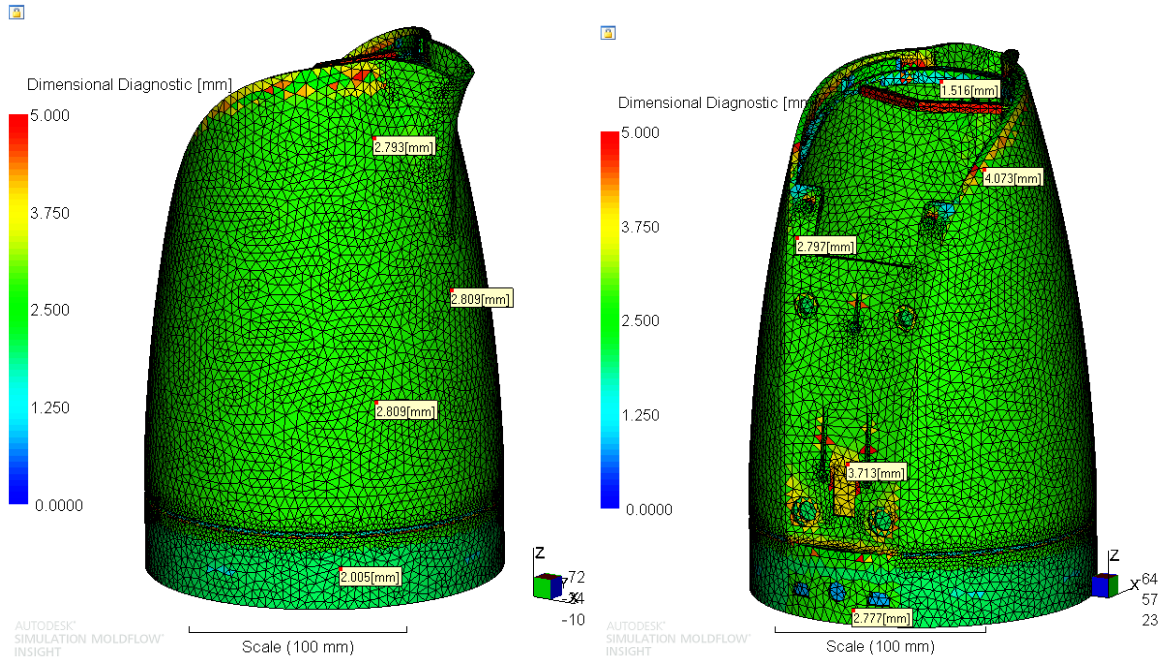
Cílem tokových analýz bylo prokázat výhody použití konformního chlazení oproti standardnímu chlazení. Tokové analýzy byly rozděleny na shodné výsledky pro obě varianty temperačních kanálů (plnění, tlak v bodě přepnutí, uzavírací síla ..) a výsledky, které

jsou ovlivněny právě temperačním systémem (deformace, čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty, temperační kanály ...).

Pro analýzu byla zvolena 3D studie tzn. model dílu byl vysíťován 3D elementy typu tetrahedron.

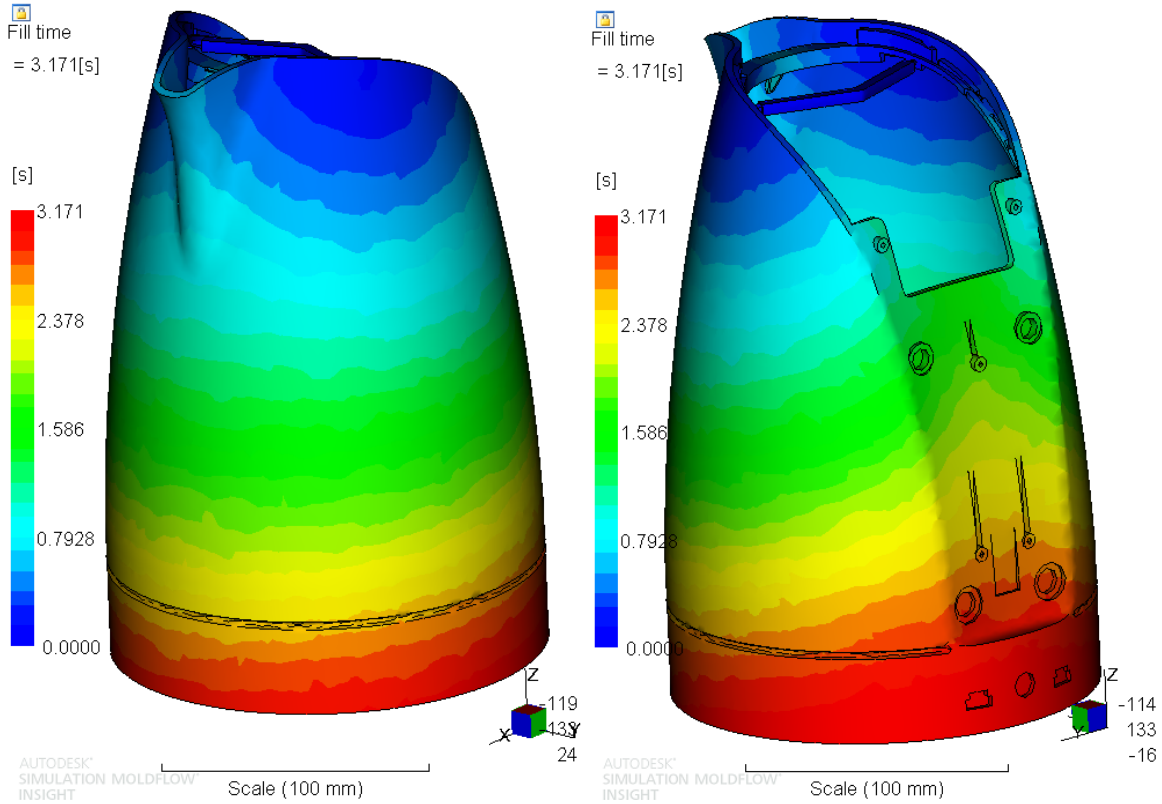
7.3.1 Plnění

Pro plnění byla zvolena kombinace studeného rozvodného kanálu a vyhřívané trysky. Pro plnění bylo zvoleno dvojnásobné tunelové vtokové ústí. Při daném tvaru dílu dochází k nerovnoměrnému plnění, při které může docházet k ohýbání jádra. Tento problém byl redukován tvarovým zámkem přímo na jádru a středícím elementem. Tento problém by bylo možné eliminovat tloušťkou stěny dílu (tenčí stěna = zpomalení toku taveniny).



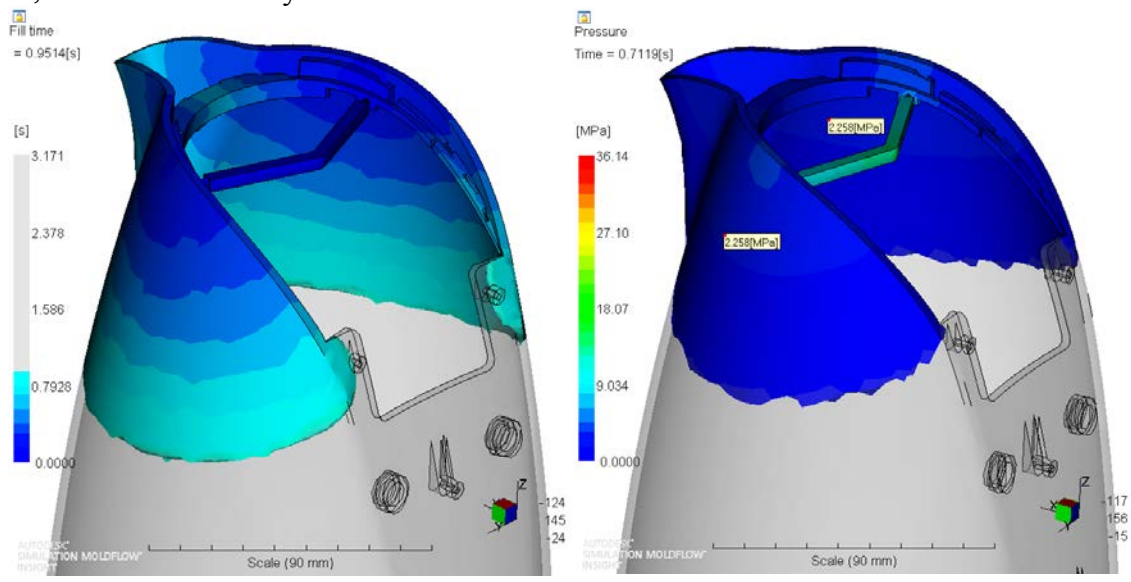
Obr. 75. Tloušťka stěny dílu

Celkový plnící čas dutiny formy byl stanoven na 3,2 s. Tohoto času bylo dosaženo po optimalizaci procesních parametrů a změnou zpracovávaného materiálu. Při původním materiálu byl plnící čas stanoven na 10 s při splnění doporučených reologických vlastností (smyková rychlost). Po změně materiálu (nový materiál byl zvolen s vyšším indexem toku taveniny = "lépe teče") byla zvýšena teplota formy pro snížení viskozity taveniny a tedy její lepší zatékání.



Obr. 76. Plnění dutiny formy

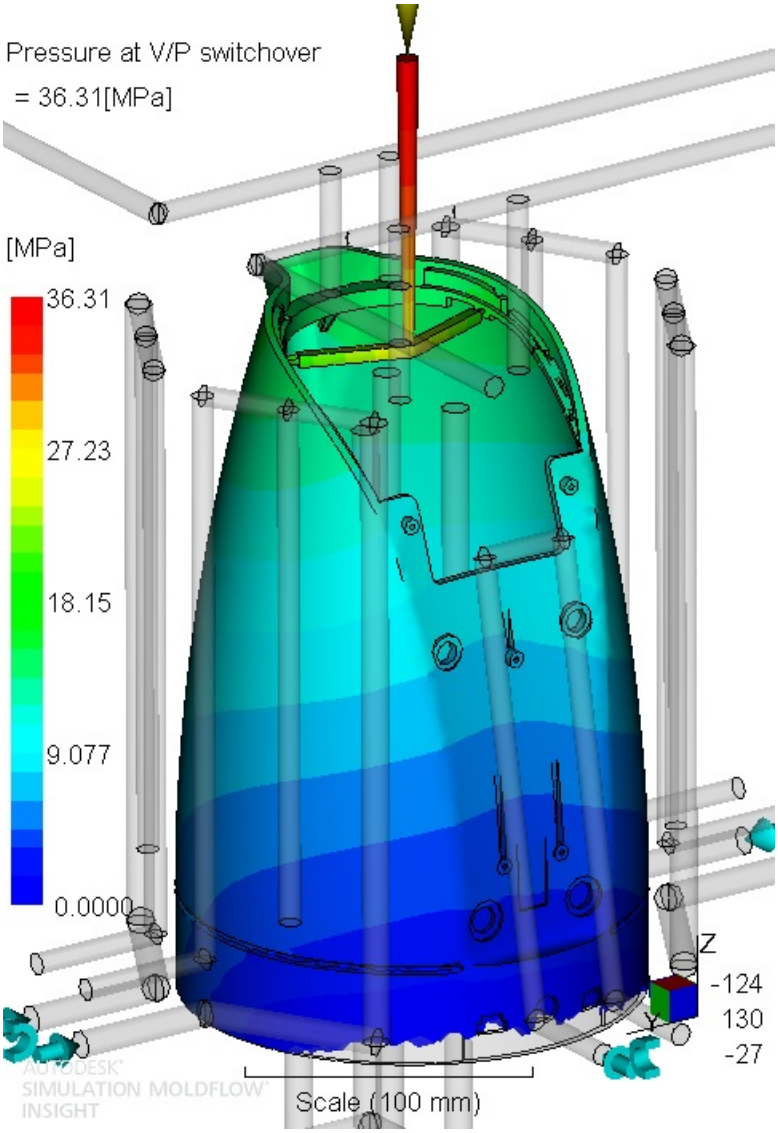
Tlak taveniny, která ohýbá jádro výrobku byl stanoven 2,5 MPa a působí v čase 0,8 s vstřikovacího cyklu.



Obr. 77. Detail plnění v čase 0,9 s hodnota tlaku taveniny 2,5 MPa

7.3.2 Tlak v bodě přepnutí

Jedná se o tlak, který je dosažen při plnění těsně před tím než stroj přejde z fáze plnění na fázi dotlaku. K přepnutí na fázi dotlaku dochází při zaplnění dutiny formy z 98,8% taveninou.

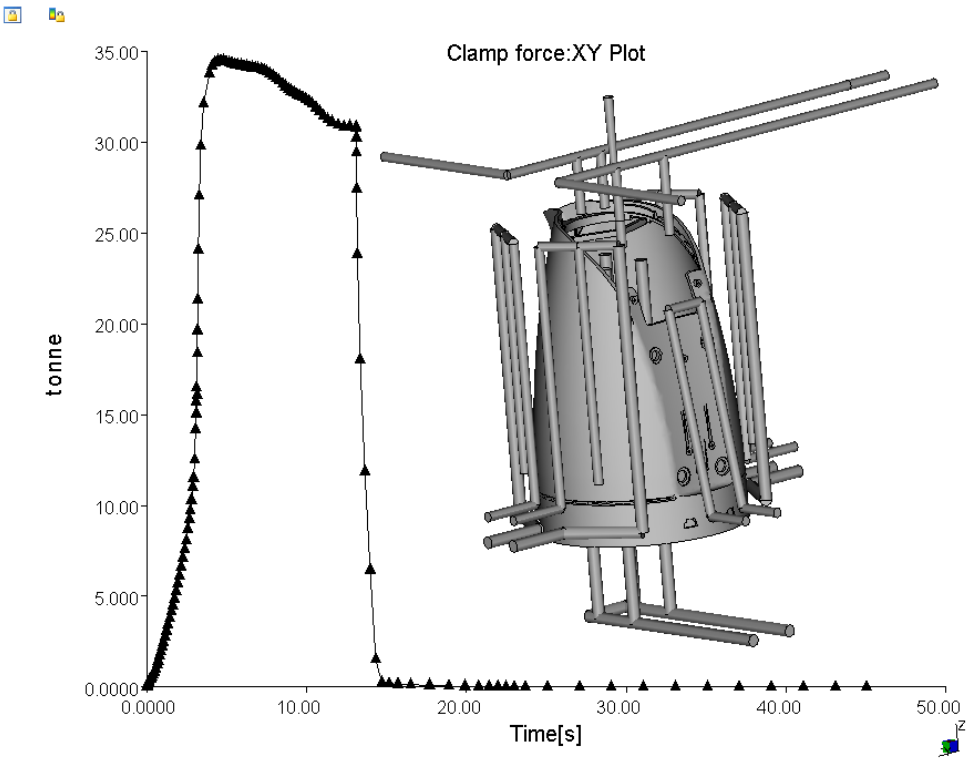


Obr. 78. Tlak v bodě přepnutí

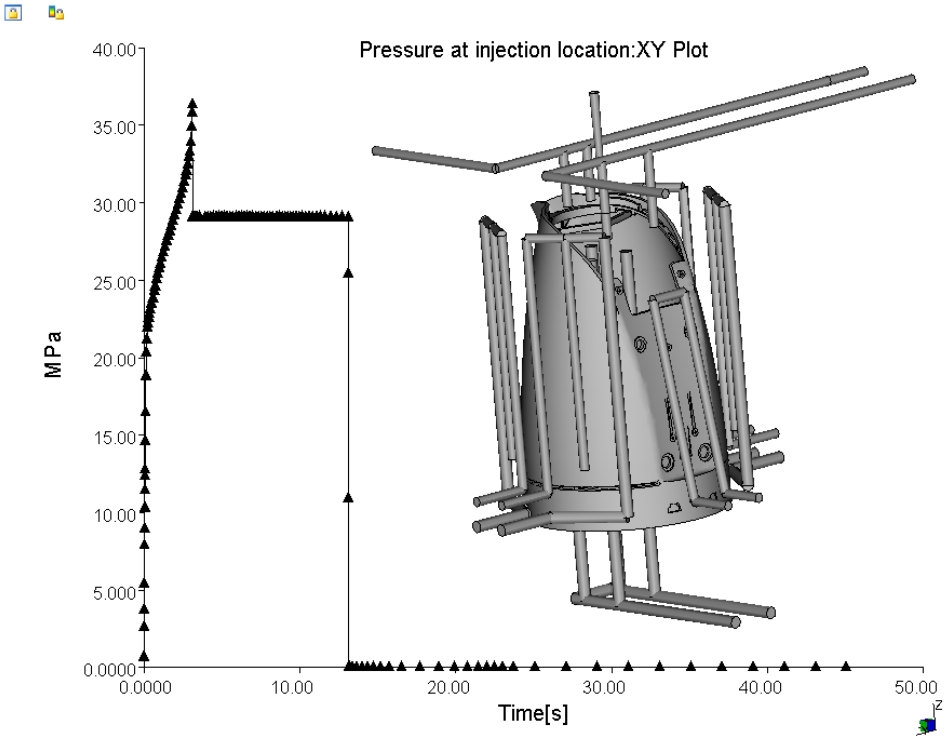
7.3.3 Uzavírací síla, průběh tlaku v místě vtokových ústí

Uzavírací síla vychází z nejvyššího tlaku, který působí v dutině formy, tedy 37 MPa. Uzavírací síla je stanovena v rovině XY, tedy uzavírací síla působí ve směru toku taveniny v dutiny formy. Průběh tlaku v místě vtokových ústí odpovídá průběhu plnění a působení dotlakové fáze. Software Moldflow počítá při uzavírací síle s jednotkou síly tuna. 1 tuna uzavírací síly odpovídá 10 kN. Minimální hodnota uzavírací síly stroje musí být i s

bezpečnostním přídavkem a s ohledem na hodnotu tlaku dotlaku 450 kN (45 tun). Zvolený stroj má maximální uzavírací sílu 5000 kN (500 tun).



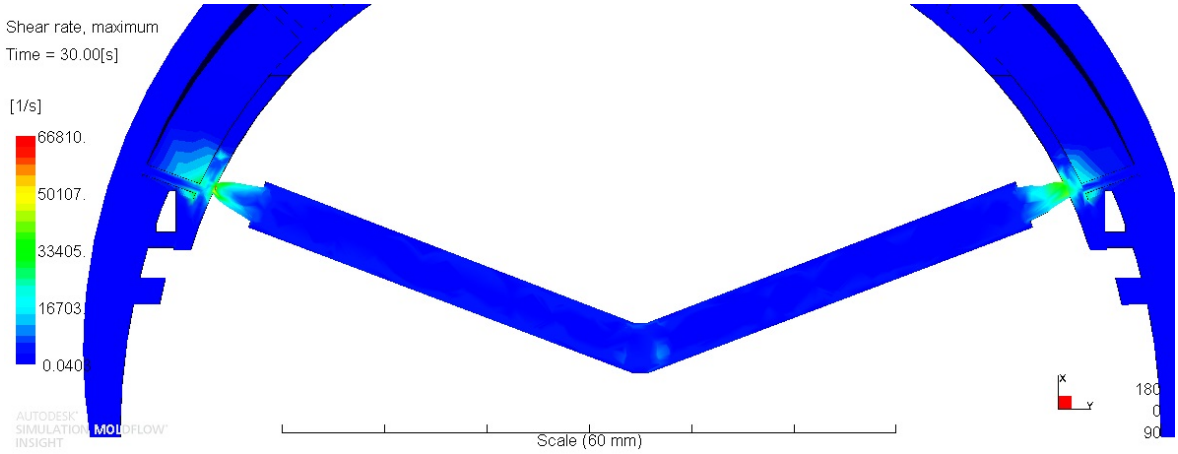
Obr. 79. Průběh uzavírací síly



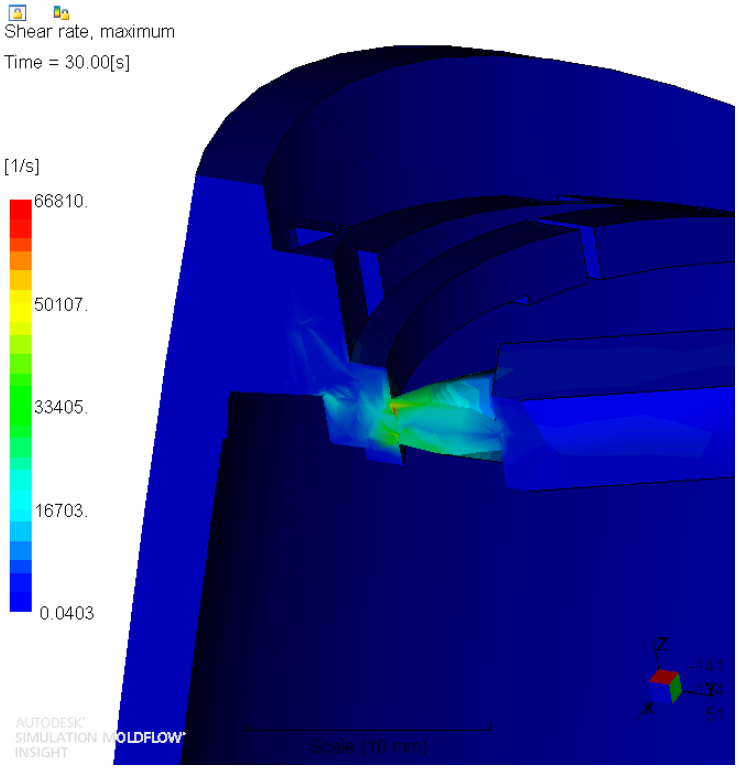
Obr. 80. Průběh tlaku v místě vtokového ústí

7.3.4 Smykový rychlost

Dovolená hodnota smykové rychlosti, která by neměla být překročena, je pro zvolený materiál PP 578N 100 000 1/s. Při překročení této hodnoty by mohlo docházet k degradaci materiálu a tím snižování kvality výsledného výrobku. Při simulaci byla vypočtena maximální smyková rychlost 67 000 1/s. K největšímu namáhání taveniny dochází v místě vyústění vyhřívané trysky do studeného rozvodného kanálu a v místě vtokových ústí.



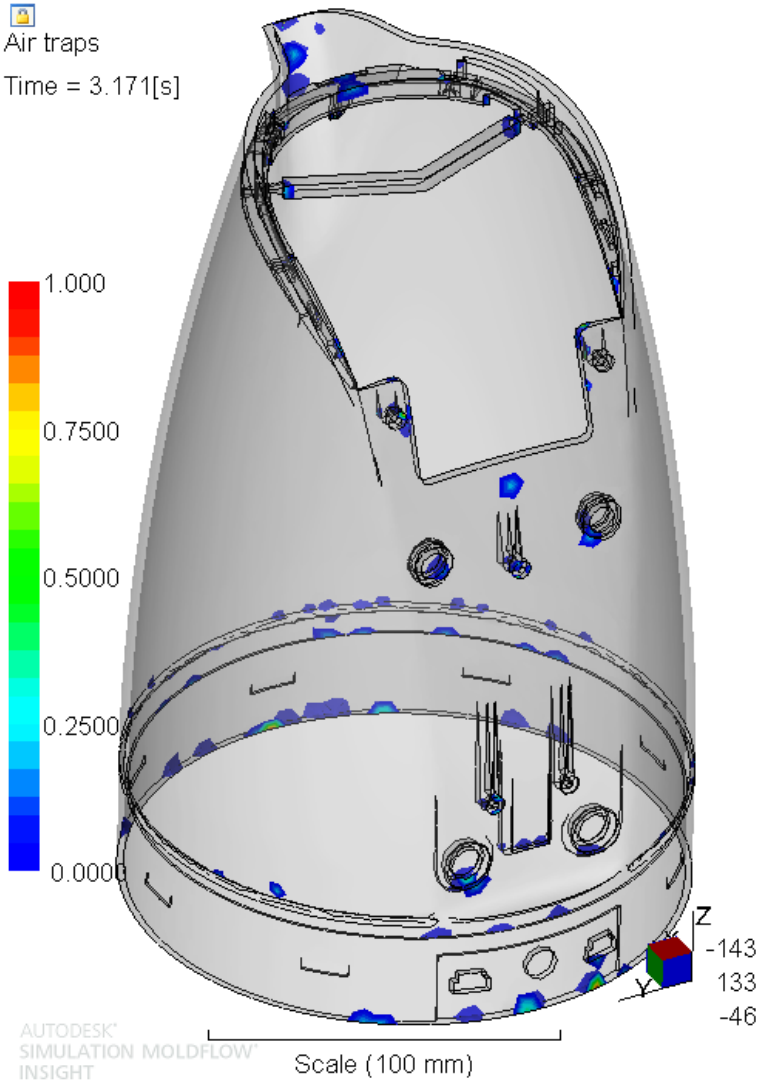
Obr. 81. Maximální smyková rychlost ve vtokových ústích



Obr. 82. Maximální smyková rychlost

7.3.5 Uzavřený vzduch

Na členitých místech dílu může docházet k uzavírání vzduchu na tím vzniku vad na výstřiku. Simulace počítá s úplně uzavřenou dutinou. Reálně dochází k odvodu vzduchu z dutiny hlavní a vedlejšími dělícími rovinami. V případě výrazného uzavírání vzduchu je nutné umístit do těchto míst odvzdušňovací kanály.

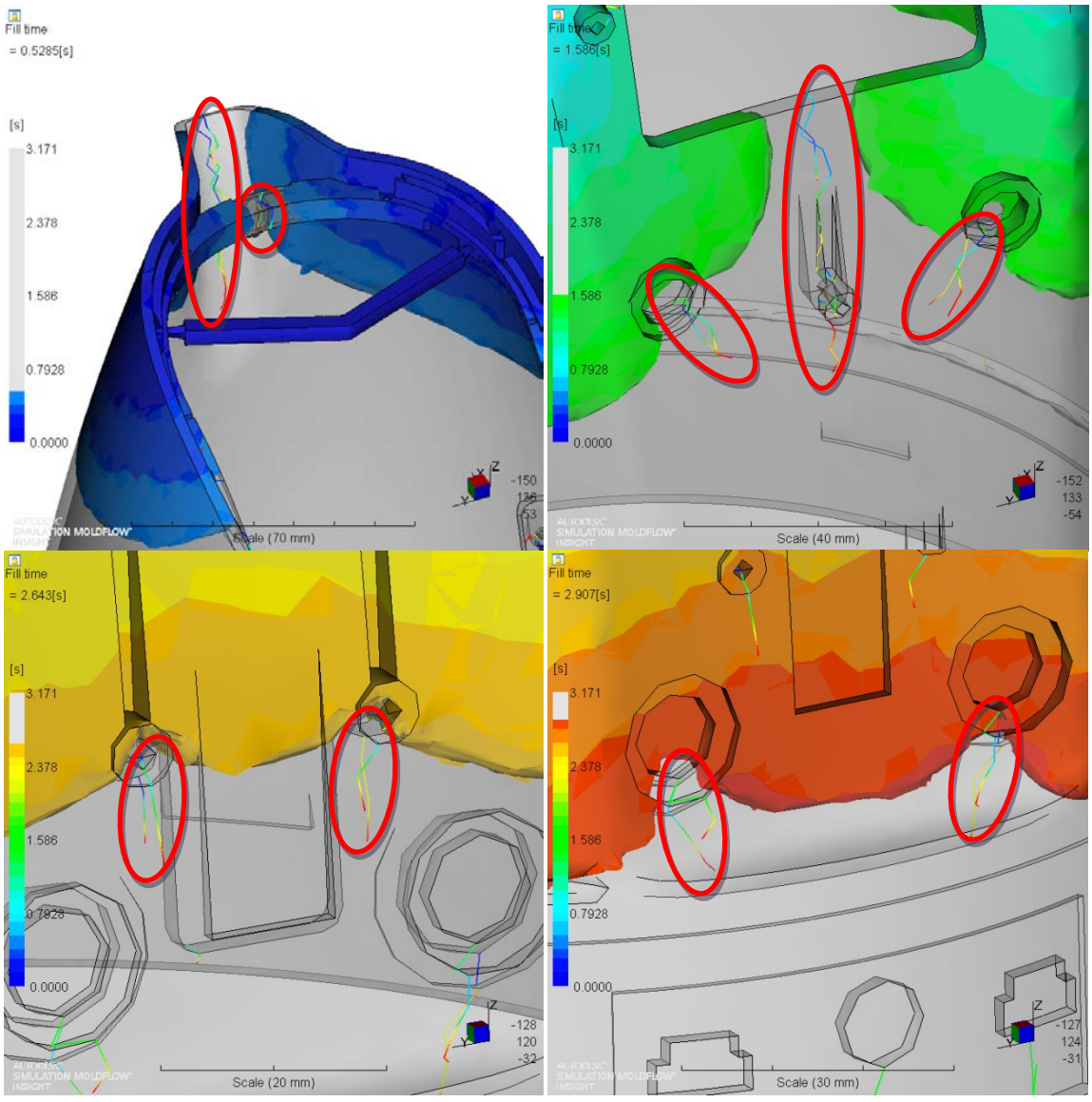


Obr. 83. Uzavřený vzduch

Zobrazený uzavíraný vzduch na díle by neměl způsobovat žádné potíže při výrobě.

7.3.6 Studené spoje

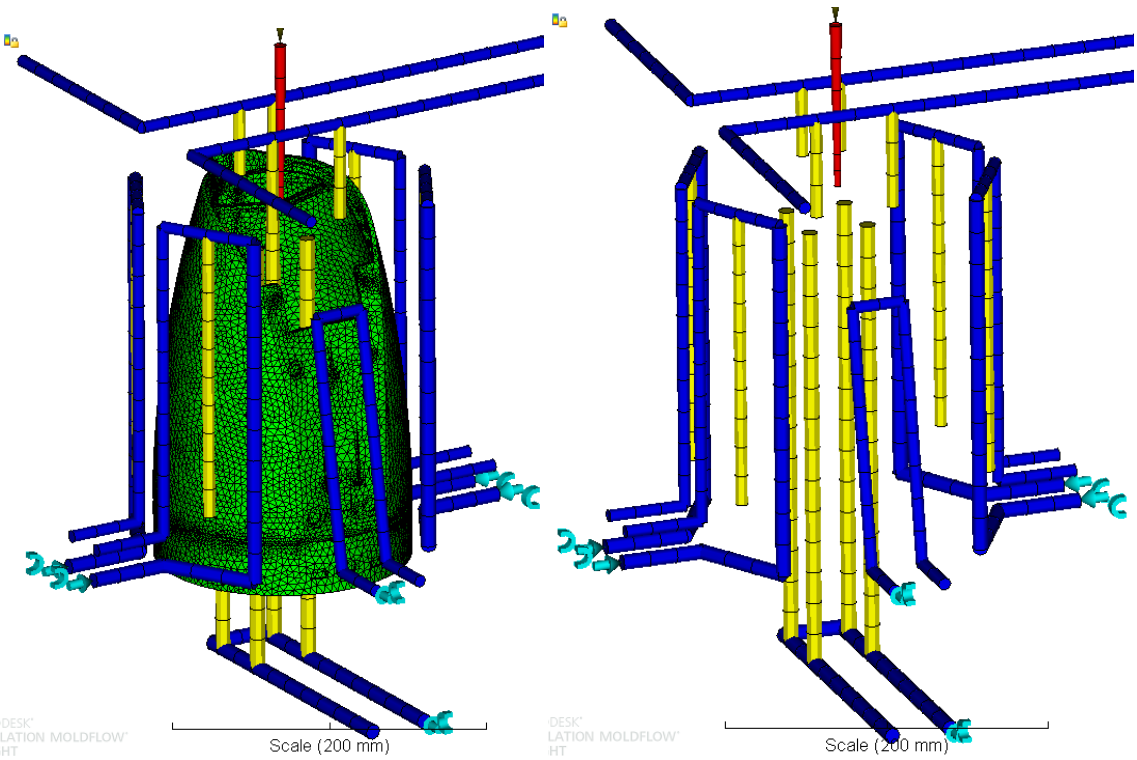
Při obtékaní překážky (otvory) nebo plnění více vtoky dochází ke vzniku studených spojů na výstřiku. Studené spoje nelze úplně odstranit, ale můžou být procesními podmínkami, tloušťkami stěn případně časováním horkých trysek přemístěny do části výrobku, kde nebudou tolik negativně ovlivňovat kvalitu výstřiku.



Obr. 84. Predikce vzniku studených spojů

7.3.7 Standardní temperační systém

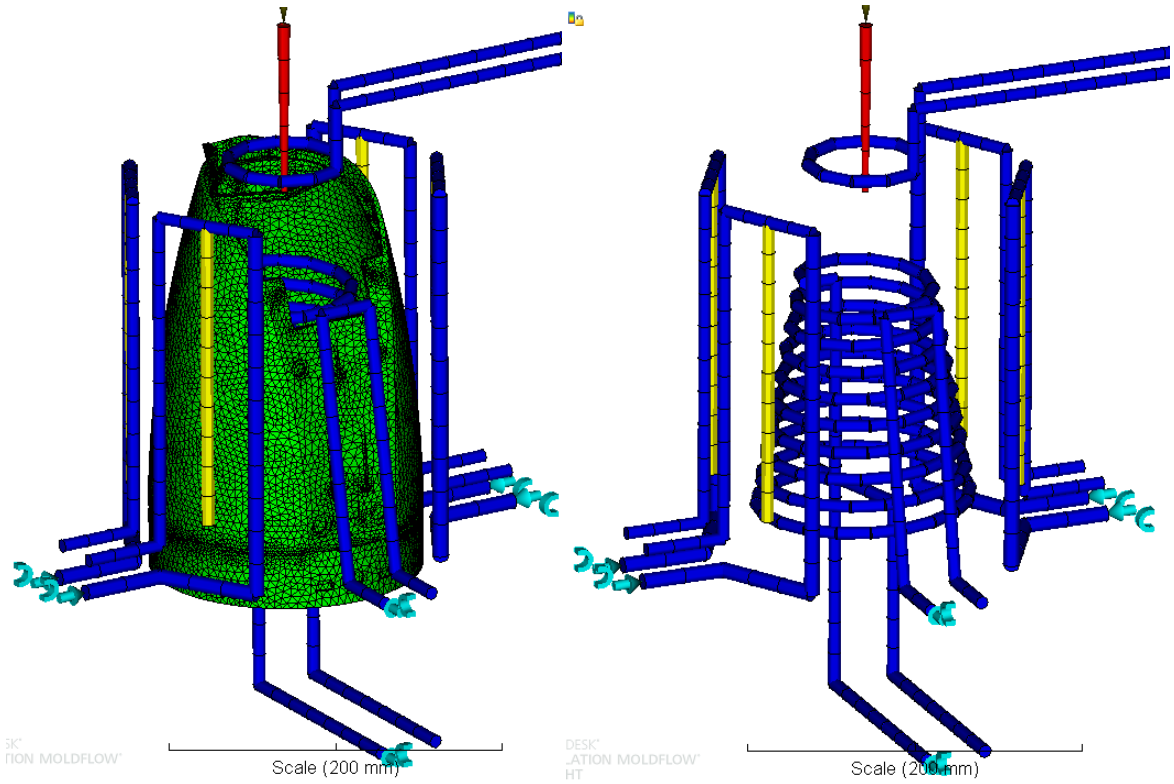
Pro standardní temperační systém byly zvoleny průměry vstupních kanálů jednotlivých větví 10mm. Dalším kanálům byl zvolen průměr 8mm. Průměr obtokových můstků byl zvolen průměr 8mm, pouze průměr obtokových můstků použitých k temperaci jádra byl zvolen průměr 10mm. Jako temperační médium byla zvolena voda s ohledem na zpracovávaný materiál a jeho doporučené procesní parametry.



Obr. 85. Standardní temperační kanály dle Moldflow

7.3.8 Konformní temperační systém

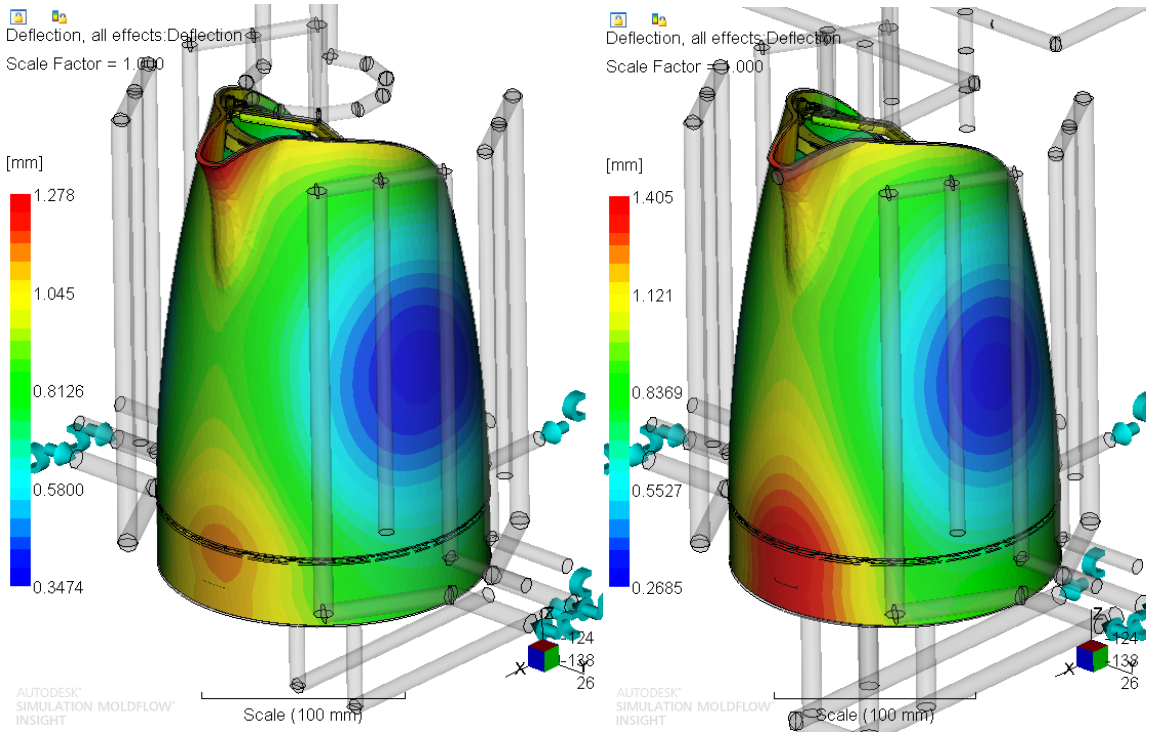
Konformní temperační kanály byly zvoleny pouze pro horní tvarovou část a pro jádro výstřiku. Jsou to díly, které nejsou rovnoměrně temperovány vrtanými kanály. Průměr konformních kanálů byl zvolen 8 mm. Výhodou konformního chlazení je udržení rovnoměrného teplotního pole v dutině formy a tím ovlivní i celkovou deformaci výrobku.



Obr. 86. Konformní temperační kanály dle Moldflow

7.3.9 Celková deformace dílu

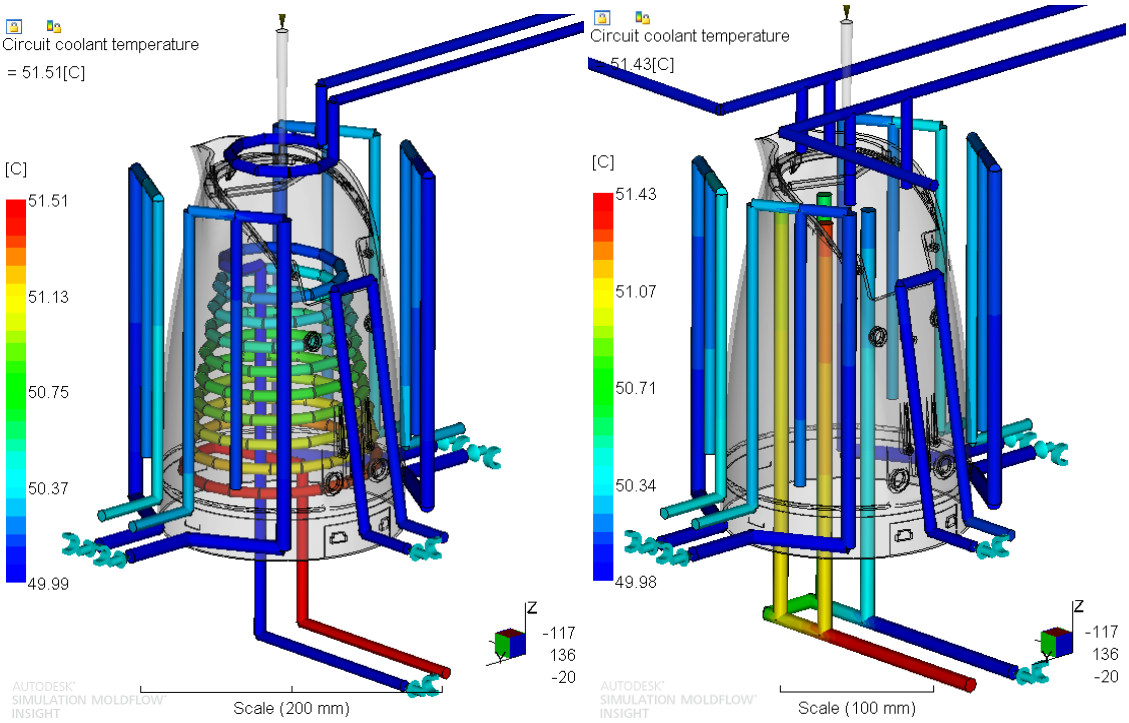
Celková deformace dílu je nejvíce ovlivněna smrštěním zpracovávaného materiálu a způsobu temperace tvarových částí. Čím rovnoměrnější teplotní pole tím menší deformace výstřiku. Dále se dá deformace dílu ovlivnit teplotou jednotlivých temperačních okruhů. Díl se doformuje více na stranu,ve které proudí teplejší temperační médium. Celková deformace dílu byla zjištěna u varianty se standardními temperačními kanály.



Obr. 87. Celková deformace - konformní vs. standardní tem. systém

7.3.10 Teplota temperačního média

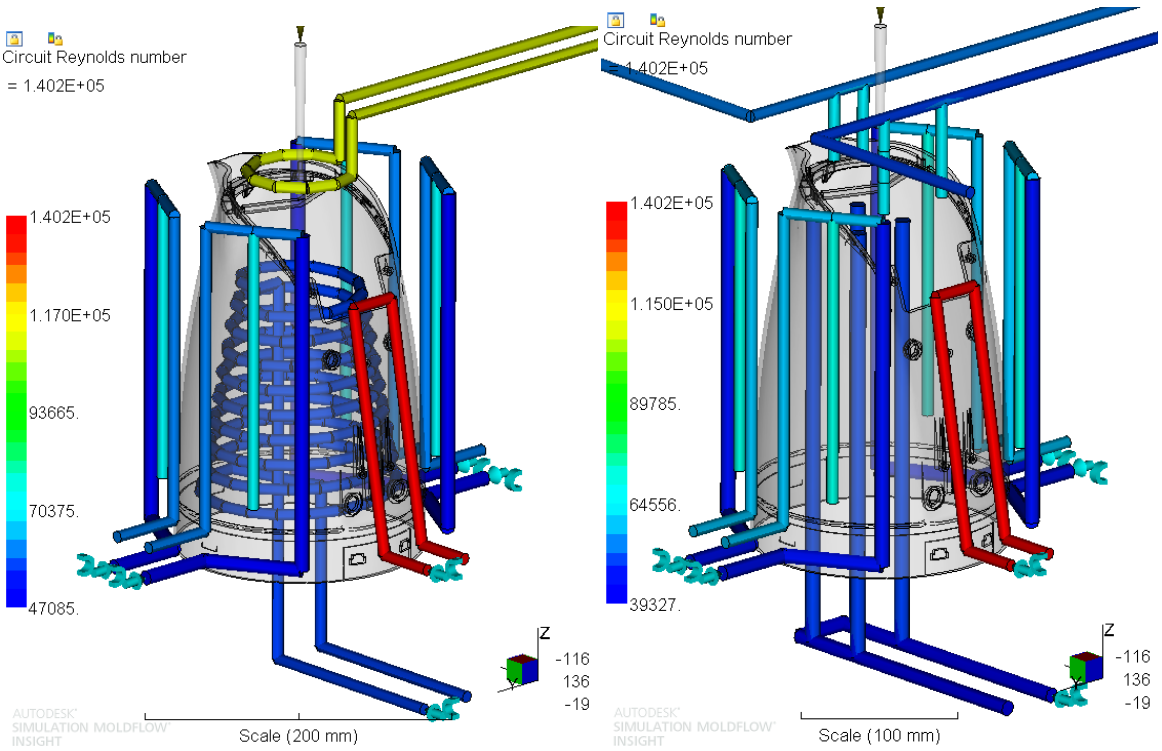
Teplotní spád mezi vstupem a výstupem z temperačního systému by měl být maximálně 3°C. Přehřívání temperačního média (větší teplotní rozdíl než 3°C) by znamenalo špatně navržený temperační systém (malé průřezy kanálů, malý tlak temperačního média, příliš dlouhý temperační kanál). V navrženém temperačním systému je maximální teplotní spád 1,5°C u obou variant temperačního média. Tento teplotní spád byl zaznamenán u nejdelších temperačních okruhů u obou variant.



Obr. 88. Teplota temperačního média - konformní vs. standardní tem. systém

7.3.11 Reynoldsovo číslo

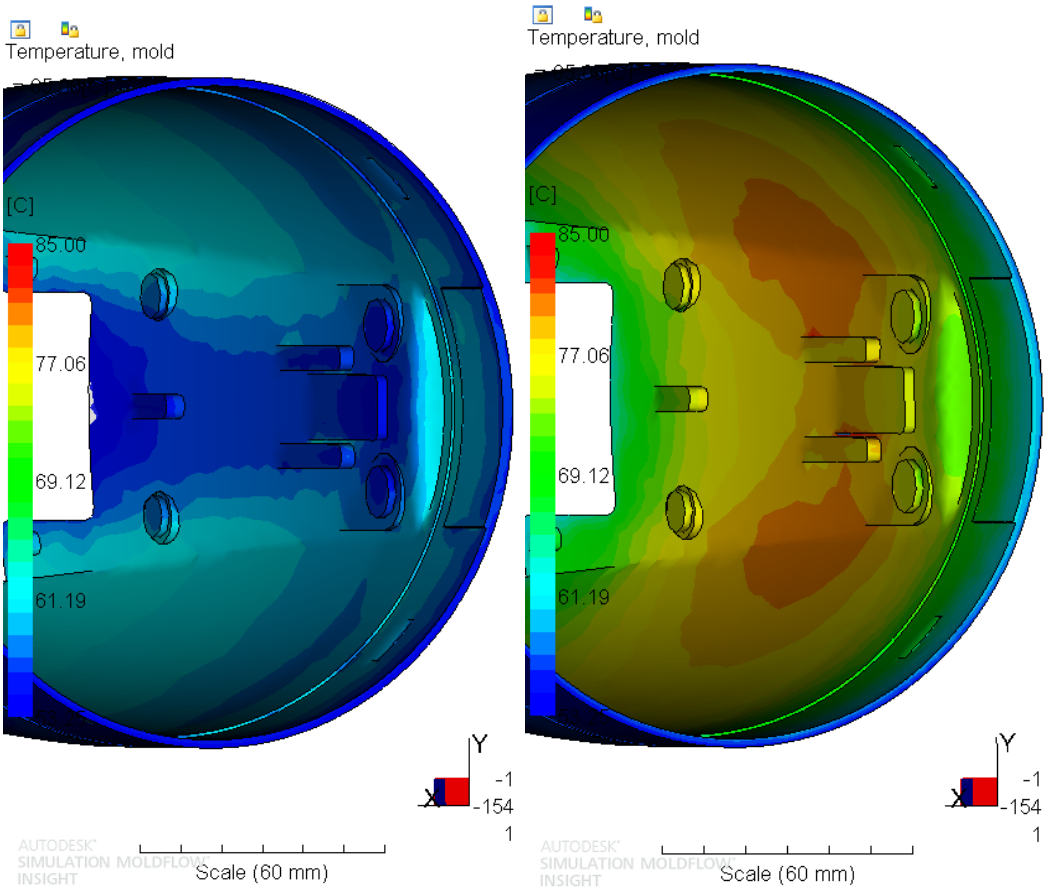
Proudění temperačního média by mělo být převážně turbulentní pro nejefektivnější odvod tepla z dutiny formy. Turbulentní prodění je dáno tvarem temperačního systému, rychlosti proudění a typu proudícího média. Turbulentní proudění je zaručeno když je Reynoldsovo číslo větší jak 40 000. Průtok temperačního média je největší (29 l/min) u nejkratšího temperačního okruhu (tvarové vložky panelu).



Obr. 89. Reynoldsovo číslo - konformní vs. standardní tem. systém

7.3.12 Teplota formy

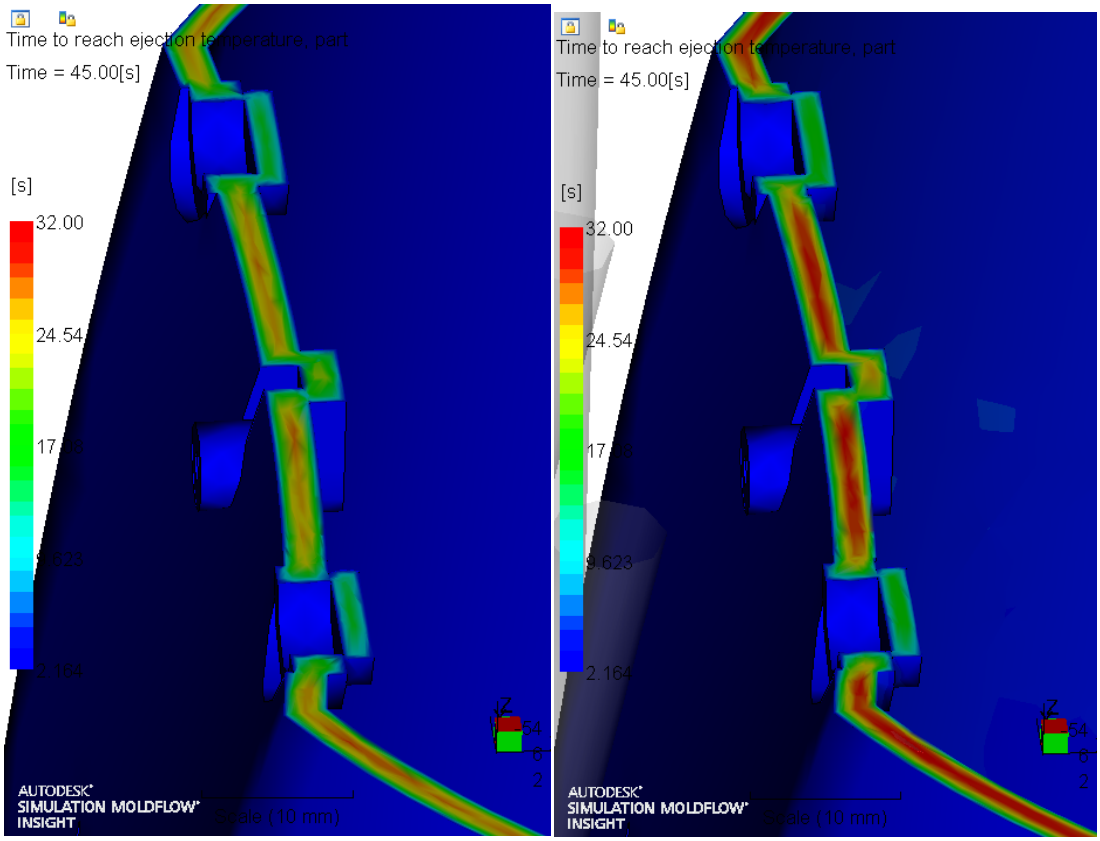
Při navrženém temperačním systému by se neměla výrazně přehřívat dutina formy tedy i samotný výrobek. To může vést k větší deformaci výrobku a nerovnoměrnému tuhnutí taveniny. U varianty standardního temperačního sytému dochází v porovnání s konformním k většímu přehřívání dutiny v oblasti panelu až o 30°C.



Obr. 90. Teplota formy - konformní vs. standardní tem. systém

7.3.13 Doba pro dosažení vyhazovací teploty

Pro dosažení vyhazovací teploty je vhodnější konformní chlazení, kdy jsou rozmístěny kanály kolem tvarové stěny dutiny. U standardní varianty dochází k chlazení celého jádra čtyřmi obtokovými můstky. Tím dochází k celkovému nárůstu teploty jádra. U varianty konformního chlazení dochází k nejdelšímu chlazení kolem výztužného lemu v horní části výrobku.



Obr. 91. Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty na stěně dílu

Čas nutný pro dosažení vyhazovací teploty u standardní varianty je 32 s. U standardní varianty temperace chladne nejdéle 2/3 tloušťky stěny dílu a to 32 s pro dosažení vyhazovací teploty. U konformní varianty temperace chladne nejdéle 1/4 tloušťky stěny dílu a to 25 s . Celková úspora času na chladnutí obvodu výstřiku je 7 s.

7.4 Porovnání temperačních systémů

Cílem praktické části diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formy pro kryt rychlovarné konvice. Dalším cílem práce bylo navrhnout dva různé systémy temperace.

První varianta temperačního systému byla zvolena jako standardní. Standardní temperační systém byl navržen a zkonstruován tak, aby mohl být vyroben standardními metodami třískového obrábění (vrtání). Tento systém se skládá z vrtaných kanálů a obtokových můstků od firmy HASCO.

Výhody standardního temperačního systému:

- nižší cena výroby temperačních kanálů,
- jednodušší provedení výroby,
- výrobu kanálů může provést běžná nástrojárna,
- nízká cena obtokových můstků v případě jejich poškození.

Nevýhodami standardního systému je, že může docházet k nerovnoměrnému chlazení větších a složitějších jader a tím i větší deformace vyráběného dílu. Při vstřikovacím cyklu může docházet k přehřívání částí dílů formy a tím narušit potřebné konstantní teplotní pole. Při tvarově složitějších výrobcích musí být tvarové části nebo desky větší, aby mohli být vyrobeny kanály a nesnížila se pevnost celé tvarové části.

Druhá varianta temperačního systému byla zvolena jako konformní. Konformní temperační systém by navržen pro výrobu technologií laserového spékání kovového prášku DMLS.

Výhody konformního temperačního systému:

- rovnoměrné chlazení i tvarově složitých dílů a tím i menší deformace dílu,
- možnost vedení temperačních kanálů do nepřístupných míst např. pro vrtání (kapsy žeber, kopírování tvarové části dutiny formy ...),
- možnost výroby temperačních kanálů až do průměru 3 mm,
- možnost zkrácení chladícího času až max. o 50%,
- napojení na předpřipravené polotovary,
- při poškození tvárníků je možné ji technologií DMLS po přípravě opravit a není třeba vyrábět celý nový díl.

Nevýhodami konformního systému chlazení je vysoká cena kanálů. Cena se odvíjí od složitosti chladícího systému. Výrobu konformního chlazení můžou provozovat pouze specializované pracoviště, které mají zakoupené speciální výrobní stroje. Další nevýhodou je vysoká cena kovového prášku, který se používá. Nevýhodou technologie spékání kovového prášku je značná porozita vyráběného dílu v závislosti na parametrech výroby.

Tab. 4. Porovnání temperačních systémů

	Standardní tem. systém	**Konformní tem. systém**
Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty stěny	32 s	25 s
Celková deformace výstřiku	1,41 mm	1,27 mm
Teplota přehřívané části formy	61°C	79°C
Váha kompletní formy	1128 kg	1128 kg
Cena tvarového jádra	65 000 Kč	320 000 + 30 000Kč*
Teplotní spád temperačního systému	1,5°C	1,5°C

**Cena části vyráběné DMLS + cena polotovaru*

Tab. 5. Ekonomické hodnocení temperačních systémů

Náklady na stroj	2000 Kč/ hodinu	
	Standardní tem. systém	**Konformní tem. systém**
Čas vstřikovacího cyklu	32s	25s
Počet vyrobených dílů	112 ks/hod	144 ks/hod
Náklady na výrobu 1 dílu	17,85 Kč	13,88 Kč
Rozdíl nákladů na 1 díl	3,94 Kč	
Návratnost nákladů	po výrobě 72 336 kusů	

Cena jádra s konformním temperačním systémem bude o 285 000 Kč vyšší než cena jádra se standardním temperačním systémem. Návratnost nákladů pro výrobu konformního temperačního systému bude po výrobě 72 500 kusů.

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce bylo navrhnou kompletní vstřikovací formu pro zadaný díl, který byl zvolen vedoucím práce. Zvolený díl byl kryt rychlovarné konvice. Základní rozměry daného dílu jsou průměr spodní podstavy 164 mm, výška dílu 245 mm a největší tloušťka stěny dílu 2,5 mm.

Vstřikovací forma byla navržena jako kompletní sestava se všemi potřebnými komponenty pro správnou funkci. Forma byla navržena s použitím normalizovaných dílů od firmy HASCO. Vstřikovací forma byla zvolena s ohledem na velikost a složitost výrobku jako jednonásobná. Vtokový systém pro danou formu byl zvolen jako kombinace vyhřívané trysky a studených rozvodných kanálů s tunelovým vtokovým ústím. Vstřikovací forma byla s ohledem na složitost výstřiku vyrobena s tvarovými vložkami. Materiál tvarových vložek byla zvolena nástrojová ocel (1.2709). Ostatní části formy (nepohyblivé) byla zvolena konstrukční ocel (1.0060), na pohyblivé části (čepy, pouzdra ...) byl zvolen materiál 1.1148. Vyhazovací systém byl zvolen mechanický, kdy dochází v prvním kroku k odformování vnitřních zámků a následně pak k setření výstřiku z jádra pomocí stíracího kroužku. Stírací kroužek je ovládán 8 čepy. Vnější tvar výrobku je následně dán tvarem leštěných vnějších tvarových vložek, které jsou ovládány z obou stran plochými vačkami. Vstřikovaný polymer byl zvolen PP 578N od firmy SABIC. Celková dávka materiálu nutná pro naplnění dutiny formy byla stanovena na 291 g. Maximální dávka polymeru u zvoleného vstřikovacího stroje (ARBURG ALLROUNDER 920S GOLDEN EDITION) je 572 g, plastikační jednotka stroje je využita na 50%. Velikost upínacích desek formy je 350x620 mm. Celková výška formy je 623 mm. Vstřikovací formy byla navržena ve dvou variantách temperačního systému. Standardní temperační systém je realizován vrtanými kanály a obtokovými můstky. Konformní temperační systém je vyráběn metodou DMLS a je realizovaný kruhovým kanálem vedoucím ve spirále kopírující tvar dílu. Cena jádra vyráběného metodou DMLS byla stanovena firmou Innomia na 320 000 Kč. Výstřik vyráběný ve formě s konformní chlazení byl méně deformovaný a čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty stěny byl kratší o 7 s.

Návratnost nákladů pro výrobu konformního temperačního systému bude po výrobě 72 500 kusů. Závěr

Teoretická část diplomové práce popisuje princip technologie vstřikování. Dále práce popisuje konstrukci forem , jednotlivé její části a funkce jednotlivých systémů obsažených ve vstřikovací formě.

Praktická část práce obsahuje vlastní konstrukci vstřikovací formy. Vstřikovací forma byla navržena ve dvou variantách. První varianta obsahuje standardní temperační systém, který je realizovaný vrtanými temperačními kanály s obtokovými můstky. Druhá varianta obsahuje konformní temperační systém, který je realizovaný kruhovým kanálem vedeným ve spirále kolem vnějšího tvaru výstřiku. Dále práce obsahuje 2D výkresy řezů a pohledy do dělící roviny u obou variant vstřikovací formy. V poslední části se práce zabývá tokovými analýzami obou variant temperačního systému a jejich vzájemným porovnáním výsledků.

Pro převod zvoleného výrobku do 3D modelu, návrh vstřikovací formy a 2D výkresovou dokumentaci byl zvolen software CATIA V5R19 od firmy Dassault Systemes. Pro simulační výpočty plnění a chlazení byl zvolen software Autodesk Simulation Moldflow 2015. Pro import použitých normálií od firmy HASCO, byl použit katalog DAKO.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

[1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů.* 2. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.

[2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů.* 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.

[3] BRUMEL, M. a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů.* 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977. 272 s.

[4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů.* [s. l.]: [s. n.], 2009. 247 s.

[5] ZDENĚK, Ř. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů.* SEKURKON. 225 s. ISBN 80-86604-18-7

[6] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. *Successful injection molding: process, desing and simulation.* Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.

[7] DUCHÁČEK, V. *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* Praha: VŠCHT 2006. 280 s.

[8] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu.* Zlín: UTB, 2011. 152 s.

[9] RESS, H. *Mold engineering.* 2nd edition. Munich: Hanser, 2002. 688 s. ISBN 3-446-21659-6.

[10] SKLÁŘ, M. *Konstrukce vstřikovací formy pro kryt telefonu*. 2013. 80 s. Bakalářská práce

[11] MENGES, G., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds.* 2nd edition. Munich: Hanser, 1993. 545 s. ISBN 3-446-16305-0.

[12] BEAUMONT, P., J. *Runner and Gating Desing Handbook.* Munich: Hanser Gardner Publications, 2004. 286 s. ISBN 978-1-56990-347-6.

[13] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 637 s.

[14] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.* Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.

[15] DYM, B. J. *Injection molds and molding.* I. Title. New York: Van Nostrand Reinhold company Inc. 1979, 400 s. ISBN 0-442-22223-8.

[16] OSSWALD, A. T., TURNG, L., GRAMANN, P. *Injection Molding Handbook.* 2nd edition. Hanser Gardner Publications, 2007, 764 s. ISBN 1-569-90420-0

[17] UNGER, P., *Gastrow Injection Molds: 130 Proven Desings*. 4th edition. Hanser Gardner Publications, 2006, 335 s. ISBN 1-569-90402-2.

[18] MUSA, R. J., AVRAM, I. I., SHIH-JUNG, L., *Injection Molding: Technology and Fundamentals.* Hanser, 2009. 926 s. ISBN 3-446-41685-5.

Internetové zdroje:

[19] Arburg [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/technology/flexibility/>

[20] Pasty [online]. [cit. 2012-15-12]. Dostupný z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>

[21] Polymery [online]. [cit. 2012-15-12]. Dostupný z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>

[22] PROTECH SpT [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupný z WWW: <http://www.protech-spt.cz/product/13-kerb-konus-certifikace-dle-qs-9000-din-en-iso-9001-a-vda-6-1.html/>

[23] Plastový šroub [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.plasticscrewsandnuts.com/>

[24] Vstřikovací formy [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf>

[25] Vstřikování [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný a WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf>

[26] Vtoková soustava [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/vtokova%20soustava.pdf>

[27] Speciální metody vstřikování [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/stroje-a-technologie/853-inovativne-metody-vstrekovania>

[28] Katalog firemních normálií HASCO [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.hasco.com/se/Products/Hot-runner-Technology>

[29] LPM s. r. o. - Technické díly z plastů, polotovary, profily, stavební prvky, skříně a obaly pro strojírenství a stavbu přístrojů. [online]. [cit. 2013-5-3]. Dostupný z WWW: < http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2271&lng=1>

[30] Injection molding. [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupný z WWW: < http://www.bgk.uni-obuda.hu/ggyt/targyak/seged/bagim1ennb/imw.pdf>

[31] Vstřikovací stroj od firmy FUHRUNG. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupný z WWW: <http://www.lis-na-plasty.cz/>

[32] Extrusion. [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupný z WWW: <http://www.wanthane.com/html/20130904171428560391.html>

[33] Normálie firmy Jan Svoboda s.r.o. [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupný z WWW: <http://www.plasticportal.cz/cs/podla-cinnosti/ci/835/sub-ci/875/jan-svoboda-sro/f/218>

[34] Firma PF plasty [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupný z WWW: <http://www.pfplasty.cz/>

[35] Normálie firmy HASCO [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupný z WWW: <http://www.plasticportal.cz/cs/hasco-austria-gmbh/f/352>

[36] Princip vstřikování plastů [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.sotallia.com/princip-vstrikovani-plastu.html>

[37] 14220 [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupný z WWW: <http://www.14220.cz/technologie/>

[38] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>

[39] SABIC [online]. [cit. 2015-4-19]. Dostupný z WWW: <https://www.sabic.com/corporate/en/>

[40] DMLS [online]. [cit. 2015-4-19]. Dostupný z WWW: <http://www.dmls.cz/>

[41] Innomia, Vývoj a výroba plastových a kovových prototypů technologií Rapid Prototyping [online]. [cit. 2015-4-19]. Dostupný z WWW: <http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazeni>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	Polypropylen
M	Množství potřebného plastu
G	Hmotnost výstřiku
n	Násobnost formy
A	Hmotnost vtoků a kanálů
Q	Plastikační výkon stanovený výrobcem stroje
S	Průmět plochy výrobku do dělící roviny včetně rozváděcích kanálů
p_v	Tlak v dutině formy
k	Koeficient tekutosti vstřikovaného materiálu
Ø	Průměr
R	Poloměr zaoblení
DMLS	(Direct Metal Laser Sintering) Nekonvenční metoda výroby dílů laserovým spékáním kovového prášku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma vstřikovacího stroje, 1- pevná deska, 2- pevná část formy, 3- pohyblivá část formy, 4- pohyblivá deska, 5- vedení, 6- uzavírací mechanizmus, 7- deska, 8- ovládací válec uzavíracího mechanizmu, 9- táhlo, 10- vyhazovací systém, 11- olejové čerpadlo, 12- zásobník oleje, 13- elektromotor, 14- skříň převodovky, 15- ozubená kola, 16- šnek, 17- plastikační válec, 18- granulát, 19- tryska, 20- násypka, 21- elektromotor, 22- ovládání plastikační jednotky. [37] 14

Obr. 2. Průběh tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [38] 15

Obr. 3. Vstřikovací cyklus [1] 15

Obr. 4. pvT diagram semikrystalického polymeru [4] 16

Obr. 5. Schéma vstřikovací jednotky [16] 18

Obr. 6. Schéma plastikačního šneku [32] 19

Obr. 7. Příklad mechanické uzavírací jednotky [31] 20

Obr. 8. Příklad hydraulické uzavírací jednotky [19] 20

Obr. 9. Vzájemné uspořádání uzavírací a vstřikovací jednotky [38] 20

Obr. 10. Dělení polymerů [20] 22

Obr. 11. Příklady přechodů tloušťky stěn a) nevhodné, b) lepší, c,d) vhodné [6] 27

Obr. 12. Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [10] 28

Obr. 13. Příklady rýhování [10] 28

Obr. 14. Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [10] 29

Obr. 15. Příklad použití zástřiků [22] 29

Obr. 16. Plastový šroub [1, 23] 30

Obr. 17. Způsoby značení [10] *Obr. 18. Datumovka [33]* 30

Obr. 19. Průběh smrštění polymeru [24] 33

Obr. 20. Deformace dílu vlivem rozdílené teploty formy [12] 33

Obr. 21. Deformace dílu [12] 33

Obr. 22. Rozbor vstřikovací formy [35] 34

Obr. 23. Schéma řadového uspořádání výrobků *[26]* 38

Obr. 24. Schéma symetrického uspořádání výrobků [26] 39

Obr. 25. Příklad standardní formy 40

Obr. 26. Příklad tří deskového systému formy 40

Obr. 27. Centrální vtoková vložka 41

Obr. 28. Typy průřezů rozváděcích kanálů, 1, 6 - výrobně nevýhodné ale nejvhodnější pro rozvod taveniny, 2, 3, 4, 5 - výrobně výhodné [10] 42
Obr. 29. Nejčastější vtoková ústí, A-boční ústí, B-tunelové ústí, C-bodové ústí [10] 42
Obr. 30. Řez centrální vtokovou vložkou [35] 43
Obr. 31. Typy zakončení bodového vtoku [10] 43
Obr. 32. Tunelový vtok, A-rozváděcí kanál v obou polorovinách, B-rozváděcí kanál v jedné polorovině, C-zaústění o nálitku [10] 44
Obr. 33. Funkce srpkovitého vtoku *[10]* 45
Obr. 34. Uspořádání filmového vtoku [10] 45
Obr. 35. Boční vtok, a) typický boční vtok, b) vějířový vtok, c) boční vtok s překryvem, d) nepřímý boční vtok [10] 46
Obr. 36. Řez vyhřívaným vtokovým systémem [24] 47
Obr. 37. Sdílení tepla z vyhřívaných částí vtokového systému do formy [12] 47
Obr. 38. Řez vyhřívanými tryskami s pneumatickým ovládáním [12] 48
Obr. 39. Příklad chlazení vyhřívaných trysek vodou [12] 49
Obr. 40. Příklad vyhřívaných rozvodných bloků od firmy HASCO [35] 49
Obr. 41. Příklad chlazení dílu [12] *Obr. 42. Příklady obtokových můstků [11]* 50
Obr. 43. Příklad standardních vrtaných kanálů [37] 51
Obr. 44. Příklad konformního chlazení [37] 51
Obr. 45. Boční odformování s šikmými čepy, a - díl, b - šikmý čep, c - tvarový jezdec, d - zajišťující plocha [11] 53
Obr. 46. Boční odformování s lomenými čepy, a - tvarový jezdec, b - zajišťující plocha, c - tvárnice, d - jádro, e - lomený čep [11] 53
Obr. 47. Odformování závitů pomocí dvou ozubených hřebenů [11] 54
Obr. 48. Odformování závitů pomocí ozubeného převodu [11] 54
Obr. 49. Zvolený díl 59
Obr. 50. Tvarová vložky vnějšího tvaru krytu 60
Obr. 51. Tvarová vložka pro panel 60
Obr. 52. Jádro 60
Obr. 53. Tvarová vložka pro horní část formy 60
Obr. 54. Příklad vstřikovacího stroje od firmy ARBURG [19] 63
Obr. 55. Kompletní vstřikovací forma 65
Obr. 56. Vyhazovací systém 66

Obr. 57. Řez formou - vodící čepy vyhazovacího systému 67
Obr. 58. Řez šikmým vyhazovačem 67
Obr. 59. Vyhazovací část formy 68
Obr. 60. Hydraulický válec, vedení 69
Obr. 61. Ploché vačky 69
Obr. 62. Vstřikovací část formy 70
Obr. 63. Transportní můstek 71
Obr. 64. Opěrné kostky pro montáž 71
Obr. 65. Temperační systém tvarové vložky panelu 72
Obr. 66. Temperační systém vnějších tvarových vložek 72
Obr. 67. Standardní temperační systém horní strany 73
Obr. 68. Standardní temperační systém jádra 73
Obr. 69. Konformní temperační systém horní strany 74
Obr. 70. Konformní temperační systém jádra 74
Obr. 71. Princip DMLS [40] 75
Obr. 72. Příklady použití DMLS technologie pro konformní chlazení [41] 76
Obr. 73. Polotovar pro druhý krok výroby 77
Obr. 74. Část jádra pro konformní chlazení 77
Obr. 75. Tloušťka stěny dílu 78
Obr. 76. Plnění dutiny formy 79
Obr. 77. Detail plnění v čase 0,9 s hodnota tlaku taveniny 2,5 MPa 79
Obr. 78. Tlak v bodě přepnutí 80
Obr. 79. Průběh uzavírací síly 81
Obr. 80. Průběh tlaku v místě vtokového ústí 81
Obr. 81. Maximální smyková rychlost ve vtokových ústích 82
Obr. 82. Maximální smyková rychlost 82
Obr. 83. Uzavřený vzduch 83
Obr. 84. Predikce vzniku studených spojů 84
Obr. 85. Standardní temperační kanály dle Moldflow 85
Obr. 86. Konformní temperační kanály dle Moldflow 86
Obr. 87. Celková deformace - konformní vs. standardní tem. systém 87
Obr. 88. Teplota temperačního média - konformní vs. standardní tem. systém 88
Obr. 89. Reynoldsovo číslo - konformní vs. standardní tem. systém 89

Obr. 90. Teplota formy - konformní vs. standardní tem. systém..... 90
Obr. 91. Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty na stěně dílu..... 91
Obr. 1. Schéma vstřikovacího stroje, 1- pevná deska, 2- pevná část formy, 3- pohyblivá část formy, 4- pohyblivá deska, 5- vedení, 6- uzavírací mechanizmus, 7- deska, 8- ovládací válec uzavíracího mechanizmu, 9- táhlo, 10- vyhazovací systém, 11- olejové čerpadlo, 12- zásobník oleje, 13- elektromotor, 14- skříň převodovky, 15- ozubená kola, 16- šnek, 17- plastikační válec, 18- granulát, 19- tryska, 20- násypka, 21- elektromotor, 22- ovládání plastikační jednotky. [37]

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Velikost úkosů [10] 25
Tab. 2. Zaoblení hran a rohů [10] 26
Tab. 3. Vybrané technické údaje stroje Allrounder 920S [19] 63
Tab. 4. Porovnání temperačních systémů 93

SEZNAM PŘÍLOH

PI Materiálový list

PII Cenová nabídka

PIII Výkresová dokumentace - 2D řez, pohledy do dělící roviny a kusovník

PIV DVD - disk

PŘÍLOHA PI: Materiálový list

SABIC® PP 578N

PP homopolymer for Injection moulding

Description:
SABIC® PP 578N is a nucleated PP homopolymer grade. This grade allows for cost efficient processing on the basis of good flow behavior, short cycle times, and robust processing behaviour. Products made from SABIC® PP 578N typically have low warpage, high stiffness in combination with moderate impact strength at room temperature, and a high gloss.

Application:
SABIC® PP 578N is typically used in domestic appliances and furniture, even as replacement for talcum or chalc filled compounds.

Health, Safety and Food Contact regulations:
Material Safety Data Sheets (MSDS) and Product Safety declarations are available on our Internet site http://www.SABIC-europe.com

The product mentioned herein is in particular not tested and therefore not validated for use in pharmaceutical/ medical applications.

This grade material is UL registered under File E111275 (www.ul.com)

Typical values Revision 20110418

Properties	Unit (SI)	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR)			ISO 1133
at 230 °C and 2.16 kg	g/10 min	25	
at 230 °C and 5 kg	g/10 min	98	
Density	kg/m³	905	ISO 1183
Mechanical properties			
Tensile test			ISO 527
stress at yield	MPa	42	
stress at break	MPa	23	
strain at break	%	500	
Flexural test			ASTM D 790
Flexural modulus	MPa	2100	
Izod impact notched			ISO 180/4A
at 23 °C	kJ/m²	2.5	
Charpy impact notched			ISO 179
at 23 °C	kJ/m²	2.1	
Hardness Shore D	-	74	ISO 868
Thermal properties			
Heat deflection temperature			
at 1.80 MPa (HDT/A)	°C	59	ISO 75/A
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	119	ISO 75/B
Vicat softening temperature			
at 10 N (VST/A)	°C	153	ISO 306/A
at 50 N (VST/B)	°C	95	ISO 306/B

Internet www.sabic-europe.com
email pp.info@sabic-europe.com

PŘÍLOHA PII: Cenová nabídka

innomia

Nabídka: **20150428_2A_E**

Dodavatel:
Innomia a.s.
Husova 114
551 01 Jaroměř

IČ: 27498409
DIČ: CZ27498409

Tel: 491 84 13 71
Fax: 491 84 13 80
Email: info@innomia.cz
Web: www.innomia.cz

Odběratel:
Martin Sklář

IČ:
DIČ:

Pro: Martin Sklář

Tel.:
Mob.:
Fax:
Email: martin.skl@centrum.cz
Web:

Platnost nabídky do: **28.5.2015** Datum vystavení nabídky: 28.4.2015

Na základě Vaší poptávky nabízíme tyto výrobky a služby.

Popis nabídky: **Výroba polotovaru části vložky "jadro konformni_cast" technologií DMLS**
(částečné sintrování na dodaný spodní polotovar)

Rozpis položek	Počet ks	Cena za ks bez DPH	DPH %	Cena za položku bez DPH	Cena za položku s DPH
Výroba části vložky "jadro konformni_cast" (částečné sintrování na spodní polotovar)	1	265 000,00 Kč	21	265 000,00 Kč	320 650,00 Kč

pozn. k položce:
Technologie: DMLS (Direct Metal Laser Sintering)
Materiál: Maraging Steel 1.2709 (nástrojová ocel)
Tloušťka stavební sintrované vrstvy: 0,05 mm
Výška spodního polotovaru: 89,40 mm
Výška sintrované části (bez přídavku): 213,60 mm
Dokončení: bez finálního dokončení
Drsnost povrchu: Ra 12,5 µm
Doporučujeme vložku vyrobit s přídavkem 1,0 mm (na plochu) na dokončení - doobrobení na potřebné rozměry a vyleštění povrchu
Tvrdost po sintrování: cca 36 HRC
Sintrovanou část vložky lze tepelně zušlechtit až na cca 50 až 54 HRC
Model / CAD data: jadro konformni_cast_DMLS.stp (jen část vložky)

Tvar vložky bude dosintrován na dodaný spodní polotovar, vyrobený také s přídavkem 1,0 mm (na plochu)
Doporučený materiál pro výrobu spodního polotovaru je nástrojová ocel 1.2709

Cena celkem (bez DPH):	265 000,00 Kč
Cena celkem (vč. DPH):	**320 650,00 Kč**

Termín dodávky: **cca 12 pracovních dnů od obdržení platformy s polotovarem**
- bude upřesněno podle aktuální výrobní kapacity v okamžiku objednání

Doprava: EXW
Platba do: 14 dnů od vystavení faktury

Pozn.: **Cena nezahrnuje výrobu spodního polotovaru ani jejho montáž na stavební desku!**
Cena nezahrnuje dokončení vložky konvenčními technologiemi!!

** V případě podstatné změny cen základních vstupů (materiálu, energií) během tohoto období si dodavatel vyhrazuje právo na použití cenové doložky jako součást uzavřené kupní smlouvy (§ 473-75 Obchodního zákoníku).

*** Rozměry dílů jsou dle normy: ISO 2768 - c.

**** Při skenování bude na zmatnění dílu použit křídový spray.

Vystavil: Klouzek Zdeněk