Konstrukce nástroje pro výrobu plastového dílu

Bc. David Žák

Diplomová práce
2018

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. David Žák**
Osobní číslo:	**T16649**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Řízení jakosti**
Forma studia:	**kombinovaná**
Téma práce:	**Konstrukce nástroje pro výrobu plastového dílu**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracujte literární rešerži na dané téma.**
2. **Nakreslete 3D model vstřikovaného dílu.**
3. **Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.**
4. **Návrh ověřtě pomocí simulace.**
5. **Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018

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

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická
L.S.

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

Příjmení a jméno: ……. Obor: …….

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

[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

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí nástroje pro výrobu plastového dílu - vstřikovací forma pro rukojeť kbelíku 12 litrů.

Úvodní teoretická část práce popisuje problematiku vstřikování - popis vstřikovacího stroje a zásady pro konstrukci vstřikovaného dílce a vstřikovací formy.

Praktická část se zabývá vytvořením 3D modelu vstřikovaného dílu a konstrukcí vstřikovací formy pro daný dílec. Následně je forma podrobena analýze v programu Autodesk Moldflow.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, moldflow analýza

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the construction of a tool for making a plastic part - injection mold for a bucket handle of 12 liters.

The introductory theoretical part of the thesis describes the problems of injection - description of the injection molding machine and the principle for the construction of the injection molded part and the injection mold.

The practical part deals with the creation of a 3D model of the injection molded part and the injection mold construction for the part. Subsequently, the form is analyzed in Autodesk Moldflow.

Keywords: injection molding, injection mold, moldflow analysis

Tímto bych chtěl moc poděkovat všem, kteří mi pomohli k napsání této diplomové práce. Děkuji panu Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D. za jeho čas i trpělivost při její zpracování. Také děkuji své rodině za možnost studia.

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

Ve Zlíně ....

podpis studenta

OBSAH

ÚVOD **11**
I TEORETICKÁ ČÁST **12**
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ **13**
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ **14**
2.1.1 Vstřikovací jednotka 17
2.1.2 Uzavírací jednotka 19
2.1.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje 20
2.1.4 Pracovní režimy stroje 20
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS 21
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ **25**
3.1 DĚLÍCÍ ROVINA - ZAFORMOVATELNOST 26
3.2 TLOUŠŤKA STĚN 27
3.3 VÝZTUŽNÁ ŽEBRA 28
3.4 ZAOBLENÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ 30
3.5 ÚKOSY A PODKOSY 31
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA **33**
4.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU 35
4.2 NÁSOBNOST FORMY 35
4.3 ROZMĚRY TVAROVÉ DUTINY 36
4.4 ZPŮSOB TEMPERACE FORMY 37
4.5 VTOKOVÉ SYSTÉMY 39
4.5.1 Studené vtokové systémy 39
4.5.2 Typy ústí vtoku studených systémů 42
4.5.3 Horké vtokové soustavy 43
4.5.4 Vyhřívané trysky horkých vtokových systémů 44
4.5.5 Vytápěné rozvodné bloky 45
4.6 ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY 46
4.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 48
4.7.1 Mechanické vyhazování 49
4.7.2 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků 50
4.7.3 Vyhazování stírací deskou 51
4.7.4 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů 52
4.7.5 Pneumatické vyhození 52
4.7.6 Hydraulické vyhození 52
II PRAKTICKÁ ČÁST **53**
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE **54**
6 POUŽITÉ PROGRAMY **55**
6.1 AUTODESK INVENTOR 55
6.2 AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 55
6.3 KATALOG MEUSBURGER A HASCO 55
7 VSTŘIKOVANÝ DÍL **56**

7.1 MATERIÁL VÝROBKU 57
8 PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA MÍSTA VTOKU 58
8.1 UMÍSTĚNÍ POLOHY VTOKU 58
8.1.1 Odpor toku taveniny (Flow resistance indicator) 58
8.1.2 Nejvhodnější místo vtoku (Gating suitability) 59
9 KONSTRUKCE FORMY 60
9.1 NÁSOBNOST FORMY 61
9.2 PRAVÁ STRANA FORMY 61
9.3 LEVÁ STRANA FORMY 62
9.4 RÁM FORMY 63
9.5 DĚLÍCÍ ROVINA 64
9.6 TVAROVÉ PRVKY 65
9.7 VTOKOVÝ SYSTÉM 66
9.8 TEMPERAČNÍ SYSTÉM 67
9.9 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 68
9.10 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY 69
9.11 TRANSPORTNÍ SYSTÉM 69
10 VSTŘIKOVACÍ STROJ 70
11 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ 71
11.1 NASTAVENÍ ANALÝZY V MOLDFLOW INSIGHT 71
11.2 ANALÝZY PLNĚNÍ 73
11.2.1 Čas plnění (Fill time) 73
11.2.2 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location) 74
11.2.3 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover) 75
11.2.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk) 76
11.2.5 Tlak na konci plnění formy (Pressure at end of fill) 77
11.2.6 Teplota na čele taveniny 78
11.2.7 Uzavírací síla při vstřikování (Clamp force) 79
11.2.8 Vzduchové kapsy (Air traps) 80
11.2.9 Teplota taveniny na konci plnění (Bulk temperature at end of fill) 81
11.2.10 Zatuhlé vrstvy na konci dotlaku (Frozen layer fraction at end of fill) 82
11.2.11 Odhad vzniku propadlin (Sing marks estimate) 83
11.3 TEMPERAČNÍ ANALÝZY 84
11.3.1 Teplota chladícího média (Circuit coolant temperature) 84
11.3.2 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds temperature) 86
11.3.3 Objemový průtok temperačního média (Circuit flow rate) 87
11.3.4 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency) 88
11.3.5 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature part) 90
11.4 DEFORMACE 91
11.4.1 Celková deformace (Deflection, all effect) 91
11.4.2 Deformace vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage : Deflection) 92
12 DISKUZE VÝSLEDKŮ 93
ZÁVĚR 94

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **95**
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **97**
SEZNAM OBRÁZKŮ **98**
SEZNAM TABULEK **101**
SEZNAM PŘÍLOH **102**

ÚVOD

Dnes žijeme v době, kdy jsou polymery běžnou součástí našeho každodenního života. Výrobky z polymerů pronikly prakticky do všech oblastí lidských činností. Už si ani nedokážeme představit, jakou roli hrají plasty, jenž nahradily a zlevnily výrobu spousty zařízení, ale hrají i důležitou roli v oblasti hygieny a také nalezly své uplatnění v estetice. V dnešní době se plasty používají v automobilovém, elektrotechnickém, potravinářském průmyslu, pro výrobu hraček, zařízeních pro sport a spoustu dalších odvětví.

Plasty lze vyrábět i zpracovávat mnoha způsoby. Vstřikování plastů je jedním z nejpoužívanějších metod. Technologie vstřikování, především termoplastů, se stále více vyvíjí. Od svých počátků již urazila dlouhý kus cesty, především v druhé polovině 20. století, kdy se experimentovalo s různými možnostmi pro zpracování plastů, až po dnešní globalizaci.

Plastů je mnoho druhů. Jedním z důvodů, proč se plasty začaly rozvíjet, je vysoká reprodukovatelnost, hromadná výroba velmi složitých dílů za krátký čas, jenž by nebyla při použití tradičních, klasických materiálů, jako dřevo nebo ocel ekonomická nebo i možná. S tím je spojená i úspora energie. K dalším výhodám patří také dosáhnutí dobrých rozměrových jakostí.

Tento rozvoj by se neobešel bez souběžného rozvoje moderních technologií, jako jsou počítače a díky nim používané CAD/CAM systémy pro návrh a simulaci jak samostatných výrobků, tak i tvorby a nástrojů pro jejich realizaci - vstřikovacích forem.

Dnes se bez těchto programů prakticky neobejdeme. Pro samotnou výrobu forem dnes vyrábí specializované firmy tzv. normalizované díly (sjednocené normami), jenž ještě výrazněji zefektivňují výrobu forem, ale také uspoří čas i náklady.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování plastů je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření. Tato technologie cyklicky opakuje všechny části výroby. Vstřikování je nejpoužívanější technologie zpracování termoplastů, kompozitů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí i reaktoplastů, pryží a kaučuků.

Technologie vstřikování je způsob tváření plastů, kdy je potřebné množství vstřikovaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta při vysoké rychlosti a tlaku pomocí pístu nebo šneku do uzavřené dutiny formy. Takto odlisovaný materiál ztuhne a získá tvar konečného výrobku.

Aby bylo možné vyrobit konečný tvar výrobku (výlisku), je potřeba znát dané vlastnosti:

- vstupní typ materiálu, který bude použit pro výrobu výrobku,

- výrobní stroj a jeho výrobní cyklus a parametry,

- parametry vstřikovací formy, jenž je samotný nástroj pro výrobu daného výrobku.

Z těchto faktorů se pak odvíjí kvalita a užitné vlastnosti výrobku. [1] [3] [4] [5]

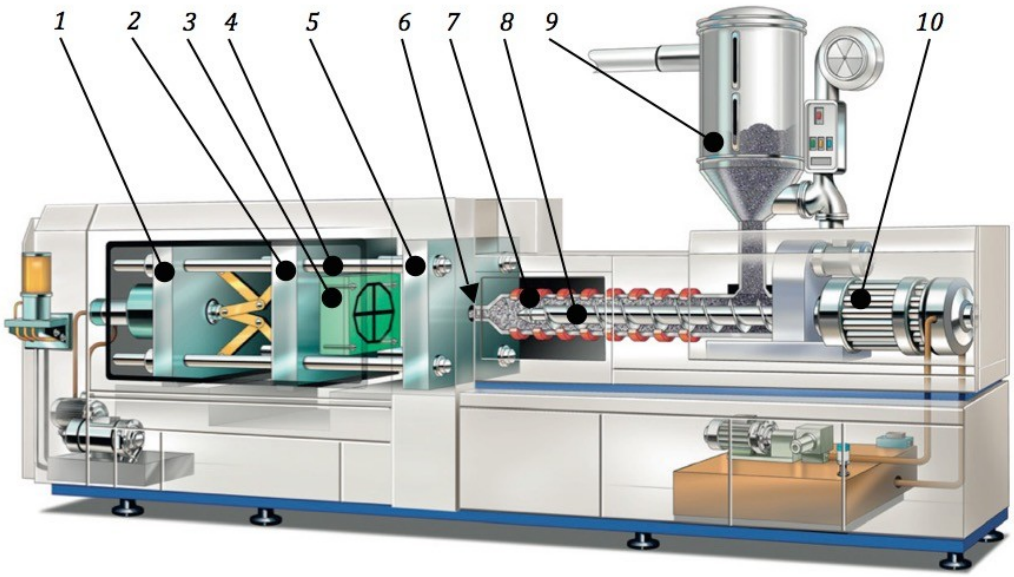
Vstřikování je vhodnou technologií pro vytvoření tvarových výrobků. Výstřiky mohou mít hmotnost 1g až několik kilogramů. Forma je obvykle ocelová, prototypové formy i duralové, chlazená protékající temperačním médiem a ohřátá na určitou temperační teplotu. Hmota ve formě po ochlazení ztuhne a po jejím otevření je výstřik většinou automaticky vyhozen z formy. Pracovní cyklus trvá krátkou dobu, což ze vstřikování dělá nejlevnější a nejrozšířenější technologií pro velkosériovou výrobu tvarových předmětů. Forma může být jednonásobná i vícenásobná pro jeden vstřik. [9]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj je jeden z hlavních činitelů výroby. Po vstřikovacím stroji se požaduje, aby byly splněny všechny parametry v určité kvalitě a s dokonalým řízením. Z toho plyne, zajistit výrobu výstřiků dané jakosti. V současnosti jsou na trhu dostupné vstřikovací stroje různých konstrukcí, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou.

Konstrukce vstřikovacího stroje je dána podle [1] :

- vstřikovací jednotky - převádí pevný materiál do plastického stavu
- uzavírací jednotky - dopravuje taveninu do dutiny formy a vytváří tlak taveniny
- ovládání stroje - udržuje formu uzavřenou při vstřikování
- vstřikovací formy - dává výstřiku tvar a rozměry



Obr. 1. Vstřikovací stroj [13]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Někteří výrobci přesných plastových součástí musí s ohledem na vstřikovaný díl a jeho formu postavit stroj „na míru“. Skládají je z normovaných dílů specializovaných firem.

Jelikož není tato praxe u nás zcela běžná, je zapotřebí vybírat stroje s ohledem na požadavky a charakter výroby. Musí se přitom zaměřit na [8] :

- plastikační schopnost vstřikovací jednotky
- tuhost konstrukce uzavírací jednotky
- ovladatelnost a vybavení regulační technikou
- stupeň automatizace

Dále musí vstřikovací stroj splňovat tyto požadavky [8] :

- vhodné rozměry pro upnutí formy - rozměry mezi sloupky musí umožnit bezproblémové vložení a upnutí formy
- vhodné umístění upínacích ploch na pevné a pohyblivé upínací desce
- možnost bezproblémového upevnění upínacích šroubů při otevírání a uzavírání formy
- středící otvory musí být vyhovující pro středící kroužky a dosedací tryska musí mít také vhodnou velikost

Plastikační schopnost vstřikovací jednotky - jedná se o kvantitativní a kvalitativní schopnost stroje převést granulát do stavu homogenní taveniny. Z hlediska přesných výstřiků je nejdůležitějším faktorem teplotní homogenita taveniny, která je určujícím prvkem kvality rozměrů výrobků. Šnekové vstřikovací stroje jsou nejvhodnější pro vstřikování přesných výrobků. Jen pro přesné vstřikování malých výrobků se používají speciální pístové stroje. [8]

Vstřikovací stroj pro přesné výstřiky musí mít tyto vlastnosti [1] :

- být tuhý a pevný při vstřiku
- mít konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní parametry a jejich časování
- mít přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů

Tuhost konstrukce uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je velmi důležitá z hlediska udržení úzkých tolerancí u rozměrů formou nevázaných. Rychlost otevírání a uzavírání formy zajímá výrobce velkosériových výstřiků z ekonomického hlediska. [8]

Při nevhodně zvoleném vstřikovacím stroji se snižuje kvalita výstřiku. Tyto problémy se projeví špatnými rozměry výstřiku, kde vstřikovací stroj působí svým tlakem, dobou chlazení, dotlakem, jednotlivými časy a teplotou na tyto operace.

Proto při výběru stroje hodnotíme kvalitu systémů regulace teploty tavící komory, systémů regulace času a prvků hydraulických obvodů. Posuzujeme jak spolehlivost, tak i reprodukovatelnost nastavení jednotlivých veličin, a to konstantní hodnoty v průběhu výrobního cyklu i citlivost regulátorů na tyto změny regulované veličiny. [8]

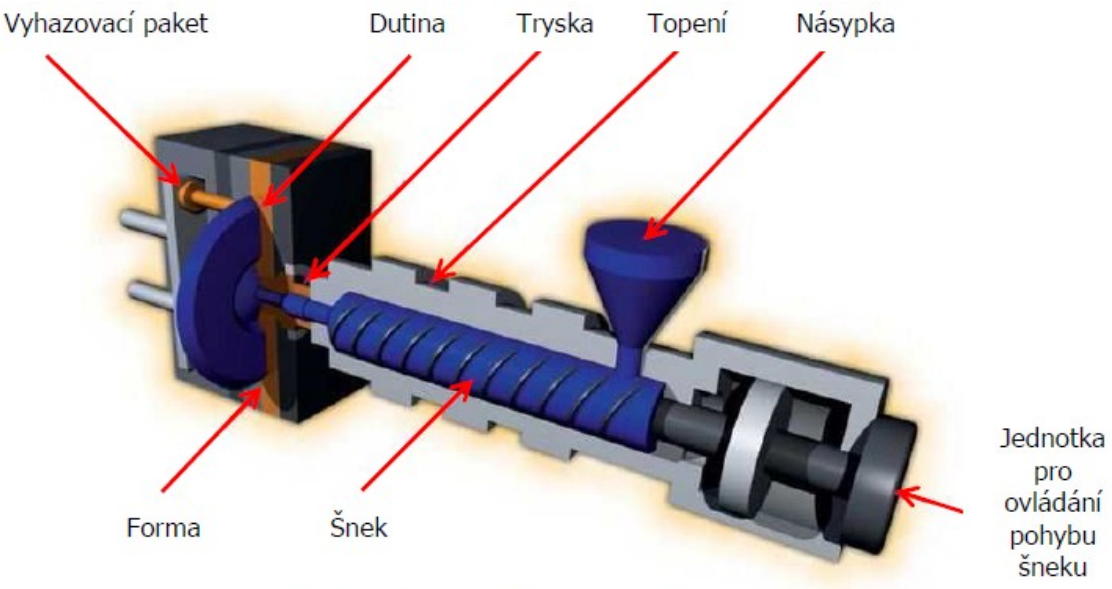
Velikost vstřikovacího stroje se určí maximálním objemem hmoty, který lze vstříknout do formy v jednom pracovním cyklu. [9]

Velkým přínosem je automatizace výrobního procesu, která zajišťuje stálý časový průběh jednotlivých cyklů a tím velmi příznivě ovlivňuje zejména stabilitu teplotních parametrů. Její nevýhodou ale zůstává, že neumožňuje vyrovnání nejrůznějších náhodných změn v činnosti stroje. [8]

2.1.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly - přeměňuje granulát daného plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě a dopravuje požadované množství taveniny s danými technologickými parametry vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky zdvihu. Při vstřikování nemá vstřikované množství materiálu být větší jak 90 % maximální kapacity jednotky, neboť je zde potřeba nechat případnou rezervu pro doplnění úbytku hmoty při chlazení - smrštění. Vstřikovací jednotka by měla být schopna naplnit dutinu formy optimálně při využití 80 % její kapacity. [1][5]

Funkce šnekové vstřikovací jednotky je následující - z násypky, kde je nasypán materiál ve formě granulí, se v důsledku pohybu šneku do něj nabírají granule. Ty se ve šneku stlačují a dopravují se vstupním, přechodovým a výstupním pásmem, kde se postupně taví a plastikují, homogenizují a hromadí se před čelem šneku. Ten se postupně během otáčení odsouvá zpět. Po zplastikování hmoty v potřebném množství se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se začne pohybovat směrem k formě jako píst, a tím dochází ke vstříknutí taveniny do dutiny formy. Oproti pístovým strojům může plastikace nové dávky u šnekových vstřikovacích jednotek probíhat již ve fázi chlazení předchozího vstřiku. Tím je výrobní cyklus kratší oproti pístovým jednotkám. Dalšími možnostmi je například dodatečné barvení hmoty, přidávat plniva a další přísady již během zpracování. [1][5]



Obr. 2. Šneková vstřikovací jednotka [15]

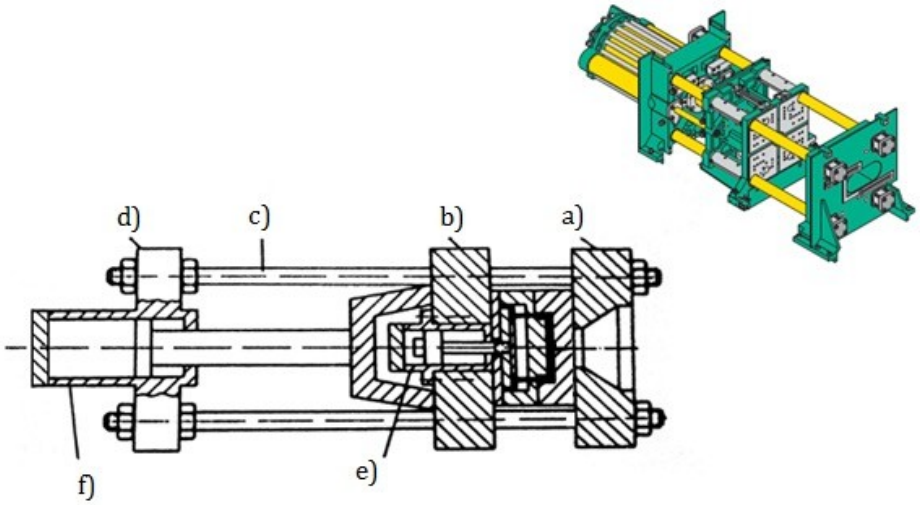
Konstrukčně vstřikovací jednotku tvoří ocelový topný válec, jenž je vytápěn elektricky. Na čele tohoto válce je vstřikovací tryska. Uvnitř válce je rotačně a posuvově uložen plastikační ocelový šnek. Šnek i válec jsou otěruvzdorné a tavenina funguje i jako mazivo. Hloubka šnekového závitu se směrem k trysce zmenšuje, aby se dosáhlo kompresního účinku při hnětění a dopravě zplastizovaného materiálu od násypky k trysce. Otáčky šneku jsou měnitelné. Teplota topného válce se zvyšuje směrem k trysce a reguluje se samočinně zapínáním jednotlivých úseků topení řízených termočlánky. [9]

2.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zavírá a otevírá vstřikovací formu a musí udržet formu zavřenou během vstřikování. Toto uzavření zajišťuje plynulými pohyby a je tvořena několika prvky a mechanismy. Forma musí být uzavřená takovou silou, aby nedošlo při vstřikování tlakem taveniny k otevření formy - uzamykací silou. Uzamykací síla působí proti vstřikovacímu tlaku a musí udržet formu zavřenou po celou dobu vstřiku i dotlaku. [5]

Uzavírací jednotka se skládá z těchto částí [1] [5] :

- opěrné desky - ta je spojena pevně s ložem stroje
- pohyblivé desky - je na ní upnuta pohyblivá část formy
- upínací desky s otvorem pro trysku stroje - na ní se upne nepohyblivá část formy
- vodící sloupky - vedou pohyblivou desku
- uzavírací a přidržovací mechanismus



Obr. 3. Hydraulická uzavírací jednotka [10]

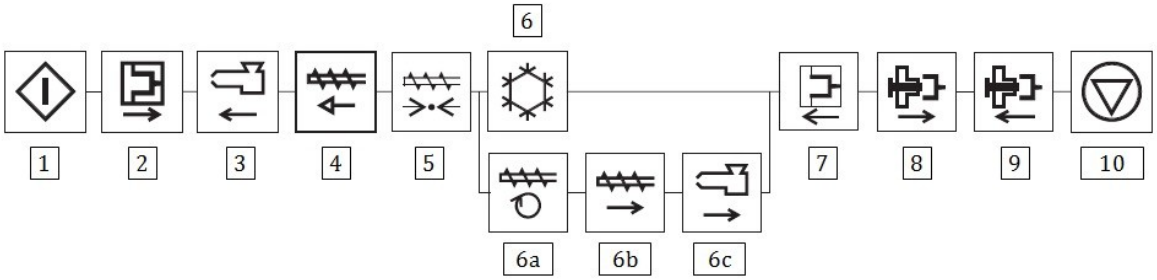
a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje, e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

V současné době se jako uzavírací jednotky používají různé uzavírací systémy. Tyto systémy se dělí podle toho, jaké jsou konstrukce - mechanické a hydraulické, jejich kombinací nebo i elektrické. Pohony na posuv pohyblivé desky jsou ovládány elektromotorem nebo hydraulickým pístem. Hydraulické jednotky umožňují pootevření nástroje hydraulickým tlakem a vyžadují zajištění závorou. Výhoda je libovolné nastavení hloubky otevření formy. Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka se používá u strojů malých gramáží. [1]

2.1.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Obr. 4. Ovládací panel vstřikovacího stroje [10]

Ovládací a programovací zařízení zajišťuje automatický provoz, samočinnou kontrolu a reprodukovatelnost nastavených technologických parametrů - teplota formy, vstřikovací tlak, začátek vstřiku, jeho rychlost, dobu vstřikování, dobu chlazení a další. Stupeň řízení a snadná obsluha jsou charakteristickým znakem kvality stroje. Místo textové formy se pro nastavování technologických parametrů používá nejrůznějších grafických forem řízení pracovního cyklu. Takto sestavený pracovní cyklus je pak snadno kontrolovatelný i upravitelný. [1][9]



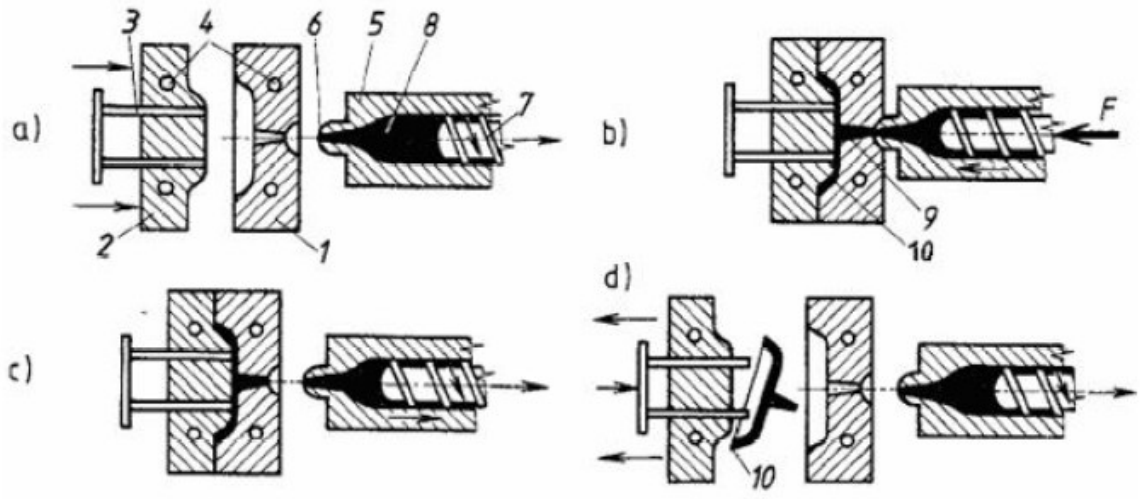
Obr. 5. Programování vstřikovacího cyklu [10]

2.1.4 Pracovní režimy stroje

Stroj může pracovat ve třech režimech. První je plně automatický režim, kde není potřeba přítomnost lidské obsluhy. Druhý režim je poloautomatický. Celý vstřikovací cyklus se vykonává automaticky, dle nastavených parametrů, ale celý cyklus se musí pokaždé spustit ručně. Třetí režim je zcela manuální. Také se mu říká seřizovací režim, neboť se používá při upínání formy. Jednotlivé povely jsou ovládány ručně přes ovládací panel stroje nezávisle na nastaveném programu. V dnešní době je kladen důraz na co největší efektivitu, proto se používá plně automatický režim. [10]

2.2 Vstřikovací cyklus

Celý vstřikovací cyklus se realizuje na vstřikovacím stroji. Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Je to proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Abychom mohli cyklus popsat, je zapotřebí jednoznačně definovat jeho začátek. Tímto začátkem můžeme považovat okamžik, kdy dojde impulz k uzavření formy.



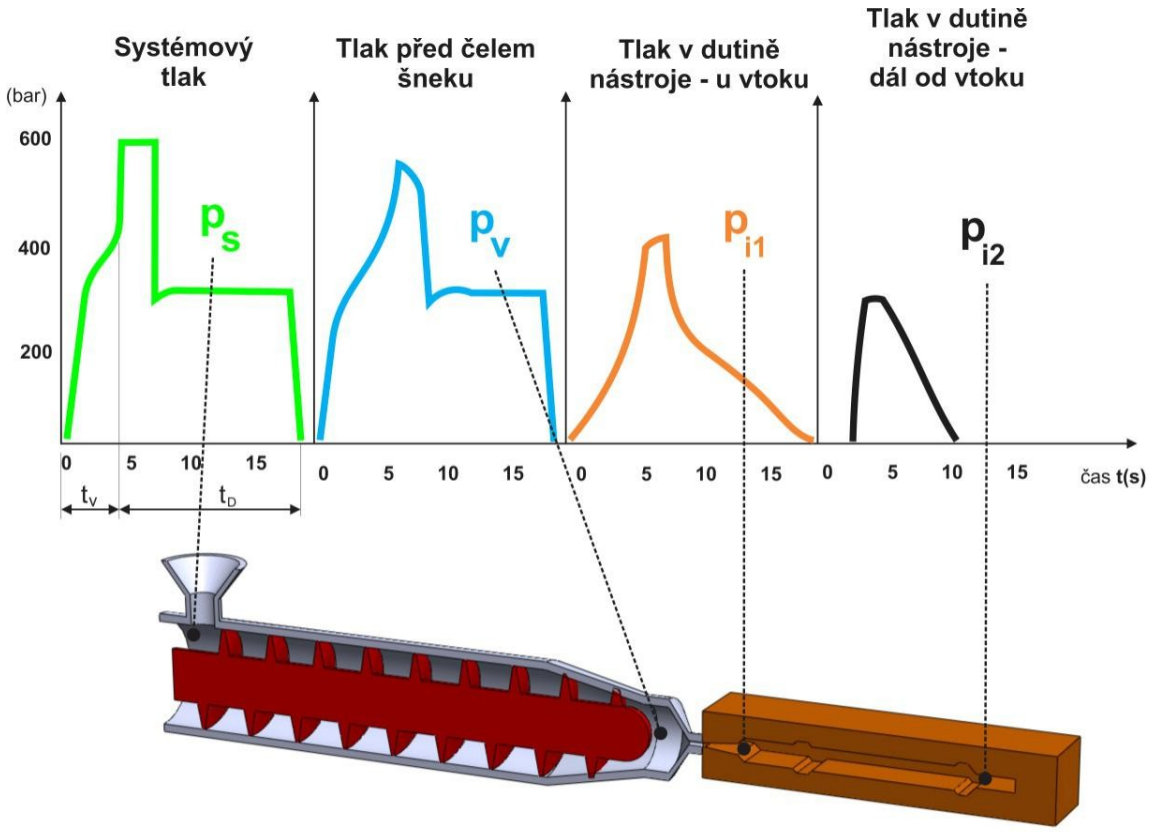
Obr. 6. Princip vstřikování termoplastů na jeden pracovní cyklus [9]

1 - pevná část formy, 2 - pohyblivá část formy, 3 - samočinné vyhazovače, 4 - kanálky pro chladicí vodu, 5 - topný válec, 6 - tryska, 7 - šnek, 8 - termoplast, 9 - vtok, 10 – výstřik

Před samotným začátkem vstřikovacího cyklu je potřeba natemperovat formu a případně vložit před temperací tvarová jádra. Temperace formy závisí na typu zpracovávaného plastu, tvaru a tloušťce stěn výrobku. [1][5]

Během cyklu působí na granulát a následně na taveninu následující tlaky (viz obr.7):

- Systémový tlak - je to tlak ve fázi plnění a dotlaku, značí se p_s
- Vnitřní vstřikovací tlak - je to tlak v dutině formy během vstřikování, značí se p_i
- Vnější vstřikovací tlak - je to tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku před čelem šneku - značí se p_{vs} [4]

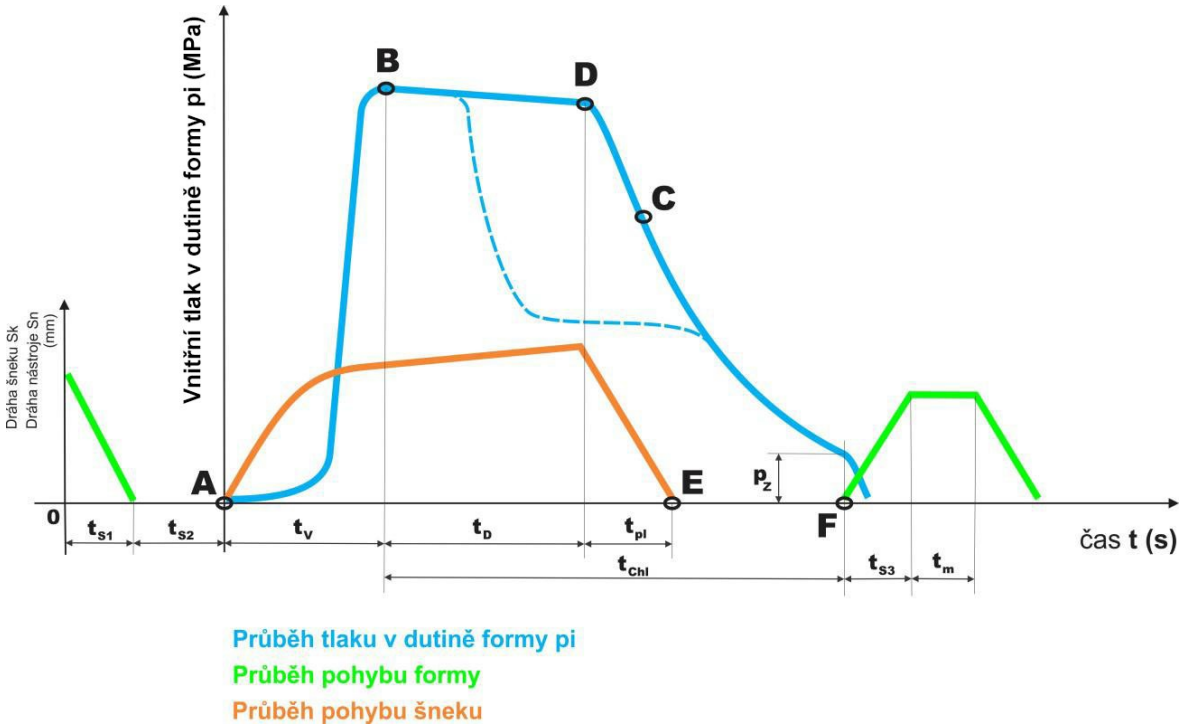


Obr. 7. Tlaky během procesu vstřikování [16]

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V čase nula dostane od řídící jednotky impulz jednotka uzavírací. Forma se začne zavírat. Průběh uzavírání je rychlý, jen před stykem obou polovin formy se zpomalí. Forma se zavře a uzamkne. Uzavírací síla musí být vyšší než síla vstřikovací, aby bylo zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavící komoře - bod A (obr. 8) a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty plněním do dutiny vstřikovací formy. V této fázi je tavenina, po naplnění formy, ještě stlačena a tím dosáhne tlak maximální hodnoty. V bodě B (obr. 8) nastává ukončení tohoto děje. Tavenina zabírá okolo 95 - 97 % objemu dutiny formy. Ihned při vstupu taveniny do formy začne předávat své teplo formě, a

tím nastává tuhnutí. Šnek v této fázi plní funkci pístu, neotáčí se, jen vykonává axiální pohyb. [1][4][5]

Dále nastává chlazení. To trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. Chlazení se dělí na dobu při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba, po kterou se výstřik chladí ve formě, závisí na teplotě formy a tloušťce stěny výstřiku. Po vyhození výstřiku se ještě výstřik chladí až do vyrovnání s okolní teplotou. Během chlazení se hmota smršťuje a její objem se zmenšuje. Při tom se mohou na výstřiku tvořit propadliny nebo staženiny. Aby k tomuto jevu nedocházelo, je potřeba toto zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do formy - dotlak. [1][4][5]



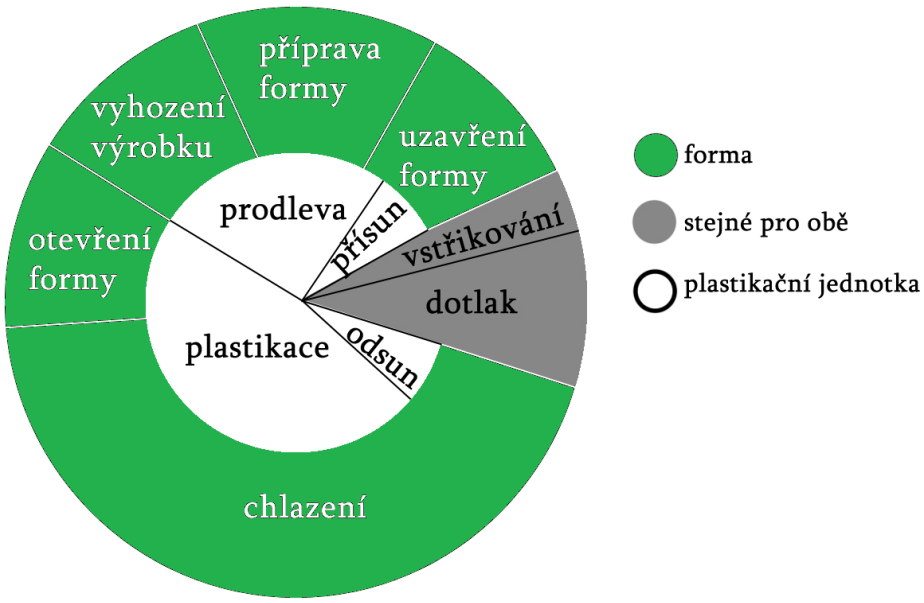
Obr. 8. Vstřikovací cyklus v závislosti vstřikovacího tlaku na čase [4]

*kde **A** - začátek vstřikování, **B** - ukončení vstřikování, **C** - okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu, **D** - konec dotlaku, **E** - začátek plastikace nové dávky, **F** - otevření vstřikovací formy, t_{s1} - zavření formy, t_{s2} - přísun vstřikovací jednotky, t_v - doba plnění, t_{ch} - doba chlazení, t_d - doba dotlaku, t_{pl} - dopa plastikace nové dávky, p_z - zbytkový tlak, t_{s3} - doba na otevření a vyhození výstřiku, t_m - manipulační doba pro vytahování manipulátorem, vkládání jader, k čistění, k dávkování separátoru*

Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako tlak maximální (plná modrá čára obr. 8) nebo se po několika sekundách sníží (přerušovaná modrá čára obr. 8), kde chlazení probíhá již při sníženém tlaku. Proto se dotlak rozděluje na izobarický - konstantní tlak a izochorický - konstantní objem. Doba, kdy končí dotlak je v bodě D (obr. 8). V bodě C nastává zatuhnutí taveniny ve studeném vtoku formy. Aby došlo k dotlačení, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - tzv. polštář. Ten je obvykle 5-15 % méně než průměr šneku aby nedošlo k tepelné degradaci hmoty. [1][4][5]

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, v bodě E (obr.8). V této době se začne šnek opět otáčet, začne nabírat další granulovanou hmotu, tu pak dále homogenizuje, plastikuje a vtlačuje ji před čelo šneku. Zároveň se šnek odsouvá zpět, přičemž překonává *zpětný tlak* - *protitlak*. Velikost protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a na tom je závislá kvalita promíchání taveniny. Avšak příliš vysoký protitlak může způsobit degradaci plastu. Během plastikace se hmota ohřívá převodem tepla ze stěn válce, teplem vzniklým třením hmoty o stěnu válce a povrch šneku a teplem vzniklým samotným hnětením. Je-li tavící komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při odsunuté vstřikovací jednotce od formy. [1][4][5]

Ochlazování pokračuje, tlak ve vstřikovací komoře klesá až se dostane na hodnotu zbytkového tlaku - tlak ve formě před jejím otevřením. Pokud je tento tlak příliš vysoký, způsobuje vysoké vnitřní pnutí ve výstřiku, jenž mohou způsobit deformace nebo praskání výstřiků. V bodě F (obr.8) dojde k otevření a vyhození výstřiku. [1][4][5]



Obr. 9. Vstřikovací cyklus

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Při navrhování konstrukce součásti z plastu se konstruktér musí řídit jinými zásadami, než u kovových součástí. Dále musí konstruktér při návrhu zvážit, co se bude dít při samotném vstřikovacím procesu. Volbou tvaru a materiálu musí konstruktér splnit požadavky, které jsou na součást kladeny a měl by mít základní přehled o doporučených zásadách, které je nutné dodržet při samotné konstrukci plastových dílů. Tyto požadavky mají hledisko funkční, technologické i ekonomické. [1][8]

Z hlediska funkčního požadujeme od plastových výrobků obvykle určitou pevnost, tuhost, houževnatost, rozměrovou přesnost, chemickou odolnost, odolnost proti stárnutí a další.

Z technologického hlediska je potřeba, aby se dala součást zvolenou technologií poměrně snadno vyrobit, aby její tvar odpovídal optimálním podmínkám toku materiálu ve formě, a aby byl zvolen materiál pokud možno snadno zpracovatelný.

Z ekonomického hlediska se zkoumá, zda by bylo pro daný účel možné použít levnější materiály, úsporu pracnosti, výrobních nákladů a prodejnosti. [11]

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, neboť mohou způsobovat problémy při jejich výrobě. Platí všeobecné pravidlo: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, levnější výroba formy a jednodušší výroba výstřiků.Ve skutečnosti je však třeba hledat kompromis mezi jednotlivými požadavky. Přesnost výstřiků nikdy nedosáhne přesnosti kovových obráběných součástí. Běžně se dosahuje výrobní tolerance s přesností IT11 - IT16, výjimečně při pečlivém zpracování IT9 - IT10. Zásadně je větší přesnost u menších rozměrů, málo členitých výstřiků s rovnoměrnou tloušťkou stěny. [1] [9]

Technologičnost konstrukce výstřiků je důležitým předpokladem pro ekonomii výroby a pro správnou funkci v provozních podmínkách, i pro dodržení optimální rozměrové přesnosti. [8]

Na rozměrovou přesnost mají vliv zejména tyto faktory [1] [8] :

- poloha dělící roviny
- tloušťka stěn
- výztužná žebra
- přechody hran a stěn - zaoblení
- úkosy a podkosy

3.1 Dělící rovina - zaformovatelnost

Správné zaformování výstřiku má usnadnit vyhazování výstřiků z dutiny formy. Dělící rovina je rovina, ve které do sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Vychází z konstrukčního řešení výstřiku a je důležité pro konstrukční řešení vstřikovací formy a její rozdělení na pevnou a pohyblivou část (tvárník, tvárnice, kolíky, čelisti,...). Dělící rovina se umisťuje vzhledem k výrobku tak, aby se usnadnilo jeho vyjímání z dutiny formy a aby stopa po dělící rovině nepůsobila funkční nebo vzhledové závady výrobku. S ohledem na umístění dělící roviny rozlišujeme *hlavní* a *vedlejší* dělící rovinu. Hlavní dělící rovina je ta, která je kolmá ke směru uzavírání formy. Ostatní dělící roviny (plochy) jsou pak vedlejší, ty jsou nutné u výrobků s bočními otvory, nálitky, zápichy apod. [8][12]

Dělící plochy jsou většinou kolmé na směr uzavírání formy. Nedovření, případně pootevření formy během vstřikování má za následek narůstání rozměrů ve směru uzavírání formy. Rozměry tohoto typu se nazývají rozměry nevázané formou. Poloha dělící roviny má proto velký vliv na dosažitelnou přesnost, zejména u malých rozměrů nevázaných formou. [8][12]

Při navrhování dělící roviny by se měly dodržovat tyto zásady [8] :

- dělící plocha má být pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, dobře slícovatelná
- dělící plochy mají probíhat v hranách výrobků
- dělící plochy mají být umístěny tak, aby neměly vliv na tolerované rozměry - aby byly tyto rozměry vázané formou
- způsob zaformování výrobku v dutině formy by měl konstruktér výrobku předem dohodnout s konstruktérem formy
- dělící rovina by měla být na výkrese výrobku zakreslena

3.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn významně ovlivňuje parametry plastového dílu. Při určování tloušťky stěny výrobku je třeba přihlížet i k zatékavosti plastu a k délce dráhy toku. Čím je dráha toku delší, tím by měla být tloušťka stěny větší. [8][12]

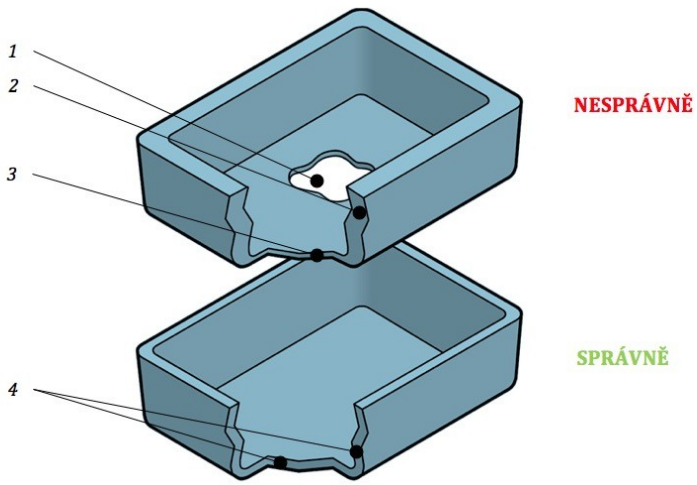
Tloušťka stěn musí splňovat tyto požadavky [8] [12] :

- funkční - pevnost, elektrická nebo tepelná vodivost, tuhost, rozměrová stálost
- výrobní
- ekonomická

Z výrobního hlediska to jsou [8] [12] :

- vlastnosti zpracovávaného materiálu
- způsob vyhazování výrobku z formy
- požadovaná přesnost

Tloušťka stěn je pak kompromisem například mezi hmotností a pevností, či mezi trvanlivostí a náklady, neboť ekonomika vede k použití co nejmenší tloušťky stěny, protože ve výrobních nákladech je vstřikovaný materiál významná položka. Na větší tloušťce stěny také závisí doba chlazení, jenž se projeví na délce výrobního cyklu, tudíž i na produktivitě. Avšak volba tloušťky stěny musí být provedena s rozvahou, aby se co nejvíce eliminovaly budoucí nákladné opravy či úpravy. Proto je nejvhodnější volbou provést analýzu plnění tvaru v počítačové simulaci. U termoplastů je maximální tloušťka stěny mezi 5 až 6 mm. [8][12]



Obr. 10. Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním [13]

1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, 3 – příliš malá tloušťka, 4 – rovnoměrná tloušťka

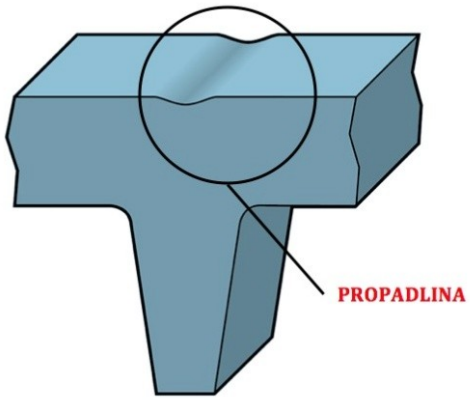
3.3 Výztužná žebra

Žebra se používají pro zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiků bez nutnosti zvyšování tloušťky stěn. Tloušťka žeber má vliv na rychlost chlazení plastu a smrštění v oblasti žeber, jenž mohou vést k deformaci dílu během jeho chladnutí. [12][13]

Žebra se dělí podle účinku, který plní na součásti [12] :

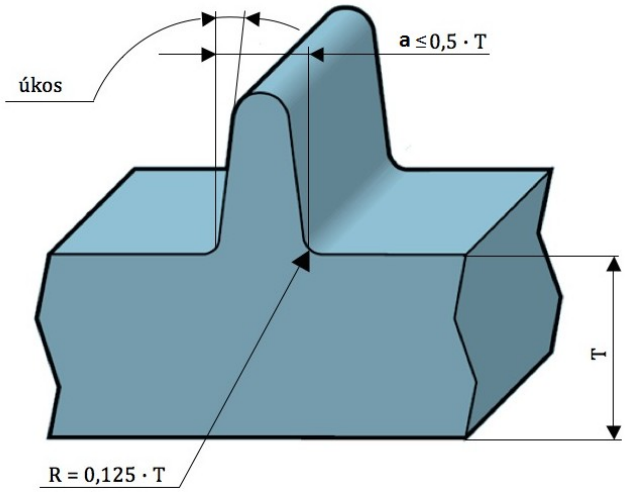
- technická - zabezpečují pevnost a tuhost výrobku
- technologická - umisťují se tak, aby usnadnily výrobu
- ozdobná - hlavní použití pro zlepšení vzhledu

Žebra musí mít z technologického hlediska určitý poměr k hlavní tloušťce stěny. Je to dáno z důvodu eliminování vtaženin - propadlin, což jsou objemové kontrakce (smrštění) při chlazení výlisku. Propadliny jsou nejvíce viditelné na tmavých a lesklých plochách, zvláště u tmavých barev. To představuje především u vzhledu problém. Tento problém se řeší použitím dezénování. Dezén lze vyrobit dle předlohy (vzorkovnic) elektroerozivně, fotochemicky či otryskováním. Také je možnost, pokud situace dovolí, použít vhodné výstupky. [14]



Obr. 11. Vznik propadliny nad žebrem [13]

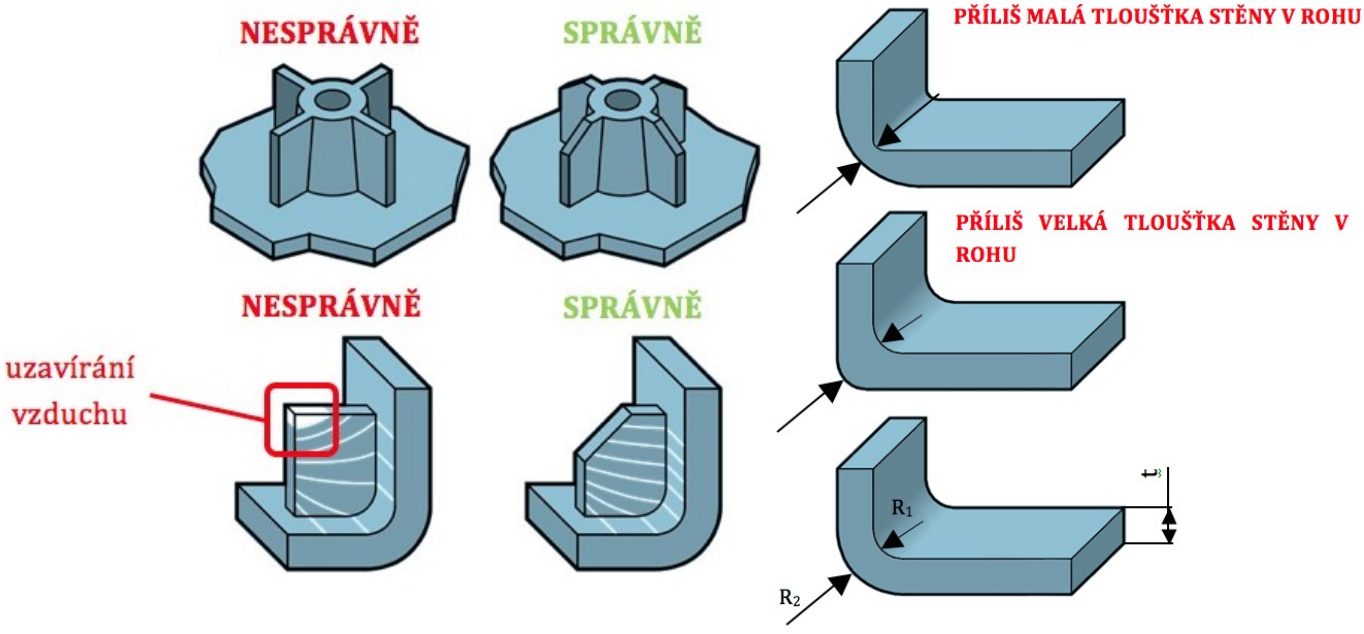
Výztužná žebra by měla být umístěna ve směru toku taveniny a jejich rozměry - šířka u kořene, délka a výška by měly být stanoveny tak, aby žebra plnila jak funkci technickou, tak také technologickou. Tloušťka žebra by měla být mezi 60 - 80 % tloušťky stěny. Maximální výška by neměla být větší než trojnásobek tloušťky stěny. Z technické praxe by poměr tlouštěk žeber měl být u amorfních polymerů $a \leq 0{,}75 \cdot T$, u semikrystalických $a \leq 0{,}5 \cdot T$ (obr. 12). [14]



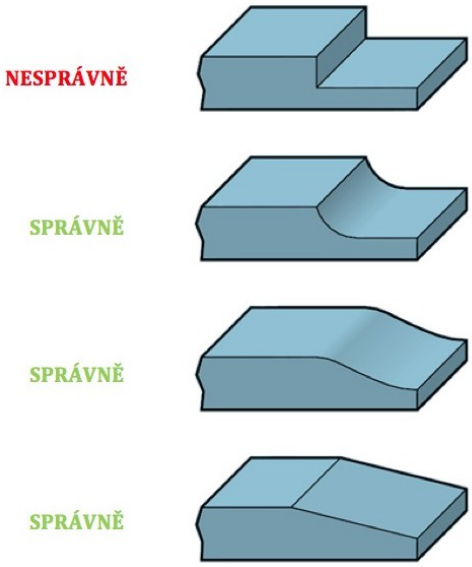
Obr. 12. Poměr tlouštěk stěny a žebra [13]

3.4 Zaoblení hran, rohů a koutů

Zaoblením hran, rohů a koutů se zlepšuje tok materiálu v dutině formy, usnadňuje vyjímání výrobků, snižuje zbytkové vnitřní pnutí a zvýší se působení vstřikovacího tlaku. Rázová houževnatost se tím zvýší až o 50 %. Zaoblením se může zvýšit tuhost výrobků a také dát výrobku lepší estetický dojem. V oblasti ostrých hran dochází ke koncentraci napětí vyvolaného mechanickým zatěžováním a dochází tak ke snížení mechanické odolnosti plastového dílu. Proto je na ostrých hranách riziko nebezpečí prasknutí výstřiku. Poloměr zaoblení by měl být mezi 1/4 a 3/4 tloušťky stěny. V praxi se zaoblením nepřímo ovlivňuje smrštění a současně se také usnadňuje vyhazování výstřiků z formy, což má pozitivní vliv na snížení deformací při vyhazování. Avšak není vhodné automaticky zaoblovat všechny hrany na formě. Některé rohy mohou být obtížněji zaformovatelné, což by se mohlo negativně projevit na nákladech na výrobu formy. Ke zvýšení napětí také dochází v přechodech různých tloušťek stěn. Zde je také vhodné zvolit vhodné zaoblení místo ostrého přechodu (obr. 14). [1][8][12]



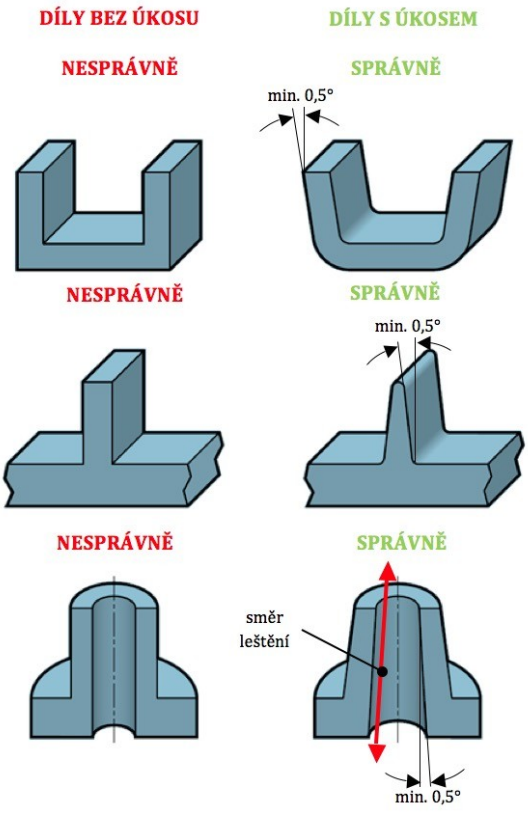
Obr. 13. Úprava rohů pro eliminaci ostrých přechodů [13]



Obr. 14. Úprava přechodu různých tloušťek stěn [13]

3.5 Úkosy a podkosy

Úkosy nazýváme mírný sklon stěn v dutině formy, který usnadňuje vyjímání výrobku. Úkos musí být na všech plochách kolmých k dělící rovině, a to jak na vnějších, tak i na vnitřních plochách. Vzhledem ke smrštění polymerních materiálů bývají úkosy na vnitřních plochách přibližně dvojnásobek než na plochách vnějších. Také způsob zaformování určuje umístění a velikost úkosů. Velikost úkosu závisí i na způsobu vyhazování. U prvků tvořenými slepými otvory ve formě jako např. komínky, žebra či výztuhy, se volí úkos větší. Povrchy tvořené pohyblivými jádry obvykle nemusí být opatřeny úkosem, pokud je příslušný prvek dílu odformován ještě před otevřením vstřikovací formy. [12][13]



Obr. 15. Návrh úkosů pro spolehlivé odformování [13]

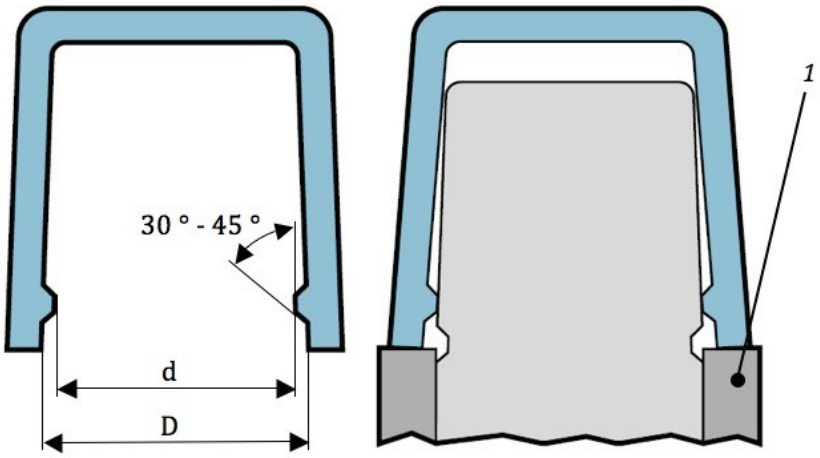
Podkosy jsou opakem úkosů a zabraňují vyjímání výrobků z formy, protože některé konstrukční prvky vstřikovaného dílu mohou být překážkou při odformování v hlavním směru. Někdy se volí tak, aby výrobek zůstal na jedné části formy, kde je pak zajištěno vyhazování. Základním požadavkem na proveditelnost tohoto řešení je přiměřená hloubka podkosu a vhodný tvar pro přetažení tohoto konstrukčního prvku přes příslušný díl vstřikovací formy. Tento postup odformování funguje pouze v případě, že podkosy jsou umístěny mimo tuhé oblasti vstřikovaného dílu (žebra, rohy dílu apod.) Navíc vstřikovaný díl musí mít prostor pro pružnou deformaci. Pro správný návrh odformovatelnosti podkosu je dodržení poměru v % mezi vnitřním a vnějším rozměrem podkosu. Ten se vypočítá ze vztahu:

$$\%\, PODKOSU = \frac{D-d}{D} * 100 \qquad (1)$$

kde:

D vnitřní rozměr výstřiku

d rozměr podkosu



Obr. 16. Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů, kde 1 - stírací kroužek či deska [13]

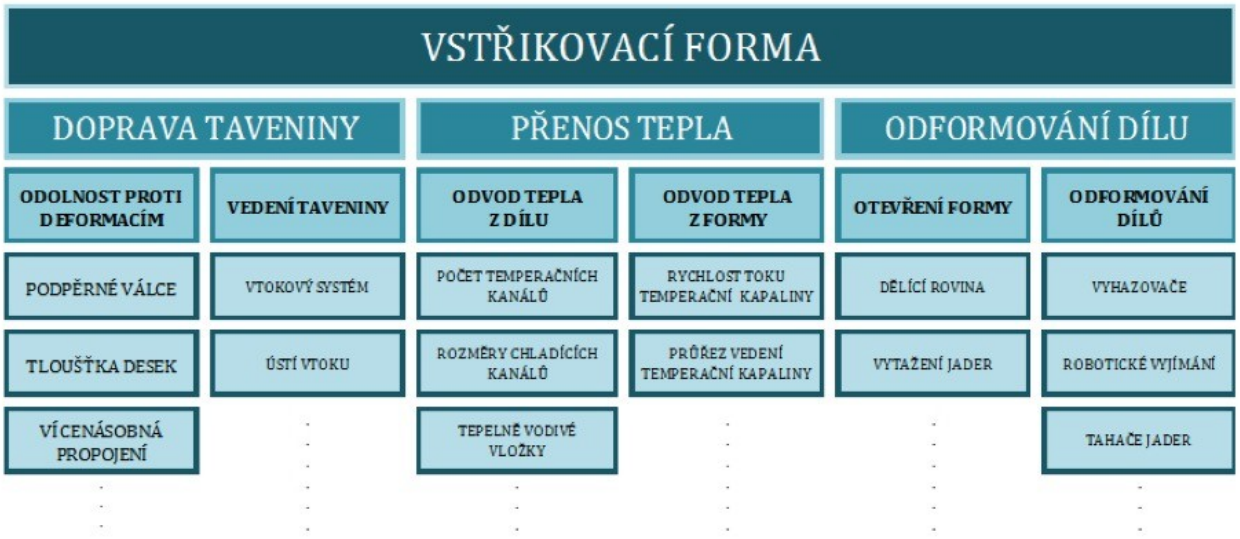
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, který dává výrobku požadovaný tvar a rozměry. Její hlavní funkcí je rozvod taveniny do dutiny formy a její naplnění. Podružnou funkcí je efektivní odvod tepla z taveniny. Další funkcí je bezpečné a rychlé vyjmutí tuhého výrobku pro zajištění rychlého opakování celého vstřikovacího cyklu.

Forma musí plnit pro dobrou kvalitu tyto požadavky [1][13] :

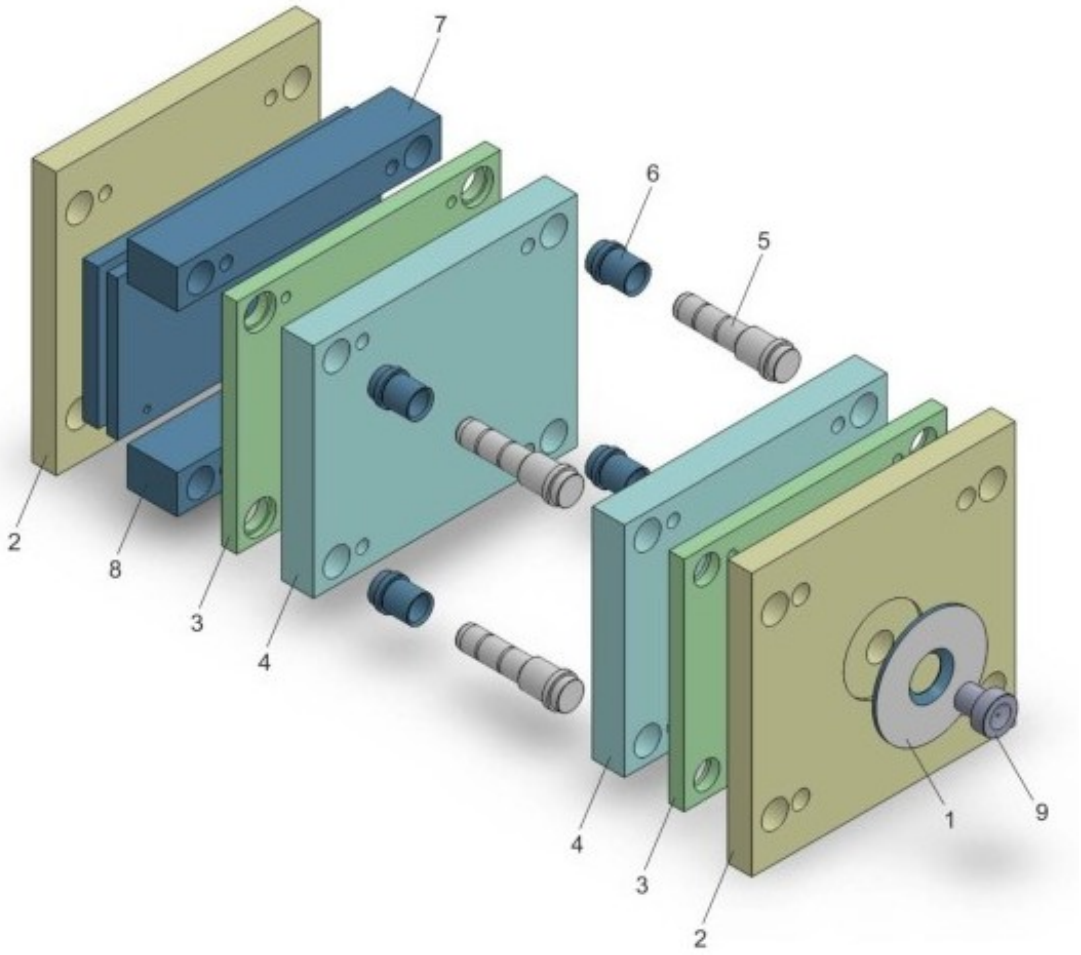
- technické, které zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace a obsluhy při výrobě součástí.
- ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce. V neposlední řadě vysokým využitím plastu.
- společensko-estetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. Vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy

Forma musí tedy splňovat tyto tři hlavní funkce - doprava taveniny do celé dutiny formy, odvod tepla z taveniny a správné odformování (obr. 17). Tyto základní funkce vyžadují však i další (vedlejší) funkce. [13]



Obr. 17. Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [13]

Z těchto funkcí (obr. 17) je patrné, že je mezi těmito funkcemi potřeba udělat kompromis, neboť při splnění optimálního požadavku na jednu funkci se značně sníží funkce jiná.



Obr. 18. Vstřikovací forma a její části [16]

1 – Středící kroužek, 2 – Kotevní desky, 3 – Opěrné desky, 4 – Tvarové desky,

5 – Vodící čepy, 6 - Vodící pouzdra, 7,8 – Rozpěry, 9 – Vtoková vložka

4.1 Zaformování výstřiku

Správnost zaformování výstřiku a vhodnost volby dělící roviny patří k prioritám konstrukčního návrhu formy. Tento krok umožní dodržet správnost rozměrů výstřiku i tvar a také se podílí na ekonomice výroby. Volí se z konstrukčního řešení navrhovaného dílu.

Dělící rovina bývá rovnoběžná s rovinou upínání formy. Může být i šikmá, různě tvarovaná, případně může být tvořena hlavní a vedlejší dělící rovinou. To má vliv na obtížnost výroby formy. Pokud to jde, je lepší se těmto tvarům vyhnout. Obě poloviny dělící roviny by měli na sebe co nejpřesněji dovírat. Nepřesné dovření má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměru ve směru otevírání formy. [1][8]

Pro dělící rovinu je potřeba aby [1][8] :

- umožnila snadné vyjímání z formy
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná
- probíhala v hranách výrobku
- byla umístěna taky, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosu a souosost výstřiku
- stopa po dělící rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad
- u více dělících ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet

4.2 Násobnost formy

Násobnost formy je závislá na mnoha faktorech, které ovlivňují charakter výroby vstřikovací formy. Optimální konstrukce z hlediska násobnosti vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých složek, které se na tomto rozhodnutí podílí. Rozhodují o tom především tyto faktory [1][8] :

- rozměry a hmotnost výstřiku
- kvalita a přesnost výstřiku
- velikost a kapacita vstřikovacího stroje
- rozsah výroby
- dodací lhůty
- ekonomika výroby

Násobnost formy by z hlediska kvality a přesnosti výstřiku měla být co nejmenší, neboť se tím zjednoduší konstrukce formy, odstraní se rozdíl v teplotách a tlacích mezi dutinami a rozdíly v rozměrech nebudou žádné. V jednonásobných formách se vyrábí především součásti tvarově náročné i velkoobjemové, vedoucí ke konstrukčně složité formě. Pokud je forma vícenásobná, pak musí být násobnost zvolena tak, aby dráha toku taveniny ve vtokové soustavě a v dutinách formy byla u všech výstřiků stejně dlouhá. Pokud nelze docílit stejně dlouhé dráhy, pak je potřeba pomocí korekce upravit ústí vtoku tak, aby byl vstřikovací tlak v jednotlivých dutinách stejný, neboť s rostoucí vzdáleností klesá tlak taveniny, což má za následek vzestup smrštění a nesourodost rozměrů. [1][8]

4.3 Rozměry tvarové dutiny

Správné rozměry a tolerance funkčních dílů (tvářecích částí) - tvárníku, tvárnice, jader, tvarových vložek a dalších, jsou důležitou částí konstrukčního řešení. Tyto části tvoří po uzavření formy tvarovou dutinu. [1][8]

Pro určení a výpočet rozměrů a jejich tolerancí je zapotřebí počítat s těmito faktory [1][8] :

- výrobní smrštění polymeru a jeho rozptyl
- tolerance a mezní úchylky jednotlivých rozměru tvářeného výrobku
- opotřebení činných částí formy

Povrch, rozměry i kvalita plochy výrobku jsou závislé na přesnosti tvarové dutiny. Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. Přesnost, se kterou se vyrábí dutiny formy, se pohybuje v rozmezí IT 8 - IT 10. Při opotřebení formy, které se odhaduje na 0,03 - 0,06 mm, se přesnost výroby dostane na IT 9 - IT 11. Ve výsledku je to 10 - 40 % z celkové tolerance výrobku. U malých výrobků je tato změna citelnější než u velkých výrobků. [1][8]

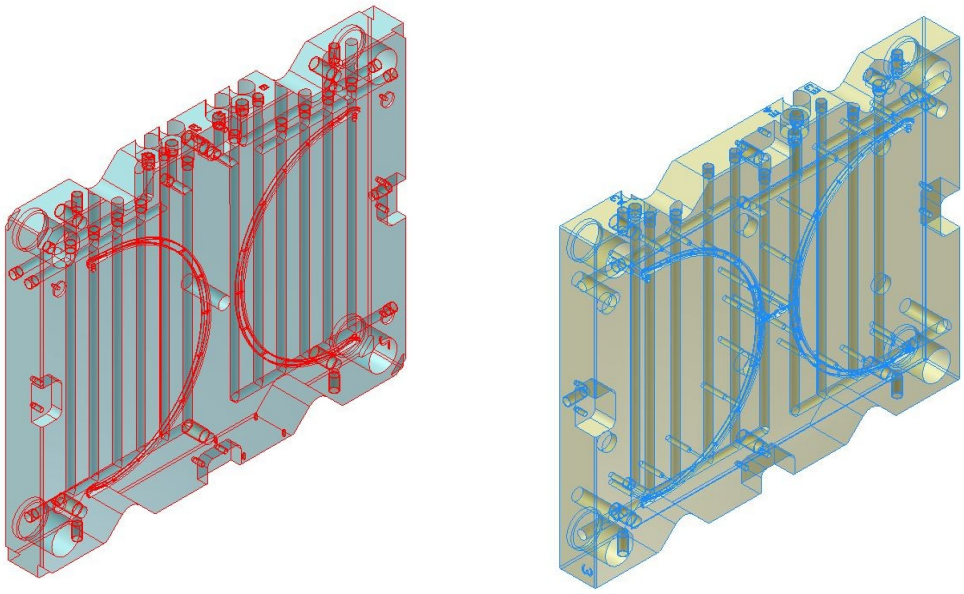
4.4 Způsob temperace formy

Temperace forem slouží k udržování konstantního teplotního režimu. Teplota formy je zpravidla vyšší než pokojová teplota a nižší než teplota vstřikovací. Teplota formy bývá obvykle mezi 30 a 120 °C. Cílem je dosáhnutí optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování. Temperace ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí výstřiku. Druh a uspořádání temperačního systému ve formě ovlivňuje dobu vstřikovacího cyklu a má také vliv na vlastnosti výstřiku. Před začátkem výroby je potřeba formu zahřát na pracovní teplotu. Kdyby nebyla, kvalita výrobků by nebyla odpovídající. Hlavní úlohou temperačního systému je tedy během procesu vstřikování udržovat teplotu dutiny formy v minimálním teplotním výkyvu. Proto má temperační systém plnit tyto úkoly :

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na celém funkčním povrchu dutiny formy
- odvádět teplo z dutiny formy naplněné taveninou

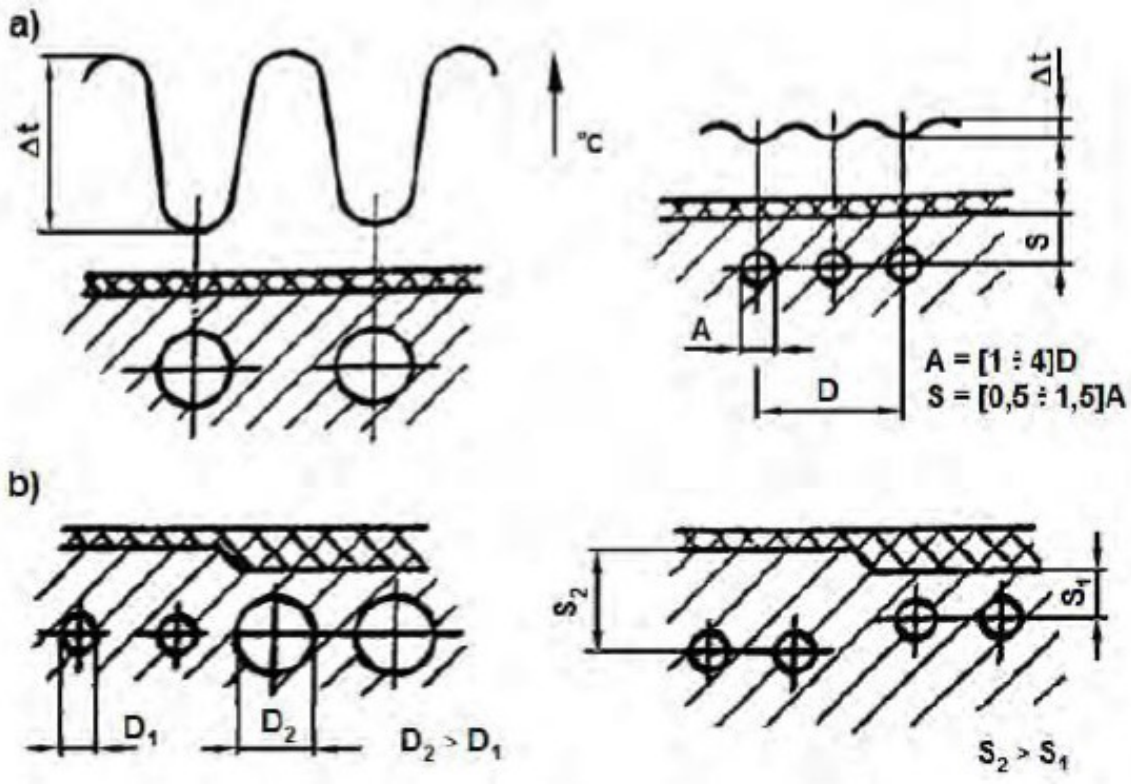
Lokální nerovnoměrné rozložení teplot má za následek zvětšení rozměrových a tvarových úchylek výrobku. Pokud by docházelo k nerovnoměrnému ochlazování výrobku, mohlo by dojít k deformaci v důsledku vnitřního pnutí. [2][12]

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, díky nimž se přivádí nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou. Obvykle voda, olej nebo glykol. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí s ohledem na celkovou koncepci formy. Průměr temperačních kanálů bývá nejčastěji v rozmezí 6 - 20 mm. Nejvíce se používá kruhový průřez. [2][12]



Obr. 19. Temperace tvárnice a tvárníku [16]

Do rámu a vložek jsou chladící kanály obvykle vrtány. Kanály se umisťují tak, aby kapalina přicházela do nejteplejšího místa ve formě a aby se teplotní rozdíl ve formě zmenšoval. Kolem dutiny formy se kanály rozmisťují rovnoměrně, případně v místě o vyšší teplotě se kanály umisťují blíž, pokud to konstrukce dovolí. Temperační okruhy se zpravidla zapojují do série. Při chlazení tvárníků se využívá přepážek, fontánek nebo spirál. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu temperačního okruhu by neměl přesáhnout 3 °C. [2][12]



Obr. 20. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2]

a) vliv rozmístění kanálků na průběh teploty povrchu tvárnice,

b) chlazení výlisku o různé tloušťce stěny

4.5 Vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného polymeru od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny stroje. Jedná se o sytém rozváděcích kanálů, které spojují ústí vtoku s tvarovou dutinou, případně tvarovými dutinami formy. Naplnění dutiny homogenní taveninou má proběhnout v co nejkratším možném čase a s nejmenšími odpory. Na vtokové soustavě záleží kvalita výlisků. Na konstrukci vtoků záleží, zda-li budou vtoky po vyhození z formy pohromadě s výlisky, či budou odděleny při vyhození. [1]

Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňuje [1] :

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového sytému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku současně a se stejným tlakem. [1]

4.5.1 Studené vtokové systémy

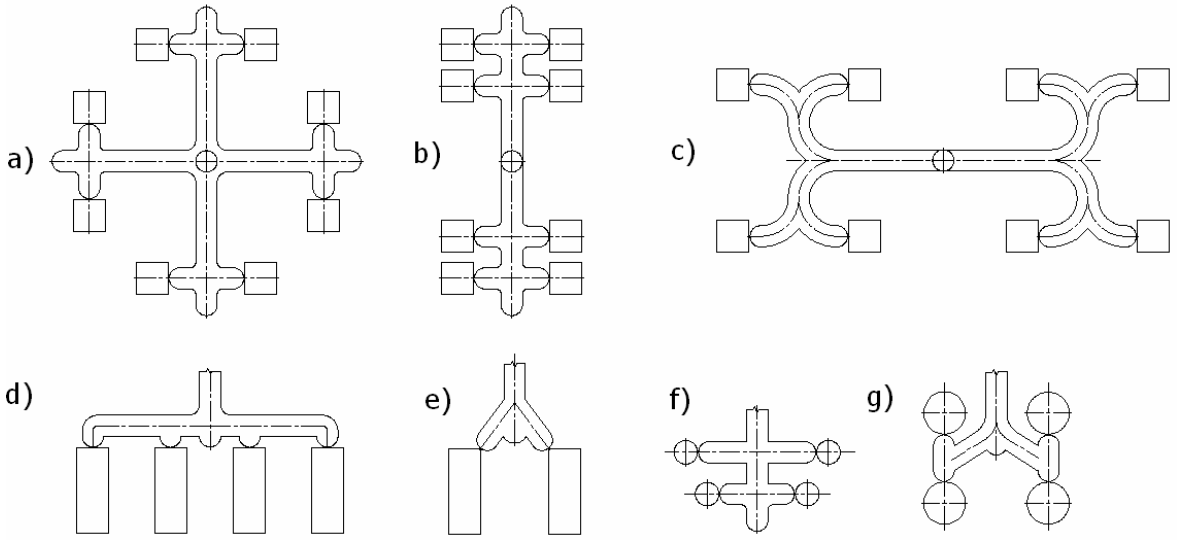
Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed, přičemž vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). Vnější vrstva ztuhne, ale vnitřní zůstává dále tekutá. [1]

Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Tímto způsobem se zaplní celá dutina formy. Když se forma zaplní vzroste v tomto okamžiku prudce odpor a průtok poklesne. Teplo přivedené taveninou se postupně předá do stěn formy, kdy dochází k jejímu celkovému tuhnutí. Další doplnění taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústích při tomto procesu ještě dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a to způsobuje oddálení tuhnutí taveniny. Pokud není stroj schopen tyto takové ztráty překonat, pak dochází k poklesu rychlosti vstřiku a celkovému ochlazení plastu ve vtokovém systému i v dutině formy. [1]

Při proudění taveniny přes vtokový systém dochází ke tření, a tím také k vývinu tepla, které se soustřeďuje do míst, kde je nejvyšší smykové napětí. Teplota v těchto místech se může zvýšit až o 200°C. Zvýšení teploty je jen velmi krátkodobé, avšak u citlivých plastů může dojít k jejich degradaci. [1]

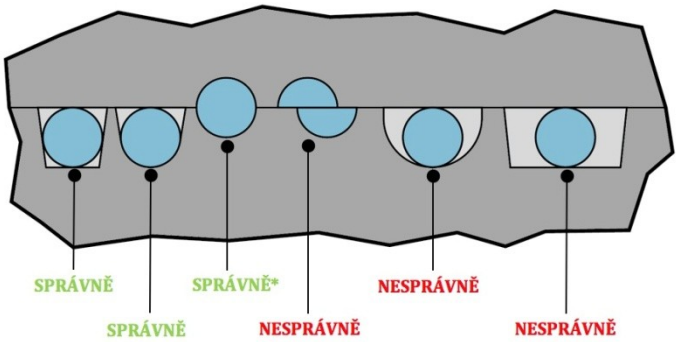
Řešení vtokového systému musí funkčně zabezpečit, aby [1] :

- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku byla ke všem dutinám stejně dlouhá (obr.21 a, e, f, g), u ostatních (obr. 21 b, d) je potřeba udělat korekci vtokového ústí
- nedocházelo k výskytu míst se sníženou pevností - vznik studených spojů,



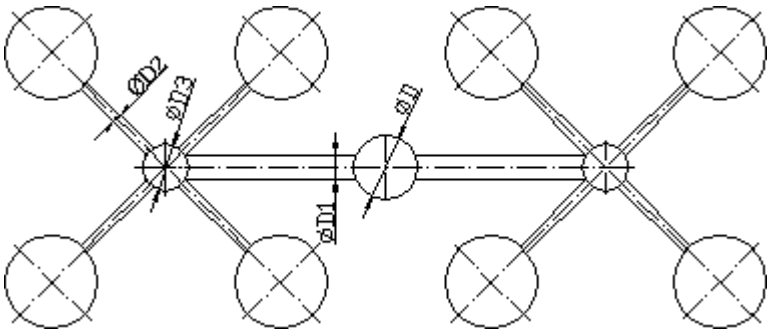
Obr. 21. Různé vtokové uspořádání [1]

- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění dutiny bude jádro ještě v plastickém stavu a tím umožní působení dotlaku. Přitom však je třeba přihlížet ke spotřebě materiálu. Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez (obr. 22),



Obr. 22. Vhodnost umístění vtokových kanálů [13]

- u vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny (Obr. 23).



Obr. 23. Odstupňování průřezů vtoku [1]

Pro splnění uvedených zásad je potřeba [1] :

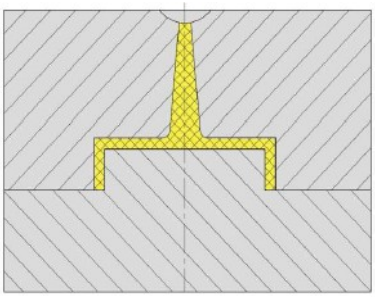
- zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů min R = 1 mm
- pro snadné odformování stanovit úkosovitost všech vtoků minimálně 1,5°
- leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjímání
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcích kanálu. Zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku
- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděným materiálu
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem
- průřezy vtokových systémů pro krystalické polymery jsou větší, než pro amorfní

Úprava vtokových ústí při použití do [1] :

- Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů.
- Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování. Velikost zúžení průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku.
- Tvar ústí vtoku bývá štěrbinový pro ploché výstřiky, nebo kruhový pro rotační a jiné díly. Šířka bývá užší, než je rozváděcí kanál. Tloušťka, nebo celý průřez se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit menší vtokové ústí, které se může při zkouškách formy případně upravit.

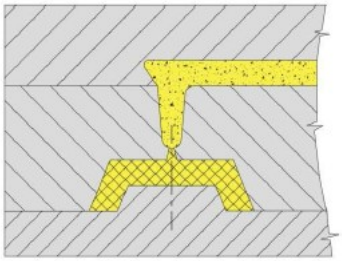
4.5.2 Typy ústí vtoku studených systémů

Plný kuželový vtok - přivádí taveninu do dutiny formy přímo bez zúženého vtokového ústí. Je vhodný u jednonásobných forem pro jednoduché výrobky symetrického tvaru s tlustšími stěnami. Je vhodný také pro použití na plasty s horší tekutostí. Pro působení delšího dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne jako poslední. Odstranění tohoto vtoku je pracné a zanechává stopu na výrobku. [1]



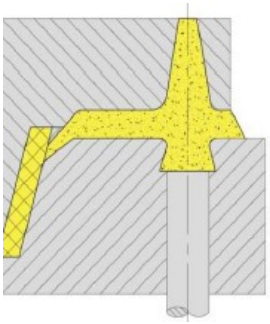
Obr. 24. Plný kuželový vtok [15]

Bodový vtok - nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, ležící v dělící rovině i mimo ni. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky i z rozváděcích kanálů. Vyžaduje ale třídeskový systém. První se musí odtrhnout vtokové ústí, pak otevřít dělící rovinu. Je vhodný pro tenkostěnné výrobky. Směrem k výrobku je vtok kuželovitě rozšířen. Nevýhodou je větší stopa na výrobku. [1]



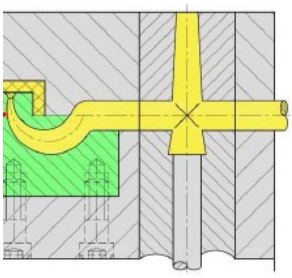
Obr. 25. Bodový vtok [15]

Tunelový vtok - je to zvláštní případ bodového vtoku, kde může vtokový zbytek ležet v dělící rovině spolu s výstřikem. Umístění může být v pevné i pohyblivé části formy. Stopa na výlisku je nepatrná. Vtokový systém se oddělí při otevření formy. Není vhodný pro plasty s vyztužené vláknitým plnivem, u něj je potřeba zvětšení průměru vtoku. [1]



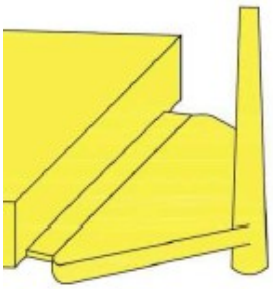
Obr. 26. Tunelový vtok [15]

Banánový vtok - stejné použití jako u tunelového vtoku. Výhodou je umístění vtokového ústí do spodní části výstřiku. Tím není narušena vzhledová strana. Nevýhodou je náročná výroba. [1]



Obr. 27. Banánový vtok [15]

Filmový vtok - používá se k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími nároky na kvalitu. Výhoda spočívá v rovnoměrném plnění formy a nízké dodatečné smrštění. Nevýhodou je potřeba dodatečné odříznutí vtoku. [1]



Obr. 28. Filmový vtok [15]

4.5.3 Horké vtokové soustavy

Při snaze o úsporách vstřikovaného materiálu a práce byla potřeba metoda vstřikování bez vtokového zbytku. To se realizuje za pomocí vyhřívaných vtokových soustav (VVS). Vtokové soustavy mají dnes vyhřívané trysky, které mají minimální úbytek tlaku i teploty. Tím je zajištěno, že tavenina zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. Tento systém umožňuje použité bodového vyústění malého průřezu. I tady je možné pracovat částečně s dotlakem. [1]

Výhody VVS jsou [1] :

- umožňují automatizaci výroby
- zkracují proces výroby
- snižují spotřebu materiálu, vstřikování probíhá bez vtokových zbytků
- nemusí se řešit problémy s regenerací vtokových zbytků

Nevýhody VVS jsou [1] :

- vyšší cena
- náročnější výroba i opravy forem
- připojení VVS na regulátor pro vyladění teplot na vstřikovacím stroji

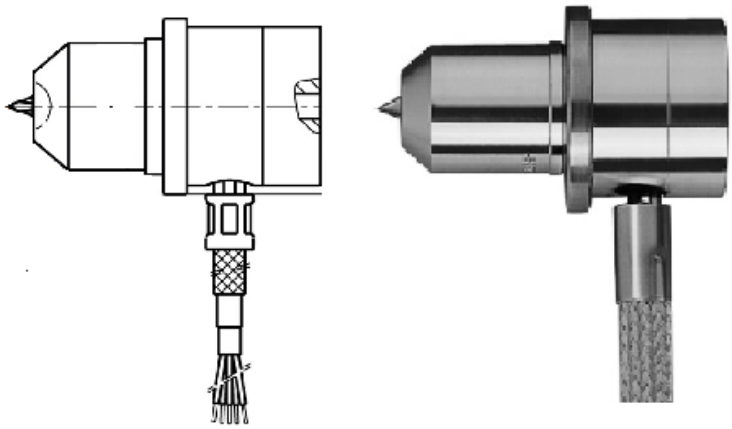
Soustava VVS umožňuje však snadnou montáž, demontáž a vyčištění.

Pro vstřikování se používá tří způsobů [1] :

- izolované vtokové systémy
- vyhřívané trysky
- vytápěné rozvodné bloky

4.5.4 Vyhřívané trysky horkých vtokových systémů

Konstrukce vyhřívaných trysek umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Ve většině případů vyhřívané vtokové soustavy vyrábí specializované firmy. Ty je také vyrábí v širokém konstrukčním sortimentu. [1]



Obr. 29. Vyhřívaná tryska [17]

Konstrukční provedení přímo ohřívaných trysek je charakterizováno dvěma základními principy [1] :

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu. Z vnější strany je po obvodě tělesa trysky umístěno topení.
- trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), která je také zhotovena z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí.

Konstrukce trysek s vnitřním ohřevem se nedoporučují používat pro průhledné plasty, materiály tepelně ovlivnitelné po zpracování nebo pro plochy se zvýšenou pozorností estetickými požadavky na kvalitu vzhledu. Pro průhledné díly s vysokými optickými nároky se horké trysky nedoporučují vůbec. [15]

Tyto typy trysek jsou konstrukčně upraveny tak, že ústí je [1] :

- otevřené pro plast, který netáhne vlas (PE)
- se špičkou (s hrotem) pro plast náchylný k tažení vlasu (PS, ABS, PP)
- s uzavírací jehlou
- speciálně tvarované

Vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno [1] :

- jedním otvorem přímo proti vtokovému kanálu. Při rychlejším pracovním cyklu někdy tavenina u tohoto uspořádání nestačí zatuhnout a na výstřiku zůstane stopa ve tvaru výstupku, nebo „tahá vlas“
- více otvory, kde je odstraněna nevýhoda popisovaná u předešlé trysky.

4.5.5 Vytápěné rozvodné bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se používají v kombinaci s vyhřívanými i s izolovanými tryskami s předkomůrkami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Aby byla zajištěna dobrá funkce, musí být zajištěno rovnoměrné vytápění. Pokud není zajištěna, ovlivní to tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách. [1]

Rozváděcí blok je tvořen z oceli a je uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Jeho tvar je tak konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i uložení trysek. Vyrábí se ve variantách tvaru I, H, X, Y, hvězdice. Rozvodný blok by měl být izolovaný od ostatních částí formy. Obvykle se izoluje vzduchovou mezerou. V rozvodném bloku jsou vyvrtány kanály, kterými proudí tavenina, kde se teplo do taveniny dostává stěnou rozváděcího kanálu. [1]

Rozvodné bloky jsou vytápěny nejčastěji vně elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patrony s vytápěním zevnitř. Vytápění je řízeno tepelným regulátorem, ovládané jedním nebo více čidly umístěné na vhodném místě bloku. [1]

Instalovaný výkon ohřevu rozvodného bloku musí být takový, aby se dosáhlo:

- rychlého ohřevu
- požadované teploty pro optimální tok taveniny v rozvodném bloku a případně i trysce
- minimalizace tepelných ztrát (vodivostí, prostupem, vyzařováním) [1]

Obr. 30. vytápěný rozvodný vtok [17]

4.6 Odvzdušnění dutiny formy

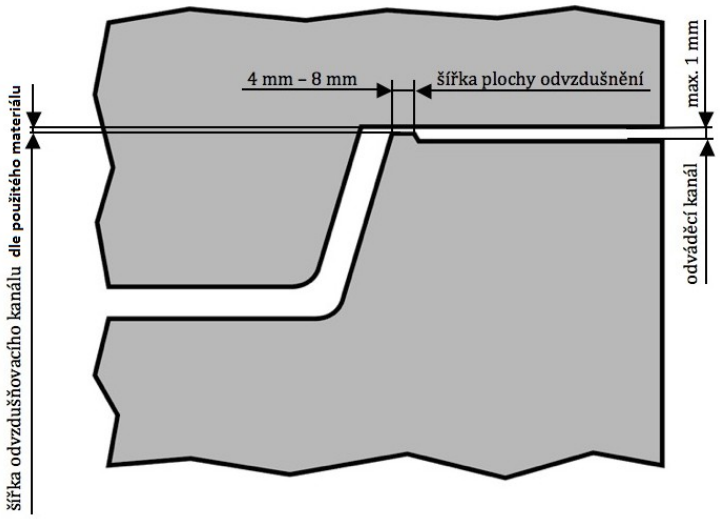
Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Řešení jeho důležitosti obvykle nastává až při zkouškách hotové formy, kdy může být odvzdušnění příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku. [2]

Dutina formy je před samotným vstřikováním naplněna vzduchem. Jakmile začne tavenina vstupovat do dutiny vstřikovací formy, velmi rychle před sebou začne vytlačovat zbytkový vzduch v dutině. Tomu je potřeba zajistit únik ven z formy. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. I když určité množství vzduchu unikne kolem vyhazovačů, dělící roviny či pohyblivých jader, je potřeba při nedostatečném odvzdušnění potřeba upravit formu odvzdušňovacími kanálky. Nejjednodušší možností je, pokud to lze, umístění odvzdušňovacích ploch do dělící roviny. [2]

Při rychlém plnění je nejčastějším jevem stlačení vzduchu, který díky vysokému tlaku se silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt - spálené místo na výstřiku (obr. 31), což na vhled ani z hlediska pevnosti není přípustné. Pokud je nutné zvyšovat vstřikovací tlak kvůli nedostatečném odvzdušnění, vnáší se do výstřiku vnitřní pnutí. Při pomalém plnění dochází k tvoření a uvolňování ztuhlého polymeru ze stěn formy a jeho strhávání do proudící taveniny. Tyto částice pak působí jako heterogenní vměstky a nepříznivě ovlivňují vlastnosti výstřiku. Zvýrazňují také vznik studených spojů v místech styku dvou, nebo více proudů taveniny. Jejich vliv pak negativně působí na mechanické vlastnosti výstřiků, protože představují zdroj lomových poruch, zvláště u amorfních plastů. [2]

Obr. 31. Diesel efekt [18]

Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je jen obtížně zjistitelná. Proto musíme uvažovat nad tím, jakým způsobem a směry budou proudy taveniny plnit dutinu. Pokud není zcela jasné, kam odvzdušnění umístit, je potřeba, aby konstruktér tyto místa vytipoval a učinil takové opatření, aby i při špatném předpokladu se dalo odvzdušnění realizovat. [2]



Obr. 33. Doporučená konstrukce odvzdušnění [13]

TYP PLASTU	ŠÍŘKA ODVZDUŠŇOVACÍHO KANÁLU [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05 - 0,05
strukturní pěny	max. 0,1

Obr. 32. Šířka odvzdušnění dle použitého typu plastu [13]

Někdy jsou viditelné stopy po odvzdušnění na výlisku. Je potřeba dbát na to, aby k těmto vzhledovým vadám nedošlo. K tomu je potřeba zvolit potřebný vtok i jeho umístění. Rovněž je zapotřebí znát funkci výstřiku, aby se dalo vyhnout studeným spojům v místech, kde to není z pevnostních důvodů vhodné. [2]

4.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je zodpovědný za odformování vstřikovaného dílu z dutiny poté, co je vstřikovací forma otevřena. Zhotovený výstřik se vysune nebo vytlačí z dutiny ven. K tomu slouží vyhazovací zařízení doplňující formu pro zajištění automatického vstřikovacího cyklu. Ten má dvě fáze [2] :

- pohyb dopředu - vlastní vyhození
- zpětný pohyb - návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Podmínkou dobrého vyhození výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Měly by být větší jak 30´. Vyhazování výstřiku vyhazovacím systémem musí být rovnoměrné, aby nedošlo k jeho příčení, a tím i k deformaci nebo jinému poškození. [2]

Umístění vyhazovačů, tak i jejich tvar a rozmístění může být velmi rozmanité. Vyhazovací systém se dá využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. Podle možnosti se upraví umístění tak, aby nevadily vzhledu. Někdy se záměrně upouští od vyhazovacího systému a výrobek se nechává vytahovat pomocí operátora nebo robotem s přísavnými držáky. Kromě výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání se může vtokový zbytek od výstřiku záměrně oddělit. [2]

Pohyb vyhazovacího systému se vyvine [2] :

- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy
- hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které je součástí vstřikovacího stroje, umožňující měkké vyhazování
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanizmy, vhodné pro jednoduché a zkušební formy

Zpětný pohyb vyhazovacího systému je zajišťován [2] :

- vratnými kolíky,
- pružinami vždy v kombinaci s jiným systémem,
- speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením.

Vhodný vyhazovací systém musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu, aby bylo možné vyhodit výstřik z formy. Vlivem smrštění materiálu zůstává výlisek obvykle na tvárníku, ale může zůstávat i na tvárnici. Potřeba je, aby výlisek zůstal na straně, kde jsou vyhazovače. Velikost vyhazovací síly, která je potřeba závisí na [2] :

- velikosti smrštění výstřiku ve formě,
- členitosti výstřiku a jakosti funkčních ploch tvárníku formy,
- technologických podmínek vstřikování (tlak, teplota materiálu a formy, doba chlazení),
- pružných deformací formy.

4.7.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejpoužívanější systém. Konstrukčně má různá provedení. Ty jsou [2] :

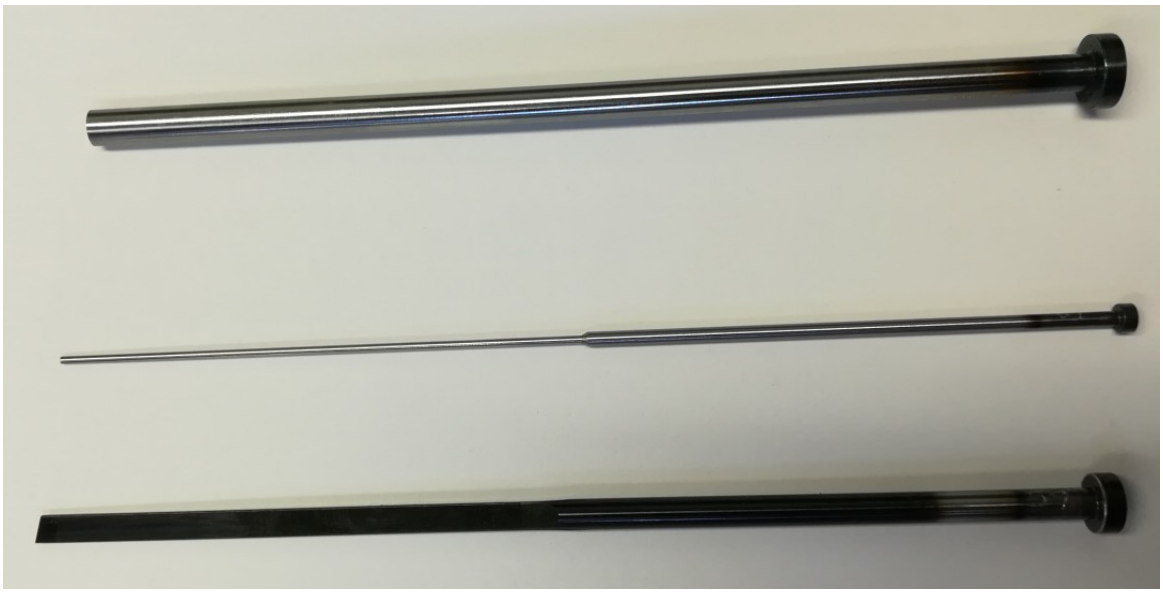
- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkovými vyhazovači
- šikmé vyhazování
- postupné vyhazování

Při mělkém výstřiku se vyhazovače používat nemusí, stačí jen vyhození vtokového zbytku. Případné vyhazování by mohla zajistit stírací deska. [2]

4.7.2 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je nejlevnějším a nejčastějším způsobem vyhazování výstřiků z dutiny formy. Lze jej použít tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Tento systém je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. Při vyhazování by se měl opírat o stěnu nebo žebro a nesmí ho bortit, nebo by mohlo dojít k jeho deformaci. Na výlisku zůstávají stopy po styčných plochách vyhazovačů. S tím by se mělo počítat, a pokud možno, neumisťovat vyhazovače na vzhledovou část. [2]

Kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování a měly by být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Nejčastěji se používají válcové a ploché vyhazovače s válcovou stopkou, avšak mohou mít i různé tvary. Kolíky jsou ve formě uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle tekutosti vstřikovaného materiálu. Vůle v uložení funguje také i jako odvzdušnění. [2]



Obr. 34. Vyhazovací kolíky

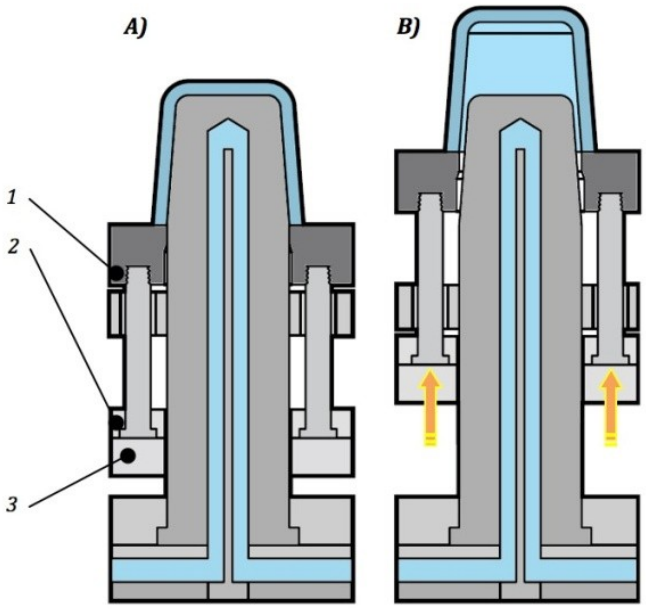
Kolíky se kotví do vyhazovací desky, která je spojená s formou na pohyblivém vedení. U desek větších rozměrů je lepší, aby desky nedosedaly celou plochou, ale jen na zvláštní dorazy či dorazové podložky. [2]

4.7.3 Vyhazování stírací deskou

Výstřik je stírací deskou vyhozen po celém jeho obvodu vzhledem k jeho velké styčné ploše. Výhodou je, že nezanechává stopy na výstřiku. Stírací síla je velká a dělá minimální deformace. To je výhodné použít pro vyhazování tenkostěnných nebo rozměrných výstřiků. Toto použití je vhodné i pro vícenásobné formy. [2]

Pohyb stírací desky může být vyvozen [2] :

- tlakem vyhazovacího systému
- tahem ve speciálních případech - při rozevírání formy



Obr. 35. Princip funkce stírací desky [13]

1 – stírací deska, 2 – přidržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu a působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pružinami, zařízeními na pneumatiku či hydrauliku. [2]

4.7.4 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Jedná se o speciální formu mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělící ploše, ale jsou uloženy pod různými úhly k dělící rovině. Používají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým i vnějším zápichem. Tímto mechanismem se odstraní používání náročných posuvových čelistí s klínovým mechanismem. [2]

4.7.5 Pneumatické vyhození

Tento systém je vhodný pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby nedošlo k deformaci. Klasickým mechanickým vyhazováním větších, objemných výstřiků, by potřebovalo značně zvětšit formu, bez zaručení dobré funkce.

Pneumatickým vyhazováním se zavádí stlačený vzduch mezi výstřik formy a jeho líc pomocí talířových nebo jehlových ventilů či různých kolíků. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. Ventily se otevírají tlakem vzduchu a zavírají se pomocí pružin. [2]

Pneumatický systém lze kombinovat i s mechanickým. Pro automatické formy je třeba volit vyhazovací systémy tak, aby dva nezávislé systémy zabezpečovaly vyhození výstřiku z dutiny formy. [2]

4.7.6 Hydraulické vyhození

Hydraulické vyhazování bývá součástí vstřikovacího stroje a slouží především k ovládání mechanických vyhazovačů, jenž nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. S hydraulickou jednotkou, pracující jako vyhazovač, je v zastoupena v malé míře. Více se používají k ovládání bočních posuvných čelistí. [2]

Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě a s její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky stírací desky. Hydraulické systémy se vyznačují velkou vyhazovací silou, kratším a pomalejším zdvihem. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem pro tuto diplomovou práci je vypracování:

- Vypracování literární rešerše na dané téma
- Nakreslení 3D modelu vstřikovaného dílu
- Návrh vstřikovací formy pro zadaný díl
- Ověření návrhu pomocí analýzy
- Nákres 2D sestavy vstřikovací formy

Teoretická část diplomové práce obsahuje literární rešerši popisující technologii vstřikování, konstrukci a popis vstřikovacího stroje, zásady pro konstrukci výrobku z plastu a vstřikovacích forem.

V praktické části je cílem zkonstruování 3D modelu výlisku a na jeho základě vymodelovat tvarové vložky vstřikovací formy. Konstrukce vstřikovací formy bude probíhat v programu Autodesk Inventor. Pro samotný návrh a realizaci vstřikovací formy je vhodné provést nejprve analýzu pro vhodnost umístění vtoku. Normalizované díly se čerpají z katalogu firmy Meusburger a Hasco. Po vypracování se forma ověří analýzou v programu Autodesk Moldflow.

Nakonec se provede z 3D modelu sestavy 2D řez vstřikovací formou s popisem jednotlivých pozic.

6 POUŽITÉ PROGRAMY

6.1 Autodesk Inventor

Pro konstrukci vstřikovaného dílce byl použit program Autodesk Inventor. Tento program je vhodný pro modelování sestav, plastových dílců, vstřikovacích forem, návrh plechových součástí, mechatroniky a dalších. Mimo modelování 3D sestav a dílů umí i převádět tyto modely na 2D výkresy pro vytvoření plnohodnotné dokumentace. [19]

6.2 Autodesk Moldflow Insight

Pro analýzy vstřikovací formy a výrobku byl použit program Autodesk Moldflow Insight, který slouží pro analýzu vstřikovacího procesu, plastových dílů a jejich optimalizaci. Program obsahuje globální databázi plastů, převážně termoplastů včetně hodnot technologických podmínek, reologických vlastností, údajů o teplotě použitelnosti, pvT, údaje o mechanických vlastnostech, smrštění a dalších dat vhodných pro optimalizaci výroby, nastavení stroje a návrh dílu. Umožňuje předcházet potencionálním vadám ve výrobku díky predikci chování taveniny při simulaci toku v dutině formy.

Autodesk Moldflow Insight je vhodným prostředkem pro snížení nákladů i času při optimalizaci forem před samotnou výrobou a pozdější pracnou úpravou. [20]

6.3 Katalog Meusburger a Hasco

Díky katalogu od firmy Meusburger a Hasco bylo možné importovat modely normalizovaných dílů přímo do sestavy, čímž se značně urychlila a usnadnila konstrukce formy.

7 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Vstřikovaným dílem je rukojeť kbelíku. Výrobek je důležitou součástí kbelíku pro jeho snadnou manipulaci. Rukojeť je vybavena dvěma tvarovanými výstupky pro bezpečné uchycení ke kbelíku. Rozměry rukojeti jsou 179,5 x 297 x 15,3 mm (v x š x d).

Obr. 36. Model vstřikovaného výrobku

7.1 Materiál výrobku

Matriál pro použití na rukojeť byl zadán zákazníkem - polypropylen. Polypropylen je jedním z nejběžnějších plastů. Má velmi dobrou chemickou a mechanickou odolnost a není náchylný k vnitřnímu pnutí. Je odolný proti UV záření. Také je odolný proti olejům, alkoholům a organickým rozpouštědlům. Při nízkých teplotách křehne a v teplotách kolem 140 - 150 °C měkne. Okolo 160 - 170 °C se taví. Používá se v mnoha odvětvích textilního, potravinářského průmyslů a v laboratorních vybaveních. Má přidělené mezinárodní identifikační číslo pro plasty.

Použitý materiál je od firmy BOREALIS s obchodním názvem Daplen EG066AI.

Tab. 1. Vlastnosti vstřikovaného materiálu Daplen EG066AI

Minimální teplota taveniny	200° C
Maximální teplota taveniny	280° C
Degradační teplota	300° C
Teplota pro vyhození výrobku z formy	114° C
Maximální smykové napětí	0,25 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100 000 1/s
Hustota taveniny	0.66514 g/cm^3
Hustota v pevném stavu	0.88633 g/cm^3
Modul pružnosti v tahu	406 MPa
Smrštění v podélném směru	1.386 %
Smrštění v příčném směru	1.641 %

8 PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA MÍSTA VTOKU

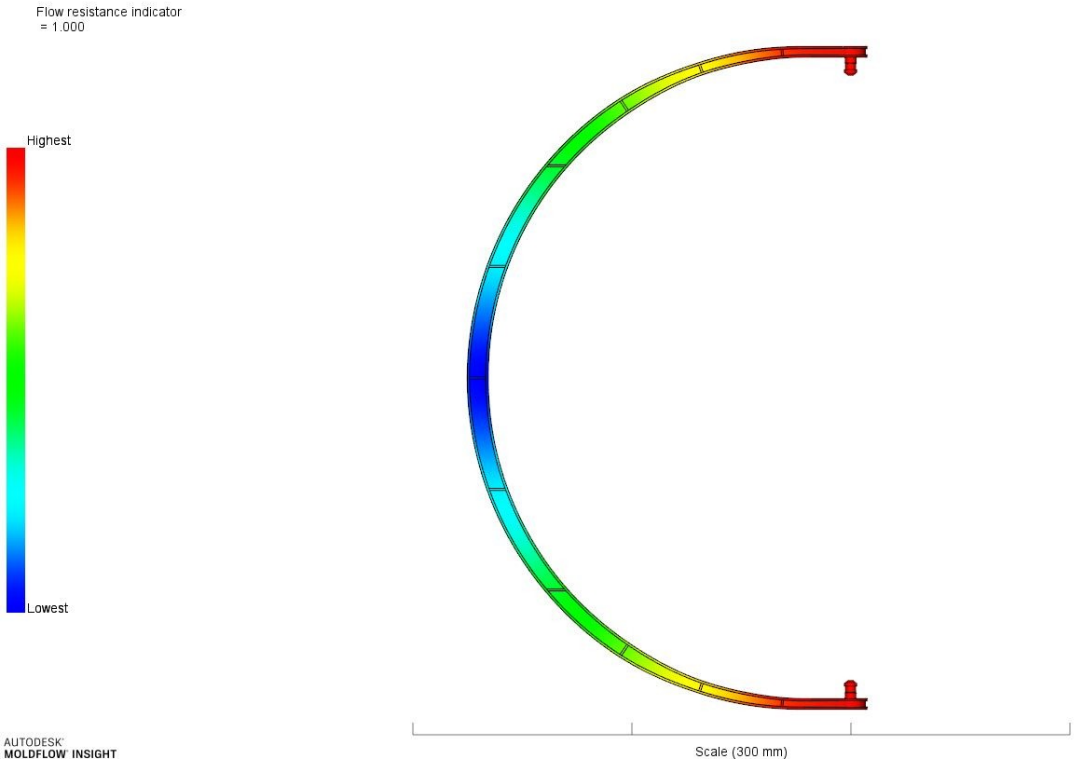
Před samotným začátkem konstrukce vstřikovací formy je vhodné zjistit, kde by bylo nejvhodnější umístit vtokové ústí. To je důležité z hlediska času plnění a možností nezatečení materiálu do všech částí formy.

8.1 Umístění polohy vtoku

Pro samotné zjištění nejvhodnějšího místa vtoku je využito programu Autodesk Moldflow, který analýzou vtoku toto místo navrhne. Proces probíhal tak, že se vložil díl do programu a následně byla nastavena síť Dual Domain s délkou strany 1 mm. Následovala oprava sítě. Byl vložen materiál a nastavena analýza Gate Location. Popis je obsažen v kapitole 11.

8.1.1 Odpor toku taveniny (Flow resistance indicator)

Po provedení analýzy se výstřik zobrazí v barevném spektru od modré barvy po červenou. Modrá barva značí místo, kde je odpor toku taveniny nejmenší. Z tohoto místa má tavenina největší možnost zatéct do celého objemu výstřiku. Naopak červená barva značí místo, kde je odpor taveniny největší. Tady je nevhodné vtok umisťovat.

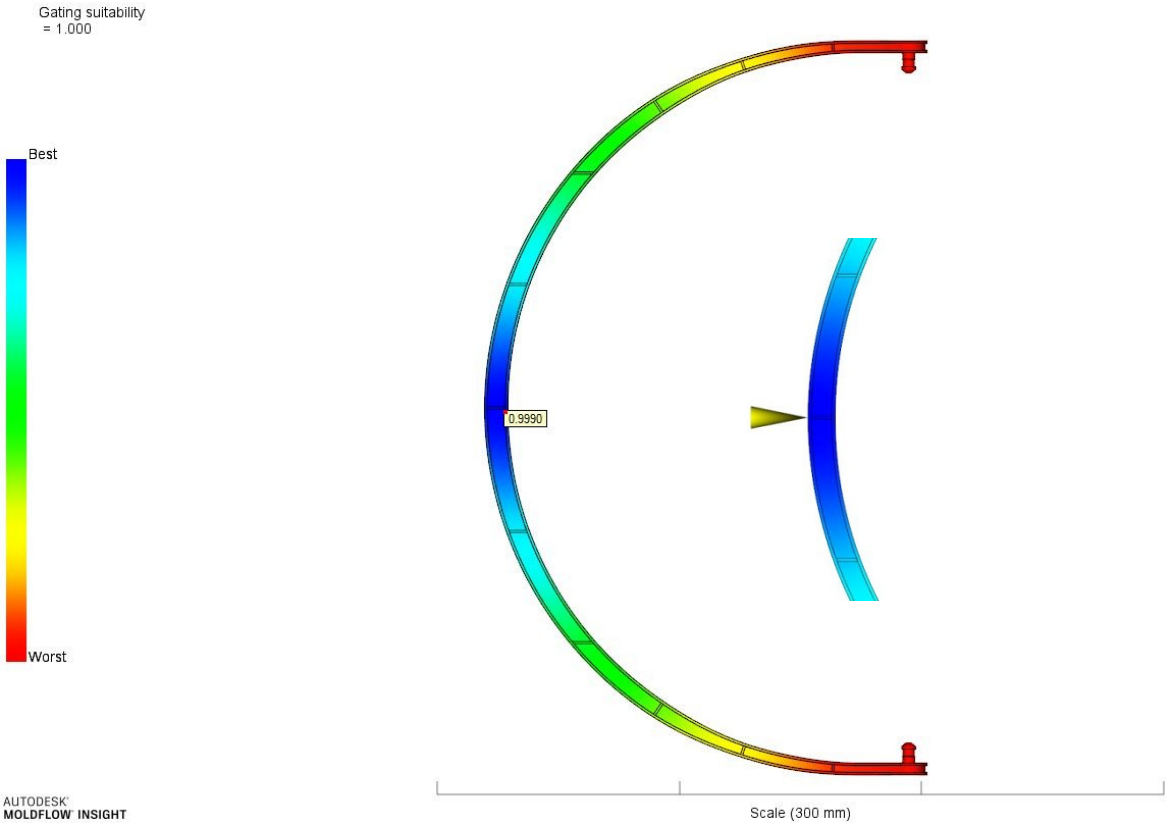


Obr. 37. Analýza vhodnosti místa s nejmenším odporem taveniny

8.1.2 Nejvhodnější místo vtoku (Gating suitability)

Touto analýzou se určí, kde je nejvhodnější místo pro umístění vtoku pro nejlepší zaplnění dutiny. Místo nejlepšího umístění vtoku je vypočítán pomocí matematických vzorců. Výpočty jsou uskutečněny na základě složitosti tvaru dutiny a zvoleného materiálu pro vstřikování.

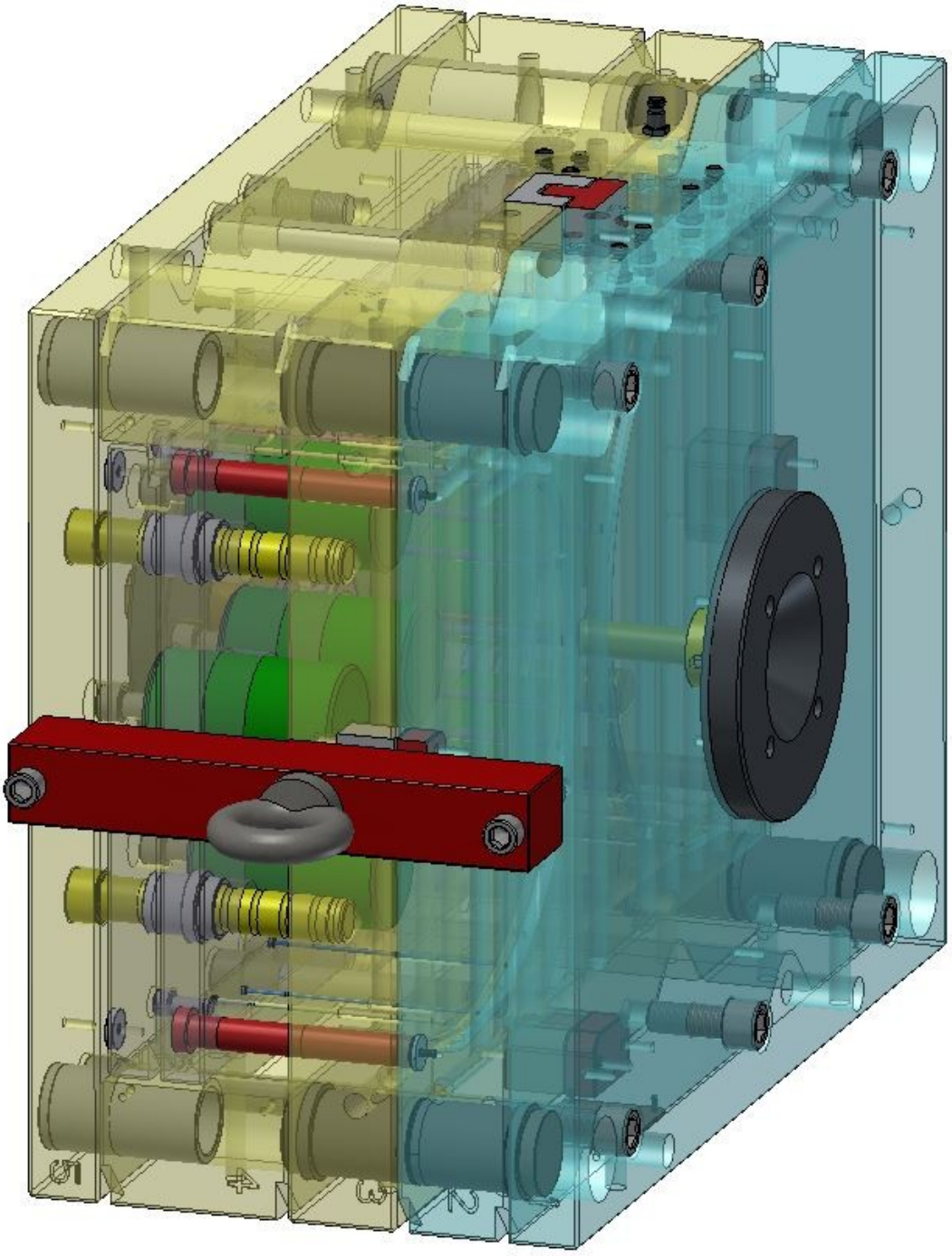
Nejvhodnější místo pro umístění vtoku značí na dílu modrá barva. V tomto místě je nejlepší umístit vtokové ústí. Analýza ověřila již předpokládané místo umístění vtoku pro nejlepší zatečení taveniny do celého objemu výstřiku.



Obr. 38. Místo umístění vtoku

9 KONSTRUKCE FORMY

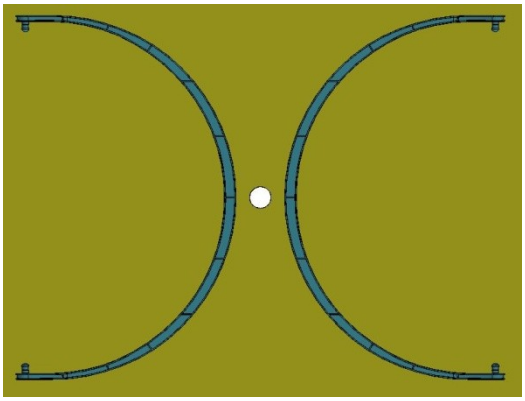
Konstrukce formy probíhala s ohledem na násobnost formy a zvolený stroj zákazníkem. Násobnost byla zvolena dvojnásobná. Při samotném návrhu bylo využito co nejvíce normalizovaných dílů z katalogu firmy Meusburger a Hasco, a to pro zjednodušení konstrukce, výroby a nákladů s tím spojených. Těmito díly se rozumí například čepy, desky, středící trubky, ucpávky, náustky a další.



Obr. 39. Sestava formy

9.1 Násobnost formy

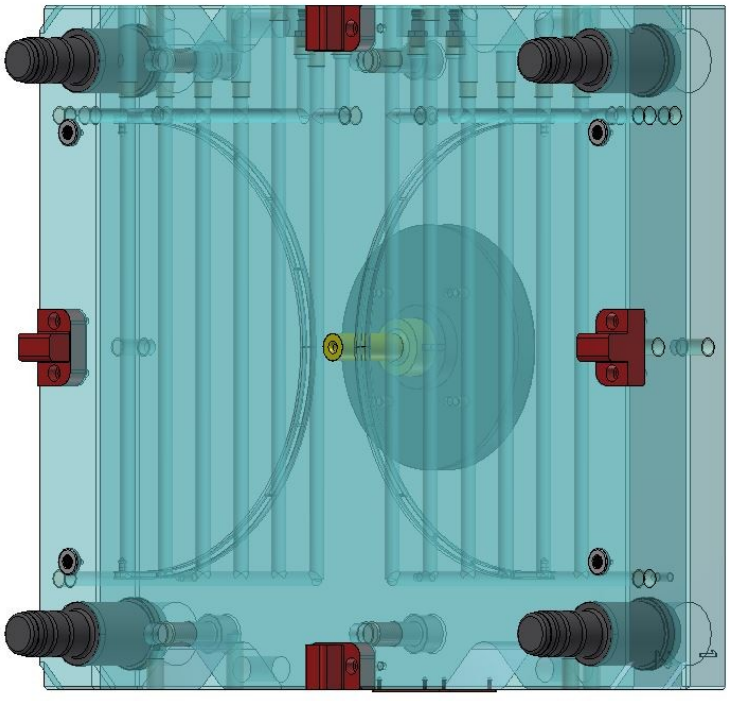
Násobnost formy je vzhledem k určenému lisu, velikosti dílu a stanovením zákazníka dvojnásobná.



Obr. 40. Násobnost formy

9.2 Pravá strana formy

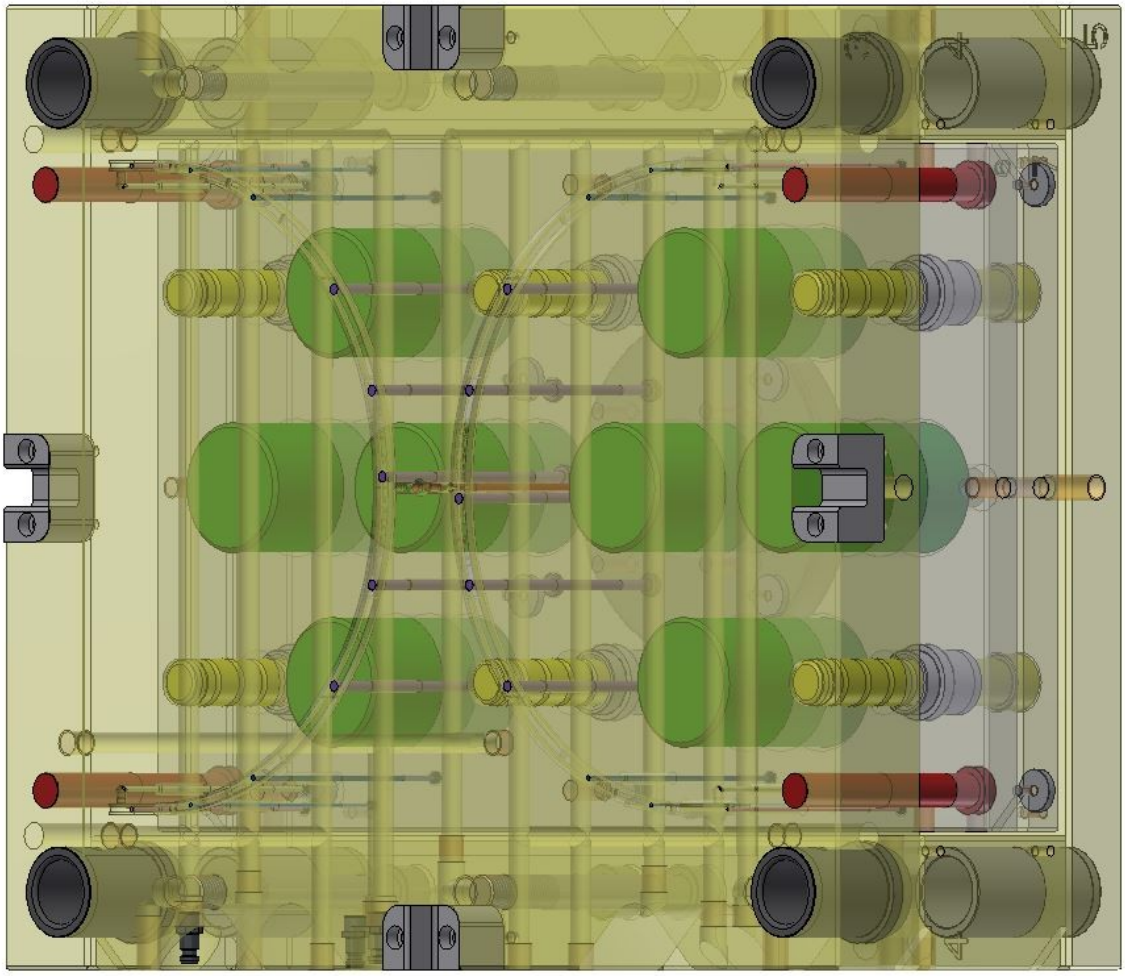
Pravá strana formy je ta strana, která je pevně uložena, a tudíž je nepohyblivá. Touto stranou se vstřikuje polymer do dutiny formy skrz vtokovou vložku. Na této straně formy se nachází tvárnice a vodící čepy. Jeden čep má rozdílný průměr, aby nedošlo k otočení na opačnou stranu a byl jednoznačně určen způsob zavírání. Pozice uchycení ke stroji je zajištěna pomocí středícího kroužku a šroubovým spojením přišroubována.



Obr. 41. Pravá polovina formy - pevná

9.3 Levá strana formy

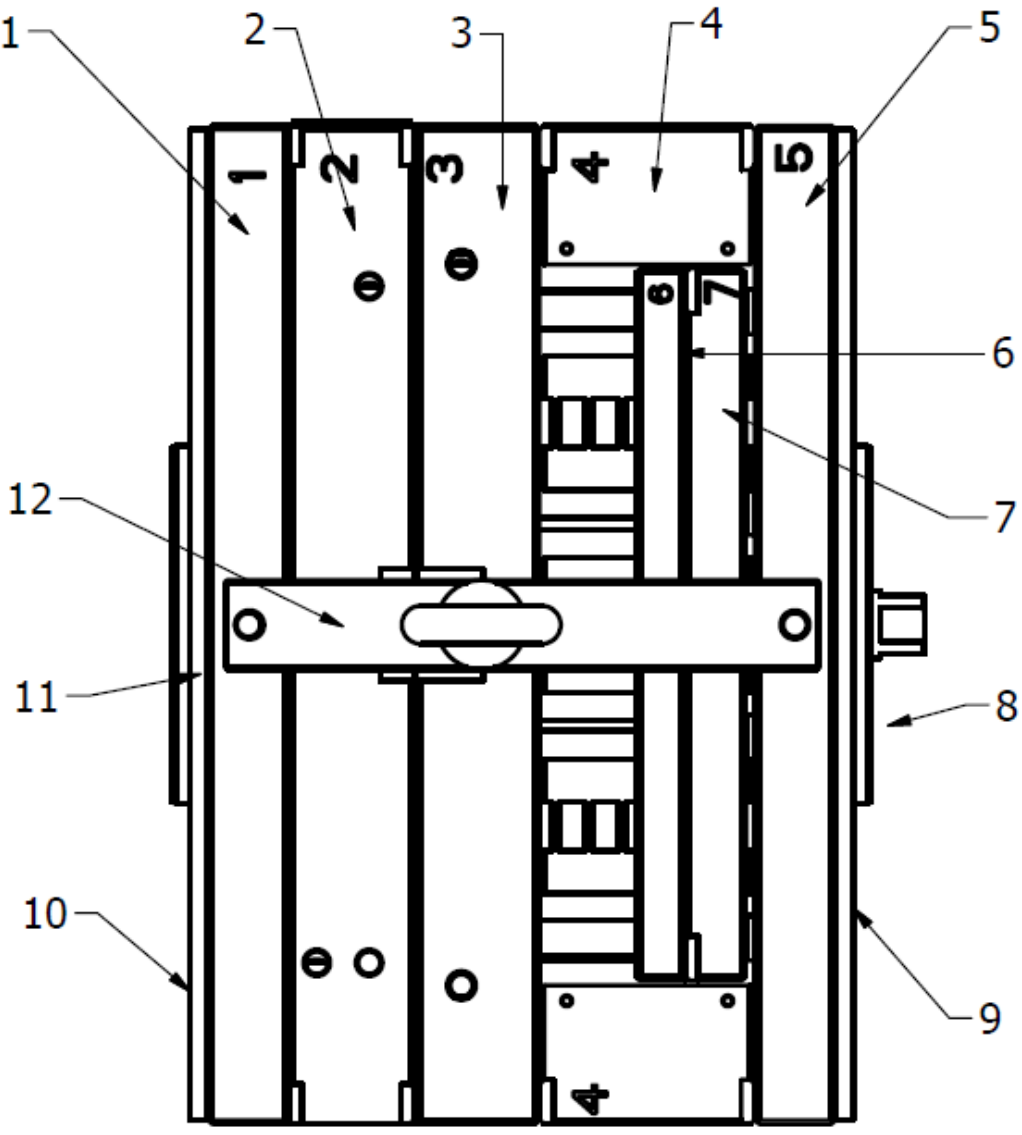
Levá strana formy je pohyblivá strana. V levé straně formy se nachází tvárník, vyhazovací systém, středící a vodící trubky a temperační systém. Levá strana má za úkol po ochlazení, jakmile se forma otevře, vyhodit výstřik z formy ven i s vtokovým zbytkem.



Obr. 42. Levá strana formy - pohyblivá

9.4 Rám formy

Rám formy je celek tvořený z desek, spojený spojovacími prvky a je složen z normalizovaných dílů z katalogu firmy Meusburger a Hasco. Rám musí splňovat konstrukci tak, aby bylo možné jej bezproblémově a bezpečně upnout na vstřikovací stroj. Pro jeho ustavení slouží středící kroužky. Vedení pohyblivých dílů musí být přesné. Vzájemnou polohu dílů ve formě zajišťují vodící pouzdra a čepy. Sestava rámu je opatřena transportním ramenem.



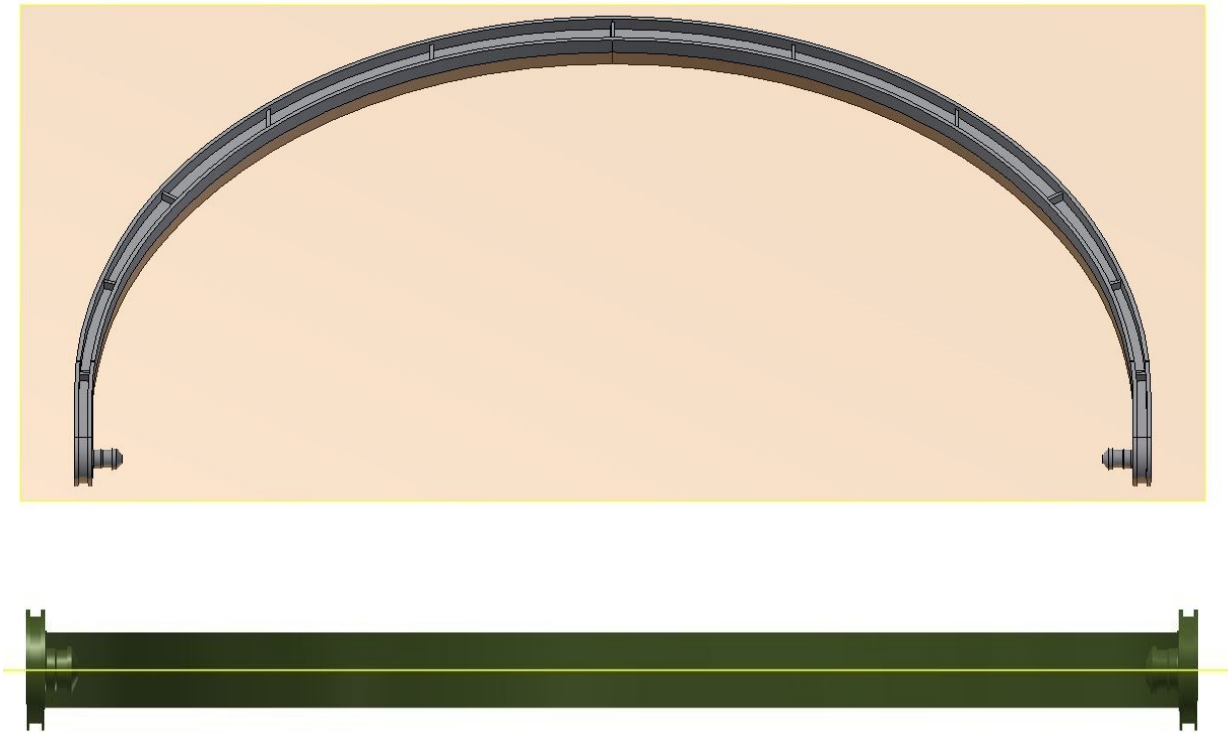
Obr. 43. Horní pohled na vstřikovací formu

1,5 - upínací desky, 2,3 - tvarové desky, 4 - rozpěry, 6 - kotevní vyhazovací deska, 7 - opěrná vyhazovací deska, 8,11 - středící kroužky, 9,10 - izolační desky, 12 - transportní lišta

Velikost vstřikovací formy vychází z násobnosti formy a rozměrů výstřiku. Forma má rozměry 446 x 546 x 296 mm. Soudržnost formy zajišťují šrouby a ustavení pomocí trubek a vodících pouzder.

9.5 Dělící rovina

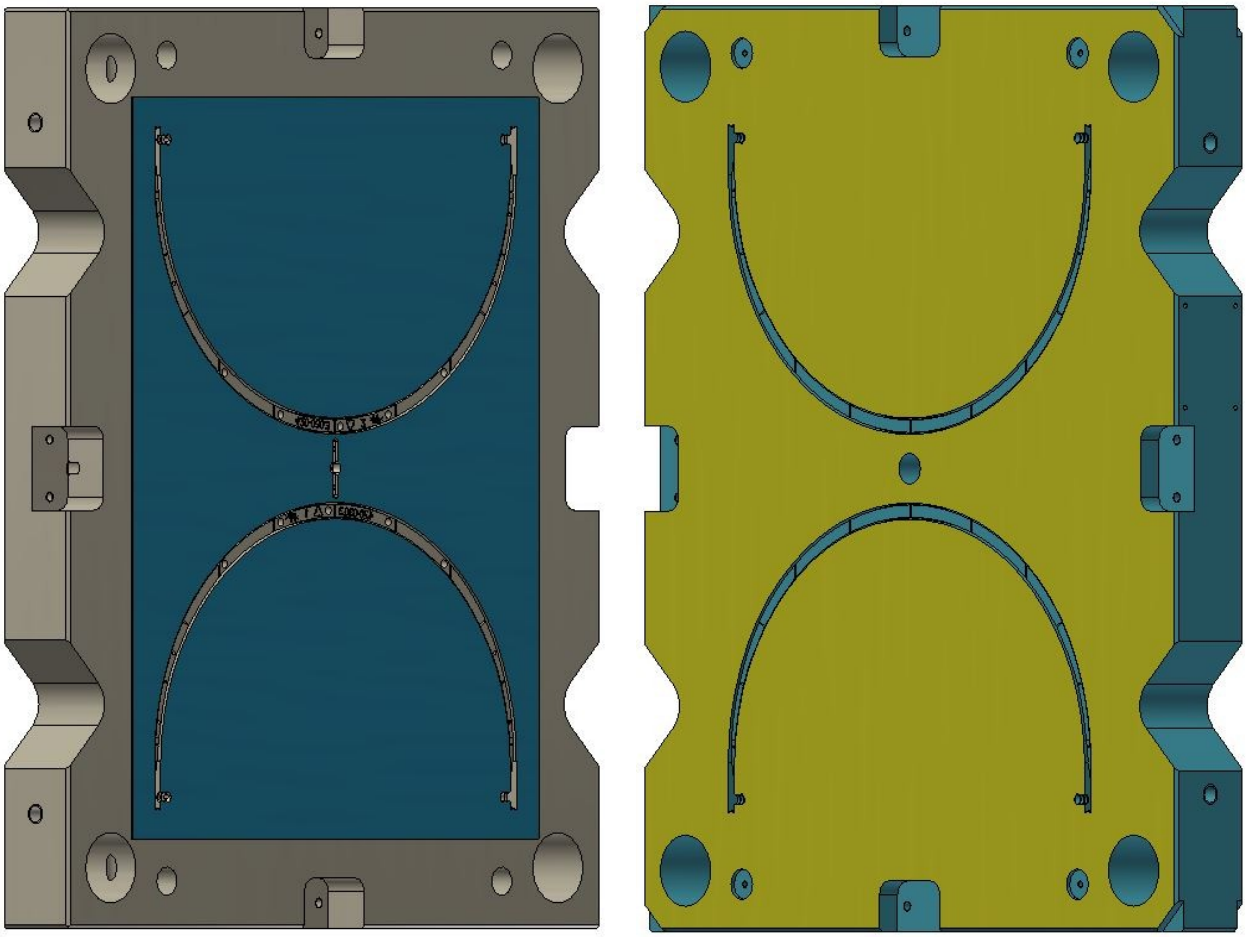
Dělící rovina vychází z konstrukčního řešení výrobku. Výrobek bylo potřeba zalisovat tak, aby po oddělení obou stran formy zůstal ve vyhazovací (levé) polovině. Dělící rovina se tedy zvolila uprostřed vyráběného dílu, neboť z něj vychází na každou stranu jiný úhel.



Obr. 44. Dělící rovina

9.6 Tvarové prvky

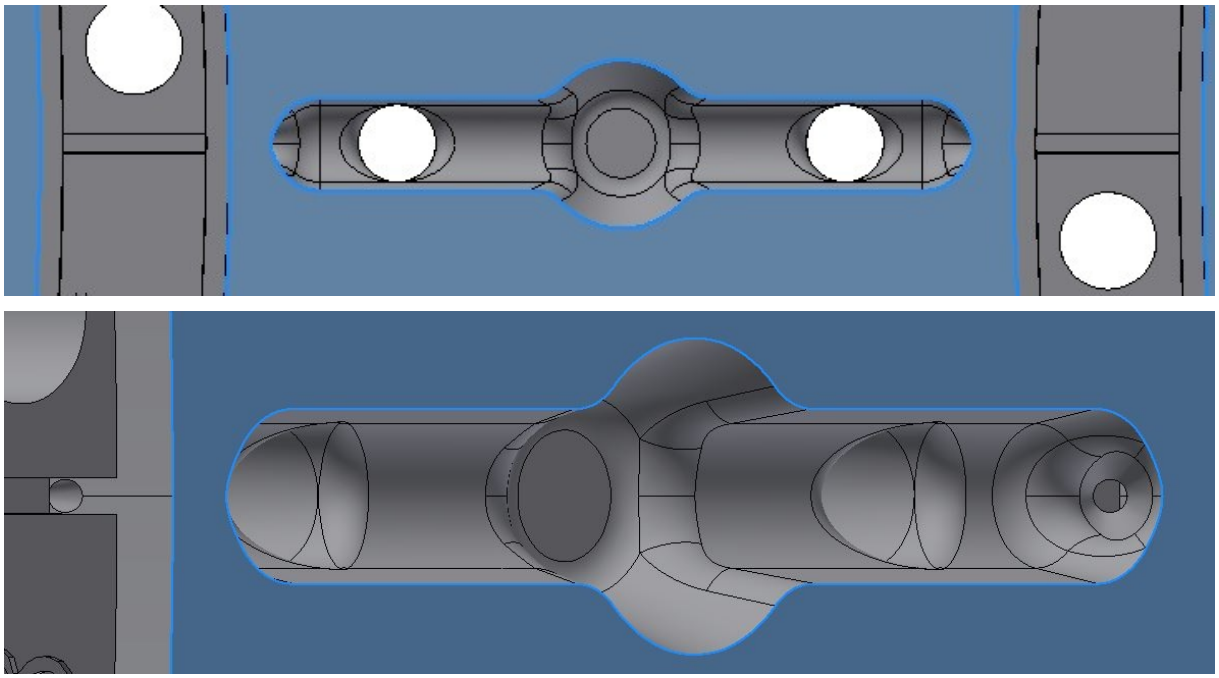
Tvarové desky, tj. tvárník a tvárnice bývají většinou jako samostatné vložky vkládající se do rámu. Udávají tvar výrobku a samy jsou negativem výrobku zvětšené o smrštění výstřiku. Tvárník je součástí levé strany formy (pohyblivé) a tvárnice pravé (pevné). V tomto případě jsou tvárník i tvárnice zvoleny obě jako součást tvarové desky. Je to dáno pro úsporu místa, kdy jako samostatné vložky by potřebovaly mnohem větší rámy, což by vedlo k výraznému zvětšení formy a nemožnost upnutí formy na požadovaný vstřikovací stroj mezi sloupky. Tvarové dutiny jsou zvětšeny o smrštění taveniny po ztuhnutí o 1,8 %. Tvárník i tvárnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli, jenž je vhodná pro namáhané části formy. Jsou kaleny.



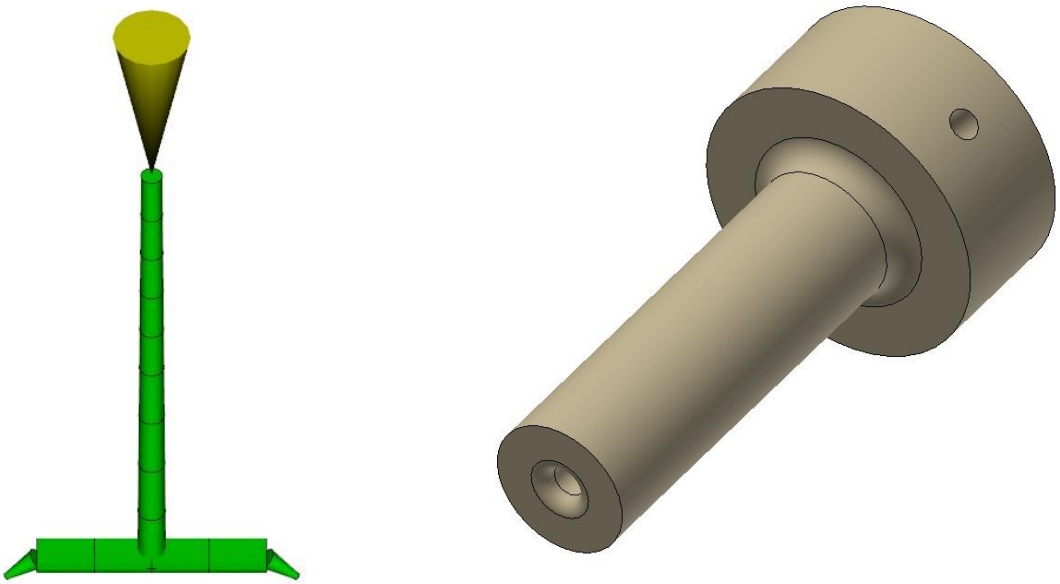
Obr. 45. Tvárník a tvárnice

9.7 Vtokový systém

Vtokový systém byl na přání zákazníka zvolen studený. Koncepce formy umožnila vložení vtoku do středu formy. Přivedená tavenina projde přes kuželový vtok a následně je rozdělen rozvodným kanálem mezi dva tunelové vtoky do obou dutin. Tunelový vtok byl zvolen díky tomu, že stopa zůstávající na výlisku je po oddělení poměrně nepatrná bez nutnosti dodatečných úprav. K oddělení dojde při vyhození výstřiku z formy.



Obr. 46. Vyústění vtokového kanálu



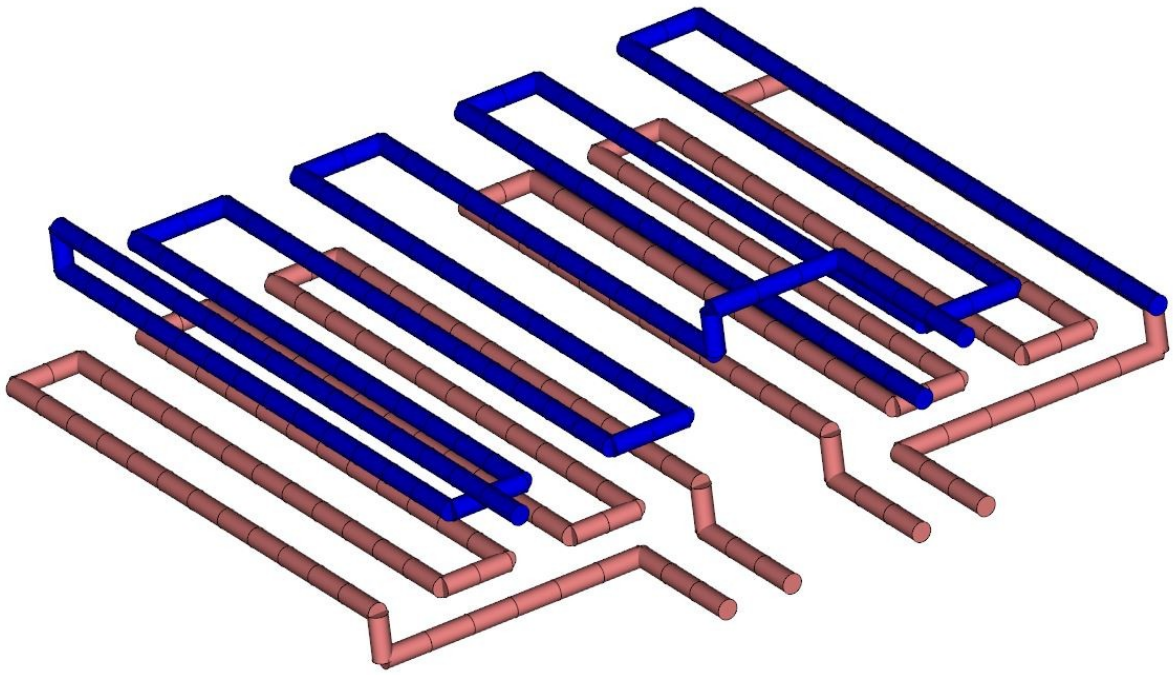
Obr. 47. Vtokový systém a studený vtok

9.8 Temperační systém

Temperační systém je velice nutný pro správnou funkci formy a rychlejší čas cyklu. Chlazení je voleno dle tabulky Tab. 2. dle velikostí rámu formy. Podle velikosti rámu, 446 x 546 mm a gramáže výlisků 2 x 16 g (32 g), bylo zvoleno chlazení o průměru 10 mm. Na tvárníku i tvárnici jsou dva samostatné okruhy, které zajišťují chlazení po celé ploše dutiny.

Tab. 2.Orientační hodnoty průměrů kanálů velikosti formy v závislosti na hmotnosti výstřiku [2]

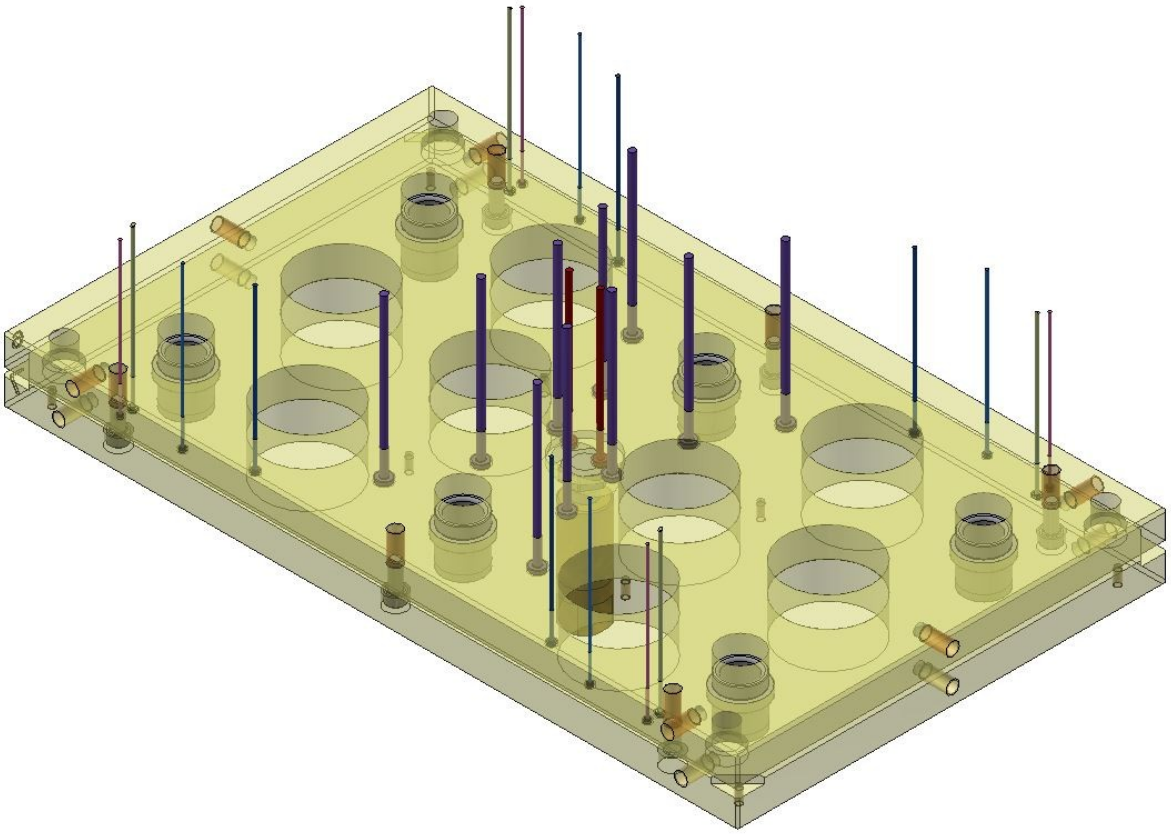
výstřik [g] / rám [mm]	. 1	1 3	3 5	5 8	8 10	10 15	15 20	20 30	30 50	50 100	100 200	200 300	300 500	500 800	800 1000
160x160	6	6	6	6	6										
160x230		6	8	8	8	8	8	8	8						
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8	8					
230x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10				
300x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10	10			
300x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10		
370x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	
370x440					8	8	8	8	8	8	10	10	10	12	12
440x440					8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
440x510						8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
510x510						8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
510x650							8	8	8	10	12	12	12	12	12



Obr. 48. Temperace tvárnice (béžová) a tvárníku (modrá)

9.9 Vyhazovací systém

Pro správné vyhození výstřiku je nutné, aby zůstal po ochlazení a otevření formy výstřik přichycen na pohyblivé straně formy díky smrštění materiálu výstřiku a menšímu úhlu ve tvaru. Samotné vyhození z formy zajišťuje třináct válcových vyhazovačů, jenž jsou umístěny rovnoměrně po dutině formy co nejblíže žebrům. Samotné vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Na vyhazovacích deskách je přišroubováno táhlo, kterým je zajišťován pohyb vyhazovacích desek. Ty jsou vedeny v šesti kluzných pouzdrech pomocí vodících čepů. Výstřik bude nést stopy po vyhazovačích. Vzhledem k povaze výstřiku a své pozici uvnitř tvaru jsou tyto stopy přípustné.



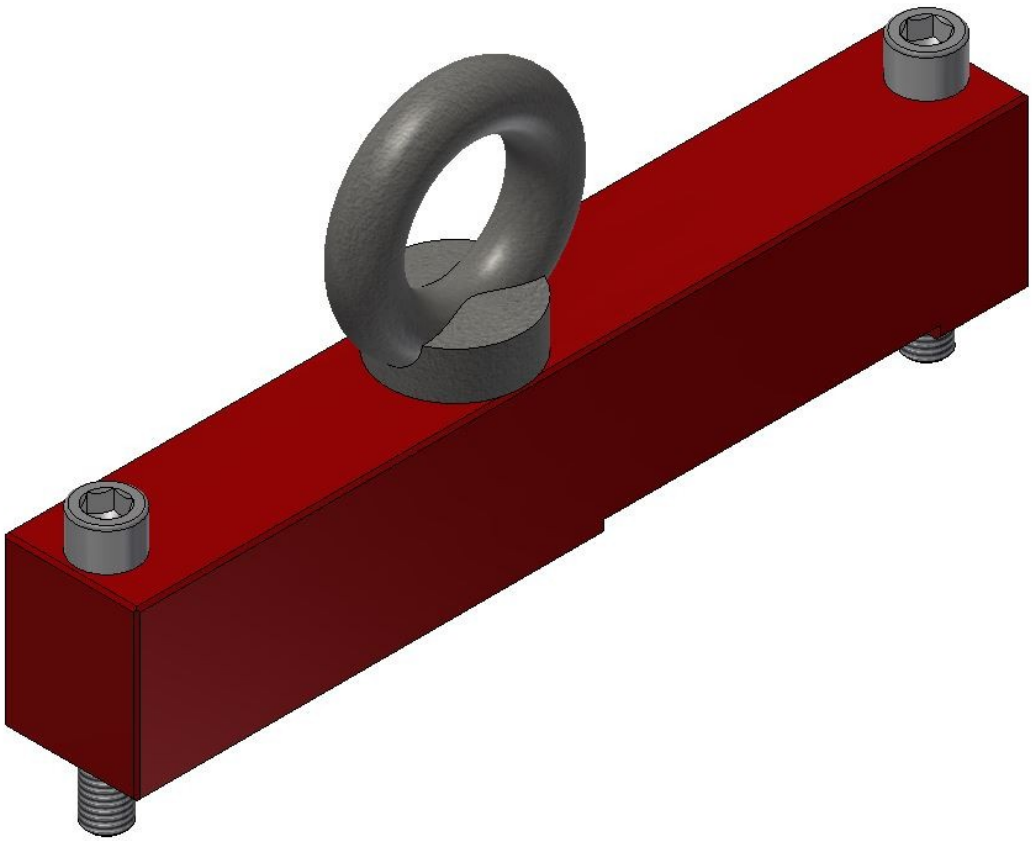
Obr. 49. vyhazovací systém

9.10 Odvzdušnění formy

Jelikož se jedná o jednoduchou formu na zavírání v jedné dělící rovině, může uzavřený vzduch uniknout přes tuto rovinu. Jestliže by se u zkoušek ukázalo, že z formy nedostatečně uniká vzduch, musela by být provedena úprava vyrobením odvzdušňovacích kanálů.

9.11 Transportní systém

Pro soudržnost i manipulaci formy je forma opatřena transportní lištou a šroubovacím transportním okem. Manipulace probíhá pomocí jeřábu. Transportní lišta je upevněna na vrchní straně formy pomocí šroubů.



Obr. 50. Transportní systém

10 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro vstřikování dílu pro navrženou formu byl zákazníkem zvolen horizontální vstřikovací stroj BATTENFELD BA 1500 / 630 BK, na němž se bude daný díl vyrábět.

Obr. 51. Vstřikovací stroj BATTENFELD BA 1500 / 630 BK [21]

Tab. 3. Technické parametry stroje BATTENFELD BA 1500 / 630 BK [21]

BATTENFELD	BA 1500 / 630 BK
Uzavírací síla	1500 kN
Vstřikovací tlak	2182 bar
Objem válce	286 cm^3
Průměr šneku	45 mm
Horizontální velikost upínacích desek	700 mm
Vertikální velikost upínacích desek	700 mm
Horizontální vzdálenost mezi sloupky	500 mm
Vertikální vzdálenost mezi sloupky	500 mm
Minimální výška formy	200 mm
Maximální výška formy	550 mm
Otevření stroje	420 mm
Maximální zdvih vyhazovačů	160 mm

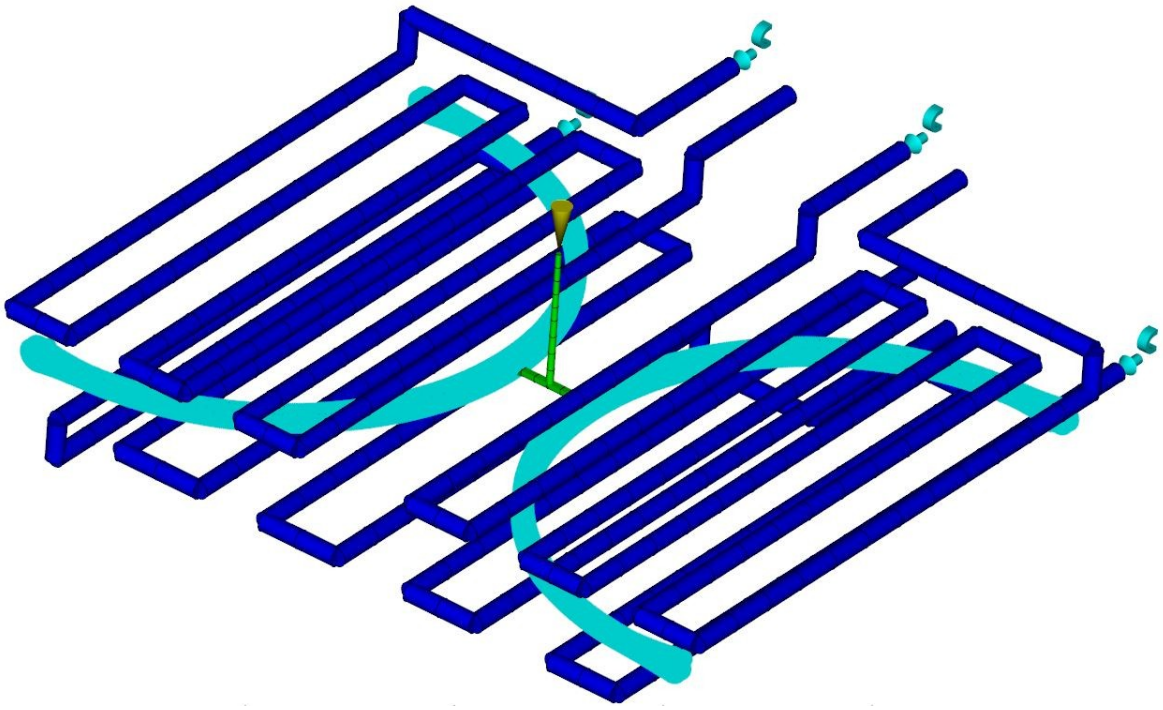
11 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

Analýza vstřikování byla provedena v programu Autodesk Moldflow pro vstřikování do obou dutin zároveň. Díky tomuto programu se můžou odstranit některé vady či nedostatky formy ještě před samotnou výrobou, čímž se uspoří čas i náklady.

11.1 Nastavení analýzy v Moldflow Insight

Nastavení programu pro analýzy probíhalo tak, že se naimportoval model vstřikovaného dílu do programu ve formě *.stp souboru. Následovalo vytvoření sítě Dual Domain. Sítí se rozumí převedení trojrozměrných objektů na propojené rovnostranné trojúhelníky. Ty jsou proložené v celém objemu modelu. Délka strany trojúhelníků byla nastavena 1 mm. Po vytvoření sítě byla provedena její kontrola. Ze statistiky Mesh Percentage vyplývá, že kvalita sítě je 94,6 %. To znamená, že výsledky analýz budou dosahovat přesných výsledků. Byl přidán vstřikovaný materiál z databáze EG066AI (polypropylen), ze kterého vycházely nastavené parametry a vstřikovací stroj. Nejdříve se provedla analýza vhodnosti umístění vtoku - analýza Gate Location.

Následně byl model situován tak, tak jak bude vstřikován ve formě. Bylo potřeba ještě vložit a upravit vtokový systém a chladící okruh. Pro tento model byla nastavena analýza Cool + Fill +Pack + Warp.



Obr. 52. Model pro analýzu

Tab. 4. Parametry analýzy

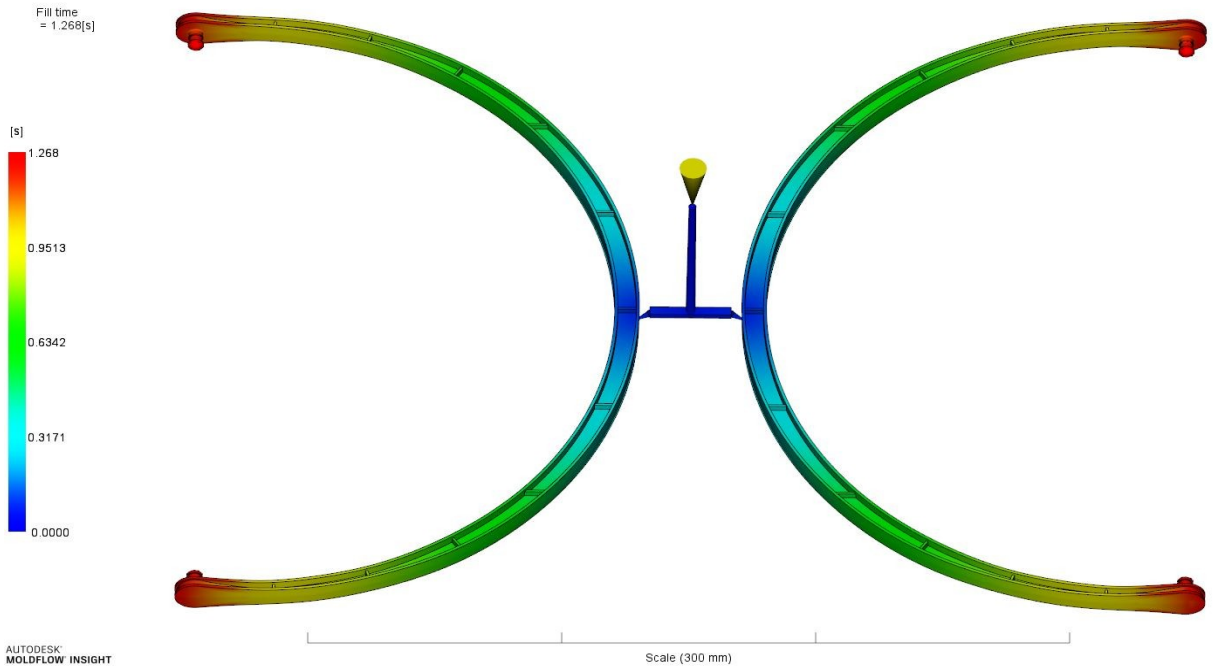
Vstřikovací teplota formy	30 °C
Vstřikovací teplota taveniny	240 °C
Čas otevření formy	5 *s*
Čas cyklu	30 *s*
Čas chlazení	automaticky
Doba dotlaku	10 *s*
Vstřikovací doba	1 *s*
Bod přepnutí	při 99 % naplnění objemu
Průtokový tlak vody	1 *bar (*100 kPa*)*

11.2 Analýzy plnění

Analýzou plnění se simuluje chování taveniny v dutině jako je doba plnění, rychlost smykové deformace, dobou chlazení a dalších analýz.

11.2.1 Čas plnění (Fill time)

Čas plnění představuje dobu, za kterou budou obě dutiny formy zaplněny vstřikovaným materiálem. Nejlepší je, aby se forma naplnila co nejrychleji, neboť má výrazný vliv na vlastnosti povrchu. Po samotném výpočtu se zobrazí výsledek v grafickém zobrazení i jako číselná hodnota. V místech označených červenou barvou bude dutina zaplněna až jako poslední a mohou se zde vyskytovat nežádoucí jevy, naopak v modře označených místech bude dutina zaplněna nejdříve. V případě, že by se objevily nějaké šedé místa při plnění, znamenalo by to, že do těchto míst tavenina nezateče. Z výsledků je patrné, že dochází k rovnoměrnému zaplnění obou dutin současně. Pro analýzu byl zvolen čas 1 s. Celkový vstřikovaný čas je 1,268 s. Při nastavování vstřikovacího stroje musíme zvolit čas vstřikování 1,3 s.

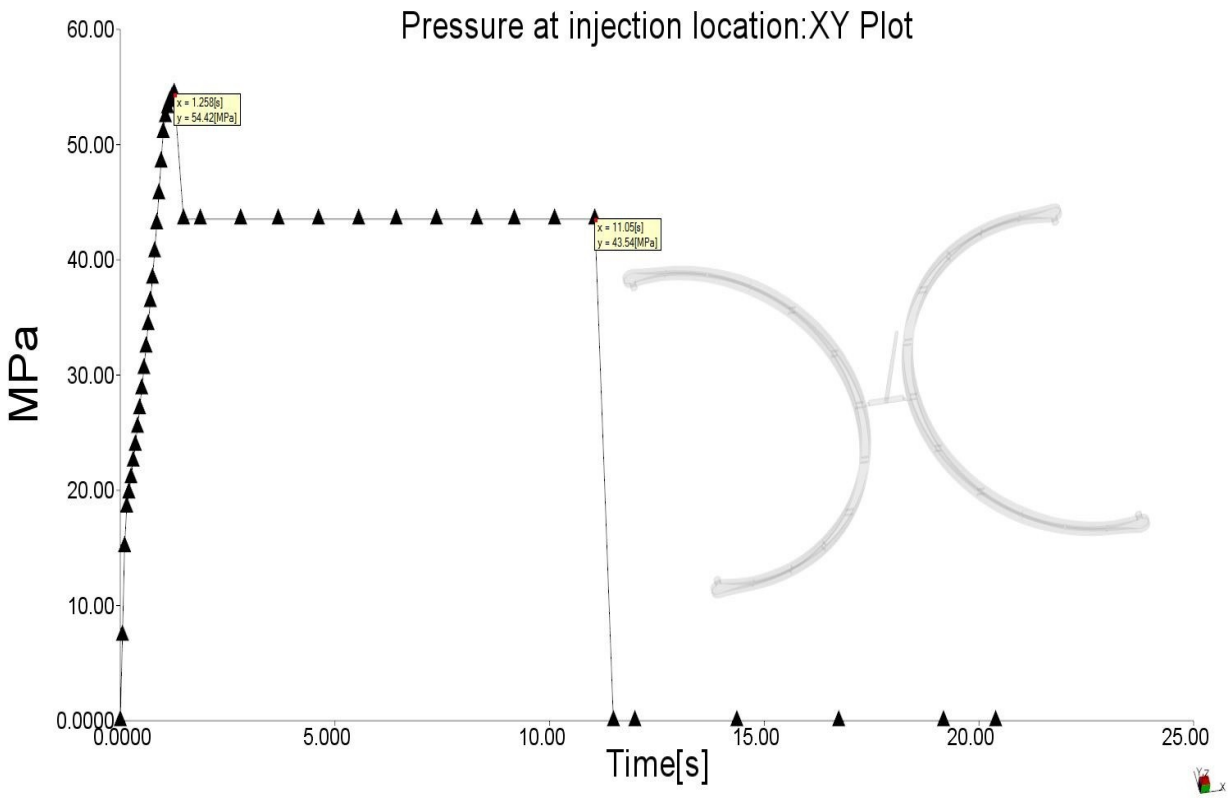


Obr. 53. Čas plnění

11.2.2 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

Touto analýzou zjišťujeme, jaký je tlak v dutině formy během vstřikování v závislosti na čase. Z grafu lze vyčíst, že od začátku vstřikování vstřikovací tlak strmě stoupal. V čase 1,258 s bylo dosaženo nejvyššího vstřikovacího tlaku 54,42 MPa. Za tímto vstřikovacím tlakem následuje bod přepnutí. Dojde k poklesu vstřikovacího tlaku o 20 % na hodnotu 43,54 MPa po dobu 9,58 s. Označujeme ho jako dotlak.

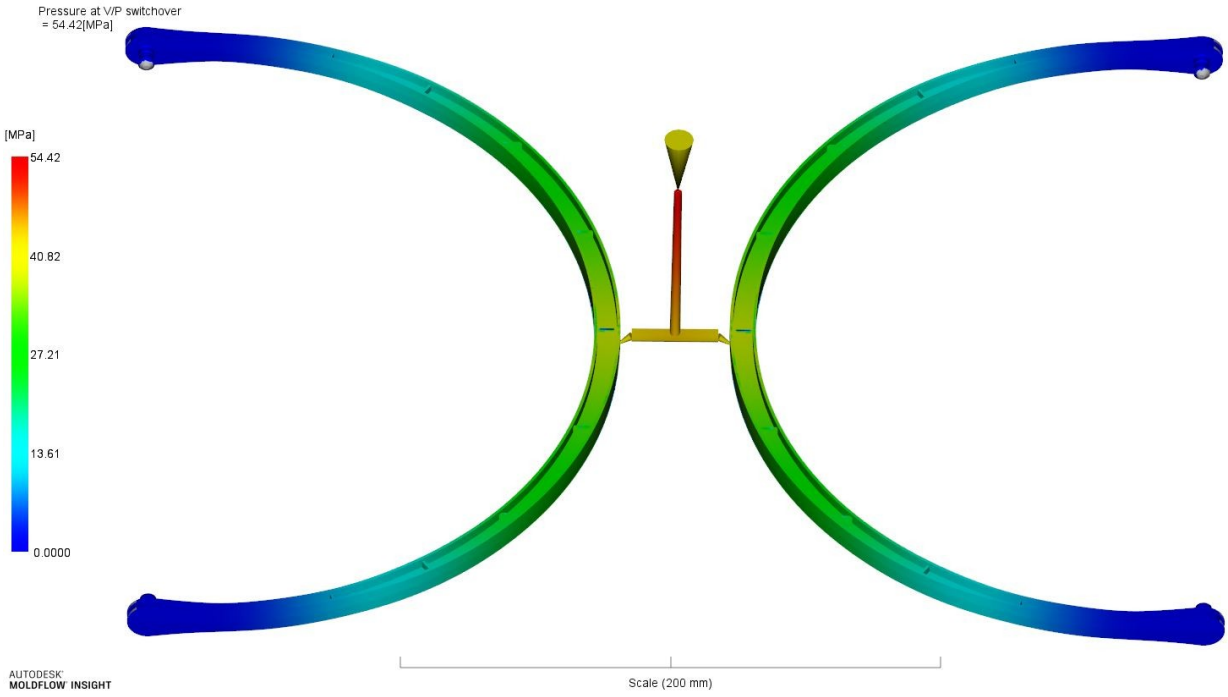
Dotlak je velice důležitý, protože má veliký vliv na hmotnost, tvar i rozměry výstřiku. Jeho účelem je neustále doplňování taveniny do dutiny vstřikovací formy do doby, kdy ztuhne tavenina v ústí vtoku. Fáze dotlaku končí 11,05 s od začátku vstřikování (9,58 s po přepnutí na dotlak). V tomto místě se ukončí plnící fáze a tlak klesá na nulu. V tomto čase probíhá již pouze chladící fáze. Po chlazení nastává otevření formy a vyhození výstřiků.



Obr. 54. Průběh vstřikovacího tlaku

11.2.3 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

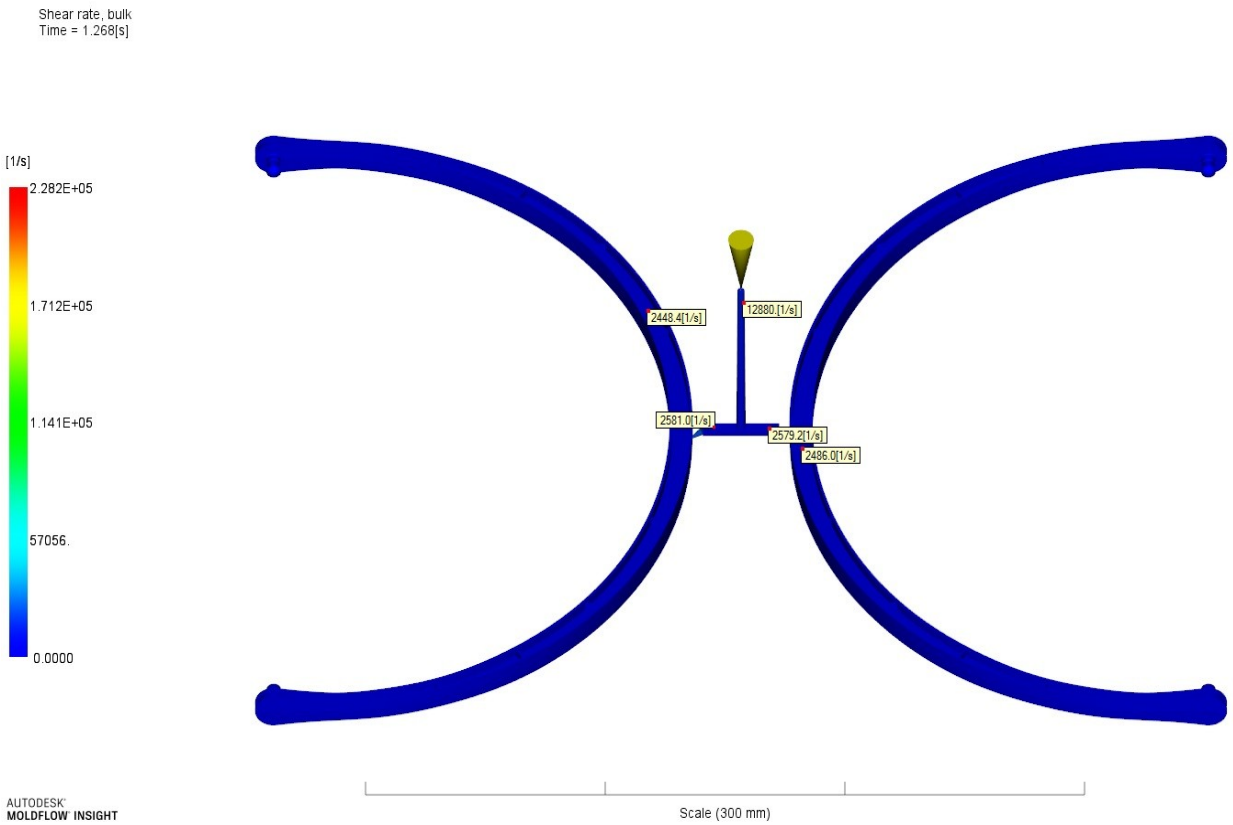
V podmínkách při nastavování simulace vstřikování bylo nastaveno, že při zaplnění 99 % objemu dutiny taveninou se přepne na dotlak. Proto jsou na výstřiku ještě šedá místa, odpovídající nedotečení taveniny. Místa označená šedou barvou se naplní až po přepnutí na dotlak. Místa označená modrou barvou značí, že je odpor v tavenině roste se zvyšující se přibývající délkou dráhy taveniny a klesá teplota. Tlak při přepnutí na dotlak je 54,42 MPa. Čím je toková dráha delší, tím větší je odpor při tečení taveniny, a tím je zapotřebí i větší vstřikovací tlak.



Obr. 55. Tlak při přepnutí na dotlak

11.2.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

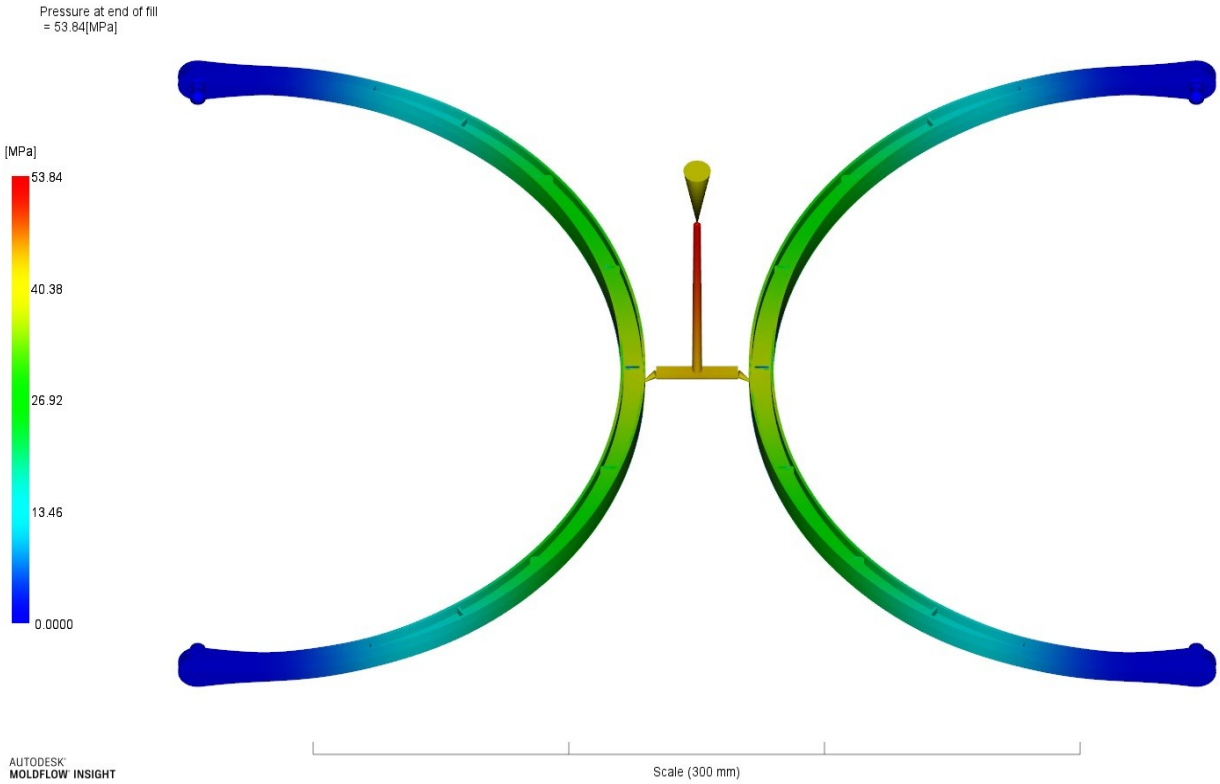
Rychlost smykové deformace v maximální hodnotě pro zadaný materiál Daplen EG066AI je 100 000 s^{-1}. Kdyby byla tato hodnota překročena, mohl by vstřikovaný materiál degradovat. V tomto případě analýzou zjištěna smyková deformace nepřesahuje tuto hodnotu. Maximální hodnoty se vyskytly pouze bodově.



Obr.56. Rychlost smykové deformace

11.2.5 Tlak na konci plnění formy (Pressure at end of fill)

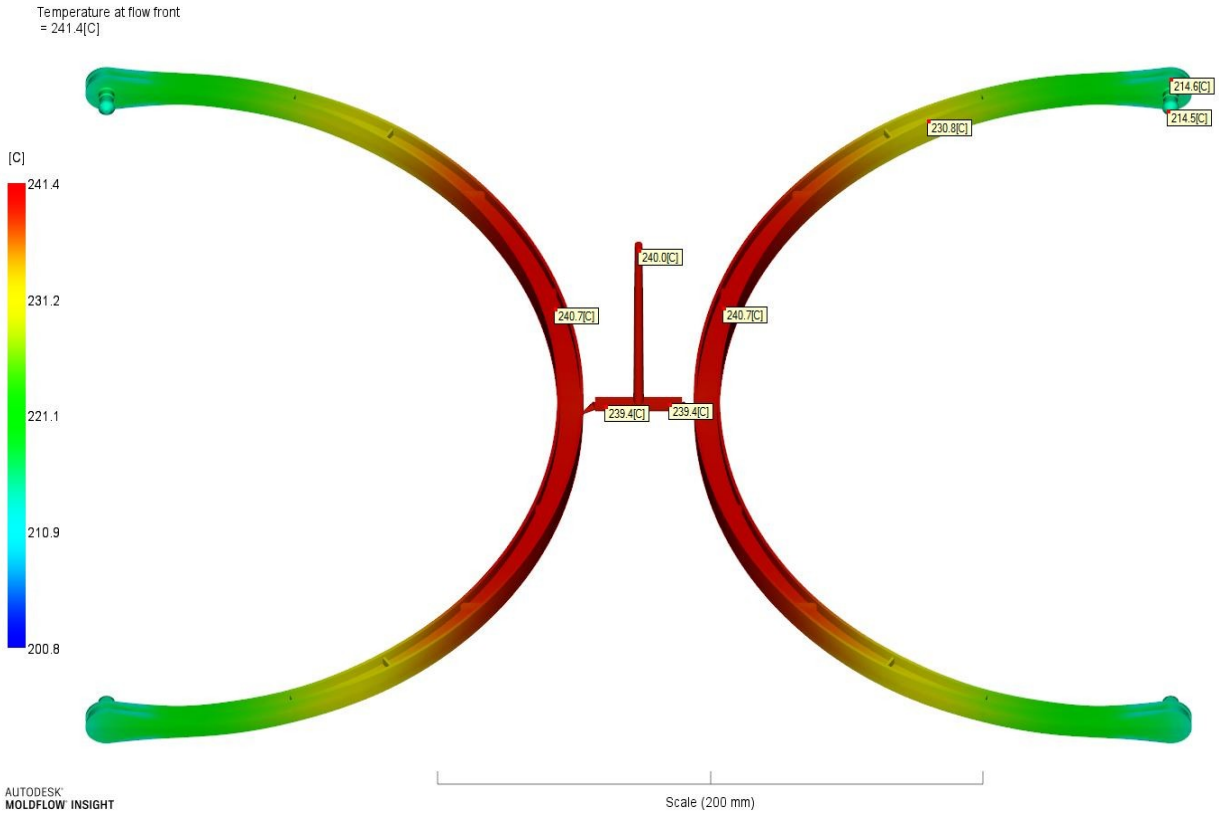
Tato analýza znázorňuje, jaký je tlak na konci plnění. V místech označených modrou barvou začíná docházet k tuhnutí taveniny jako první v důsledku působení nejnižšího tlaku v tomto místě. Naopak v místě označeném červenou barvou, ve toku, je tlak nejvyšší.



Obr. 57. Tlak na konci plnění formy

11.2.6 Teplota na čele taveniny

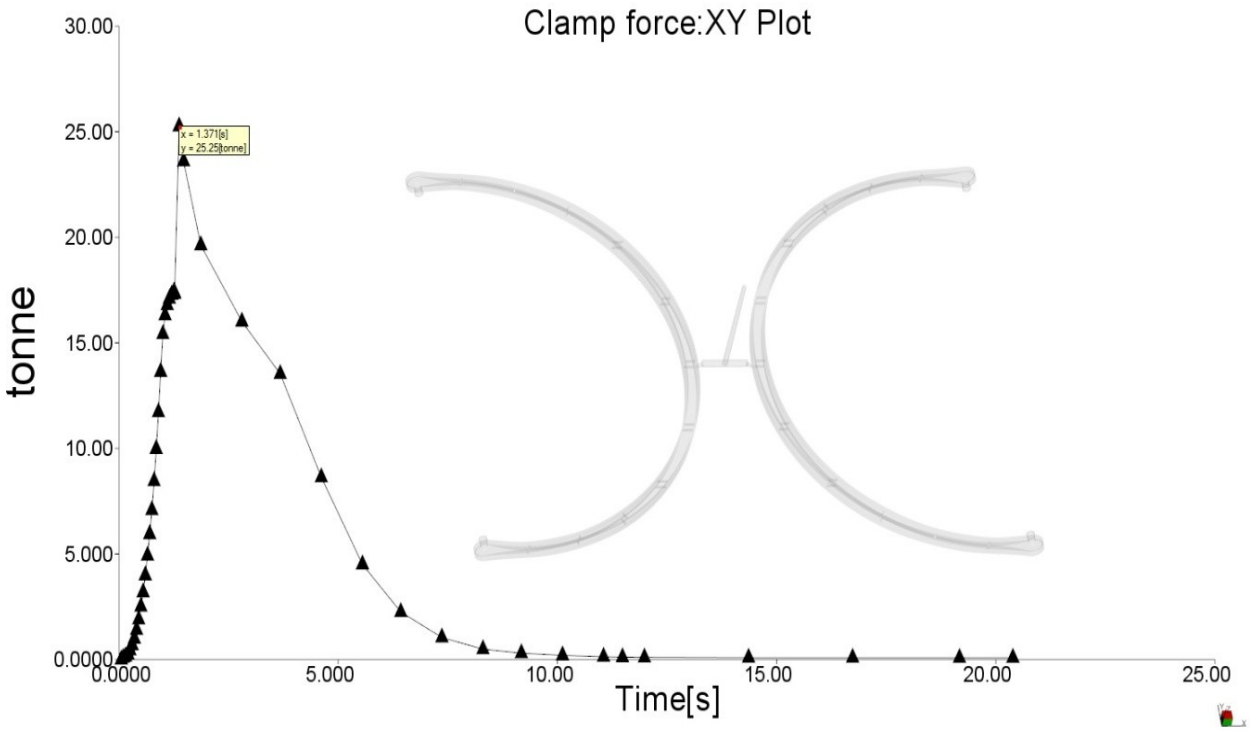
Z této analýzy můžeme zjistit, jaká byla teplota na čele taveniny v daném místě dutiny. Vstřikovací teplota taveniny je 240 °C. Minimální teplota taveniny pro vstřikování je 200 °C, Maximální je 280 °C. Pokud tavenina teče malým průřezem, může se stát, že tavenina zamrzne na čele díky velikému poklesu teploty. Tím by vznikla nedotečená místa. Pokud naopak teče tavenina velikým průřezem, mohla by se teplota zvýšit vlivem disipace (přeměna energie, např. třením). Teplota v tomto případě nepřekročí horní ani dolní hranici. Pokud by byl problém při vstřikování, musely by se změnit některé procesní parametry (např. zvýšit teplotu formy nebo taveniny).



Obr. 58. Teplota na čele taveniny

11.2.7 Uzavírací síla při vstřikování (Clamp force)

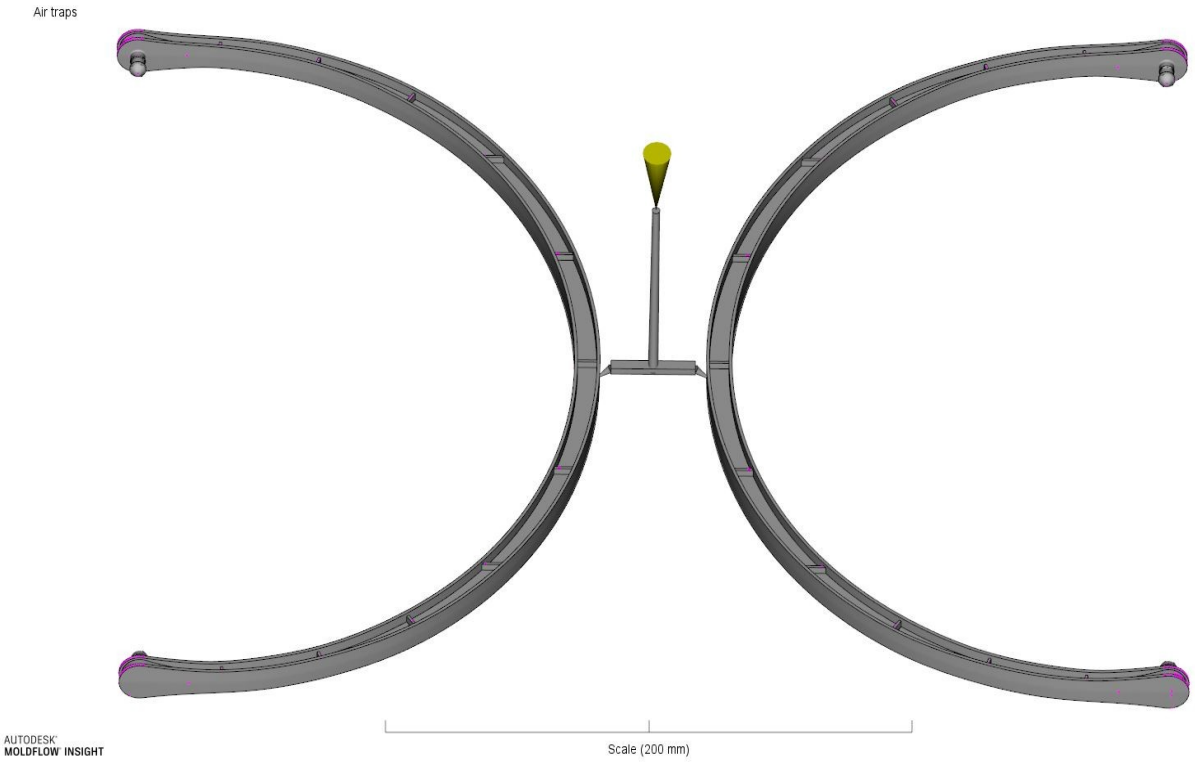
Uzavírací síla je potřebná pro zjištění, jak velikou sílu musí zvládnou vyvinout vstřikovací stroj, aby nedošlo během vstřikování k jejímu otevření. program Autodesk Moldflow vyjadřuje uzavírací sílu v tunách. Tato uzavírací síla je vypočtena na 25,25 tuny, což je 252,5 kN. Vstřikovací stroj má uzavírací sílu 1500 kN (150 tun). Vstřikovací stroj by měl mít uzavírací sílu minimálně o 20 % větší, než je největší síla potřebná pro spolehlivé uzavření formy. Při uzavírací síle zde vypočtené činní 20 % z 50,44 kN. V tomto případě je uzavření formy bezpečné a mohl by se zvolit i stroj s menší uzavírací silou.



Obr. 59. Uzavírací síla při vstřikování

11.2.8 Vzduchové kapsy (Air traps)

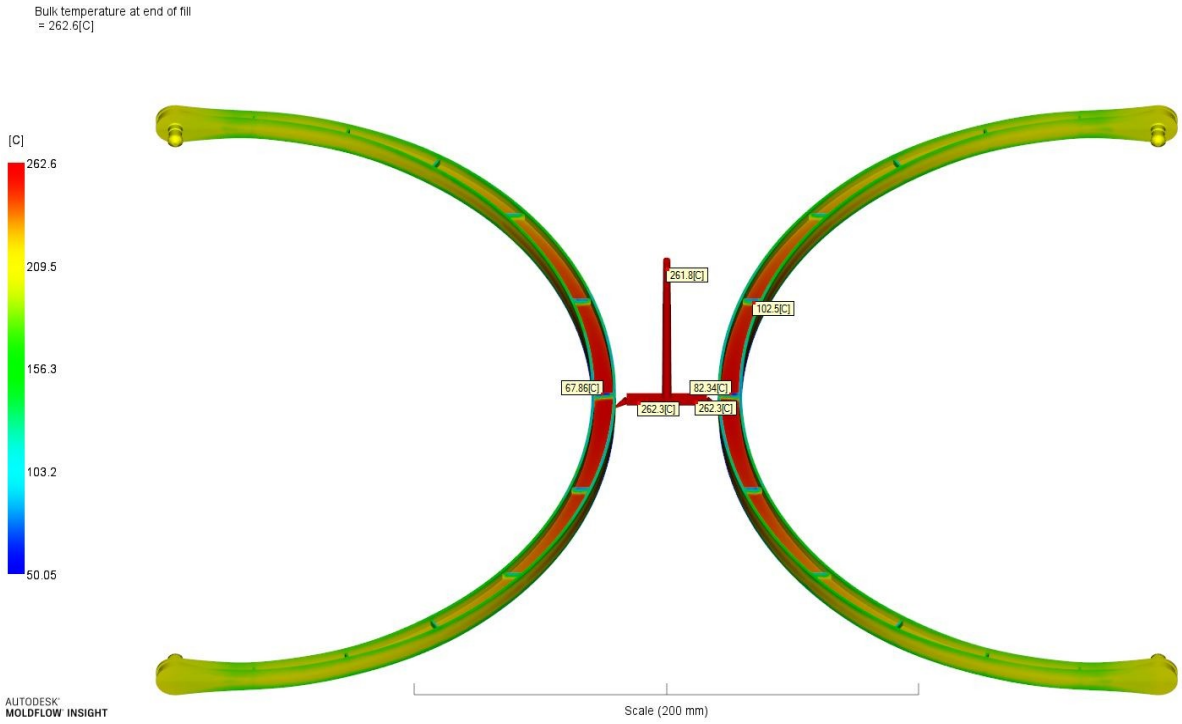
Analýza vzduchových kapes predikuje, kde by se mohly vzduchové kapsy utvořit, tedy vzduchové bubliny. V místě vzduchové kapsy dochází k uzavření vzduchu, který nemohl uniknout ven z formy, a tím se tavenina nemůže dostat do všech míst dutiny. Tomuto jevu se dá předcházet při výrobě vytvořením odvzdušňovacích kanálů v rizikových místech formy. Zde jsou vzduchové kapsy v oblasti dělící roviny. Předpokládáme nedokonalou těsnost formy. Přebytečný vzduch by tedy měl uniknout přes tuto rovinu. Pokud by vzduch přece jen neunikl přes dělící rovinu, bylo by zapotřebí po prvních zkouškách odvzdušnění doplnit.



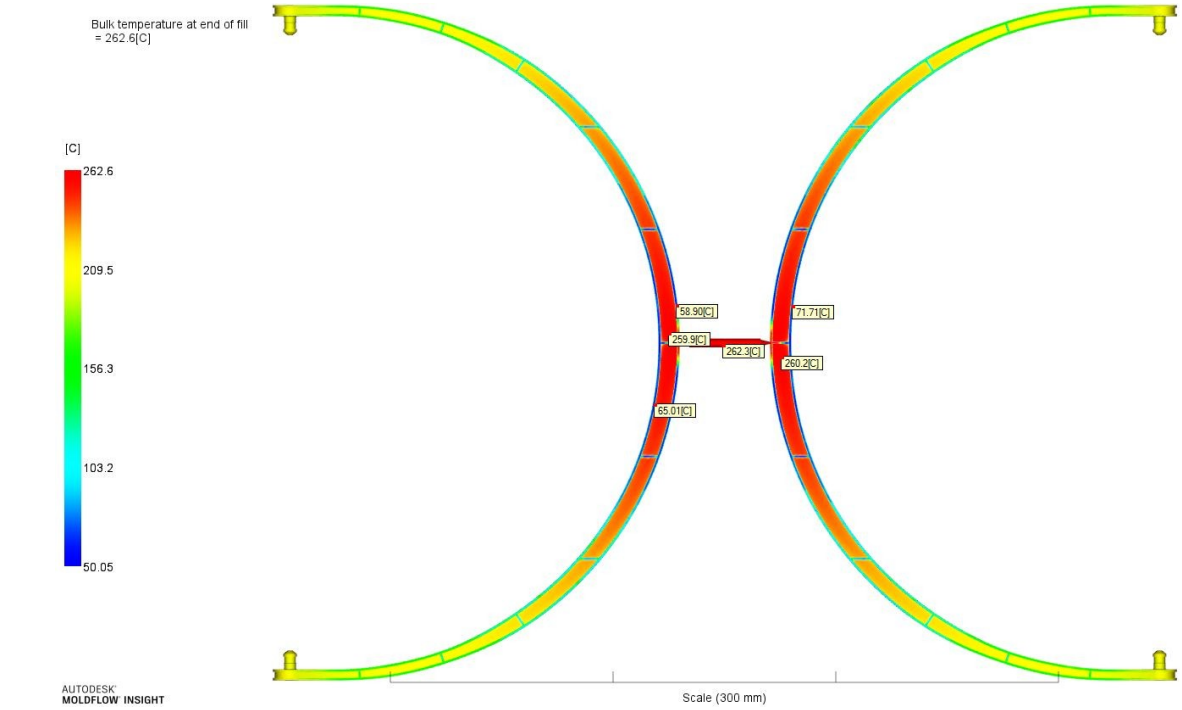
Obr. 60. Vzduchové kapsy

11.2.9 Teplota taveniny na konci plnění (Bulk temperature at end of fill)

Teplota taveniny na konci plnění znázorňuje teplotu taveniny v různých místech dutiny po její zaplnění. Optimální teplota pro vstřikování je v rozsahu 220 - 260°C. Jak je patrné, v některých místech je tato teplota výrazně nižší. Jsou to místa s malou stěnou. To způsobí, že v těchto místech dojde k zatuhnutí taveniny nejdříve. Tím by mohl nastat problém při dotlaku, což by mohlo způsobit vyšší smrštění těchto míst. Tuto vady bychom mohli odstranit tak, že snížíme účinnost chlazení v místě tohoto nežádoucího jevu.



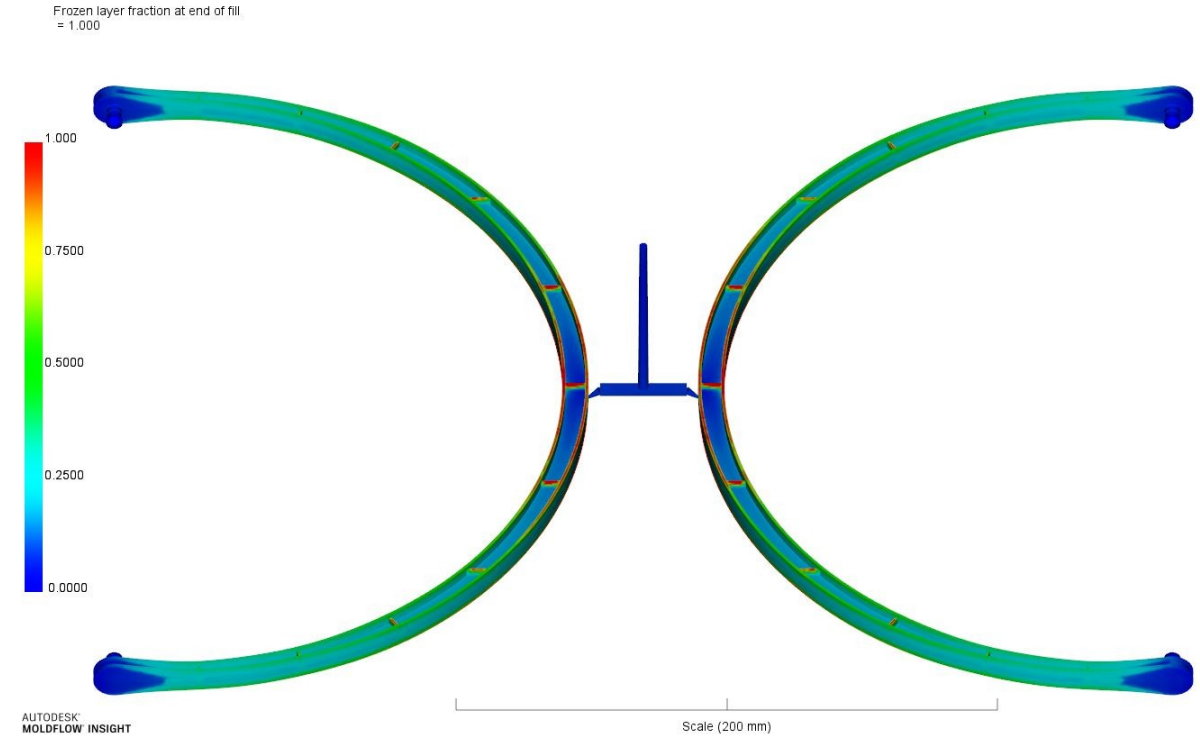
Obr. 62. Teplota na konci plnění - vrchní pohled



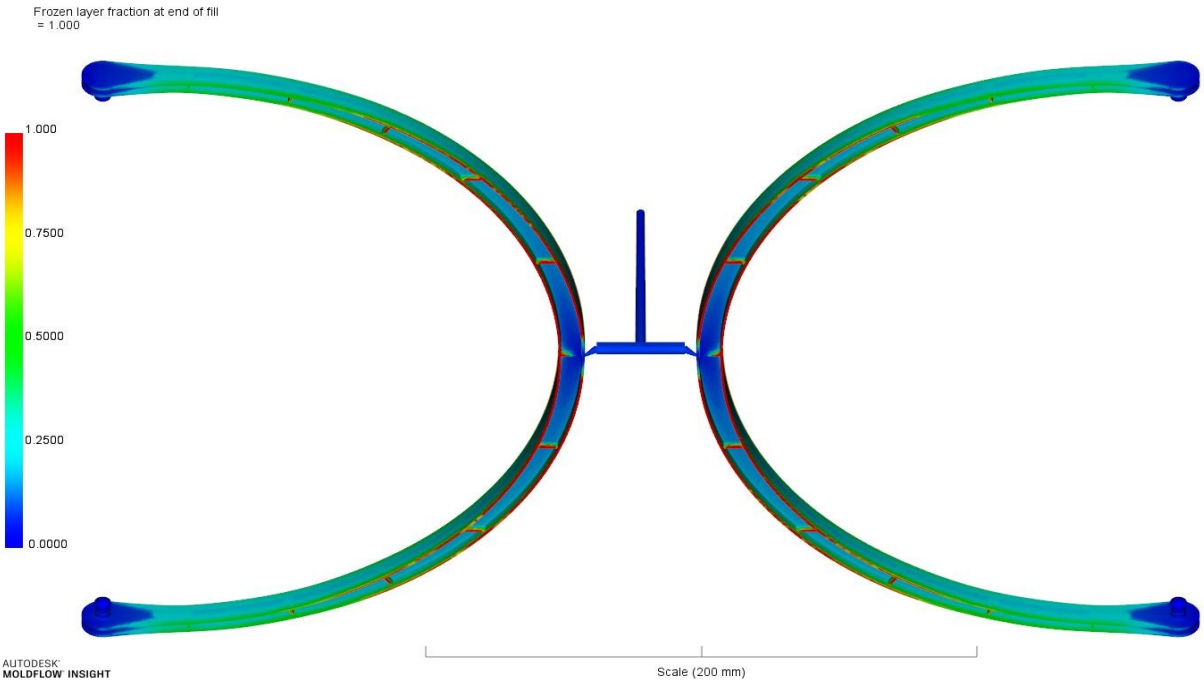
Obr. 61. Teplota na konci plnění - spodní pohled

11.2.10 Zatuhlé vrstvy na konci dotlaku (Frozen layer fraction at end of fill)

Když je forma zaplněna, v místech, kde je nejnižší teplota, se začnou tvořit ztuhlé vrstvy. Místa s červenou barvou jsou ta, kde na konci plnění dochází nejdřív k tuhnutí. Tyto místa relaxují až po určitém čase. Modrou barvou jsou označena místa, která ještě nezatuhla. První ztuhlá místa odpovídají nejnižším teplotám na konci plnění.



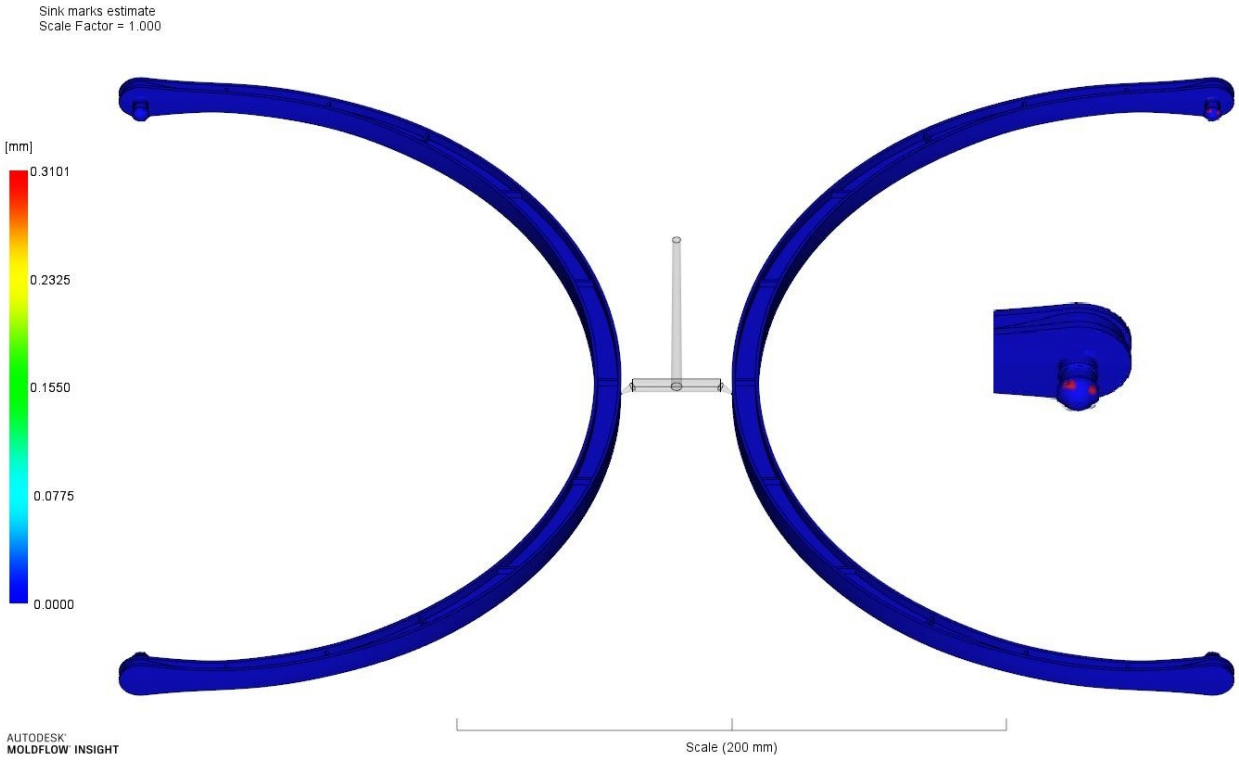
Obr. 64. Zatuhlá vrstva na konci dotlaku - vrchní pohled



Obr. 63. Zatuhlá vrstva na konci dotlaku - spodní pohled

11.2.11 Odhad vzniku propadlin (Sing marks estimate)

Propadliny obvykle vznikají tam, kde je teplota taveniny příliš vysoká (špatné chlazení). Dále při dlouhé dráze toku taveniny. Není žádoucí, aby propadliny vznikaly. Zde se projevují potencionální propadliny jen bodově ve výstupcích na koncích. Vzniku propadlin by se dalo předejít například změnou tvaru či úpravou vtokového ústí. Jednak jeho velikost, tak i jeho přesunutí k problémovějším místům, pokud to lze.



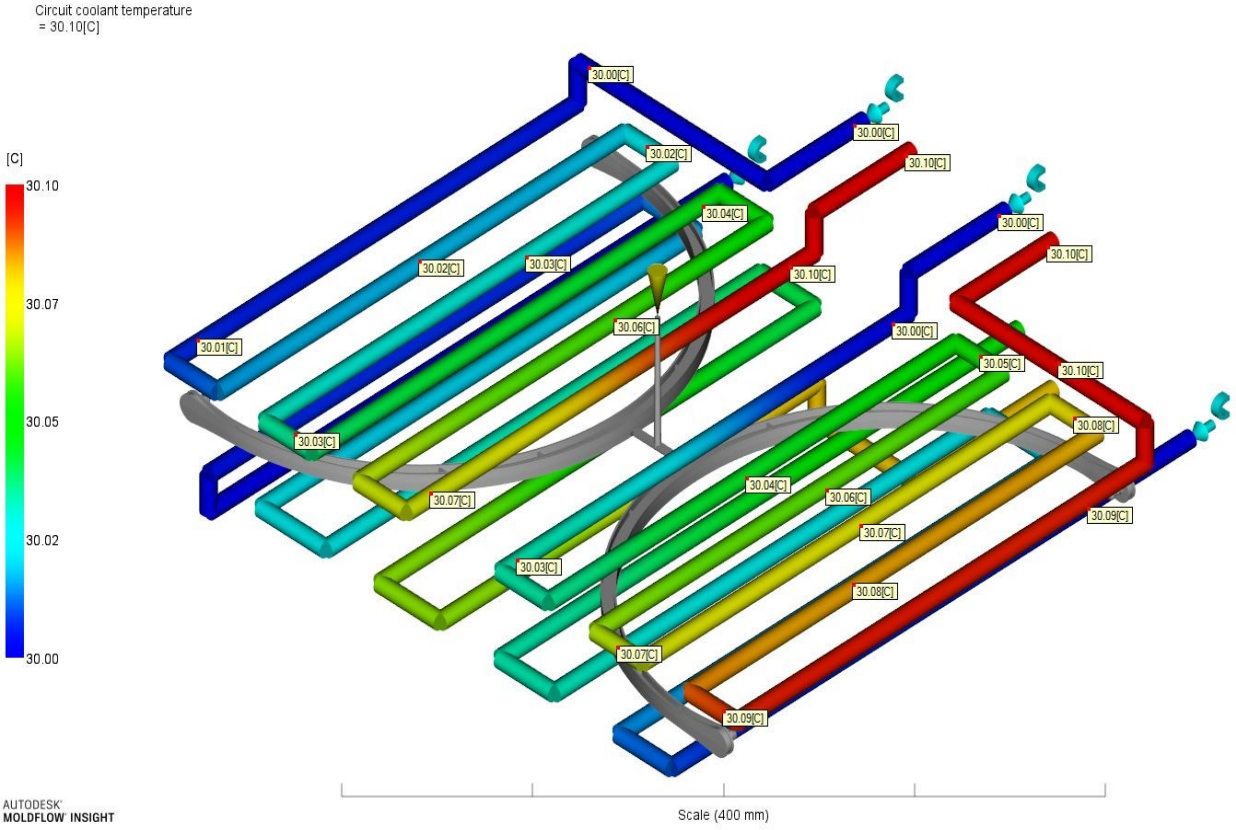
Obr. 65. Odhad vzniku propadlin

11.3 Temperační analýzy

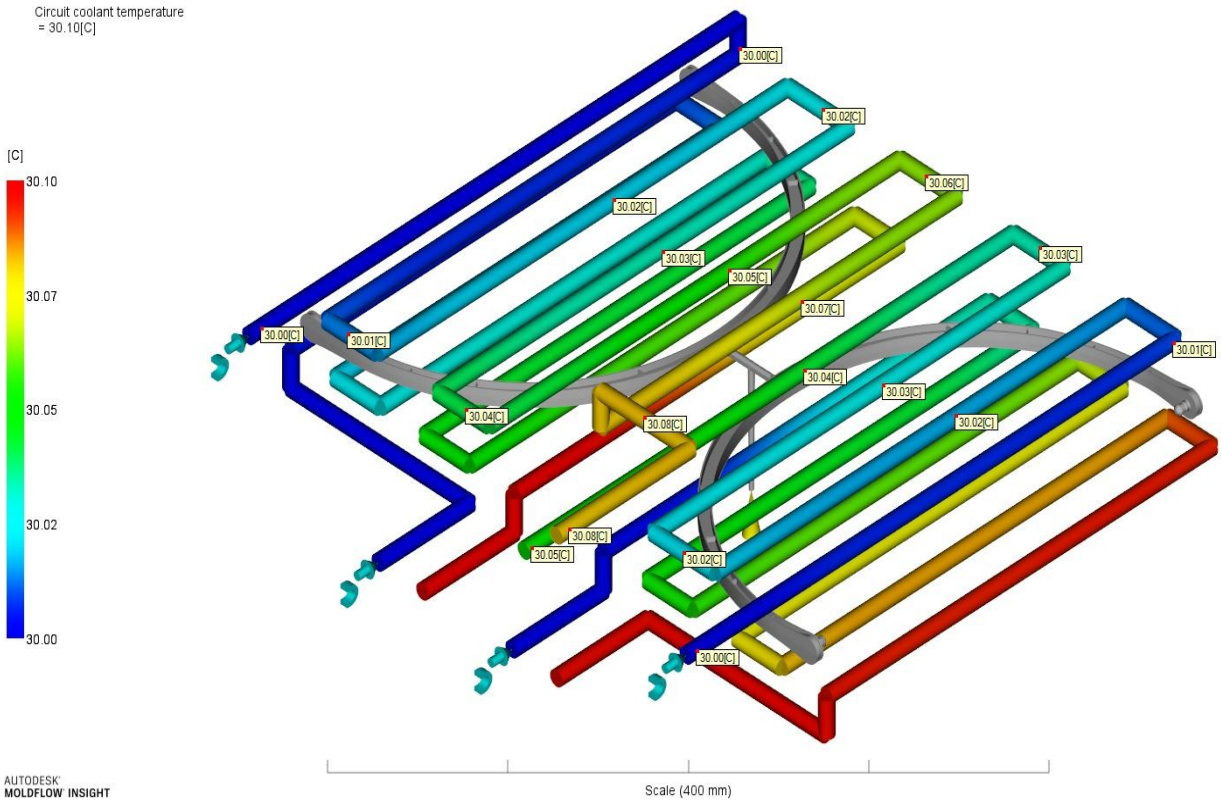
Temperační analýzy jsou důležité pro ověření způsobilosti správného rozmístění chladících kanálů a jeho účinnosti odvodu tepla z vyplněné dutiny formy.

11.3.1 Teplota chladícího média (Circuit coolant temperature)

Tato analýza ukazuje, jak se mění teplota média v chladícím okruhu. Chladícím médiem je v tomto případě voda. Při správném navržení chladícího okruhu by rozdíl mezi vstupem a výstupem neměl přesáhnout 3°C. Při větších teplotních rozdílech by mohlo docházet k vnitřnímu pnutí dílu, a tím i k deformaci. Pokud je splněno toto kritérium, měl být odvod tepla ze všech míst dutiny rovnoměrný. Teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem chlazení zde činí pouhých 0,1 °C.



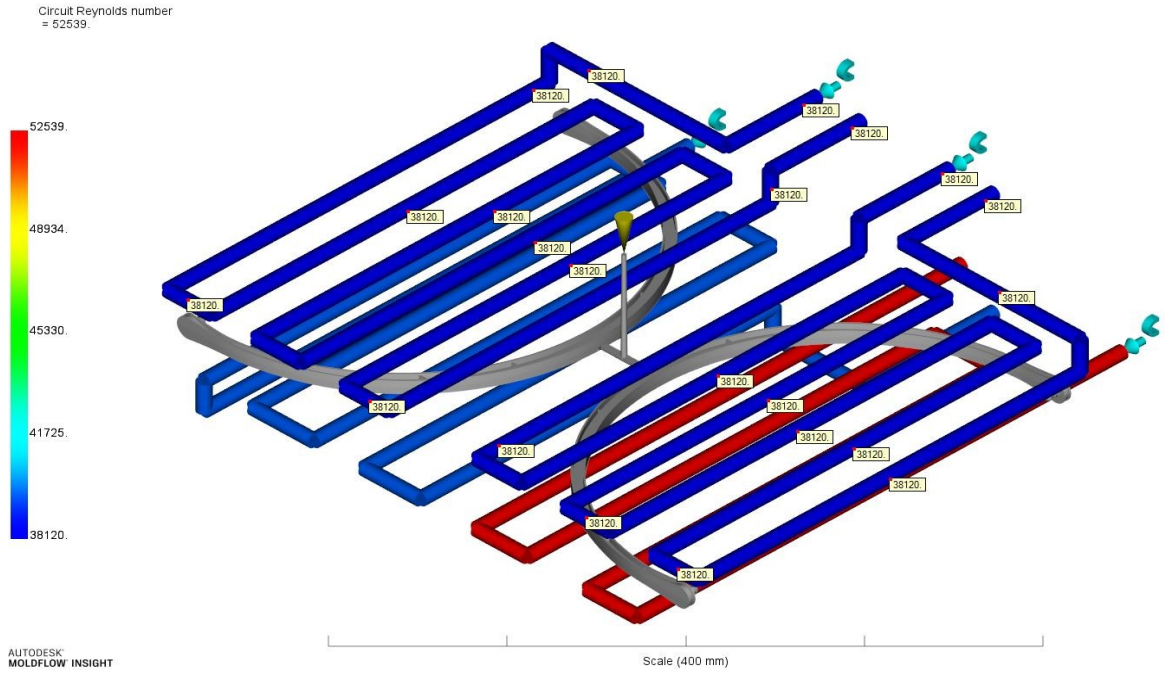
Obr. 66. Teplota chladícího média - vrchní pohled



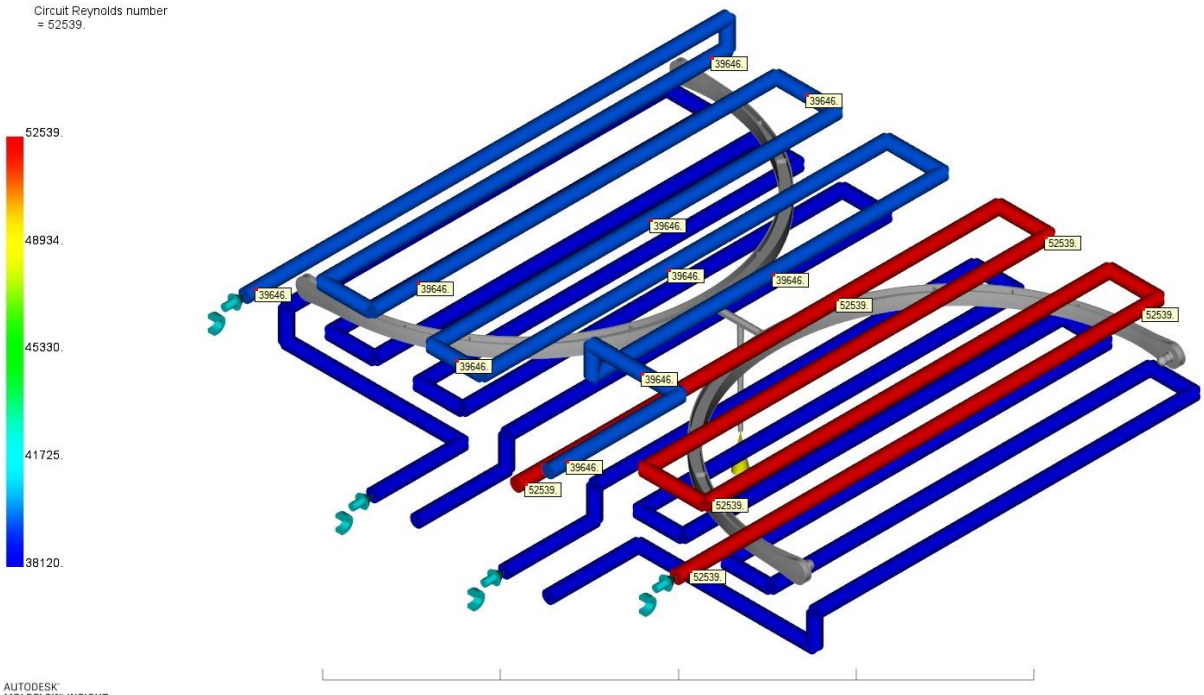
Obr. 67. Teplota chladícího média - spodní pohled

11.3.2 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds temperature)

Reynoldsovo číslo nám udává, zda-li je proud chladícího média v temperačním okruhu laminární či turbulentní. Turbulentní proudění má lepší odvod tepla než proudění laminární. Při hodnotě Reynoldsova čísla větší jak 10 000 je zaručeno turbulentní proudění v celém temperačním okruhu. Nejnižší hodnota Reynoldsova čísla v navrženém okruhu je 38 120, což odpovídá turbulentnímu proudění. V jedné větvi je rychlost větší z důvodu kratší dráhy toku chladícího média.



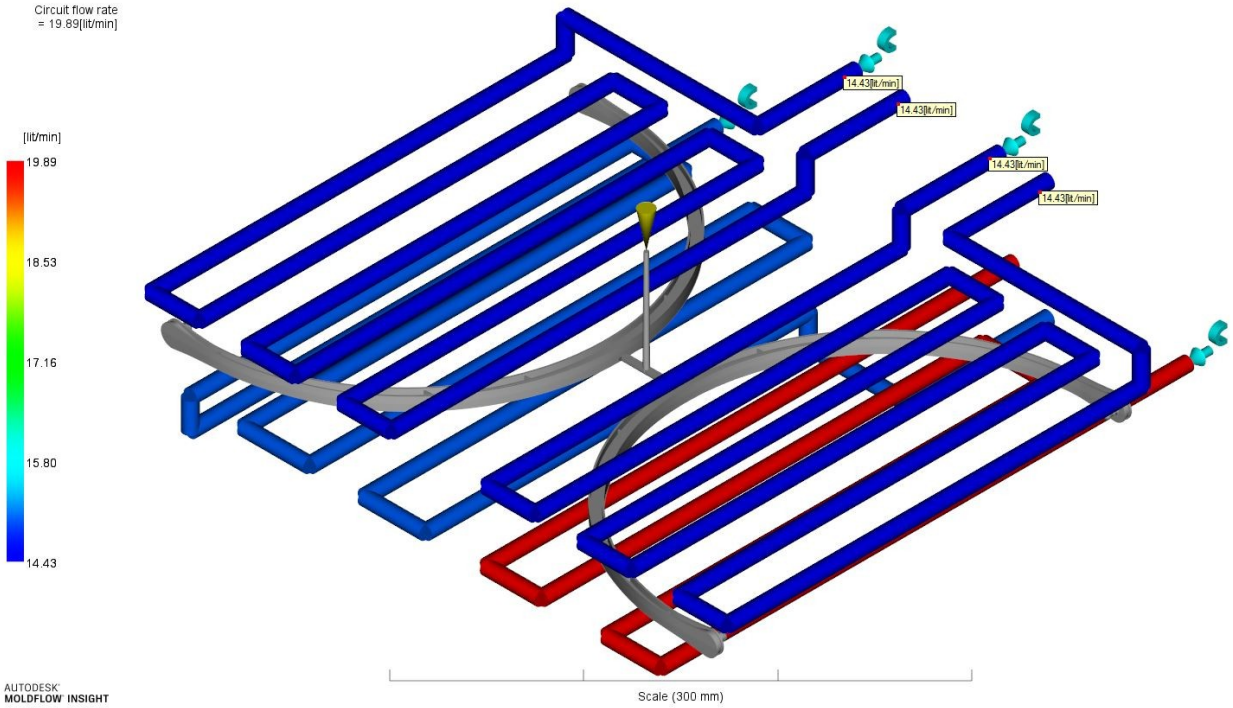
Obr. 68.Reynoldsovo číslo - vrchní pohled



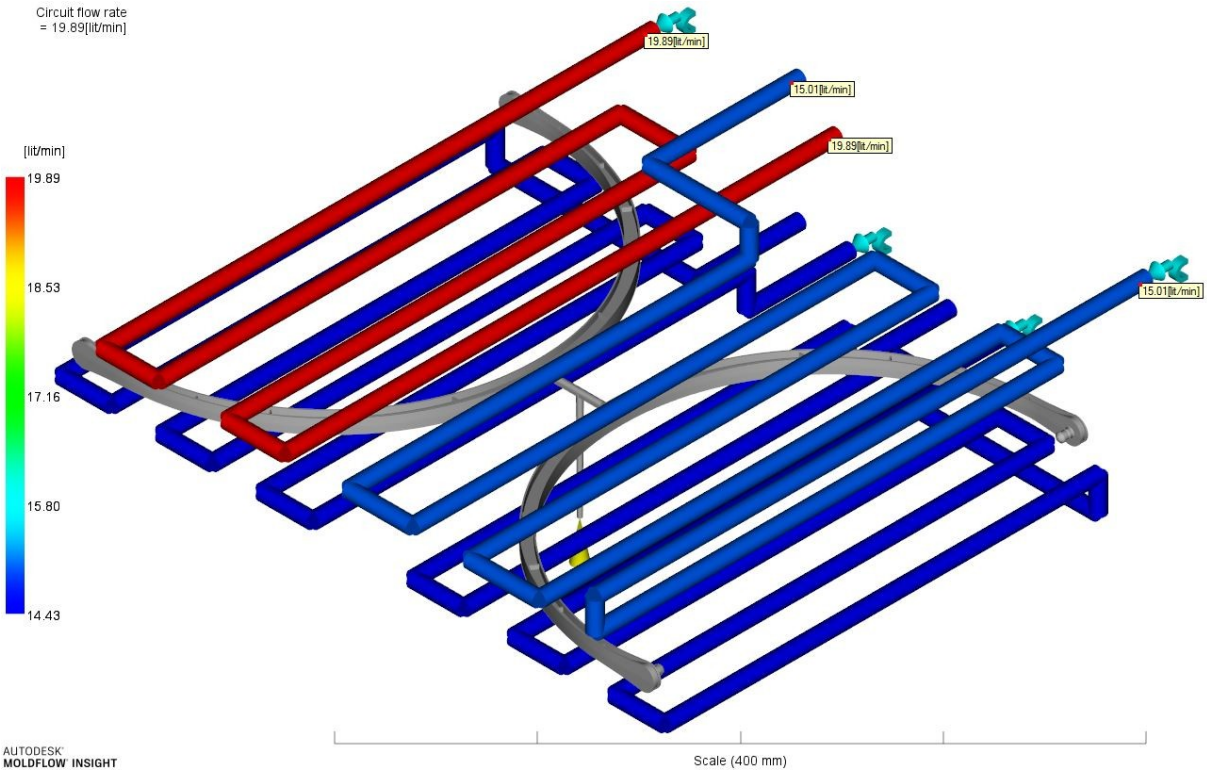
Obr. 69. Reynoldsovo číslo - spodní pohled

11.3.3 Objemový průtok temperačního média (Circuit flow rate)

Objemový průtok byl vypočten ze zadané hodnoty vstupního tlaku při nastavování podmínek procesu. Hodnota průtočného množství temperačního média se pohybuje mezi 14,43 - 19,89 *l*/min. Proudění lze snížit buď zvětšením temperačních kanálů nebo snížením vstupního tlaku.



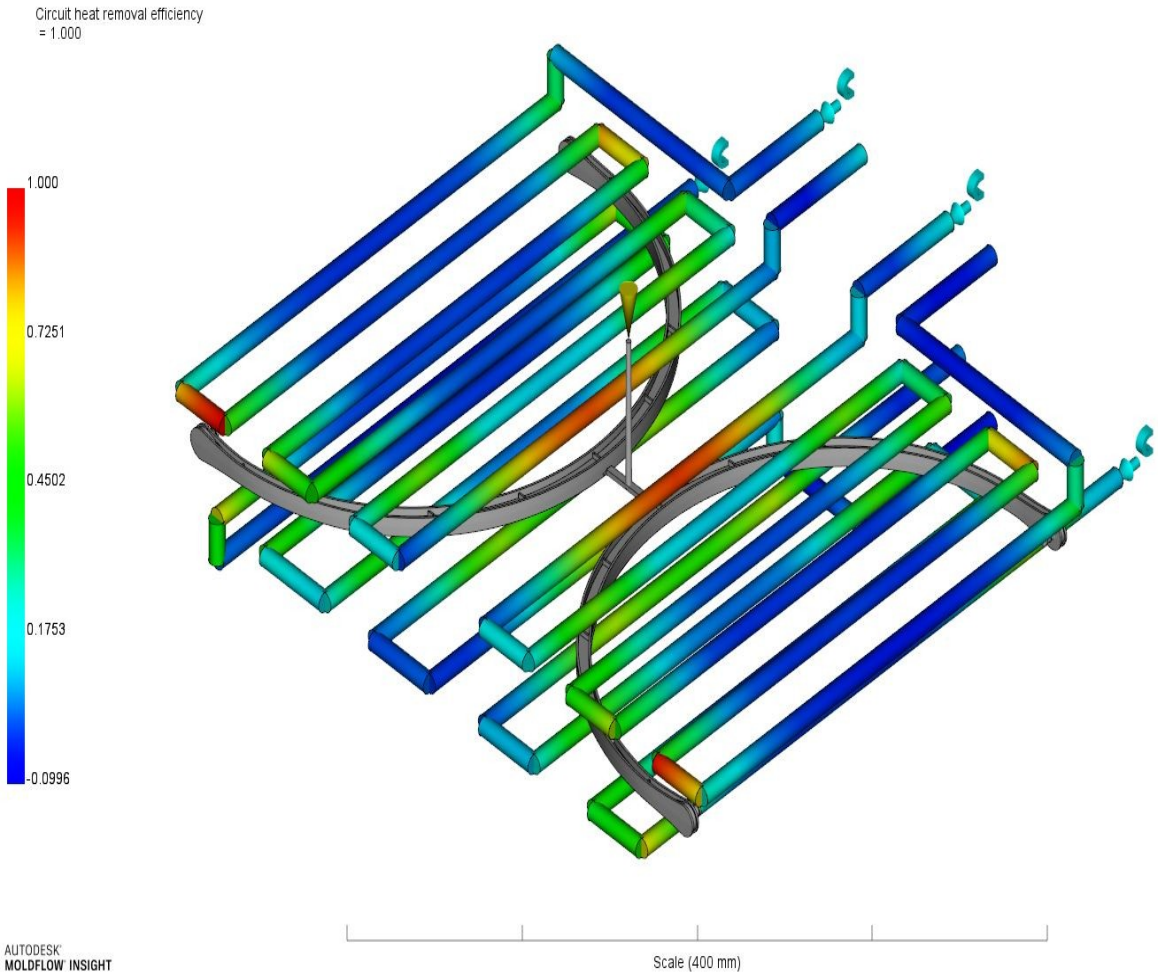
Obr. 71. Objemový průtok temperačního média - pohled ze vstřikovací strany



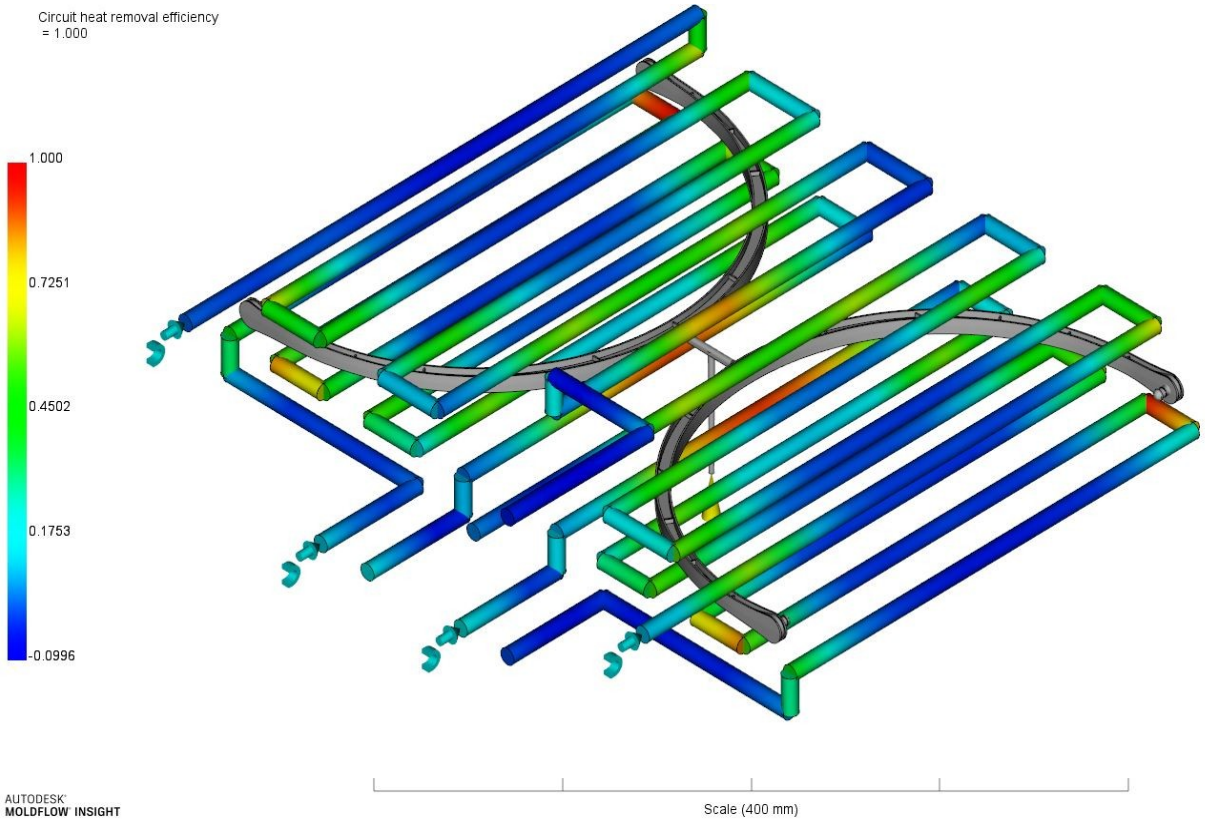
Obr. 70. Objemový průtok temperačního média - pohled z vyhazovací strany

11.3.4 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Touto analýzou se zjistí, kde má chladící okruh nejvyšší efektivitu odvodu tepla. Tato efektivita je dána vzdáleností kanálů od dutiny, prouděním v kanálech, rozdíl teplot mezi chladícím médiem a formou v konkrétním místě. Červená barva označuje místa s největší účinností odvodu tepla z formy. Pokud by kanály místo odvodu tepla formu naopak ohřívaly, pak by hodnoty na stupnici byly označeny jako záporné. Zde však k tomuto jevu nedošlo. Pro zvolený chladící okruh je nejvyšší efektivita v místech sousedících kolem vtoku. Navržený chladící systém by měl tedy fungovat správně.



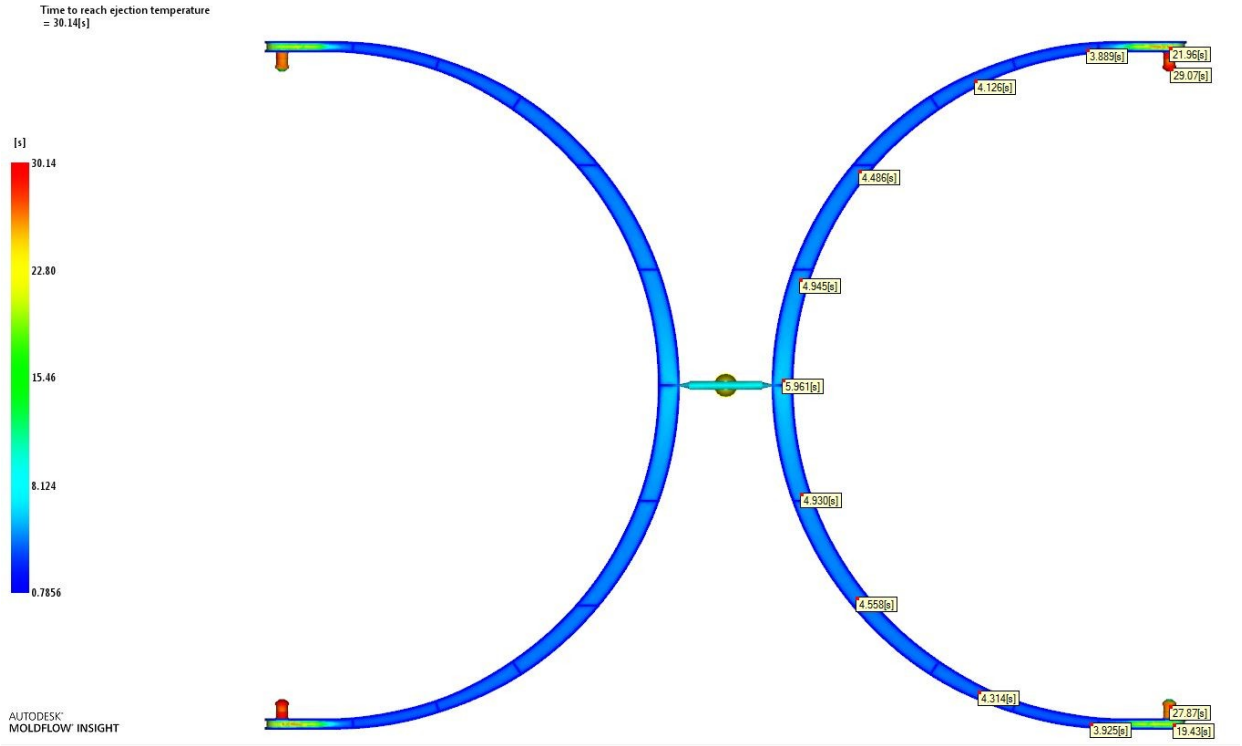
Obr. 72. Efektivita odvodu tepla - vrchní pohled



Obr. 73. Efektivita odvodu tepla - spodní pohled

11.3.5 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature part)

Tímto časem se rozumí čas, kdy je výstřik v dutině formy ochlazen na optimální teplotu, kdy je možné jej vyhodit z formy. Nejdůležitější je, aby byl výstřik dostatečně ochlazený a ztuhlý v místech vyhazování. Ideální by bylo, kdyby ochlazení na vyhazovací teplotu proběhlo po celém výstřiku za stejný čas. Ve skutečnosti tomu tak není. Nejpomaleji se chladí konce pro uchycení. V těchto místech je dosažení vyhazovací teploty za 24,25 sekundy. Doba ochlazení celého dílu na vyhazovací teplotu je 30,14 s. Maximální teplota potřebná pro vyhození je 114 °C. Je zapotřebí, aby byla teplota stejná po celé ploše výstřiku, aby nedocházelo k deformacím. Zrychlit chlazení by bylo možné úpravou chladících kanálů (změnou geometrie či průřezu).



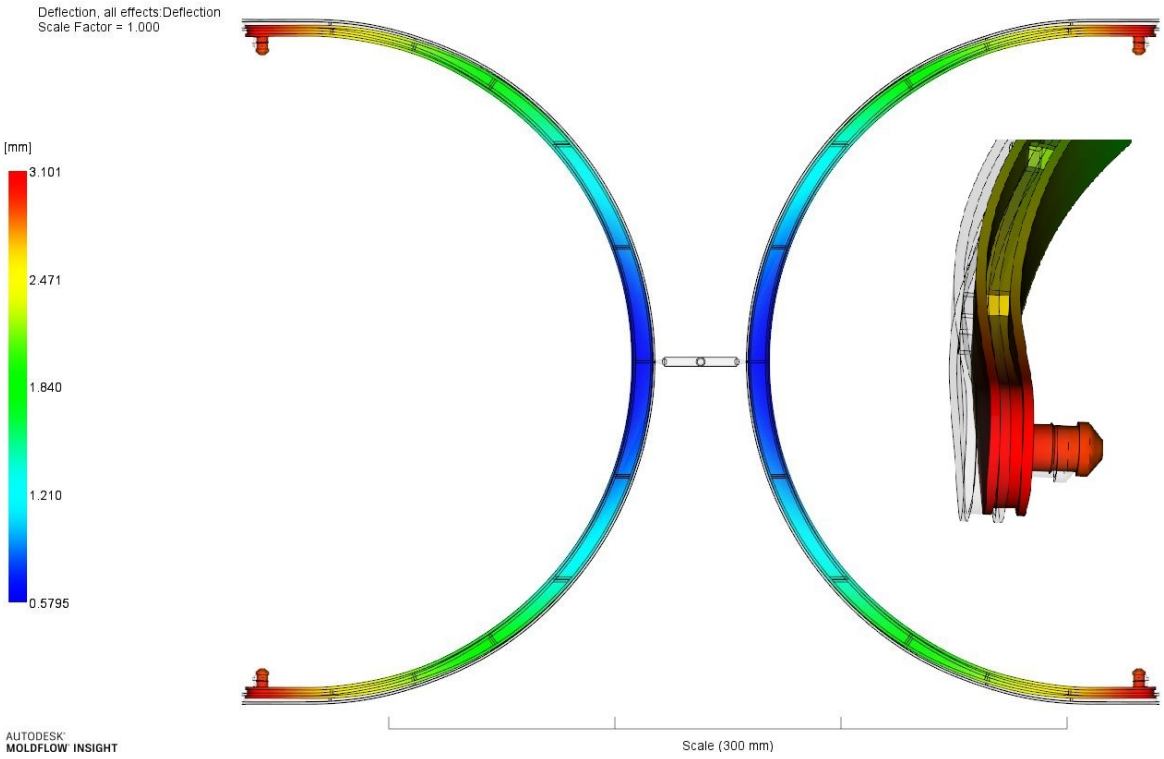
Obr. 74. Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty - čas u vyhazovačů

11.4 Deformace

Deformace určují, jak se změní velikost a tvar výstřiku po jeho ochlazení a vyhození.

11.4.1 Celková deformace (Deflection, all effect)

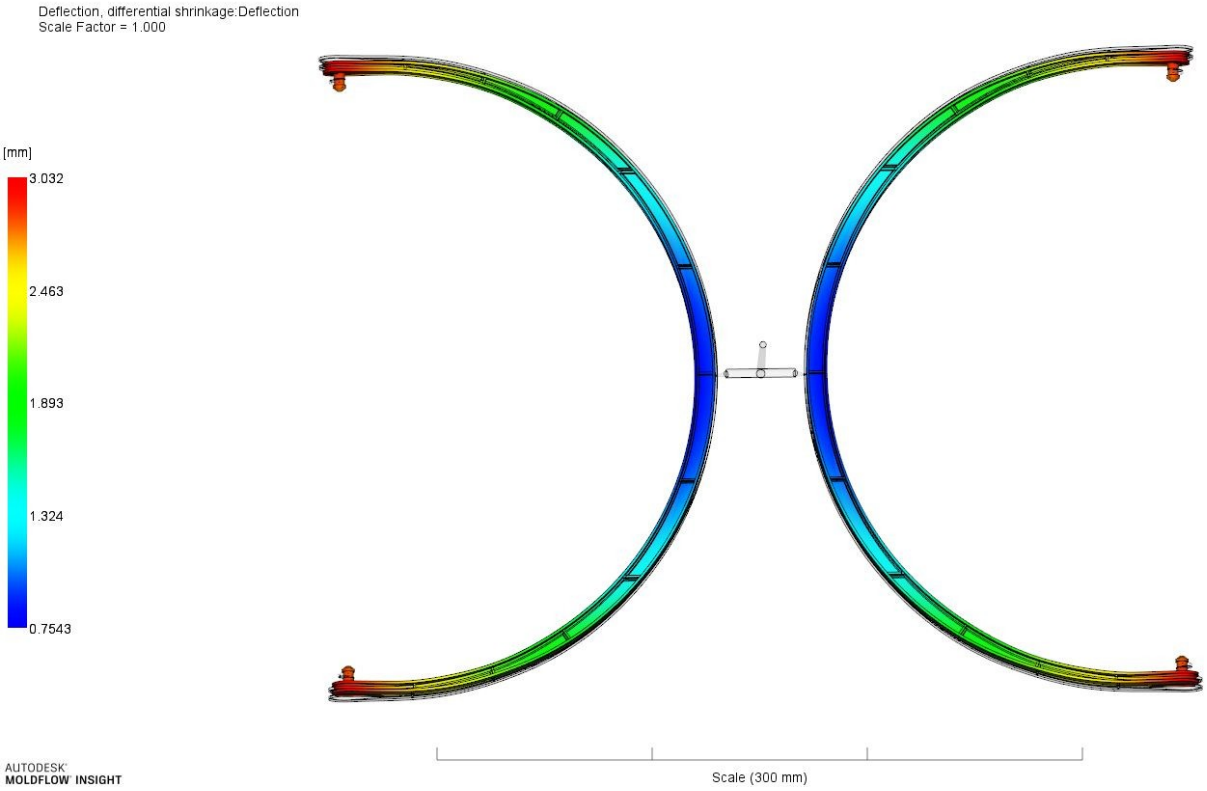
Analýza celkové deformace vyhodnocuje, jak se výrobek deformuje od původního vstřikovaného tvaru všemi vlivy. Těmito vlivy jsou smrštění (má největší vliv), dále chlazením a orientací vláken materiálu. Největší deformace se vyskytují na místech nejvíce vzdálených od místa vstřikování. Pro obě dutiny je hodnota deformací stejná. Pro deformace způsobené smrštěním byla dutina zvětšena.



Obr. 75. Celková deformace

11.4.2 Deformace vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage : Deflection)

Deformace smrštěním závisí na druhu polymeru. Ke smrštění dochází při chlazení u všech druhů polymerů. Dle analýzy je největší deformace způsobena smrštěním, které bude ovlivněno jednak chlazením materiálu, tak i rozdílnou teplotou na konci plnění dutiny. Tam má vliv rozdílnost teplot i dřívější ochlazení některých částí, což má vliv na výsledné smrštění.



Obr. 76. Deformace vlivem smrštění

12 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro zhotovení této diplomové práce byl cíl navržení a simulace vstřikovací formy. Byla to forma pro rukojeť kbelíku.

Návrh formy probíhal v programu Autodesk Inventor za použití normalizovaných dílů Hasco a Meusburger, usnadňující její výrobu. Díly vyráběné těmito výrobci jsou vyráběny v přesných tolerancích. Snižuje se tím doba, pracnost i náklady výroby. Zvyšuje se přesnost.

Rozměry a násobnost formy jsou řešeny po domluvě se zákazníkem pro zvolený vstřikovací stroj. Násobnost formy je tedy dvounásobná. Řešení formy je dvoudeskové se studeným vtokem. Tvárník i tvárnice jsou řešeny jako tvarové desky, kvůli řešení velikosti formy. Vtokový zbytek si bude zákazník sám recyklovat.

Dutina formy je negativem vstřikovaného výrobku, zvětšena o hodnotu smrštění použitého materiálu. Použitý materiál je polypropylen Daplen EG066AI od společnosti Borealis. Konstrukce formy si nevyžadovala použití jader. Pro vyhazování bylo použito dvacet osm vyhazovačů pomocí mechanického vyhazování. Pro každou dutinu je čtrnáct vyhazovačů. Z toho čtyři jsou tvarové a upraveny z normálie firmy Hasco. Dva na každou dutinu. Pro udržení správného tvaru musely být zaaretovány v kotvící desce proti pootočení.

Proti přenosu tepla z formy na vstřikovací stroj a naopak je forma osazena izolačními deskami na obou stranách formy.

Na tvárníku i tvárnici jsou temperační okruhy řešeny dvěma samostatnými okruhy. Každý okruh je pro jednu tvarovou dutinu. Řešení kanálů je vrtáním o průměru deset milimetrů a uzavřeny jsou ucpávkami.

Základní odvzdušnění je realizováno skrz dělící rovinu a vyhazovače.

Rám formy je navržen z normálií firmy Meusburger. Rozměry formy byly zvoleny na základě velikosti výstřiku a velikosti vstřikovacího stroje a to 446 x 546 x 296 mm.

Po dokončení návrhu formy byl návrh ověřen analýzou v programu Autodesk Moldflow Insight. Výsledky z analýz jsou uvedeny v praktické části této práce.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala konstrukcí nástroje pro plastový díl. Tímto dílem je rukojeť kbelíku. Cílem bylo splnit všechny body diplomové práce.

Práce byla rozdělena na dvě části - teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývala tím, co je to vstřikování, jak vypadá a funguje vstřikovací stroj a jaký je cyklus vstřikování. Další část teorie se věnovala konstrukci vstřikovaných dílů a forem pro tyto díly a zásadám čeho se má konstruktér držet, aby díl i forma splňovaly požadované vlastnosti.

Praktická část se zabývala vytvořením 3D modelu plastového dílu, pomocí programu Autodesk Inventor, a zkonstruování vstřikovací formy pro tento díl podle zadaných kritérií. Pro konstrukci formy bylo lepší si nejprve ověřit zda-li vybrané místo pro vtokové ústí je vhodné. Toho bylo docíleno v programu Autodesk Moldflow Insight. Byl zadán materiál, jenž byl zadán zákazníkem, a to polypropylen. Po upřesnění tohoto místa se realizoval samotný 3D návrh vstřikovací formy.

Podle modelu vstřikovaného dílu byly vytvořeny tvarové části formy - tvárník a tvárnice se zvolenou násobností, zvětšeny o smrštění výstřiku po jeho ochlazení a vyhození. Z těchto hodnot se vyhodnotila velikost rámu, aby se vešel do zadaného vstřikovacího stroje. Dále byl zrealizován vtokový systém, vyhazovací systém, temperační systém a systém uchycení na vstřikovací stroj. Při návrhu bylo použito normalizovaných dílů firem Meusburger a Hasco. Použitím těchto dílů se výrazně urychluje výroba a s tím i spojený čas a náklady.

Takto navržená 3D sestava vstřikovací formy byla podrobena simulační analýze v programu Autodesk Moldflow Insight. Plastový díl se ustavil ve formě, byly vykresleny trajektorie vtoku a chladícího systému. Použila se analýza pro plnění, chlazení a deformací. Na základě těchto výsledků se zjistilo, zda-li je forma vhodná k výrobě. Výsledky byly popsány v poslední kapitole diplomové práce.

Nakonec byl z 3D modelu sestavy vytvořen 2D řez sestavou vstřikovací formy. Jednotlivé díly byly popsány jednotlivé pozice. K pozicím je k dispozici i kusovník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů.* 2.vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.

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

[3] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3- 446-21256-6

[4] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování. [online][cit. 2018-07-05] ISBN: 978-80-88058-74-8 Dostupné z: https://publi.cz/books/184/Impresum.html

[5] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm

[6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů.* Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

[7] Gastrow, H. *Injection molds – 130 proven designs*. Hanser Publishers, 2002, Munich

[8] BRUMEL, M. a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů.* 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977. 278 s.

[9] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. *Strojírenská technologie 2 - 1.díl*, *Polotovary a jejich technologičnost*, 1. vydání Praha: SCIENTIA, 1999. 316 s.

[10] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. [online][cit. 2018-07-05] ISBN: 978-80-88058-71-7 Dostupné z: https://publi.cz/books/181/Impresum.html

[11] KOLOUCH, J. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: Stání nakladatelství technické literatury, 1981. 258 s

[12] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. přeprac. vyd. Brno : VUT, 1985. 374 s.

[13] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. [online][cit. 2018-07-05] ISBN: 978-80-88058-65-6 Dostupné z: https://publi.cz/books/179/Impresum.html

[14] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKUKON, organizační a vzdělávací servis. 225 s. ISBN: 80-86604-18-7

[15] HYNEK, Martin. *Vstřikovací lisy* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013, 11s, [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace.html

[16] Tváření forem a výroba plastů II. [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/

[17] *HASCO. HASCO Portal [online]*. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://www.hasco.com/hasco/en/

[18] SVOBODA, Jan. *Konec diesel efektu ve formách* [online]. 12.08.2014 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: http://www.plasticportal.cz/cs/konec-diesel-efektu-ve-formach.html/c/2375/

[19] *Autodesk* [online]. 2018, [cit. 2018-07-05]. Dostupné z : http://images.autodesk.com/adsk/files/inventor_overview_bro_us00.pdf

[20] *Autodesk* [online]. 2018, [cit. 2018-07-05]. Dostupné z : http://images.autodesk.com/adsk/files/moldflow_insight_detail_brochure_us.pdf

[21] Battenfeld BA 1500 / 630 BK. *Danzaplast* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: http://www.danzaplast.com/injection%20moulding%20machines/Battenfeld%20BA%201500%20-%20630%20BK%2054593.htm

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procenta
°C	Stupně Celsia
2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačová podpora obrábění
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
MPa	megapascal
mm	milimetr
cm^3	Centimetr krychlový
g	Gram
kg	Kilogram
N	Newton
kN	Kilonewton
s	sekunda

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací stroj [13] 14
Obr. 2. Šneková vstřikovací jednotka [15] 17
Obr. 3. Hydraulická uzavírací jednotka [10] 19
Obr. 4. Ovládací panel vstřikovacího stroje [10] 20
Obr. 5. Programování vstřikovacího cyklu [10] 20
Obr. 6. Princip vstřikování termoplastů na jeden pracovní cyklus [9] 21
Obr. 7. Tlaky během procesu vstřikování [16] 22
Obr. 8. Vstřikovací cyklus v závislosti vstřikovacího tlaku na čase [4] 23
Obr. 9. Vstřikovací cyklus 24
Obr. 10. Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním [13] 27
Obr. 11. Vznik propadliny nad žebrem [13] 28
Obr. 12. Poměr tlouštek stěny a žebra [13] 29
Obr. 13. Úprava rohů pro eliminaci ostrých přechodů [13] 30
Obr. 14. Úprava přechodu různých tlouštek stěn [13] 31
Obr. 15. Návrh úkosů pro spolehlivé odformování [13] 31
Obr. 16. Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů, ... 32
Obr. 17. Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [13] 33
Obr. 18. Vstřikovací forma a její části [16] 34
Obr. 19. Temperace tvárnice a tvárníku [16] 37
Obr. 20. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2] 38
Obr. 21. Různé vtokové uspořádání [1] 40
Obr. 22. Vhodnost umístění vtokových kanálů [13] 40
Obr. 23. Odstupňování průřezů vtoku [1] 41
Obr. 24. Plný kuželový vtok [15] 42
Obr. 25. Bodový vtok [15] 42
Obr. 26. Tunelový vtok [15] 42
Obr. 27. Banánový vtok [15] 42
Obr. 28. Filmový vtok [15] 43
Obr. 29. Vyhřívaná tryska [17] 44
Obr. 30. vytápěný rozvodný vtok [17] 45
Obr. 31. Diesel efekt [18] 46

Obr. 33. Šířka odvzdušnění dle použitého typu plastu [13] 47
Obr. 32. Doporučená konstrukce odvzdušnění [13] 47
Obr. 34. Vyhazovací kolíky 50
Obr. 35. Princip funkce stírací desky [13] 51
Obr. 36. Model vstřikovaného výrobku 56
Obr. 37. Analýza vhodnosti místa s nejmenším odporem taveniny 58
Obr. 38. Místo umístění vtoku 59
Obr. 39. Sestava formy 60
Obr. 41. Pravá polovina formy - pevná 61
Obr. 40. Násobnost formy 61
Obr. 42. Levá strana formy - pohyblivá 62
Obr. 43. Horní pohled na vstřikovací formu 63
Obr. 44. Dělící rovina 64
Obr. 45. Tvárník a tvárnice 65
Obr. 46. Vyústění vtokového kanálu 66
Obr. 47. Vtokový systém a studený vtok 66
Obr. 48. Temperace tvárnice (béžová) a tvárníku (modrá) 67
Obr. 49. vyhazovací systém 68
Obr. 50. Transportní systém 69
Obr. 51. Vstřikovací stroj BATTENFELD BA 1500 / 630 BK [21] 70
Obr. 52. Model pro analýzu 71
Obr. 53. Čas plnění 73
Obr. 54. Průběh vstřikovacího tlaku 74
Obr. 55. Tlak při přepnutí na dotlak 75
Obr.56. Rychlost smykové deformace 76
Obr. 57. Tlak na konci plnění formy 77
Obr. 58. Teplota na čele taveniny 78
Obr. 59. Uzavírací síla při vstřikování 79
Obr. 60. Vzduchové kapsy 80
Obr. 61. Teplota na konci plnění - vrchní pohled 81
Obr. 62. Teplota na konci plnění - spodní pohled 81
Obr. 63. Zatuhlá vrstva na konci dotlaku - vrchní pohled 82
Obr. 64. Zatuhlá vrstva na konci dotlaku - spodní pohled 82

Obr. 65. Odhad vzniku propadlin 83
Obr. 66. Teplota chladícího média - vrchní pohled 84
Obr. 67. Teplota chladícího média - spodní pohled 85
Obr. 68.Reynoldsovo číslo - vrchní pohled 86
Obr. 69. Reynoldsovo číslo - spodní pohled 86
Obr. 70. Objemový průtok temperačního média - pohled ze vstřikovací strany 87
Obr. 71. Objemový průtok temperačního média - pohled z vyhazovací strany 87
Obr. 72. Efektivita odvodu tepla - vrchní pohled 88
Obr. 73. Efektivita odvodu tepla - spodní pohled 89
Obr. 74. Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty - čas u vyhazovačů 90
Obr. 75. Celková deformace 91
Obr. 76. Deformace vlivem smrštění 92

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti vstřikovaného materiálu Daplen EG066AI 57

Tab. 2.Orientační hodnoty průměrů kanálů velikosti formy v závislosti na hmotnosti výstřiku [2] 67

Tab. 3. Technické parametry stroje BATTENFELD BA 1500 / 630 BK [21] 70

Tab. 4. Parametry analýzy 72

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI: Materiálový list Daplen EG066AI

PŘÍLOHA PII: Výkresy řezu sestavy formy s kusovníkem

PŘÉLOHA III: DVD disk - Textová část diplomové práce

- Výkresy řezu sestavy formy s kusovníkem
- 3D model rukojeti
- 3D sestava formy
- Analýzy vstřikovacího procesu