

Návrh a konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl

Bc. Jakub Milička

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Milička**

Osobní číslo: **T13530**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.
5. Provedte analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 7.5.2015



.....

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

(1) Vysoká škola nevdělečně 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o modelaci výrobku, konstrukci vstříkovací formy a provedení analýzy procesu vstříkování. Práce je rozdělena na dvě části teoretickou a praktickou část.

Teoretická část se zabývá problematikou vstříkování polymerů, následně jsou probírány konstrukční zásady a vady při vstříkování. Poslední kapitola je věnována samotné konstrukci vstříkovací formy.

Praktická část popisuje tvorbu 3D modelu plastového dílu a konstrukci vstříkovací formy v programu CATIA V5/R19. V závěrečné kapitole je provedena analýza procesu vstříkování a zhodnocení výsledků v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014.

Klíčová slova: vstříkování, analýza, vstříkovací forma, polymer

ABSTRACT

The thesis discusses the modeling product, injection mold design and analysis of the injection molding process. The work is divided into two parts: theoretical and is practically part.

The theoretical part deals with the injection of polymers are subsequently discuss design principles and defects during injection. The last chapter is dedicated to the design of the injection mold.

The practical part describes the creation of a 3D model of the plastic part and injection mold design in program CATIA V5 / R19. The final chapter is an analysis of the injection molding process and evaluate the results in Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014.

Keywords: injections, analysis, injection mold, polymer

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné vedení, cenné rady a návrhy svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ.....	13
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty.....	14
1.1.3 Elastomery	14
1.2 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY TERMOPLASTŮ PRO VSTŘIKOVACÍ PROCES	14
1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	15
1.3.1 Vstřikovací jednotka.....	15
1.3.2 Uzavírací jednotka.....	16
1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	17
1.4.1 Plastikace	18
1.4.2 Vstřiknutí taveniny do dutiny formy	18
1.4.3 Dotlak.....	19
1.4.4 Ochlazení taveniny v dutině formy	19
1.4.5 Vyhození výrobku z formy	20
2 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY A VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	21
2.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY	21
2.1.1 Úkosal na výrobku.....	21
2.1.2 Zaoblení hran výrobku.....	21
2.1.3 Tloušťka stěn výrobku	22
2.1.4 Vyztužení výrobku pomocí žeber.....	23
2.1.5 Umístění a rozměry otvorů na výrobku	23
2.2 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	25
2.2.1 Nedotečení taveniny	25
2.2.2 Přetok taveniny.....	25
2.2.3 Vzduchové bubliny ve výrobku	26
2.2.4 Stříbrné pruhy na výrobku	26
2.2.5 Spálená místa na výrobku	27
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	28
3.1 MATERIÁL PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍ FORMY	29
3.1.1 Používané oceli a jejich vlastnosti.....	29
3.1.2 Volba ocelí na jednotlivé části formy.....	30
3.2 NÁSOBNOST FORMY	30
3.3 POSTUP PŘI KONSTRUOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	31
3.4 DRUHY VTOKOVÝCH SYSTÉMŮ	31
3.4.1 Studený vtokový systém vstřikovací formy.....	31
3.4.2 Typy vtokových ústí.....	32
3.4.3 Horký vtokový systém vstřikovací formy.....	34
3.4.4 Průřezy rozváděcích kanálů	34
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	35
3.5.1 Umístění a výroba temperačních kanálů ve vstřikovací formě.....	36

3.6	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM	39
3.6.1	Vyhazování vyhazovacími kolíky	40
3.6.2	Vyhazování stírací deskou, kroužkem	41
3.6.3	Vyhazování trubkovým vyhazovačem	41
3.6.4	Hydraulické, pneumatické vyhazování	42
3.6.5	Odformování šikmými posuvnými čelistmi	43
3.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
4	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
5	MODEL A MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	47
5.1	MODEL VÝROBKU	47
5.2	MATERIÁL VÝROBKU	47
6	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	49
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	50
7.1	POUŽITÝ SOFTWARE	51
7.1.1	DS CATIA V5/R19	51
7.1.2	HASCO DAKO Modul R1-2015	51
7.1.3	Autodesk Simulation Moldflow Insight 2014	51
7.2	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	52
7.3	PRAVÁ ČÁST FORMY	53
7.3.1	Izolační deska	53
7.3.2	Upínací deska	54
7.3.3	Kotevní deska	54
7.3.4	Tvarová vložka (tvárnice)	55
7.3.5	Horká tryska	55
7.4	LEVÁ ČÁST FORMY	56
7.4.1	Kotevní deska	57
7.4.2	Tvarová vložka (tvárník)	57
7.5	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM	58
7.6	TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
7.7	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	60
8	ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	61
8.1	PROCESNÍ PODMÍNKY	63
8.2	TEMPERACE	63
8.2.1	Temperace vstřikovací části formy	63
8.2.2	Temperace vyhazovací části formy	64

8.3	TEPLOTA TEMPERAČNÍHO MÉDIA V TEMPERAČNÍM OKRUHU FORMY	66
8.4	UZAVÍRACÍ SÍLA STROJE	66
8.5	TLAK PŘI PŘEPNUTÍ NA DOTLAK	67
8.6	TEPLOTA ČELA TAVENINY.....	67
8.7	ČAS PLNĚNÍ.....	68
8.8	VZDUCHOVÉ KAPSY.....	69
8.9	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE.....	70
8.10	STUDENÉ SPOJE	70
8.11	REYNOLDSOVO ČÍSLO	71
8.12	HODNOTA DEFORMACE PŘI CHLAZENÍ	71
8.13	HODNOTA DEFORMACE SMRŠTĚNÍM	72
8.14	HODNOTA CELKOVÉ DEFORMACE.....	73
8.15	ČAS POTŘEBNÝ K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	74
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	76
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	83
	SEZNAM TABULEK	86
	SEZNAM PŘÍLOH	87

ÚVOD

V současné době se stále více nahrazují běžné průmyslové materiály minulého století materiály polymerními. Díky nízké ceně a výborným vlastnostem jak fyzikálním (např. nižší tepelná i elektrická vodivost), chemickým tak i mechanickým jsou stále více využívány. Zatím se ale nepochybně polymery nedají nahradit za všechny ostatní materiály vyskytující se v průmyslu, díky tomu se stále vyvíjejí nové druhy polymerů s novými vlastnostmi.

Kvůli rozvíjející se poptávce po polymerních výrobcích vzrůstají i nároky na jejich zpracování. Jednou z nejvíce rozšířených technologií pro zpracování polymerů je vstřikování. To nám dovoluje výrobu jak polotovarů tak i tvarově velmi složitých součástí bez potřeby dalšího opracování. Pomocí vstřikování můžeme zpracovat takřka všechny druhy termoplastů, můžeme se setkat i se vstřikováním reaktoplastů, to však jen v omezené míře.

Z konstrukční i výrobní stránky jsou formy pro vstřikování poměrně náročné a to jak časově tak i finančně. Z těchto důvodů je zde možnost využití stavebnicových typů rámců vstřikovacích forem. Využití stavebnicových rámců je prospěšné především z hlediska úspory konstrukčního i výrobního času. Proto se začaly vyrábět normalizované části, které využívají stavebnicového principu. Forma se tak může poskládat z polotovarů, které se pak jen do-upraví dle požadované zakázky.

Vlivem obrovského rozvoje výpočetní techniky a softwaru stále více prostupují k výrobě i konstrukci samotných forem tzv. CAD, CAM, CAE systémy. Tyto specializované programy nám výrazným způsobem zrychlují a zkvalitňují konstrukční návrhy a mechanické analýzy. Tím dosáhneme menšího počtu konečných úprav na zhotovené formě, čímž zajistíme daleko menší investice do výroby formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

Vstřikování polymerů je jednou z nejrozšířenějších technologií výroby polymerních dílů. Značí se poměrně složitým fyzikálním procesem, jehož součástí je polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Ve vstřikovacím procesu je polymerní tavenina tlakem dopravena do dutiny formy, tam je následně ochlazená a tím získá tvar vyráběné součástky. [1]

Vstřikování je diskontinuální, cyklický proces kde se v jedné operaci mění polymer (nejčastěji ve formě granulí) v hotový výrobek. Vstřikovací cyklus lze specifikovat jako relativně rychlý a dalekosáhle automatizovatelný. Pečlivým návrhem vstřikovací formy můžeme eliminovat nutnost dalšího opracování. V případě vstřikovaných termoplastů lze jejich vtokové zbytky znovu rozemlít a zpracovat, čímž se odpad polymeru zmenší na minimum. [2]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymerem označujeme takový materiál, jehož struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (na rozdíl od kovů, které mají strukturu tvořenou krystalickou mřížkou). [3]

Rozdělení polymerů na tři základní druhy:

- termoplasty,
- reaktoplasty,
- elastomery.

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou makromolekulární látky s řetězci přímými (lineární polymery) nebo s řetězci s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Ohřevem polymeru se uvolní soudržnost řetězců a hmota se stává viskózní. V tomto stavu lze termoplasty tvářet. Ochlazením se řetězce vrací zpět do původního stavu. [3]

Polymery lineární i rozvětvené, kde řetězce tvoří vždy jeden druh základní chemické skupiny, mají název homopolymery. Jsou-li řetězce složeny z více než jednoho druhu základních chemických skupin, jedná se o kopolymery. [3]

Rozdělení termoplastů dle vnitřní struktury: [3]

- amorfní – prostorově nepravidelně uspořádané řetězce,
- semikrystalické – podstatná část struktury je pravidelně uspořádána do krystalické struktury, zbytek struktury je amorfní.

Amorfní polymery lze využívat v oblasti pod teplotou skelného přechodu T_g . V tomto stavu je polymer pevný, zvyšováním teploty nad T_g kohezní síly mezi makromolekulami slábnou a polymer přechází do oblasti plastické, až viskózní kdy je možné ho zpracovat. [3]

Semikrystalické polymery mají pevněji vázané části makromolekul a to v tzv. lamelách či sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejdříve začnou uvolňovat makromolekuly z amorfní fáze, následně makromolekuly z krystalické fáze. Tento proces je doprovázen značným objemovým nárůstem. Použití semikrystalických polymerů je vhodné nad T_g , z hlediska výhodné kombinace pevnosti a houževnatosti. [3]

1.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které mají po zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami, ty tvoří prostorovou trojrozměrnou síť. Ohřevem získává tato síť větší pohyblivost, ale k úplnému uvolnění nedochází. Působením tlaku a teploty dochází k zesíťování (vytvrzení) polymeru. [3]

1.1.3 Elastomery

Jsou materiály s velmi ohebnými původními řetězci a přiměřenou hustotou sítě. Při pokojové teplotě jsou pružné a poddajné. K zesíťování dochází během tzv. vulkanizace (elastomer se mění v pryž). Po tomto chemickém procesu nelze tyto materiály nadále tvářet. [3]

1.2 Zpracovatelské podmínky termoplastů pro vstřikovací proces

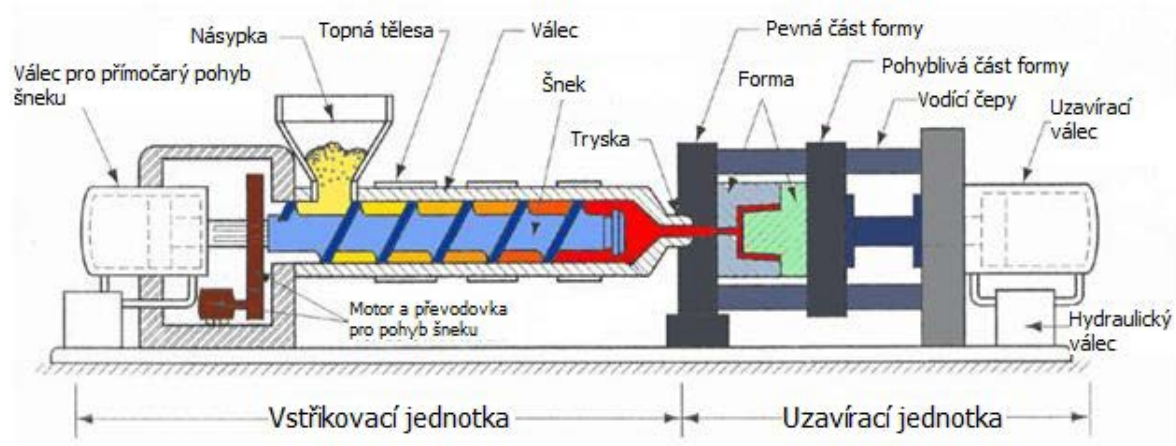
Vlastnosti hotového výstřiku značně ovlivňují technologické podmínky. Zpracovatelské parametry jako tlak, teplota a čas jsou hlavním parametrem pro mechanické i fyzikální vlastnosti, rozměry a izotropii. Při vstřikování dochází ve tvarových dutinách formy i vtokových kanálech k orientaci makromolekul, což zapříčiní srovnání jejich řetězců ve směru prodělení taveniny. Po zatuhnutí polymeru tato orientace zapříčinuje anizotropii, vnitřní pnutí a nepravidelné smrštění. [3]

1.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj slouží k plastikaci granulového materiálu a k následnému dopravení materiálu do dutiny formy (Obr. 1.).

Z funkčního hlediska je rozdělen na tři části: [3]

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- ovládání a řízení stroje.

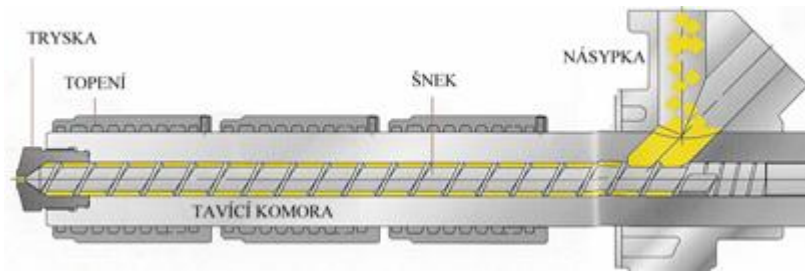


Obr. 1. Vstřikovací stroj. [4]

1.3.1 Vstřikovací jednotka

Slouží k přípravě a zároveň dopravě předem určeného množství roztaveného materiálu s požadovanými technologickými parametry do dutiny formy. Množství materiálu dopravovaného do dutiny formy musí být menší, než kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. [3]

Princip vstřikovací jednotky spočívá v tom, že do tavného válce je dopraven zpracováváný polymerní materiál (nejčastěji granulát) z násypky pomocí šneku (Obr. 2.). Ten je posouván rotací šneku přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně dochází k plastikaci, homogenizaci a ke hromadění před šnekem. Tavná komora je na svém konci opatřena tryskou s vyhříváním, pomocí které je spojena vstřikovací jednotka s formou. Tryska s kulovým zakončením zajistí přesné dosednutí do sedla vtokové vložky vstřikovací formy. [3]



Obr. 2. Vstřikovací jednotka. [5]

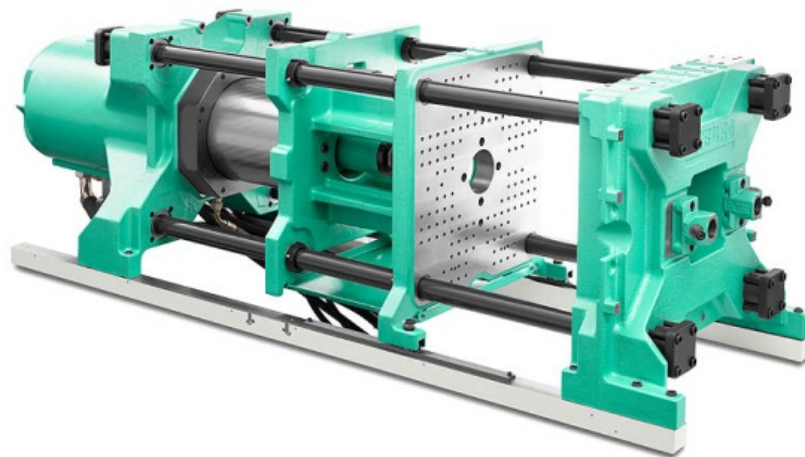
1.3.2 Uzavírací jednotka

Bezpečné otevírání a uzavírání vstřikovací formy zajišťuje uzavírací jednotka. Síla potřebná k uzavření stroje závisí na velikosti vstřikovacího tlaku a velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině. Tuhost uzavíracího mechanismu stejně jako uspořádání uzavírací jednotky má značný vliv na těsnost vstřikovací formy. [6]

Dle druhu pohonu, můžeme uzavírací jednotky rozdělit na: [6]

- hydraulické (Obr. 3.),
- hydraulicko-mechanické,
- elektromechanické.

U hydraulických uzavíracích systémů se uzavírací rychlost odvíjí od uspořádání a ovládání hydraulického obvodu. Hydraulicko-mechanický uzavírací systém má uzavírací rychlost řízenou kinematickým uspořádáním mechanismu, díky tomu dosahuje minimálních došedacích rychlostí. Elektromechanické uzavírací systémy využívají zkušenosti z konstruování obráběcích strojů, mají příznivou spotřebu energie a jednoduché ovládání. [6]

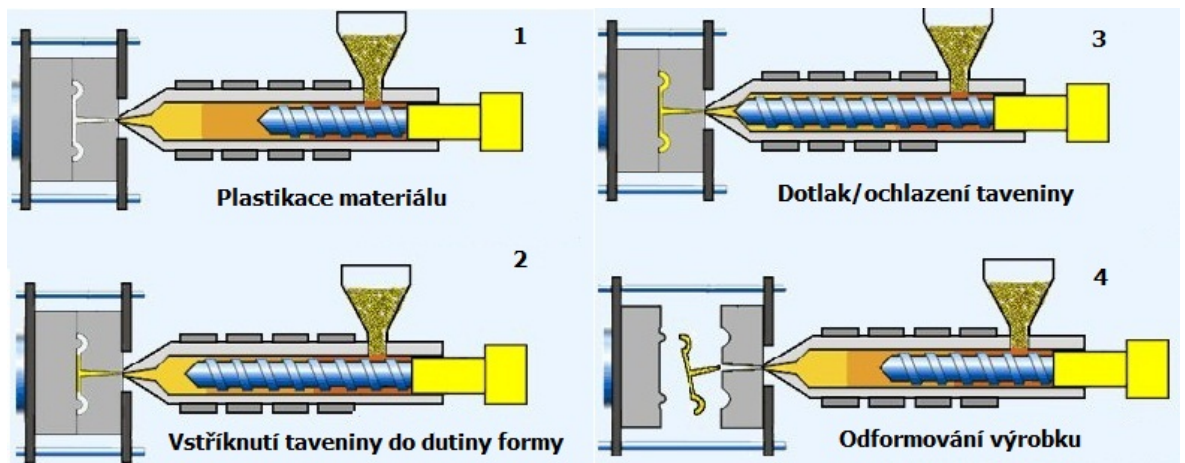


Obr. 3. Hydraulická uzavírací jednotka. [7]

1.4 Vstřikovací cyklus

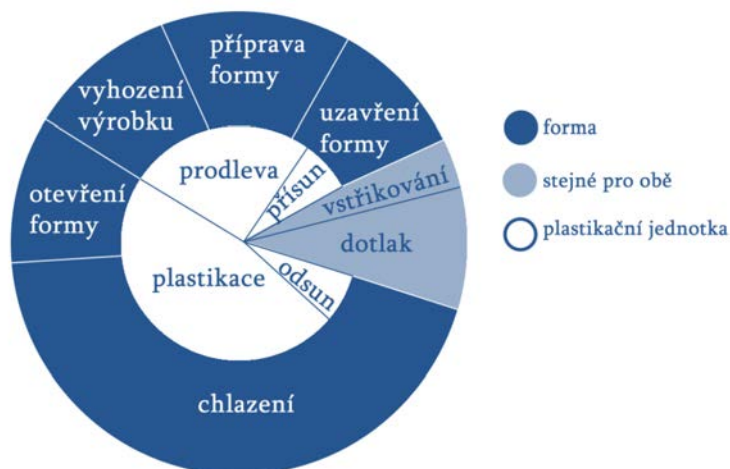
Rozdělení vstřikovacího cyklu na čtyři hlavní fáze (Obr. 4.): [8]

- plastikace materiálu,
- vstříknutí taveniny do dutiny formy,
- dotlak a ochlazení taveniny ve formě,
- odformování výrobku.



Obr. 4. Vstřikovací cyklus. [8]

Množství zhotovených výrobků na jeden vstřikovací cyklus lze ovlivnit násobností formy, tím pádem můžeme správnou volbou násobnosti zvýšit produkci výroby. Mezi hlavní faktory také patří optimální délka celého cyklu, ta je závislá na technologických parametrech stroje, teplotě formy a v neposlední řadě na samotné konstrukci daného výrobku, především tloušťce jeho stěn. [3]



Obr. 5. Průběh vstřikovacího cyklu.

Po uzavření formy dochází ke vstříknutí taveniny o určité teplotě, rychlosti a tlaku do dutiny formy. Tlak působí na taveninu, až do doby kdy se začne ochlazovat. Následuje dotlaková fáze, až do částečného ochlazení taveniny. Po ukončení dotlakové fáze dojde k odsunutí vstříkovací jednotky a začíná plastikace pro další cyklus. Po ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu dochází k otevření formy a následnému vyhození výrobku. Poslední fáze cyklu je očištění a příprava formy pro další vstříkovací cyklus. [3]

1.4.1 Plastikace

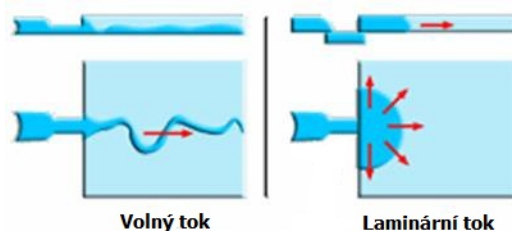
Plastikace připravuje homogenní taveninu polymeru a shromažďuje ji v prostoru před čelem šneku. Při plastikaci dochází k otáčení šneku a současnému pohybu šneku zpět. Padající granulát z násypky do válce se ve vyhřívané části válce začne tavit, pomocí šneku hnít a homogenizovat. Následně se přesune do prostoru před čelo šneku. Polymer se ohřívá působením tepla z vyhřívaného válce a frikčním teplem vznikajícím třením mezi šnekem a materiálem. Konstrukcí šneku, jeho otáčkami, zpětným tlakem a dávkou granulátu lze ovlivňovat homogenitu taveniny. [9]

1.4.2 Vstříknutí taveniny do dutiny formy

Tato operace lze rozdělit do dvou částí: [9]

- Plnění formy,
- stlačení taveniny ve formě.

Při plnění formy dochází ke vstříknutí taveniny do uzavřené dutiny formy přímočarým pohybem šneku. V zájmu dosažení dobrých fyzikálních vlastností a kvalitního povrchu se musí dutina formy plnit tak, aby materiál nevtékal volným tokem, nýbrž vtékal postupně. Tímto způsobem vzniká tzv. laminární plnění (Obr. 6.), to nám zajistí vznik plastického jádra, které nám umožní stlačení taveniny a její následné dotlačení do dutiny formy. [9]



Obr. 6. Porovnání volného a laminárního toku. [10]

1.4.3 Dotlak

V intervalu dotlaku je nahrazen úbytek materiálu, ke kterému dochází smrštěním hmoty při ochlazování taveniny na teplotu formy. [9]

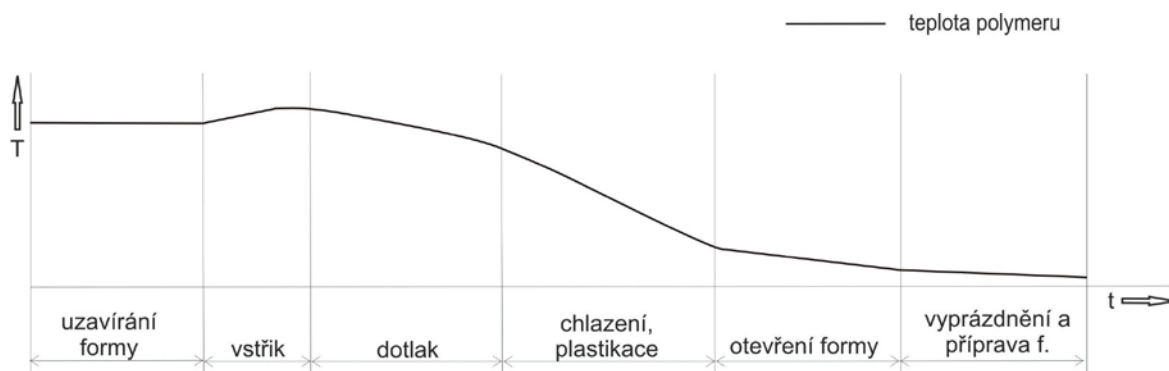
Při vysokém dotlaku dochází k omezení pohyblivosti makromolekul v polymeru při jeho ochlazování, tím vzniká pnutí ve výrobku. Dále může způsobit vysoký zbytkový tlak, tím může docházet k potížím při vyjímání výrobku. Naopak při nízkém dotlaku hrozí zvláště u tlustostěnných výrobků vznik vnitřních staženin tzv. lunkrů, propadlin nebo mikropórovitosti, proto se u tlustostěnných výrobků používá tzv. pulsní dotlak. Pulsující hydraulický tlak vyvolá střídavé změny proudění taveniny z trysky do formy a zpět, tímto způsobem udržíme jádro vtoku déle tekuté. Dotlak působí do okamžiku zatuhnutí vtokového ústí. [9]

1.4.4 Ochlazení taveniny v dutině formy

Chlazení začíná již při vstřikování, ale zejména od počátku dotlaku (Obr. 7.). Ovlivňuje ho především tloušťka stěn, teplota taveniny, tvar výstřiku, vstřikovací rychlost, teplota formy atd. [9]

Hlavní část vstřikovacího cyklu tvoří právě doba chlazení. U běžných výrobků je tedy volena co nejnižší teplota formy ovšem tak abychom ve výrobku nevyvolali vysoké vnitřní pnutí nebo neovlivnili kvalitu povrchu výrobku. [9]

Z hlediska přesného vstřikování je především u semikrystalických polymerů nezbytné temperovat formy na takové teploty, kdy dosáhneme rovnovážných podmínek z hlediska krystalizace i orientace. Dotlak a doba chlazení je regulován dle p-v-T diagramu. [9]



Obr. 7. Průběh teploty polymeru. [9]

1.4.5 Vyhození výrobku z formy

Po dostatečném ochlazení výrobku dochází k otevření formy a současněmu mechanickému vyhození výrobku z dutiny formy. Vyhození výrobku je ovládáno mechanicky kdy forma při otevírání dojde na doraz, nebo hydraulickým či pneumatickým pístem. Vyhazovací zařízení musíme umístit v takových tvarových částech, na kterých výrobek ulpí díky smrštění. Při vstřikování výrobků vyžadujících otevření formy ve více směrech, je nutné zajistit, aby pohyb součástí formy i jeho ovládacích prvků byl řízen v souladu s celkovým řízením stroje. V souladu se zvyšující se snahou o automatizaci vstřikovacích procesů roste počet manipulátorů schopných vyjmout výrobek z formy, oddělit vtok a předat dále na dopravní pás či do přepravky. [9]

2 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY A VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

2.1 Konstrukční zásady

Při konstruování výrobků vstřikovaných z polymerních materiálů musíme dodržet jisté konstrukční zásady. Konstruktor má již předem vytyčené meze konstrukčních tvarů, které by měl dodržovat, chce-li se vyhnout problémům při výrobě či provozu. Obecně by se měl držet pravidla, že součást by měla být konstrukčně co nejjednodušší. Tím samozřejmě klesá cena výroby, i výrobku samotného. [3]

2.1.1 Úkosy na výrobku

Úkosy se rozumí sklon stěny výrobku kolmo na dělicí rovinu (Tab. 1.). Umožňují nám vyjmutí výrobku z dutiny formy. Velikosti úkosů, závisí na funkci jakou má plnit, dále na druhu materiálu v závislosti na jeho smrštění a elasticitě. Podle umístění se rozděluje na vnější a vnitřní. Principiálně se u vnitřních stěn volí větší zkosení než u stěn vnějších. [3]

Tab. 1. Doporučené velikosti úkosů. [3]

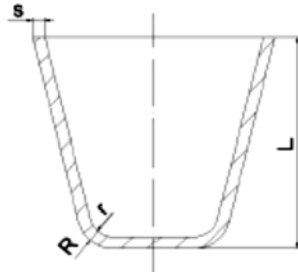
Úkos pro:	Velikost úkosu [°]
Vnější plochy	30' - 2 (1)
Vnitřní plochy	30' - 3 (2)
Otvory do hloubky 2*D	30' - 1 (45')
Hluboké otvory	1 - 10 (1)
Žebra, nálitky	1 - 10 (3)
Výstupky	2' - 10

2.1.2 Zaoblení hran výrobku

Abychom usnadnili tok taveniny, v dutině formy zaoblujeme rohy, hrany i kouty (Tab. 2.). Pomocí zaoblení zabraňujeme koncentraci napětí právě v těchto místech. Zaoblením ostrých koutů docílíme menších vstřikovacích tlaků a tím pádem snížíme opotřebení formy. Zaoblením hran a rohů zvýšíme rázovou houževnatost výrobku až o 50%. [3]

Tab. 2. Zaoblení hran a rohů. [3]

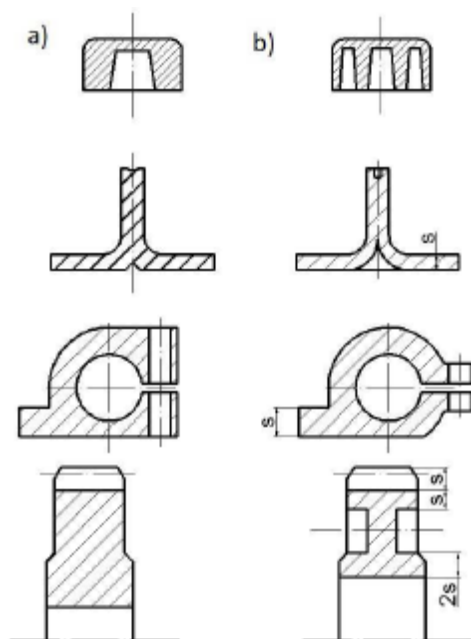
Minimální poloměr			Doporučený poloměr	
Plast	r [mm]	R	L [mm]	r [mm]
Plněný PA, PC	1,5	r + s	>50	1,6
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6 - 1	r + s	50-100	2,5
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, SAN, ABS	0,5	r + s	100-150	4
			150-200	5
			200-250	6
			250-300	8
			300-400	12
			400-500	20



2.1.3 Tloušťka stěn výrobku

Tloušťky stěn by dle zásad správné konstrukce měli být jednotné, jestliže se nevyhneme náhlých přechodů tlouštěk stěn, neměli by být s ostrými hranami. V případě, kdy je nezbytné vytvořit tloušťku stěn větší, je nutné vytvořit vhodné odlehčení nejlépe na opačné straně (Obr. 8.). Tloušťka stěn a žeber by se měla rovnat 0,8 násobku tloušťky stěny hlavní.

- Závisí na uzavíracím tlaku,
- závisí na délce toku plastu. [3]



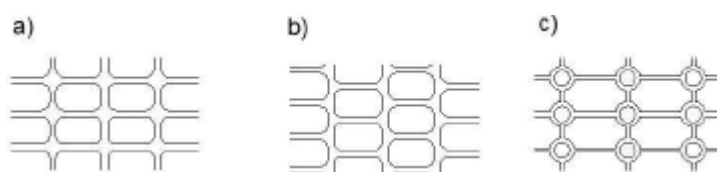
Obr. 8. Konstrukce výrobků a) chybná, b) správná. [3]

2.1.4 Vyztužení výrobku pomocí žeber

Dle účinku, který plní na výrobku, nebo v dutině formy lze žebra rozdělit na: [3]

- technická,
- technologická.

Technická žebra zabezpečují tuhost a pevnost výrobku. Technologická žebra brání zborcení stěn výrobku, ale také slouží k optimalizaci plnění dutiny formy. Existují také žebra bez technického či technologického vlivu na výrobek, ale jsou spíše vzhledová. Na obr. 9. můžeme pozorovat různá uspořádání žeber. [3]



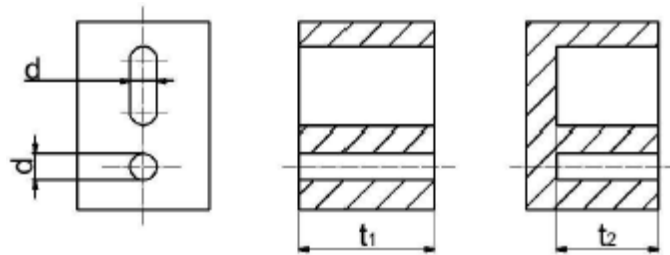
Obr. 9. Různá uspořádání žeber. [3]

2.1.5 Umístění a rozměry otvorů na výrobku

Otvory ve směru zaformování lze vyřešit poměrně jednoduše pomocí pevných trnů a kolíků, jejichž průměr by neměl klesnout pod 1mm. V případě, že jde o otvory neprůchozí, neměla by jejich hloubka přesáhnout pětinasobek průměru (Tab. 3.). Jedná-li se o otvory zhotovené kolmo ke směru dělicí roviny zhotovují se výsuvnými jádry nebo čelistmi. [3]

Tab. 3. Maximální hloubka otvorů. [3]

d [mm]	t1 [mm]	t2 [mm]	d [mm]	t1 [mm]	t2 [mm]
1,6	4,5	4,5	5	28	20
2	5,3	5,3	6	36	25
2,5	8,5	7,1	8	53	34
3	14	8,5	10	67	45
4	20	14	12	80	53

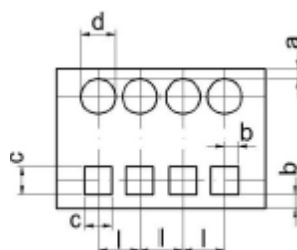


Obr. 10. Maximální hloubka otvorů. [3]

Při nedodržení doporučených vzdáleností otvorů od okraje výrobku může dojít k popraskání stěn (Tab. 4.). Drážky je doporučeno konstruovat otevřené, až k samotnému okraji výrobku zamezí se tím studeného spoje za drážkou. [3]

Tab. 4. Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek. [3]

Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek [mm]										
a	1,6	1,6	2	2,5	2,5	3,2	3,2	4	5	5,5
b	2,1	2,1	2,6	3,3	3,3	4,1	4,1	5,2	6,5	7,2
c	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
d	3,2	3,6	4	5	6	8	9	11	14	16



Obr. 11. Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek. [3]

2.2 Vady vstřikovaných výrobků

Z důvodu poměrně složitého procesu při vstřikování polymerů, kdy jsou ovlivňovány řadou činitelů, může na výrobcích docházet k různým vadám. [3]

2.2.1 Nedotečení taveniny

K této závadě dochází, především pokud je vstřikovací rychlost příliš malá. V případě, že vstřikovací doba trvá příliš dlouho, dojde k zatuhnutí taveniny ještě před vyplněním celé dutiny vstřikovací formy (Obr. 12). [3]



Obr. 12. Nedostříknutý výrobek. [11]

2.2.2 Přetok taveniny

Nesprávně zvolené vstřikovací parametry mívají za následek přetoky (Obr. 13.). Přetoky mohou vznikat při vysoké teplotě taveniny, malé uzavírací síle, velkém vstřikovacím tlaku nebo v případě nečistot v dělicí rovině formy. [3]



Obr. 13. Přetok taveniny. [12]

2.2.3 Vzduchové bubliny ve výrobku

Vznikají při nízkém vstřikujícím tlaku, nízké teplotě formy, nebo v případě, že jsou při vstřikování zachyceny těkavé složky. Velký vliv na vznik vzduchových bublin má také přechod mezi silnou a slabou stěnou výrobku (Obr. 14.). [3]



Obr. 14. Vzduchové bubliny. [13]

2.2.4 Stříbrné pruhy na výrobku

Vada vznikající při vstřikování taveniny za příliš vysoké teploty, dále u špatně vysušeného materiálu nebo z důvodu velkého tření ve vtokovém ústí. [3]



Obr. 15. Stříbrné pruhy. [14]

2.2.5 Spálená místa na výrobku

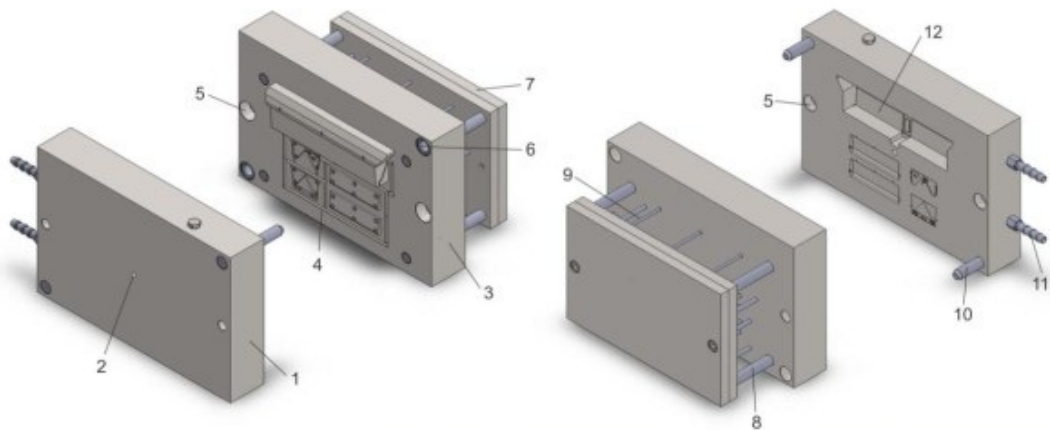
Vady typu spálená místa jsou na výrobku jasně viditelná (Obr. 16.). Hlavním důvodem vzniku spálených míst je příliš vysoká teplota taveniny, špatně odvětrávaná dutina formy či vysoké tření mezi taveninou a stěnou dutiny formy. [3]



Obr. 16. Spálená místa. [15]

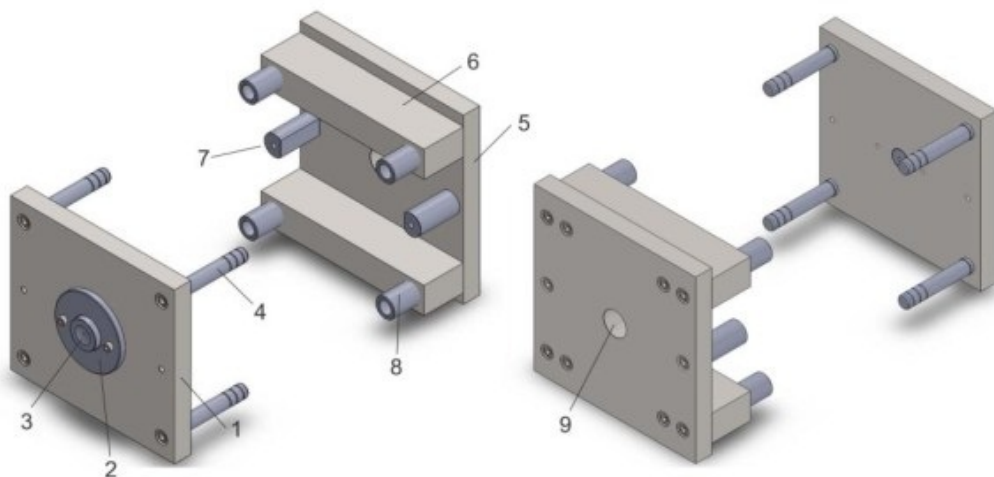
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formu můžeme rozdělit na dvě základní části. V první části jde o tvarovou dutinu (Obr. 17.), neboli prostor, do kterého vstřikovací stroj za vysokého tlaku a teploty vstříkne polymer, který po ochlazení v dutině získá svůj konečný tvar. Tvarové části jsou z hlediska výroby nejsložitější a to se samozřejmě promítá jak na ceně výroby, tak i materiálu, které jsou rovněž kvalitnější. Ve druhé části se jedná o konstrukční část- rám (Obr. 18.), která je většinou velmi podobná u všech vstřikovacích forem. [1]



1 – Tvarová deska – pevná, 2 – Vtok, 3 – Tvarová deska – pohyblivá, 4 – Vtokové kanály, 5 – Otvory pro šrouby, 6 – Pouzdra vodících kolíků, 7 – Desky vyhazovačů, 8 – Vodící sloupky desek vyhazovačů, 9 – Vyhazovače, 10 – Vodící sloupky, 11 – Příruby chlazení

Obr. 17. Tvarová část formy. [18]



1 – Kotevní deska – pevná, 2 – Středící kroužek, 3 – Vtok, 4 – Vodící kolíky, 5 – Kotevní deska – pohyblivá, 6 – Rozpěrka, 7 – Sloupky pro šrouby výměnných kompletů, 8 – Pouzdra vodících sloupků, 9 – Otvor pro táhlo vyhazovacího systému

Obr. 18. Univerzální rám formy. [18]

3.1 Materiál pro výrobu vstřikovací formy

Příslušnou jakost oceli volíme podle vlastností a technologií vstřikovaných plastů. Volbu ocelí dále ovlivňuje způsob výroby a velikost tvarových částí formy. Velmi důležitá podmínka pro předpoklad vysoké životnosti formy je vhodná a účelná konstrukce formy, zvolení vhodného vložkování a v neposlední řadě celkové dimenzování formy. Nedostatečně kvalitní povrch v dutině formy může zhoršovat vyjímání výrobků s hlubokými tvary nebo žebry. V opačném případě bezvadně vyleštěný povrch může mít za následek vysokou adhezi (polyolefiny). Mimo oceli využíváme také neželezné slitiny kovů (Cu, Al, ...) a tepelně izolační materiály. [16]

3.1.1 Používané oceli a jejich vlastnosti

- Cementační ocele – U cementačních ocelí převládá chrom-manganová ocel ČSN 19487. Povrch je po tepelném zpracování tvrdý, odolný proti opotřebení. Jádro díky obsahu uhlíku (0,1-0,2%) měkké a houževnaté. Jedna z předností cementačních ocelí je dobrá obrobiteľnosť v žíhaném stavu a zároveň malá náchylnost k praskání při kalení. Nevýhodou je vznik větších deformací po tepelném zpracování, než u přímo kalitelných ocelí. [16]
- Kalitelné ocele – Jsou využívány hlavně pro tvarové části forem pro zpracování vysoce abrazivních plastů. Používá se mangan-vanadová ocel ČSN 19312 a mangan-chrom-vanadová ocel ČSN 19313 pro menší tvarové části, obě ocele mají dobrou obrobiteľnosť po žíhání na měkko, dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování i dobrou houževnatost. Pro nejnáročnější tvarové části se používá chrom-vanad.wolfram-molybdenová ocel ČSN 19581, která se vyznačuje nízkou houževnatostí a zhoršenou obrobiteľností po žíhání na měkko. [16]
- Antikorozní ocele – Využívané na tvarové části forem pro zpracování chemicky agresivních plastů (PVC, aminoplasty). Pro tento účel se využívá antikorozní chromová ocel ČSN 17029 s velkou prokalitelností, zvýšenou odolností proti korozi a relativně dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování. Tuto ocel nelze použít v tepelně nezpracovaném stavu. [16]

3.1.2 Volba ocelí na jednotlivé části formy

Tab. 5. Materiál pro různé části formy. [16]

Část formy	Materiál (ČSN)	Tepelné zpracování	Chemicko-tepelné zpracování
Desky - méně namáhané	11600, 11523	-	-
Desky - s vyšší pevností	12060	-	-
Desky - vysoce namáhané	14221, 19487	Kaleno	Cementováno
Vodící sloupky a pouzdra	14221, 14220	Kaleno	Cementováno
Vyhazovače	19421, 19452	-	Nitridováno
Dorazy	19312	Kaleno	-
Vtokové vložky	19452, 19581	Kaleno	-

3.2 Násobnost formy

Násobnost vstřikovací formy je posuzována hned z několika hledisek. Mezi jedno z hlavních hledisek lze považovat požadavek na roční odběr (ks/ rok). Hned dalším hlediskem je složitost výrobku, která ovlivňuje celou koncepci formy (výsuvná jádra, čelistové nebo vytáčecí mechanismy). Dále musíme brát ohled na strojní a technické vybavení, to v jaké toleranci má být daný výrobek zhotoven a samozřejmě o násobnosti rozhoduje i cena formy, která představuje relativně vysokou investici. [16]

Například pro určení násobnosti formy kdy zákazník požaduje 100000 ks výrobků ročně a v případě že bude objednávka rozdělena do sekvencí, že zákazník bude odebírat zboží každých 50 dní, budeme brát v potaz, že za 50 dní v případě třisměnného provozu se bude vyrábět 200 hodin. V takovém případě musíme vyrobit 20000 ks/ 50dní, což je přibližně 60 ks/ násobnost formy/ hod. [17]

$$\text{Násobnost formy} = \frac{\text{Počet kusů potřebných za 50 dní}}{200 \text{ hod.} \times \text{počet kusů/násobnost formy/hod.}} = \frac{20000}{200 \times 60} \cong 2$$

3.3 Postup při konstruování vstřikovací formy

Konstrukce vstřikovací formy vyžaduje výkresy vyráběných součástí, konstrukční návrhy jakožto podklady pro konstruktéra formy. Úzká spolupráce konstruktéra výrobku s konstruktérem formy zaručuje kvalitní koncept formy. [3]

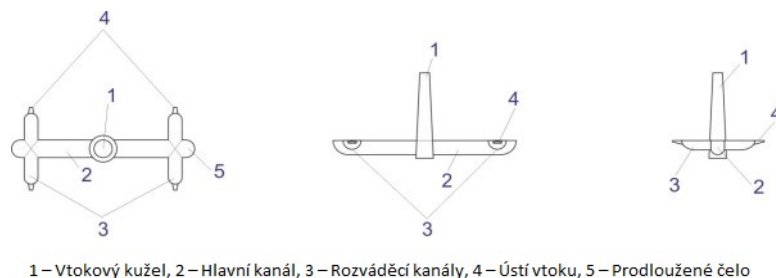
- Posudek výkresů z hlediska tvarů, rozměrů a ostatních technolog. podmínek,
- stanovení dělicí roviny,
- uspořádání a nadimenzování tvarových dutin ve formě,
- návržení vtokového, temperačního, vyhazovacího systému a odvodu vzduchu,
- zvolení vhodného rámu vstřikovací formy dle počtu a rozmístění tvarových dutin,
- zkouška funkčních parametrů formy, vstřikovací tlaku, uzavírací síly s ohledem na zvolený vstřikovací stroj, kontrola samotného výrobku (hmotnost, plocha průřezu v dělicí rovině). [3]

3.4 Druhy vtokových systémů

Funkcí vtokového systému je zajištění dopravy taveniny polymeru z plastikační komory do dutiny formy. Vtokové ústí by mělo být dimenzováno takovým způsobem, aby bylo dotlaku umožněno působit po maximální dobu, k vyrovnání objemové kontrakce (tzn. eliminace vztaženin nebo lunek). Vtok by měl směřovat do nejtlustšího místa výrobku a to jak u termoplastů tak i u reaktoplastů. Naopak u vstřikování polymeru s nadouvadlem by měl být umístěn do nejslabšího místa výrobku. [16]

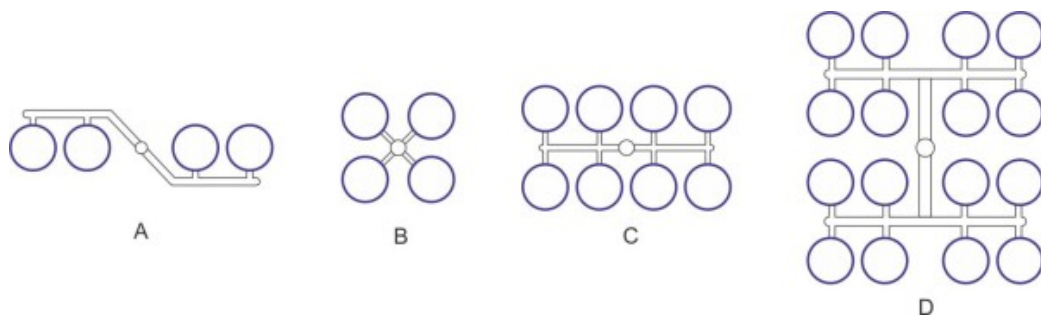
3.4.1 Studený vtokový systém vstřikovací formy

Studený vtokový systém na rozdíl od horkého vždy po daném cyklu zatuhne. Rozměry a tvar vtoku ovlivňují spolu s umístěním jeho ústí i mechanické vlastnosti výrobku, vzhled výrobku, velikost spotřeby polymeru a pracnost při začišťování výrobků. [3]



Obr. 19. Studený vtok. [18]

Pro zaručení nejmenšího hydraulického odporu při průtoku taveniny v kanálu by rozváděcí kanály měly mít co nejmenší poměr obvodu vůči ploše kanálu. V případě vícenásobných forem musíme zajistit vhodné odstupňování vtokových kanálů od hlavního kuželového vtoku. Kanály by měly být co nejkratší a do všech dutin by měly mít stejnou délku, z důvodu zachování stejných tlakových podmínek (Obr. 20.). V praxi se však tato zásada dodržuje jen sporadicky a to z důvodu, že u malých výrobků s velkou násobností formy vzniká velký odpad právě z rozvodných kanálů. U těchto případů je na místě zvážení použití horkého vtokového systému. Nejideálnější rozmístění ve formě je ve tvaru hvězdice nebo kříže - B. U možností - A, C a D, mají výrobky blíže vtokového kužele jiné technologické podmínky než výlisky na okraji. Při konstrukci formy je nutno se změnou podmínek u těchto variant rozmístění výlisků počítat a přizpůsobit šířku a hloubku vtoků. [16]

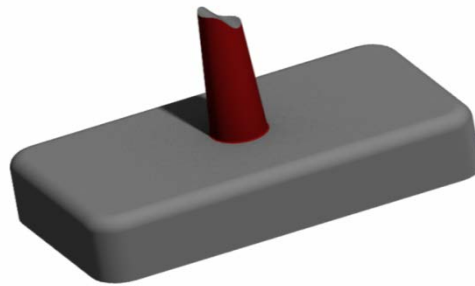


Obr. 20. Uspořádání vtoků. [18]

3.4.2 Typy vtokových ústí

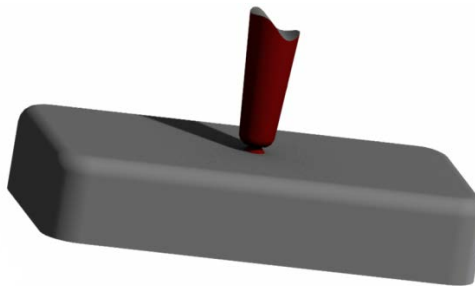
Vtokové ústí vytváříme tím, že zúžíme rozváděcí kanál (Obr. 19.). Díky zúžení dochází ke zvýšení již klesající teploty taveniny před vstupem do dutiny formy. Tím omezíme strhávání ochlazených vrstev ze stěn vtoku a předejdeme tvorbě povrchových defektů výrobku. [24]

Plný kuželový vtok bez zúžení (Obr. 21.) se používá pouze ve výjimečných případech a to z důvodu potlačení propadlin, lunek nebo u velkoobjemových výrobků. [24]



Obr. 21. Plný kuželový vtok.

Mezi nejpoužívanější typy zúženého vtokového ústí patří bodový vtok (Obr. 22.). Zpravidla bývá kruhového průřezu a vyžaduje třídeskový systém, kvůli vtokovému ústí, které musí být odděleno dříve, než dojde k otevření formy. [3]

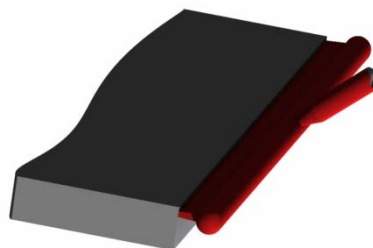


Obr. 22. Bodový vtok.

Dalšími typy vtokových ústí jsou tunelové vtoky (zvláštní případy bodového vtoku) k těm patří i srpkovitý (banánový) vtok (Obr. 23.), dále boční vtoky a z nich především vtok filmový (Obr. 24.) využívaný především k plnění kruhových a trubicových dutin s většími požadavky na kvalitu výrobku. [3]



Obr. 23. Sprkovitý vtok.



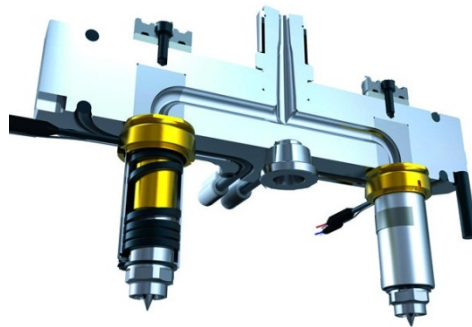
Obr. 24. Filmový vtok.

3.4.3 Horký vtokový systém vstřikovací formy

Horké vtokové systémy zaujímají v plastikářském průmyslu stále větší uplatnění vůči klasickým studeným vtokovým systémům. A to především díky nesporným výhodám stálého vývoje těchto systémů pro nové výrobní technologie. [16]

Rozváděcí kanály bývají nejčastěji uloženy do desky nebo do rozváděcího bloku (Obr. 21.). Rozváděcí blok se nachází mezi dvěma deskami (upínací a tvarovou). Rozváděcí kanály slouží jako prostor pro proudění taveniny. Teplo je přiváděné do bloku pomocí topných těles a přestupuje k tavenině přes stěny rozváděcího kanálu. [19]

Mezi nevýhody horkého vtokového systému je potřeba stále počítat s délkovou roztažností bloku, kvůli přesnému styku trysky vůči vtoku. Lze používat pouze bodové ústí, které je však vhodné pro širokou škálu vstřikovaných výrobků. Dále není příliš efektivní u malosériové výroby. [3]

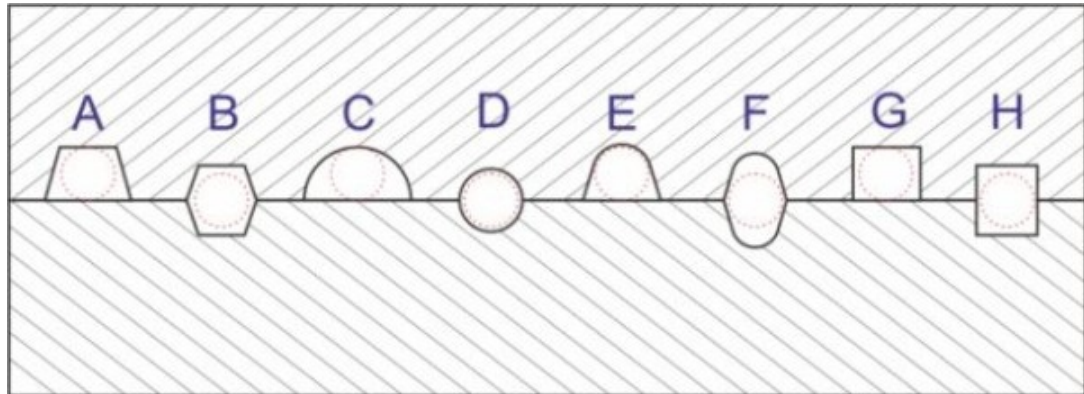


Obr. 25. Řez horkým rozvodným blokem a tryskou. [20]

3.4.4 Průřezy rozváděcích kanálů

Rozváděcí kanály (Obr. 19.) slouží ke spojení vtokového kanálu s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Délka kanálů se odvíjí od daného typu formy, při volbě jejich průřezů musíme zohlednit hned několik faktorů: [24]

- charakter výrobku, předpokládaná doba dotlaku a především tloušťka stěn výrobku,
- viskozita, tepelné a reologické vlastnosti taveniny,
- parametry vstřikovacího stroje – vstřikovací tlak, rychlost, atd..



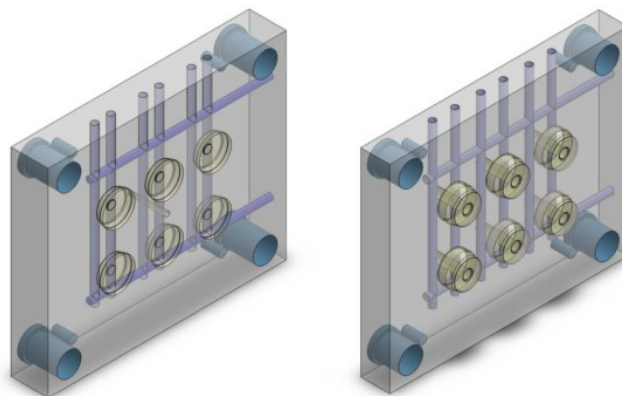
A,C,E,G - výrobně vhodný průřez kanálu B,D,F,H - výrobně nevhodný průřez kanálu

Obr. 26. Průřezy rozvodných kanálů. [18]

3.5 Temperační systém

Temperací rozumíme řízené ochlazování nebo naopak ohřívání vstřikovací formy na určitou teplotu. Jako temperační médium se nejčastěji používá voda nebo olej. K tomuto účelu jsou ve formách zhotoveny chladicí kanály (Obr. 22.). Temperační médium se přivádí potrubím a gumovými nebo plastovými hadicemi ze zásobníku do vstupů chladicích kanálů formy, po protečení celým systémem je následně odvedeno do chladicího zařízení a zpět do zásobníku. [18]

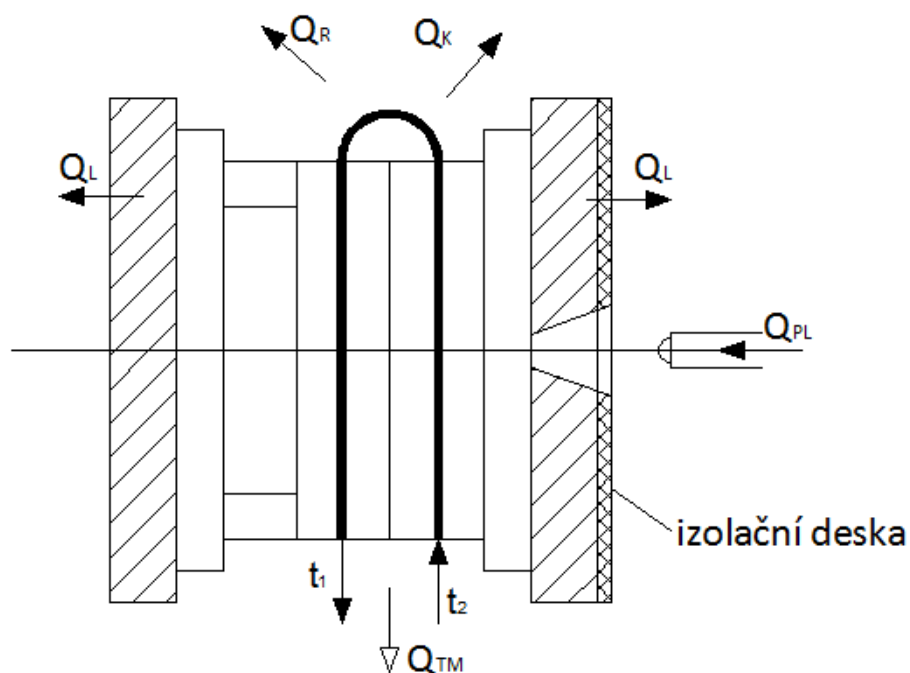
Pro kontrolu a optimalizaci navrženého temperačního systému se využívá simulačních analýz pomocí daných softwarů (Mold Flow, Cadmould Cool), základním požadavkem u kvalitně navrženého temperačního systému je rovnoměrná doba chladnutí taveniny po celém tvaru výrobku. [16]



Obr. 27. Temperační kanály tvárníku a tvárnice. [18]

Vstřikovací forma v podstatě funguje jako výměník tepla, jehož úkolem je odnímat teplo z taveniny. Z pohledu odvádění tepla ze vstřikovací formy se vyskytují všechny druhy sdílení tepla (Obr. 23.).

- Q_L - Teplo odváděné do upínacích desek stroje (kondukce).
- Q_K - Teplo odváděné proděním (konvekce).
- Q_R - Teplo odváděné sáláním (radiace).
- Q_{TM} - Teplo odváděné temperačním médiem.
- Q_{PL} - Teplo přiváděné taveninou. [16]

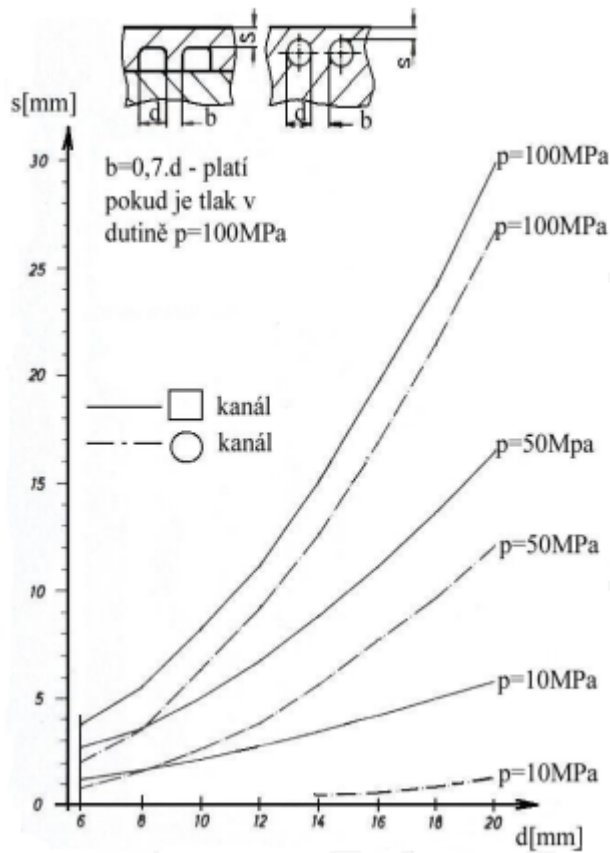


Obr. 28. Sdílení tepla u vstřikovací formy. [16]

3.5.1 Umístění a výroba temperačních kanálů ve vstřikovací formě

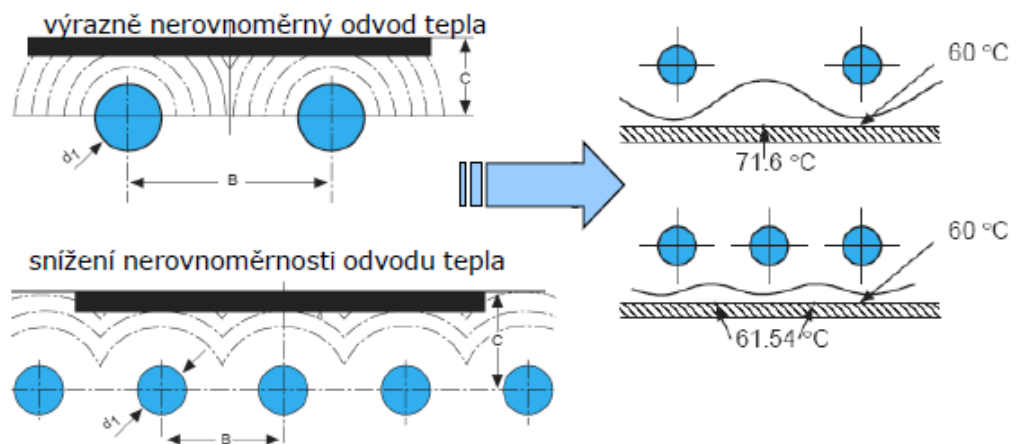
Uspořádání a správné nadimenzování temperačního systému ve vstřikovací formě značně ovlivňuje vlastnosti výrobku (deformaci, kvalitu povrchu), dobu chlazení a tím pádem i délku celého vstřikovacího cyklu. Při navrhování temperačního systému, musíme zohledňovat umístění dalších funkčních prvků jako umístění vyhazovačů nebo posuvných částí formy, z toho důvodu je nutností pojetí temperace již do základní koncepce formy, nikoliv její návrh, až jako poslední. [16]

Kanály umístíme co nejbližše kontaktního tvaru formy, ale musíme brát ohled na dodržení dostatečného odstupu od stěny tvaru (Obr. 24.). [18]



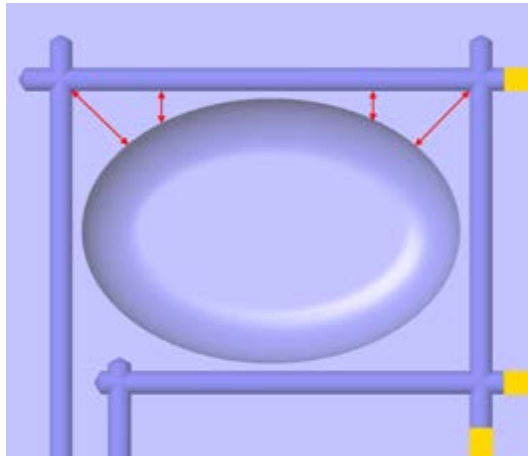
Obr. 29. Vzdálenost umístění temperačních kanálů. [21]

Z důvodu větší účinnosti volíme větší množství menších otvorů, než menší množství větších otvorů (obr. 25.).



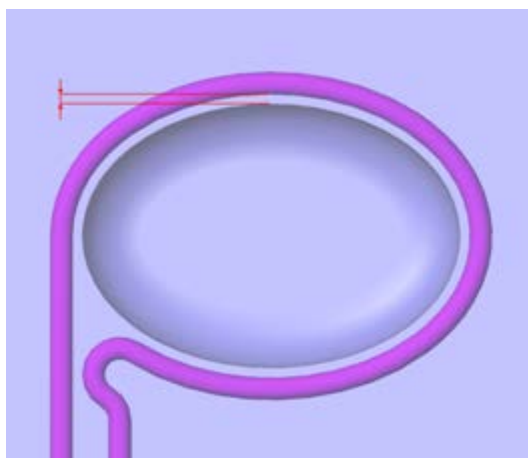
Obr. 30. Vliv umístění temperačních kanálů. [21]

Z konstrukčního hlediska máme k dispozici více možností výroby kanálů. V závislosti na tvaru výlisku jsou nejvíce používané vrtané kanály, které jsou jak technologicky tak i finančně nejméně náročné (Obr. 26.). Vrtané otvory se poté ucpávají kovovými ucpávkami, které slouží nejen k vnějšímu zaslepení otvoru, ale i uvnitř kanálů k usměrnění toku temperačního média. [18]



Obr. 31. temperační kanály vrtané. [22]

Mezi novější, ale zároveň výrazně dražší metody výroby temperačních kanálů patří konformní chlazení. To se vyznačuje tím, že má temperační okruh navržený tak, že v nejkratší možné vzdálenosti od stěny dutiny formy kopíruje její tvar, což snižuje dobu chladicího cyklu až o 50%. K výrobě vložek se využívá nejmodernějšího způsobu výroby tzv. DMLS princip (Obr. 27.), ten spočívá v postupném tavení kovového prášku ve velmi tenkých vrstvách pomocí laserového paprsku v pracovní komoře vyplněné nejčastěji dusíkem (ochrana vůči oxidaci). [21]



Obr. 32. Temperační kanál vyroben technologií DMLS. [22]

3.6 Vyhazovací systém

Úkolem vyhazovacího systému je odstranit z dutiny otevřené formy (tvárníku nebo tvárnice) zatumlý výrobek, v některých případech i vtokový zbytek. Vyhazovací systém je nedílnou součástí vstřikovací formy, který zajišťuje automatický cyklus výroby. Pracovní pohyb systému je složen z dopředného a zpětného pohybu. Při dopředném pohybu dochází k vyhazování výrobků, naopak při zpětném pohybu se vyhazovací systém vrací do původní polohy. [23]

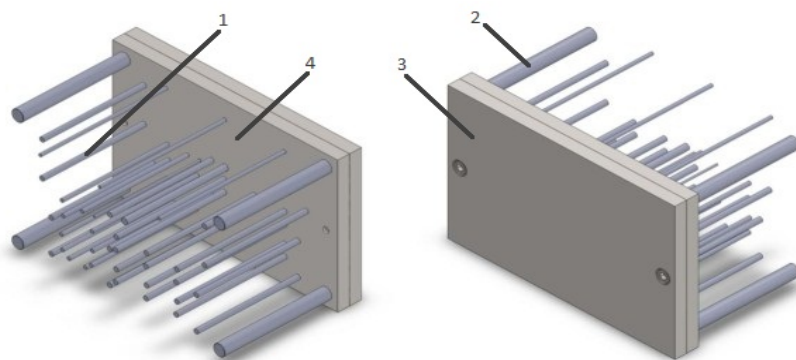
Dopředný pohyb systému zajišťuje: [23]

- axiálně seřiditelný narážecí kolík o doraz vstřikovacího stroje (ve fázi otevírání formy),
- hydraulické, pneumatické nebo elektrické zařízení (plynulejší ovládání vyhazovačů),
- obsluha stroje ručním mechanickým vyhazováním, umístěním přímo na vstřikovací formě (využití zejména u zkušebních nebo jednoduchých forem).

Zpětný pohyb systému zajišťují: [23]

- vratné kolíky,
- pružiny spolu s jiným systémem,
- hydraulická, pneumatická nebo speciální mechanická zařízení.

Pro zajištění kvalitního vyhazování musí být zajištěno rovnoměrné rozložení sil působících na výrobek, dodržení úkosovitosti a hladkého povrchu stěn. Samotné vyhazovače mohou být využity jako součást tvárníků nebo jako jádro pro vytvoření dutiny. [23]



1- Vyhazovací kolík, 2- Vodící čep, 3- Vyhazovací deska- opěrná, 4- Vyhazovací deska- kotevní

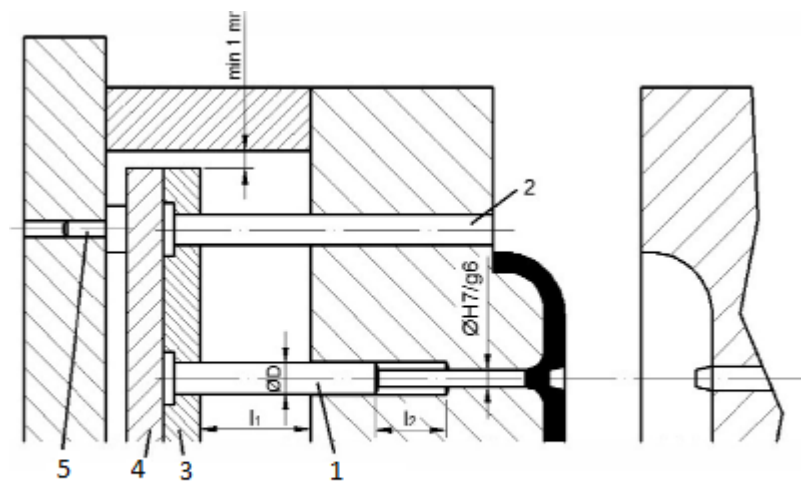
Obr. 33. Sestava s vyhazovači. [18]

3.6.1 Vyhazování vyhazovacími kolíky

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků řadíme mezi nejběžnější a zároveň také nejlevnější způsob vyhazování výrobků. Řadí se mezi základní prvky mechanického vyhazování, obvykle jsou kruhového průřezu, ovšem není to pravidlem. Musí mít dostatečnou tuhost, aby při dopředném pohybu nedošlo k prasknutí. Při navrhování vyhazovačů musíme dbát na jejich správné umístění vzhledem k výrobku, abychom předešli případnému poškození. Kolík by se měl při vyhazování opřít o stěnu nebo žebro výrobku. Obtížnější bývá tvorba temperačních kanálů při větším počtu vyhazovacích kolíků. [23]



Obr. 34. Typy vyhazovacích kolíků.



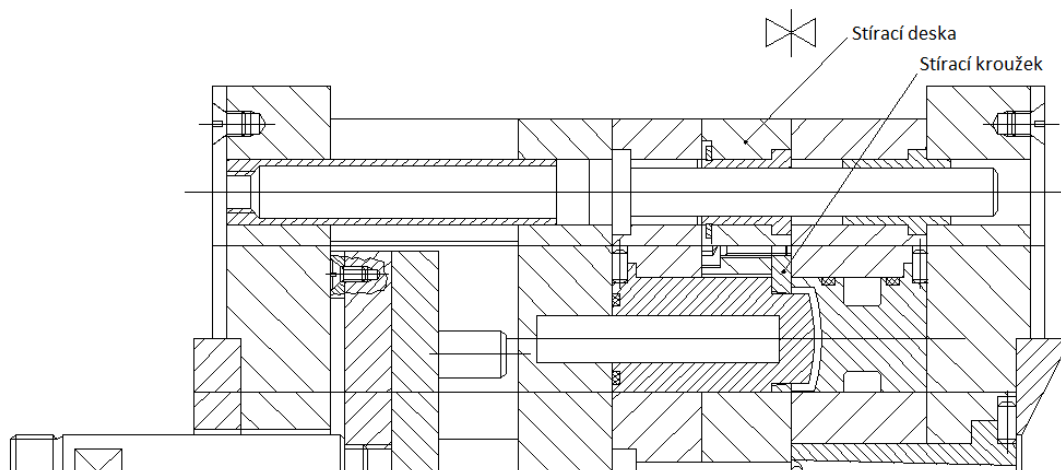
1- Vyhazovací kolík, 2- Vratný kolík, 3- Vyhazovací deska- opěrná
4- Vyhazovací deska- kotevní, 5- Doraz

Obr. 35. Řez formou s vyhazovacími kolíky. [23]

3.6.2 Vyhazování stírací deskou, kroužkem

Stírací deska oproti vyhazovacím kolíkům působí velkou styčnou plochou a nezanechává na výrobku stopy po vyhazování. Vyznačuje se tedy velkou vyhazovací silou při působení minimálních deformací. Její uplatnění je především u tenkostěnných výrobků. Použití je však vhodné pouze v případě rovinného nebo mírně zakřiveného kontaktu stírací desky s výrobkem. Vyšší životnost stíracích desek zajišťuje tvarová vložka (stírací kroužek), která bývá tepelně zpracována. [23]

Stírací deska je pomocí táhel spojena s vyhazovací deskou. Ovládání stírací desky zajišťuje vyhazovací trn, na který působí tlak vyvozen hydraulickým, pneumatickým nebo pružinovým zařízením. Lze působit i tahem například pomocí výklopných háků. [23]



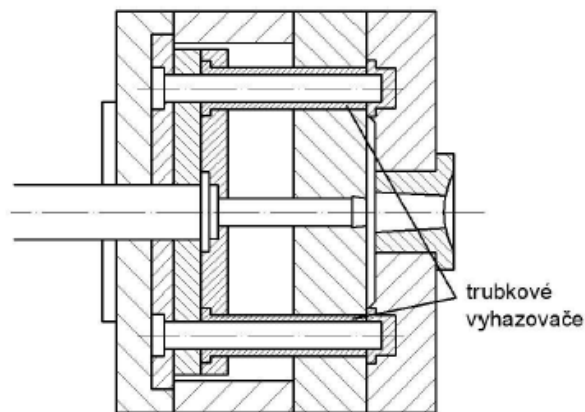
Obr. 36. Řez Formou se stírací deskou.

3.6.3 Vyhazování trubkovým vyhazovačem

Trubkový vyhazovač tvarem připomíná vyhazovací kolík, ovšem funkci plní jako stírací deska, tím pádem na výrobek působí plošně nikoliv bodově jako tomu je u vyhazovacích kolíků. Je tvořen jádrem a trubkou (Obr. 32.), přičemž jádro je pevně ukotveno v opěrné desce a je nepohyblivé, trubka upevněna k vyhazovací desce a je pohyblivá. [23]



Obr. 37. Trubkový vyhazovač.



Obr. 38. Řez formou s trubkovými vyhazovači. [23]

3.6.4 Hydraulické, pneumatické vyhazování

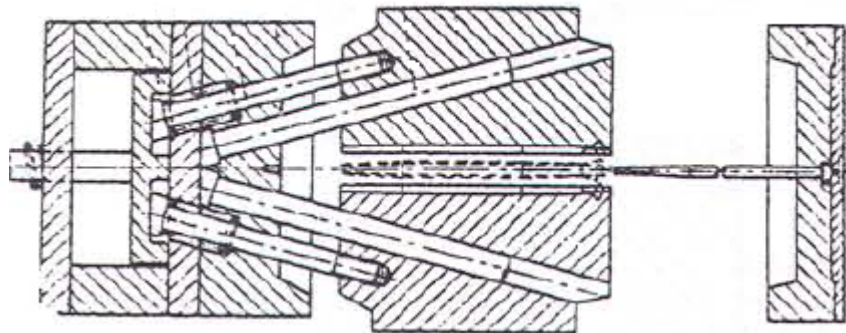
Hydraulický systém bývá prvkem vstřikovacího stroje a používá se výhradně pro ovládání mechanických vyhazovačů, které pak mají velkou flexibilitu a pružnější pohyb. Dalším způsobem (méně používaným) je provedení, kde je hydraulická jednotka pracující jako vyhazovače, součástí vstřikovací formy. Hydraulické vyhazovače jsou obvykle vyráběny jako uzavřená hydraulická jednotka, určená k zabudování do předem připraveného prostoru formy. Jednotka pak slouží k přímému ovládnutí vyhazovačů, stíracích desek atd. [23]

Pneumatické vyhazování se využívá především k vyhazování tenkostěnných výrobků ve tvaru různých nádob, u těch je z důvodu předejít deformaci nutností výrobek zavzdušnit. Použití této technologie je tak omezena jen na některé tvary výrobků. U některých větších výrobků by běžné mechanické vyhazování znamenalo značné prodloužení formy, kvůli zdvihu vyhazovačů. Při vyhazování zavádíme stlačený vzduch mezi výrobek a líc formy. Tím docílíme rovnoměrného oddělení výrobku a tvárníku. K mechanickému kontaktu tak vůbec nedochází, tím pádem na výrobku nevzniká žádná stopa. Vzduch je do dutiny formy přiváděn ventilem (talířovým, jehlovým), nebo pomocí různých kolíků. Otevírání ventilu zajišťuje tlak vzduchu, uzavírání zase pružina. U automatických forem je nutností vybírat vyhazovací systémy tak, aby vyhození výrobku zabezpečovaly dva na sobě nezávislé systémy. Systémy lze libovolně kombinovat (např. mechanicko-pneumatické). Vyhazování bývá ovládáno buď mechanismem formy, nebo vstřikovacím strojem. Pneumatický způsob vyhazování, vyžaduje vysokou přesnost u dílů v oblasti vedení vzduchu. [23]

3.6.5 Odformování šikmými posuvnými čelistmi

Jde o speciální formu mechanického vyhazování. Uložení kolíků není kolmé vzhledem k dělicí rovině, nýbrž jsou uloženy pod různými úhly. Tento způsob odformování, nachází uplatnění u menších a středně velkých výrobků s mělkým vnějším, nebo vnitřním zápichem. [23]

Při odformování výrobku se zápichem, dochází k uvolnění zvětšené, nebo zmenšené části výrobku a to právě šikmým pohybem kolíků. Šikmé kolíky bývají pevně spojeny čelistí. Tento systém může být různě uspořádán a lze kombinovat i s přímým vyhazováním. Při navrhování tohoto systému bývá záměrem docílit funkčně dokonalého a zároveň jednoduše výrobitelného vyhazovacího systému. [23]



Obr. 39. Vyhazování pomocí šikmých kolíků. [23]

3.7 Odvzdušnění formy

Důležitost odvzdušnění obvykle vyplyne až při zkušebním provozu zhotovené vstřikovací formy, kdy může odvzdušnění ovlivňovat jak vzhled výrobku, tak jeho mechanické vlastnosti. Obtížnost zhotovení odvzdušňovacích otvorů závisí na tvaru dutiny, uspořádání atd. [23]

Před zahájením vstřikovacího cyklu je dutina formy vyplněna vzduchem. Proto je nutností zajistit otvory pro únik vzduchu, popřípadě zplodin z taveniny. Účinnost odvzdušnění se odvíjí od rychlosti plnění. Rychlost plnění výrazně ovlivňuje optimální vlastnosti výrobku. Při rychlém plnění dochází k termické homogenitě vstřikované dávky, to způsobuje částečné vyrovnání orientace (anizotropie) v tavenině. To nese velké využití především u tenkostěnných výrobků. [23]

Mezi nejčastější jevy rychlého plnění patří stlačený vzduch, který je působením velkého tlaku ohříván a zapříčiňuje spálené místa na výrobku (tzv. Dieselův efekt). Proto je důležité, aby bylo odvzdušnění dostatečně účinné. Naopak při pomalém plnění je ztuhlý polymer strháván do proudu taveniny. Tyto částičky ztuhlého polymeru poté působí jako heterogenní vměstky a mají nepříznivý vliv na vlastnosti výrobku. [23]

V případě nižších teplot a vyšší viskozitě taveniny v kombinaci s nedostatečným tlakem a rychlostí plnění, se u výstřiků s tenkými stěnami koncentruje vzduch na protější stranu od vtoku. Není-li umožněno vzduchu ujít vlivem protitlaku, tavenina nevyplní celou dutinu formy. V určitých stavech technologických parametrů, u silnějších stěn výrobku, může vzduch, který nemá prostor z dutiny uniknout, vnikat do taveniny a tvořit bubliny.[23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle mé diplomové práce byly tyto:

- v první řadě vypracovat literární studii pro téma konstrukce vstřikovací formy dle dané literatury,
- po té zkonstruovat 3D model vstřikovaného dílu a navrhnout vstřikovací formu vhodnou pro výrobu daného plastového dílu.
- třetím cílem je nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.
- posledním cílem je provedení analýzy procesu vstřikování pomocí programu Autodesk Moldflow.

V teoretické části diplomové práce se zabývám literární studií s problematikou vstřikování polymerů, druhů polymerů, vadách při vstřikování, konstrukčních zásad při navrhování vstřikovacích forem.

V praktické části diplomové práce byla mým cílem konstrukce 3D modelu, ke které jsem si zvolil program CATIA V5/R19. Po té bylo provedeno navržení a sestavení 3D modelu vstřikovací formy pro ten daný výrobek. Dálším z cílů bylo z tohoto modelu vstřikovací formy vytvořit 2D výkres sestavené formy s opozicovanými díly a kusovníkem. Jako poslední cíl bylo provedení analýzy procesu vstřikování v programu Autodesk Moldflow.

5 MODEL A MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

5.1 Model výrobku

Vstřikovaný výrobek je součástí motorového chladiče z osobního automobilu. Byl vymodelován v programu CATIA V5/R19 a to třikrát, s toho dvakrát shodně, ale pouze s jinými rozměry z důvodu započtení smrštění materiálu 0,8%. Třetí verze modelu byla zjednodušena díky odstranění malých zaoblení a tvarů, z důvodu usnadnění vytvoření analýzy procesu vstřikování.



Obr. 40. Model vstřikovaného dílu.



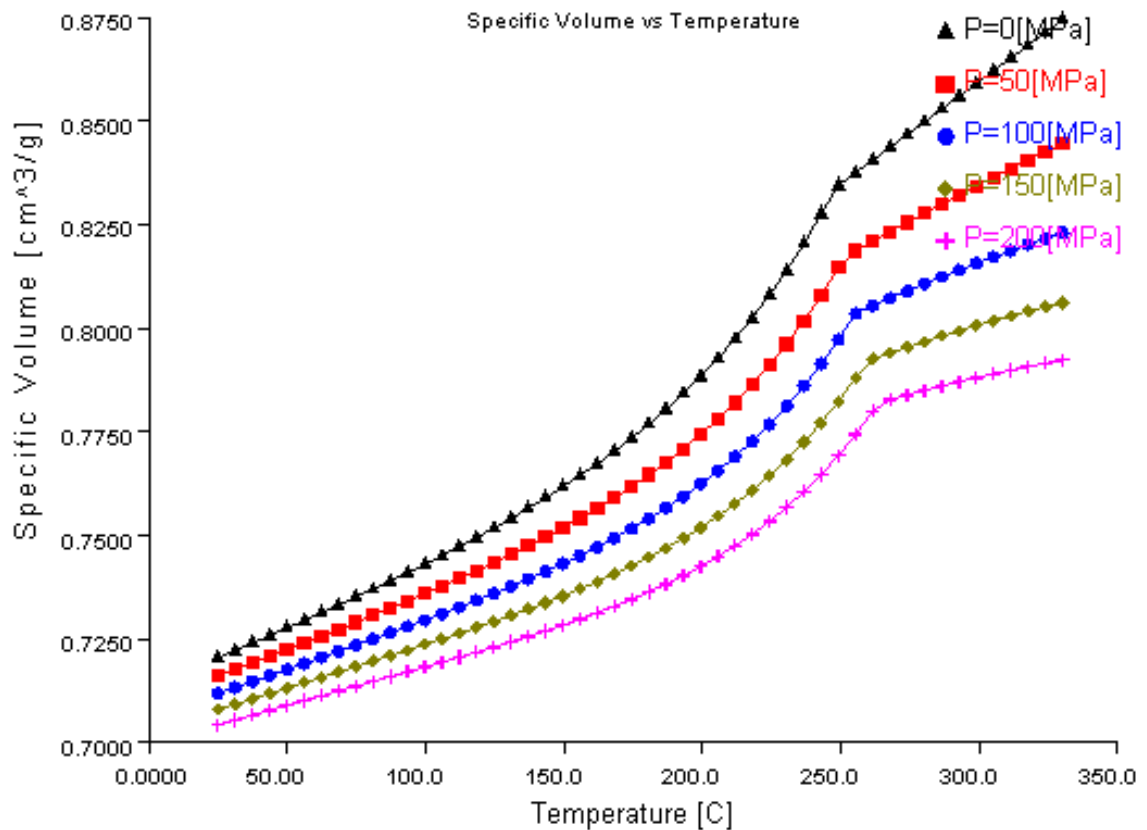
Obr. 41. Zjednodušený model dílu pro vytvoření analýzy.

5.2 Materiál výrobku

Vstřikovaný materiál byl zvolen polyamid typu 66 s přísadou 30% skelných vláken (PA66/GF30). Obchodní název materiálu PA66-G30 AHBK003 : Kingfa Sci & Tech Co Ltd. Jedná se o semikrystalický termoplast, který se vyznačuje vysokou odolností vůči tlaku, vysokou tuhostí a navíc je vysoce rozměrově stabilní. V porovnání s PA6 nám PA66 poskytuje vyšší odolnost vůči opotřebení a nižší nasákavost ve vodě a vlhkém prostředí, což je v případě zvoleného výrobku nezbytné. Při zohlednění vysoké rozměrové stability je zvolený materiál vyhovující pro dané podmínky, kterým bude výrobek v provozu vystaven.

Tab. 6. Doporučené procesní podmínky materiálu PA66-G30 Kingfa.

PA66-G30 Kingfa	[°C]
Teplota povrchu formy	75
Teplota taveniny	295
Doporučená teplota formy	
Minimální	50
Maximální	100
Doporučená teplota taveniny	
Minimální	260
Maximální	330
Nejvyšší dovolená teplota taveniny	370
Vyhazovací teplota	218



Obr. 42. pvT diagram PA66-G30 Kingfa z programu Moldflow.

6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Při volbě vstřikovacího stroje bylo bráno v potaz několik základních údajů:

- velikost plastikační jednotky (objem jednotky musí být větší než objem výrobku a vtokového systému, a to s cca 10% rezervou),
- velikost uzavírací síly (Potřebná uzavírací síla musí být maximálně 80% uzavírací síly stroje, zbylých 20% je koeficient bezpečnosti),
- vzdálenost vodících sloupků. (Odvíjí se od velikosti vstřikovací formy).

Vstřikovací stroj byl vybrán z nabídky programu Autodesk Moldflow. Jedná se o stroj Arburg Allrounder 1200 T s těmito parametry:

Tab. 7. Porovnání parametrů vstřikovacího stroje s analýzou.

	Vstřikovací stroj	Autodesk Moldflow	
Objem výstřiku	170	126,9	[cm ³]
Uzavírací síla	130	26,2	[t]
Max. rozměr formy	1200/1200	646/488	[mm]



Obr. 43. Ilustrační foto vstřikovacího stroje Arburg. [7]

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Po zohlednění velikosti dílu a složitosti odformování je forma pouze jednonásobná. Forma se skládá z pravé vstřikovací strany, která je nepohyblivá. Dále z levé pohyblivé vyhazovací strany a vyhazovacího systému. Jako vtokový systém byla zvolena horká vtoková tryska. Odformování výrobku zajišťuje pětice vyhazovačů a čtyři šikmé kolíky s čelistmi.



Obr. 44. Vstřikovací forma.

7.1 Použitý software

7.1.1 DS CATIA V5/R19

Je systém, který je schopen pokrýt kompletní životní cyklus výrobku (tzv. PLM), tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, různé analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu.

Systém se vyznačuje značnou úrovní průmyslové univerzálnosti, tím pádem může být nasazen do zcela rozdílných oblastí strojírenství. Široké spektrum modulů, kterými CATIA V5 disponuje, umožňuje vytvářet softwarové řešení sladěné s konkrétními podmínkami a požadavky uživatelů. Může to být např. automobilový či letecký průmysl, výroba spotřebního zboží a stejně tak i výroba obráběcích strojů. Software CATIA je vyvíjen ve třech různých kvalitativních variantách (platformách), které jsou určeny pro uživatele s různou úrovní využívání CAD/CAM/CAE technologií. [25]

7.1.2 HASCO DAKO Modul R1-2015

Jde o německou firmu Hasco GmbH ve spolupráci s firmou Dako, která se zabývá výrobou normálíí. Software obsahuje elektronický katalog výrobků, které společnost vyrábí. Nesmírnou výhodou daného programu je možnost exportovat geometrii daných dílů do formátů, které jsou kompatibilní s většinou programů sloužících ke konstruování (Autodesk Inventor, Autodesk AutoCad, CATIA V5/R19, SolidWorks, NX).

7.1.3 Autodesk Simulation Moldflow Insight 2014

Software Autodesk Simulation Moldflow Insight slouží k digitální prototypizaci. Je nástrojem pro simulování vstřikovacího procesu na digitálním prototypu. Program Autodesk Moldflow Insight poskytuje možnost hloubkového řešení, vyhodnocování a optimalizaci plastových dílů i vstřikovacích forem a tím napomáhá ke studiu vstřikovacích procesů, které se využívají v současné praxi. Program je využíván předními světovými výrobci v automobilovém průmyslu, u spotřební elektroniky, zdravotního materiálu, především z důvodu šetření nákladů. [26]

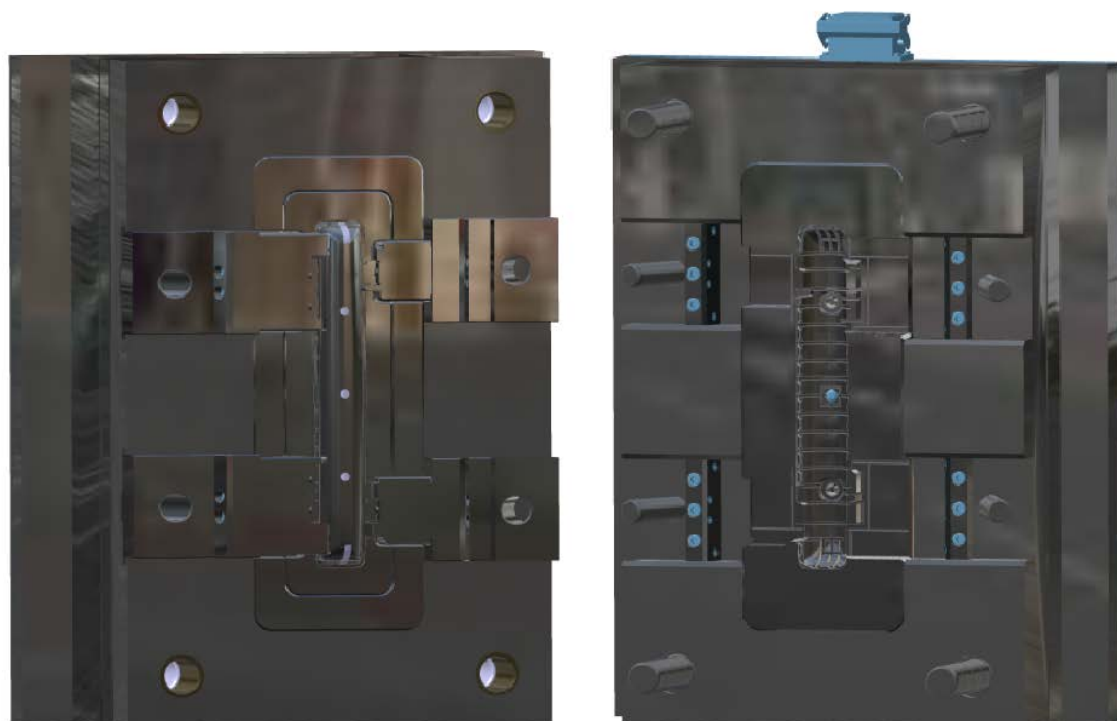
Cílem Autodesku v této produktové řadě je poskytnutí široké škály nástrojů sloužících k simulaci vstřikovacího procesu. To nám umožní vytvořit co nejpřesnější digitální prototyp a přinést tak na trh lepší výrobek s vynaložením nižších nákladů. [26]

7.2 Rám vstřikovací formy

Při volení rozměrů jednotlivých desek vstřikovací formy byl brán ohled především na velikost samotného výrobku a způsob odformování výstřiku. Všechny desky vstřikovací formy byly vycentrovány pomocí vodících pouzder a čepů. Jednotlivé strany vstřikovací formy jsou spojeny pomocí dlouhých šroubů. K přesnému usazení vstřikovací formy na stroj slouží středící kroužek, jímž je opatřena jak levá vstřikovací strana, tak i pravá strana vyhazovací. Z horní části vstřikovací formy bylo připevněno úchytné zařízení sloužící ke snazší manipulaci s formou. To je důležité jak při uskladňování, tak především při nasazování formy na vstřikovací stroj.

Tab. 8. Celkové rozměry vstřikovací formy.

Celkové rozměry vstřikovací formy	
Osa	[mm]
X	488
Y	646
Z	488

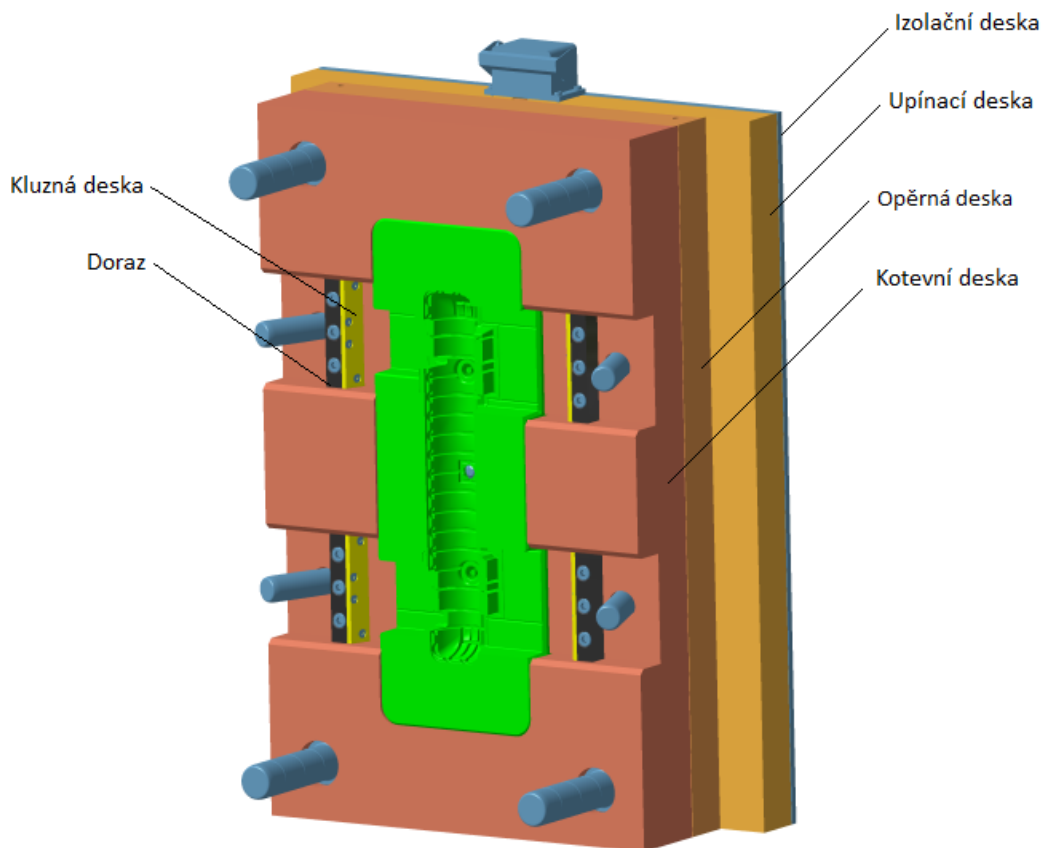


Obr. 45. Levá a pravá strana vstřikovací formy.

7.3 Pravá část formy

Vstřikovací (pravou) část formy tvoří čtyři desky: izolační deska, upínací deska, opěrná deska, kotevní deska.

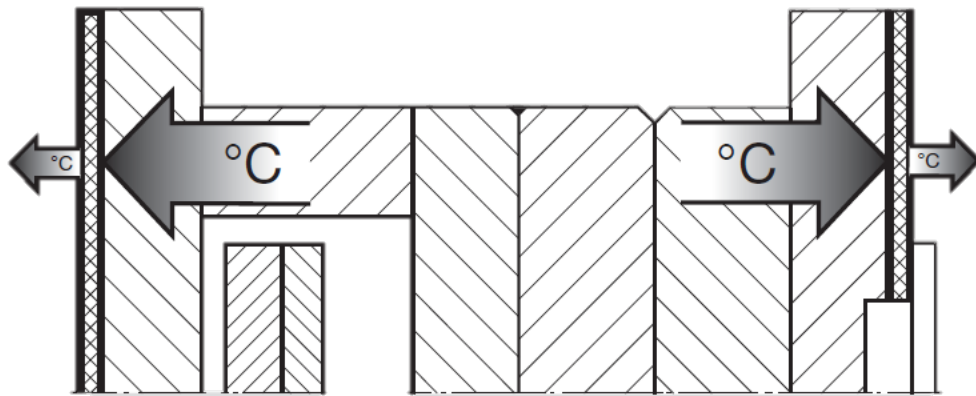
Dále ji tvoří čtveřice vodících čepů a šikmých kolíků, tvarová vložka, horká tryska se zásuvkou a dorazy posuvových kostek.



Obr. 46. Vstřikovací (pravá) strana formy.

7.3.1 Izolační deska

Izolační deska slouží k udržení teploty formy, a zároveň brání přestupu tepla z formy na vstřikovací stroj. Deska je vyrobena ze skelných vláken, má nízkou tepelnou vodivost, je rozměrově stálá a odolná vůči vlhkosti. Její příčná tepelná vodivost je $0,21 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ a snáší teploty kolem 230°C . [27]



Obr. 47. Funkce izolační desky.[27]

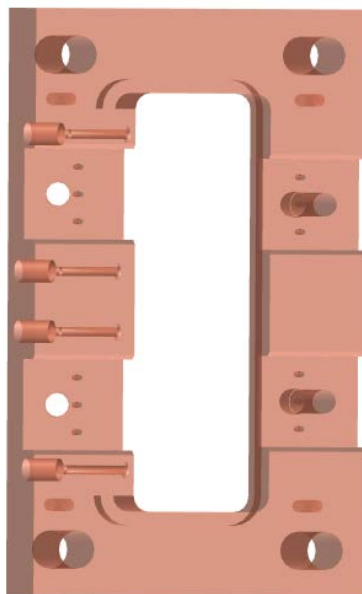
7.3.2 Upínací deska

Upínací deska slouží k upnutí vodících elementů, dále spolu s opěrnou deskou slouží jako uložení pro horkou trysku. Pomocí šroubů spojuje všechny desky z pravé strany formy v jeden celek. Materiál upínací desky i mezidesky je ocel 11600.

7.3.3 Kotevní deska

Kotevní deska pravé strany formy slouží k:

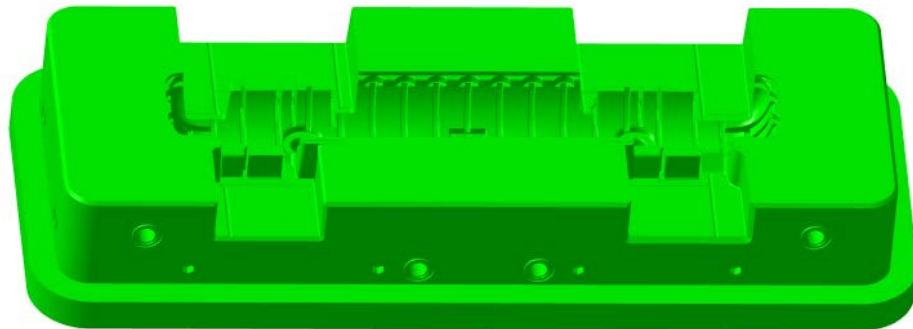
- uložení tvarové vložky (tvárnice),
- uložení šikmých kolíků,
- vedení temperačního média do tvarové vložky.



Obr. 48. Kotevní deska vstřikovací části formy.

7.3.4 Tvarová vložka (tvárnice)

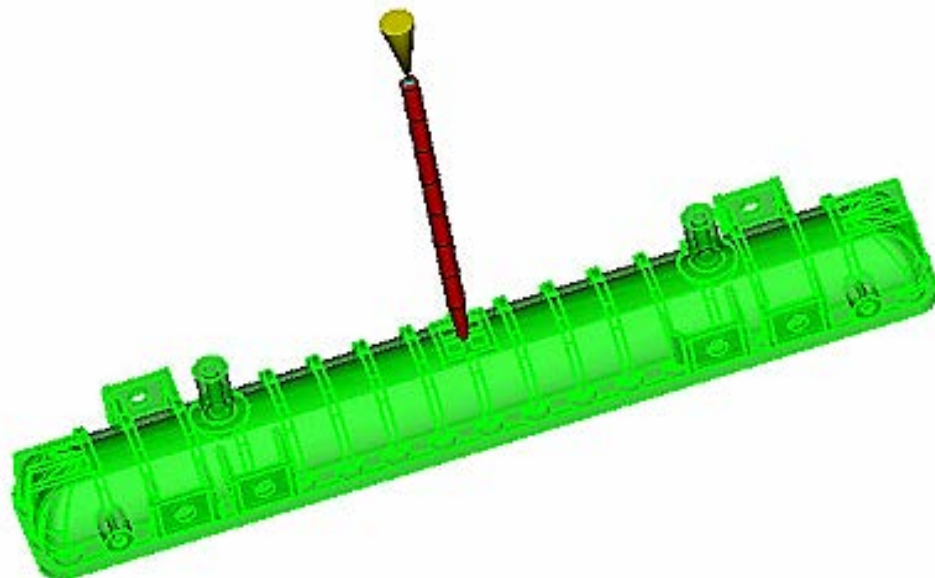
Ve tvarové vložce jsou vyfrézované kapsy kvůli pohybu posuvových kostek, aby mohlo dojít k odformování výstřiku. Vložka je opatřena osazením kvůli upevnění v kotevní desce. Dále jsou v ní vrtány kanály o průměru 10mm pro vedení temperačního média. Vložka je vyrobena z materiálu Cr-Mo-Si-V nástrojová ocel 19552.



Obr. 49. Tvarová vložka vstříkovací části formy.

7.3.5 Horká tryska

Z důvodu, že jde o jednonásobnou formu, zde vtokový systém není nijak složitý. Polymer se zde vstříkuje pomocí horké trysky o průměru 7mm. Vtok jsme umístili dle původního vzorového výrobku doprostřed spodní části.

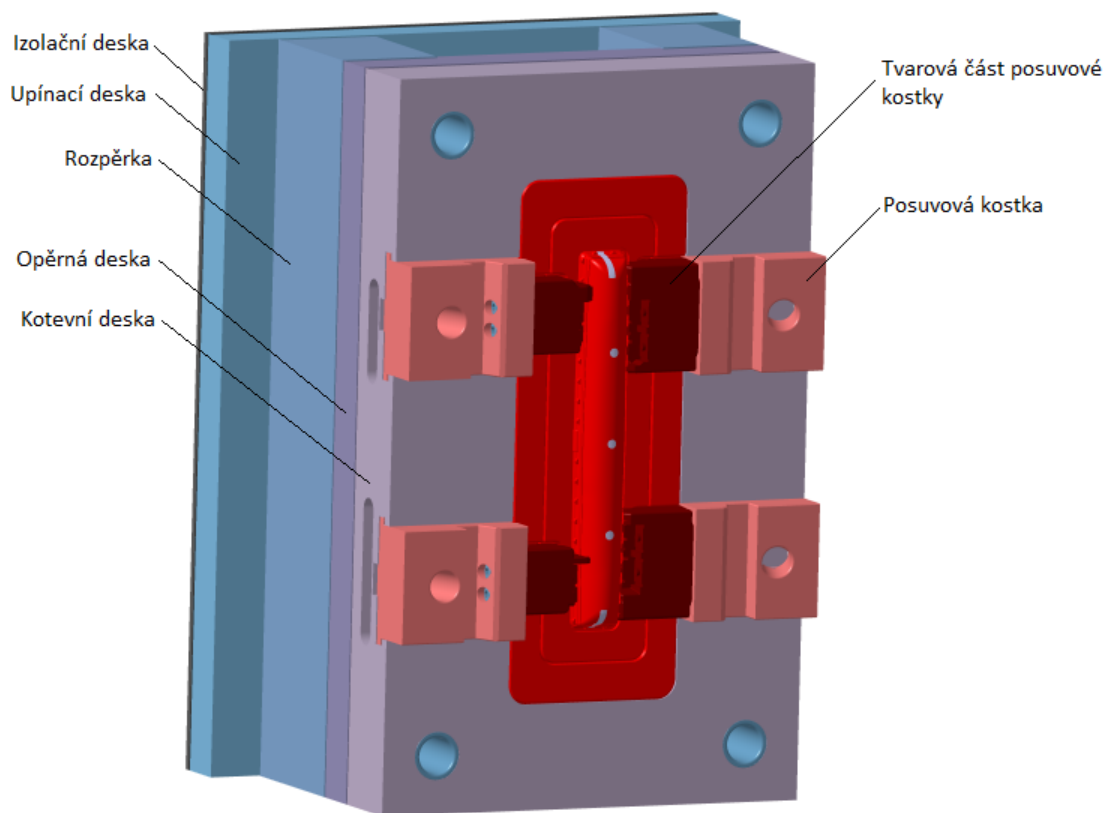


Obr. 50. Vtokový systém.

7.4 Levá část formy

Vyhazovací (levá) část formy je tvořena také ze čtyř desek: izolační desky, upínací desky, opěrné desky a kotevní desky. Součástí levé části je také dvojice rozpěrek kvůli vytvoření prostoru pro vyhazovací systém.

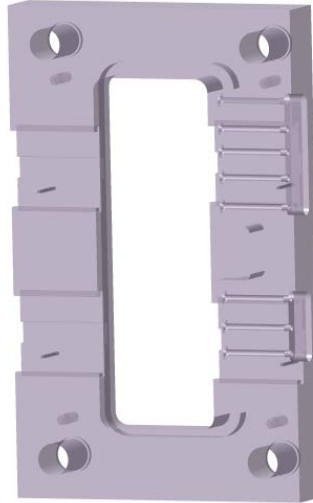
Další součásti jsou tvarová vložka, vodící pouzdra, vodící trubky, vodící čepy vyhazovacího systému, posuvové kostky, pojistné kuličky s pružinkou pro zajištění polohy posuvové kostky a šrouby ke spojení celé vyhazovací části do jednoho celku. Materiály desek se shodují s materiály z pravé vstříkovací části formy.



Obr. 51. Vyhazovací (levá) strana vstříkovací formy.

7.4.1 Kotevní deska

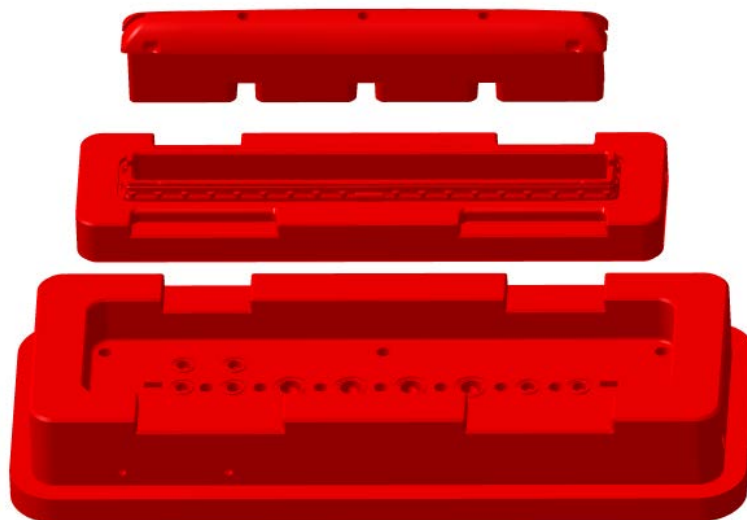
Kotevní deska slouží stejně jako ve vstřikovací části k uložení tvarové vložky (tvárníku), vedení temperačního média do tvarové vložky a k vedení posuvových kostek. Jsou zde ještě navíc vybrání kvůli vytvoření prostoru pro zajíždění šikmých kolíků.



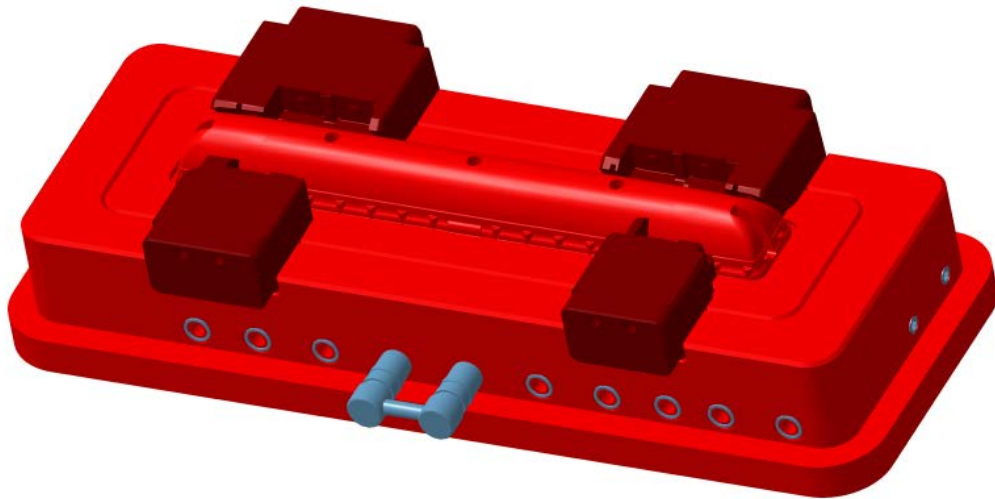
Obr. 52. Kotevní deska vyhazovací části.

7.4.2 Tvarová vložka (tvárník)

Tvárník je stejně jako tvárnice ukotven v kotevní desce pomocí osazení kolem jeho bvodu. Z důvodu účinnější teemperace je vložka složena ze tří dílů a následně spojena pomocí šroubů. Kanály pro temperační médium jsou vrtány a mají průměr 8 mm. Materiál je totožný jako u tvárnice.



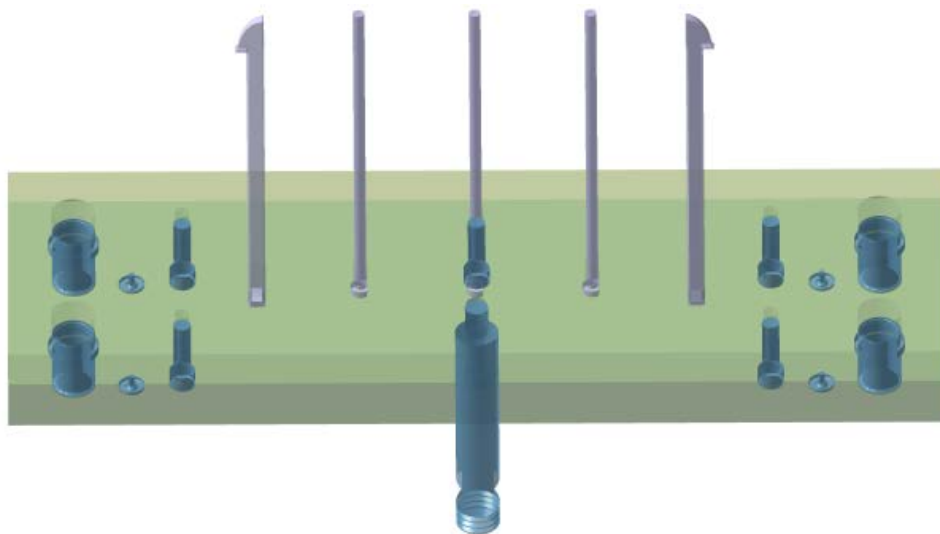
Obr. 53. Rozložená tvarová vložka vyhazovací části formy.



Obr. 54. Složená tvarová vložka s tvarovými posuvovými kostkami.

7.5 Vyhazovací systém

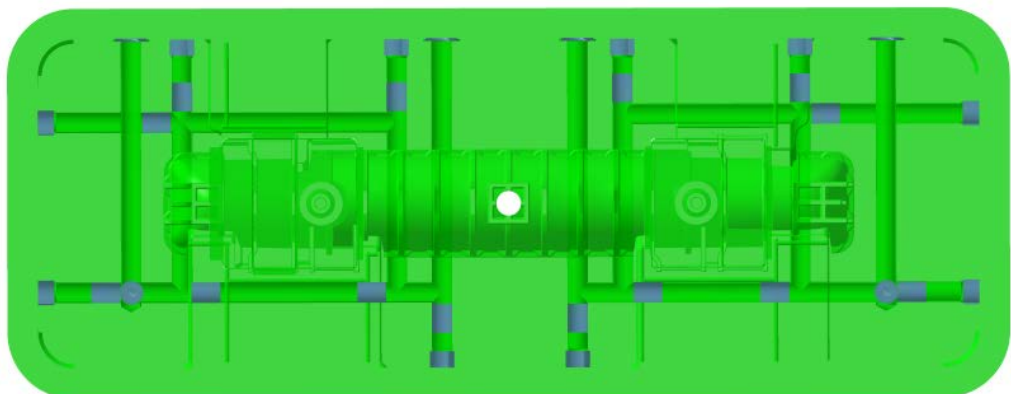
Vyhazovací systém tvoří tři válcové vyhazovače a dva speciální tvarové vyhazovače, které kopírují tvar tvarové vložky (tvárníku). Tyto jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce a opřeny o vyhazovací desku opěrnou, ta je spojena s kotevní vyhazovací deskou pomocí čtveřice šroubů. Tvarové vyhazovače jsou z důvodu jejich tvaru ještě zajištěny perem. Ze zadní části opěrné desky jsou čtyři distanční podložky. Ovládání vyhazovacího systému zajišťuje táhlo ukotvené v opěrné vyhazovací desce, to je ovládáno pomocí vstřikovacího stroje.



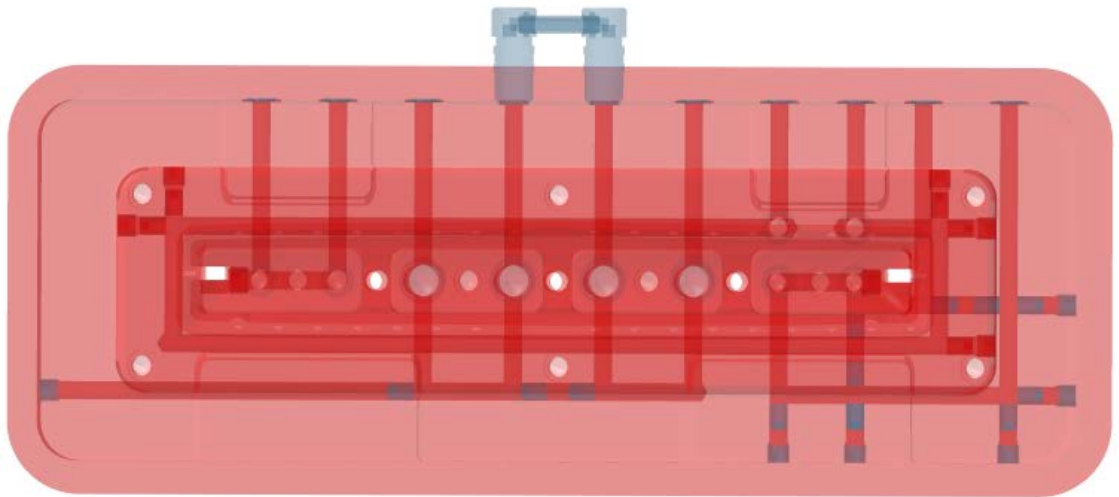
Obr. 55. Vyhazovací systém.

7.6 Temperace vstřikovací formy

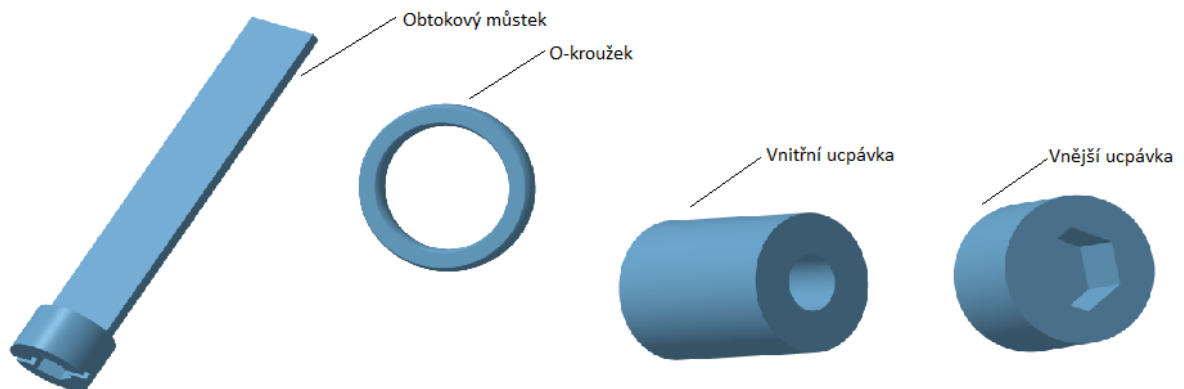
Vstřikovací proces je z velké části ovlivňován rychlostí temperace. Rychlost temperace je ovlivňována její kvalitou. Kvalita temperace ovlivňuje zase kvalitu výrobku. Temperaci formy zajišťuje šest na sobě nezávislých okruhů. V pravé vstřikovací části formy jsou vrtány dva okruhy o průměru 10mm (Obr. 56.). Levou vyhazovací část formy temperuje čtveřice okruhů. Průměr kanálů má průměru 8mm. Jeden z okruhů je navíc opatřen čtyřmi obtokovými můstky o průměru 14mm, kvůli větší účinnosti temperování (Obr. 57.). Z důvodu zamezení úniku temperačního média v místech přechodu temperačních kanálů z tvárnice a tvárníku do ostatních desek jsou v místech spoje těsnicí O-kroužky. K usměrnění toku chladícího média jsou kanály vybaveny vnitřními roztahovacími ucpávkami, vnější ucpávky slouží k zamezení přístupu nečistot do kanálů. Všechny vstupy a výstupy jsou z bezpečnostních důvodů vyvedeny z opačné strany vzhledem k postoji obsluhy.



Obr. 56. Temperační okruhy vstřikovací části formy.



Obr. 57. Temperační okruhy vyhazovací části formy.

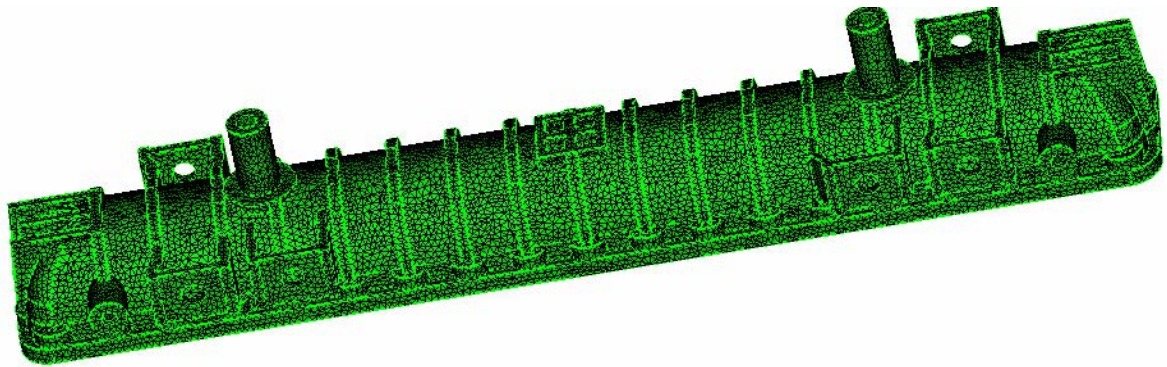


Obr. 58. Seznam použitých komponent v temperaci.

7.7 Odvzdušnění vstřikovací formy

V důsledku stlačení vzduchu v dutině vstřikovací formy dochází ke změně objemu vzduchu a tím pádem k jeho ohřevu, to nám může negativně ovlivňovat kvalitu výrobku. Důsledkem může být degradace materiálu (vznik Dieslova efektu). Odvzdušnění dutiny formy zajišťuje dělicí rovina, vůle mezi jednotlivými prvky jako vyhazovače, posuvové kostky. V případě, že jsou tato opatření nedostatečná, musíme v náležitých místech dutiny vytvořit odvzdušňovací kanálky.

8 ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU



Obr. 59. Vysítovaný model sítě Dualdomain v programu Moldflow.

Po vložení zjednodušeného modelu do programu Moldflow, byla vytvořena trojúhelníková síť. Trojúhelníky měly délku strany 2 mm, po vygenerování sítě jsme mohly přejít ke statistice sítě, ta slouží ke zjištění kvality sítě. Ta totiž ovlivňuje výsledky analýzy.

Z toho důvodu musíme dbát na to, aby model neobsahoval žádné volné hrany (free edges), nepropojené hrany (non-manifold edges), neorientované elementy (non-oriented elements), promítající elementy (element intersections) a překrývající se elementy (fully overlapping elements).

U hodnoty Aspect Ratio (vyjádření poměru nejdelší strany trojúhelníku vůči výšce trojúhelníku) platí, že pro kvalitní analýzu by neměla být vyšší než 15, z toho plyne, že po prvním vygenerování sítě (Obr. 58.) je hodnota Aspect Ratio 29,6 musíme tedy přejít k opravě sítě. V podstatě jde o to změnit štíhlé vysoké trojúhelníky v síti na trojúhelníky širší a nižší. K tomu jsme použili především příkazy k posuvu jednotlivých bodů, tzv. node (Merge Nodes) a příkaz k vložení bodu do středu úsečky (Insert Nodes). Po úpravě sítě bylo dosaženo hodnoty Aspect Ratio 12,7 (Obr. 59.).

Hodnota Match percentage, se odvíjí od složitosti modelu, obecně platí, že by neměla dosahovat nižší hodnoty než 90%, v mém případě jde o hodnotu 89,8%, což je vzhledem ke složitosti mého modelu v pořádku.

Triangles			
Entity counts:			
Triangles:	65332		
Connected Nodes:	32644		
Connectivity regions:	1		
Area:			
Surface Area:	860.43	cm ²	
Volume (Mold blocks and cooling channels are not included):			
Triangle:	122.077	cm ³	
Aspect Ratio:			
	Max	Average	Min
	29.6	1.81	1.16
Edge details:			
Free edges			0
Manifold edges			97998
Non-manifold edges			0
Orientation details:			
Elements not oriented			0
Intersection details:			
Element intersections			0
Fully overlapping elements			0
Match percentage:			
Match percentage			89.8%
Reciprocal percentage			89.8%

Obr. 60. Mesh statistic před úpravou sítě.

Triangles			
Entity counts:			
Triangles:	65818		
Connected Nodes:	32889		
Connectivity regions:	2		
Area:			
Surface Area:	16146.7	cm ²	
Volume (Mold blocks and cooling channels are not included):			
Triangle:	122.076	cm ³	
Aspect Ratio:			
	Max	Average	Min
	12.7	1.80	1.16
Edge details:			
Free edges			0
Manifold edges			98727
Non-manifold edges			0
Orientation details:			
Elements not oriented			0
Intersection details:			
Element intersections			0
Fully overlapping elements			0
Match percentage:			
Match percentage			89.8%
Reciprocal percentage			89.8%

Obr. 61. Mesh statistic po úpravě sítě.

8.1 Procesní podmínky

Zvolení správných procesních podmínek je velmi důležité, z velké části jsou ovlivněny dle druhu zvoleného vstřikovaného polymeru. Při vhodně zvolených procesních podmínkách můžeme ovlivňovat dobu vstřikování (vliv na náklady výroby), nebo naopak předcházet některým vadám při vstřikování (nedotečeným místům, spáleným místům, obecné deformaci výrobku)

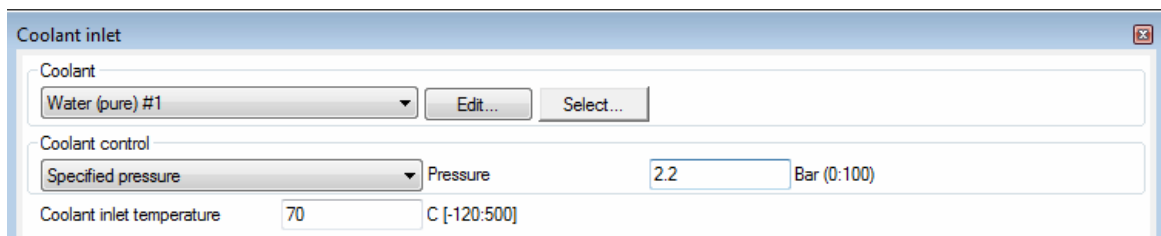
Tab. 9. Procesní podmínky Autodesk Moldflow.

Procesní podmínky Autodesk Moldflow	
Teplota taveniny	295°C
Teplota formy	75°C
Vyhazovací teplota	218°C
Vstřikovací čas	6s
Čas otevření formy	7s
Přepnutí dotlaku po zaplnění dutiny z	99%

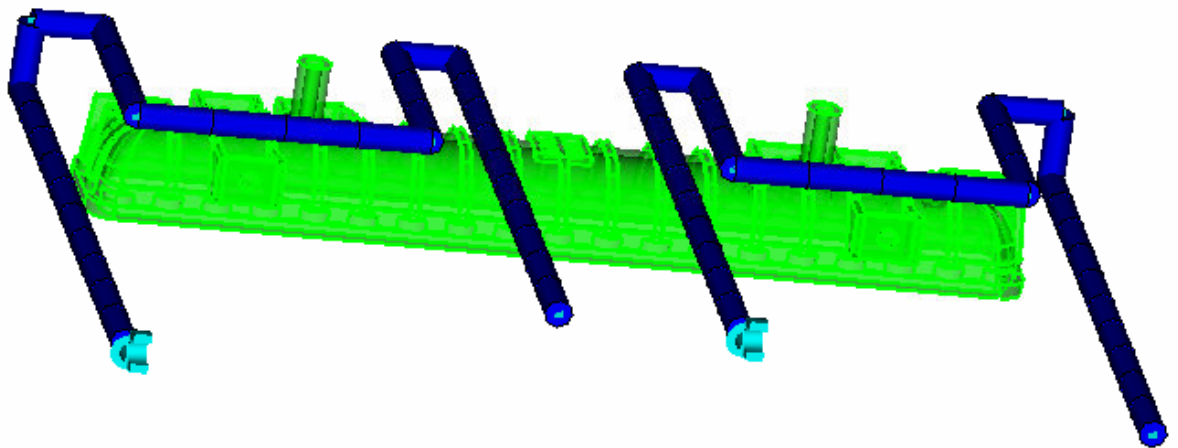
8.2 Temperace

8.2.1 Temperace vstřikovací části formy

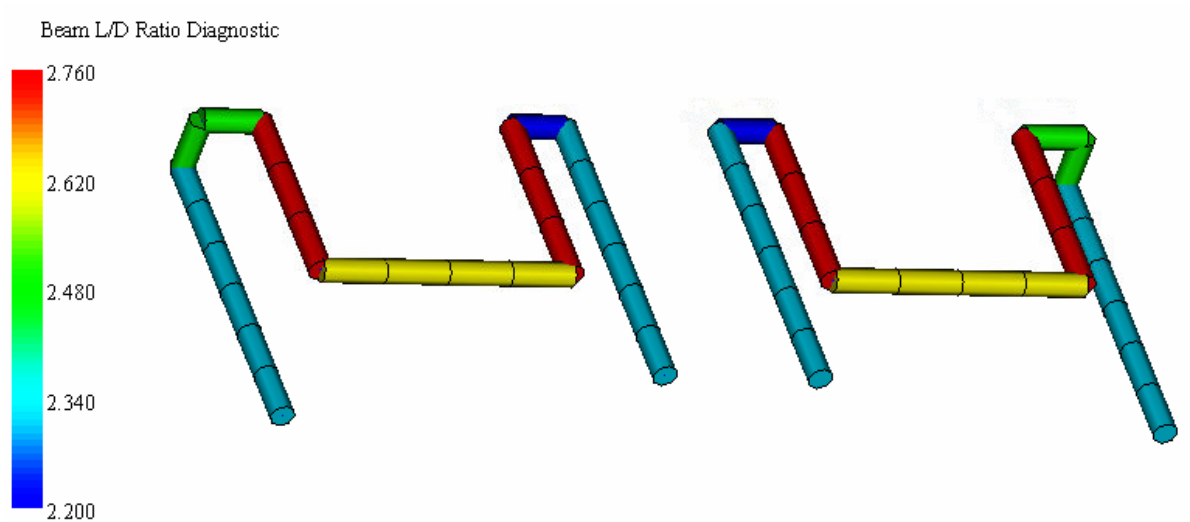
Pro temperování vstřikovací části byla jako temperační médium zvolena voda. Průměr kanálů je 10 mm. Vstupní teplota média byla 70°C. Tlak byl zvolen 2.2 Baru. Po nastavení parametrů jednotlivých trajektorií následuje jejich vysíťování, po té si musíme pomocí Beam L/D Ratio ověřit, zda je správný poměr délky a průměru jednotlivých Beam elementů, ze kterých se kanály skládají. Jako ideální hodnoty se uvádí čísla cca 2-3. V případě, že jsou Beam elementy mimo tyto hodnoty, musí se jednotlivě přesíťovat s jiným poměrem L/D.



Obr. 62. Nastavení temperačního okruhu vstřikovací části formy Moldflow.



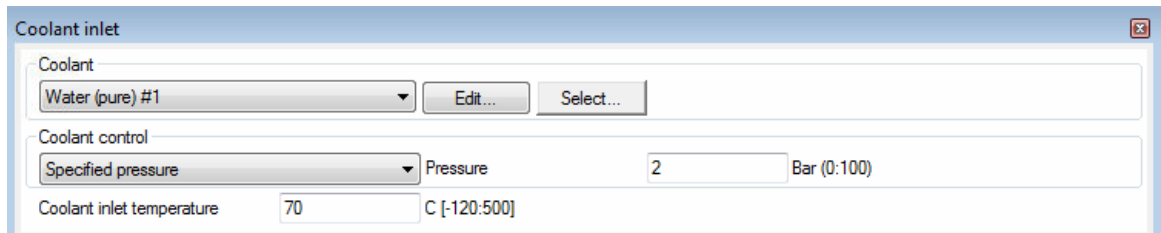
Obr. 63. Temperační okruhy vstřikovací části.



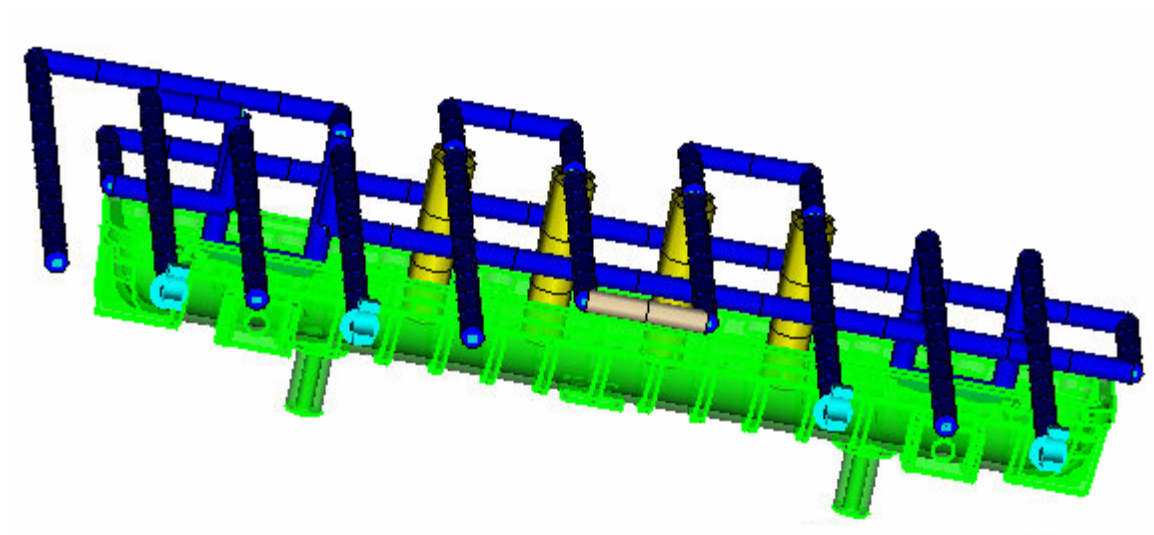
Obr. 64. Beam L/D Ratio u vstřikovacího okruhu.

8.2.2 Temperace vyhazovací části formy

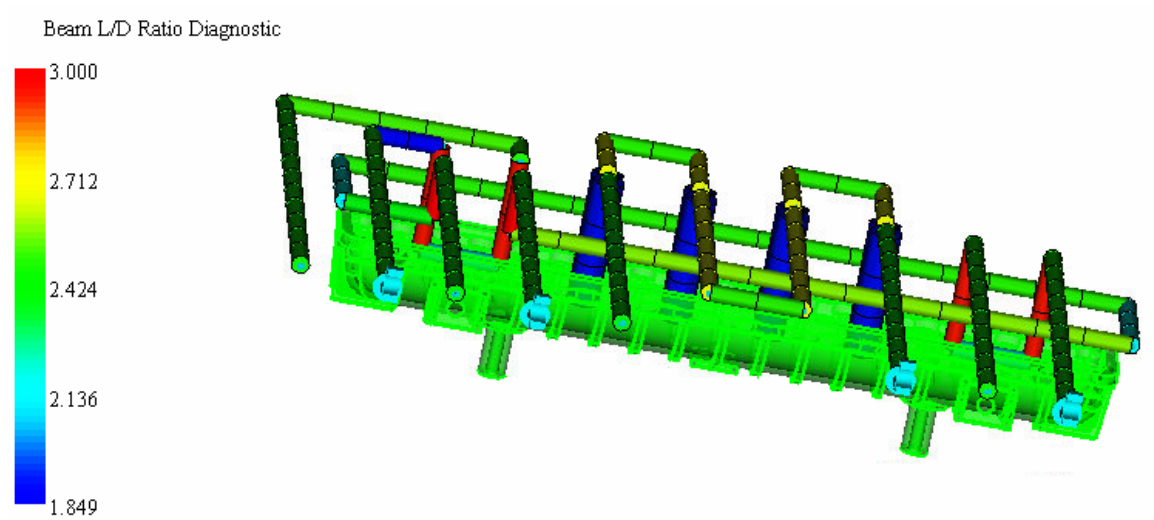
Temperačním médiem je stejně jako u protější části voda o vstupní teplotě 70°C a tlaku 2 Barů. Průměry kanálů jsou 8 mm a průměr obtokových můstků je 14 mm.



Obr. 65. Nastavení temperačního okruhu vyhazovací části formy Moldflow.



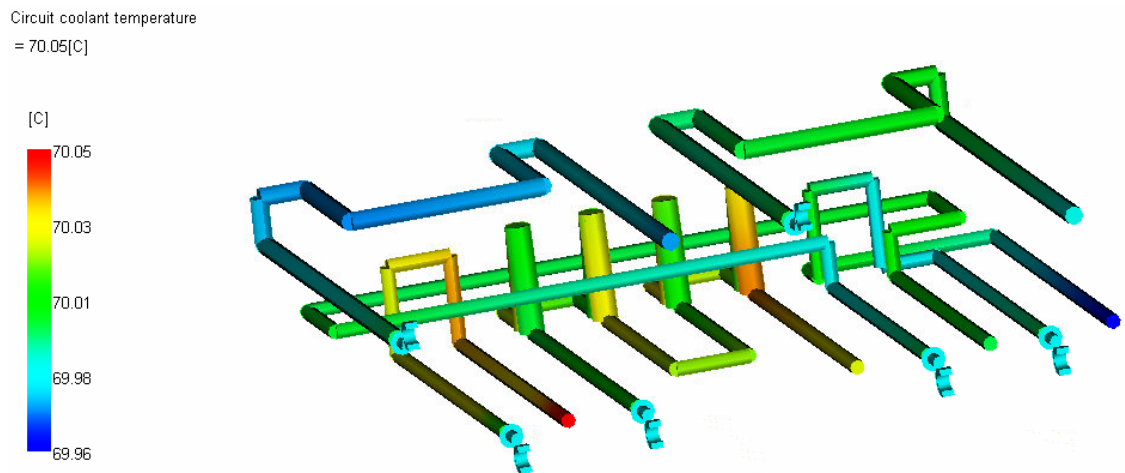
Obr. 66. Temperační okruhy vyhazovací části.



Obr. 67. Beam L/D Ratio u vyhazovacího okruhu.

8.3 Teplota temperačního média v temperačním okruhu formy

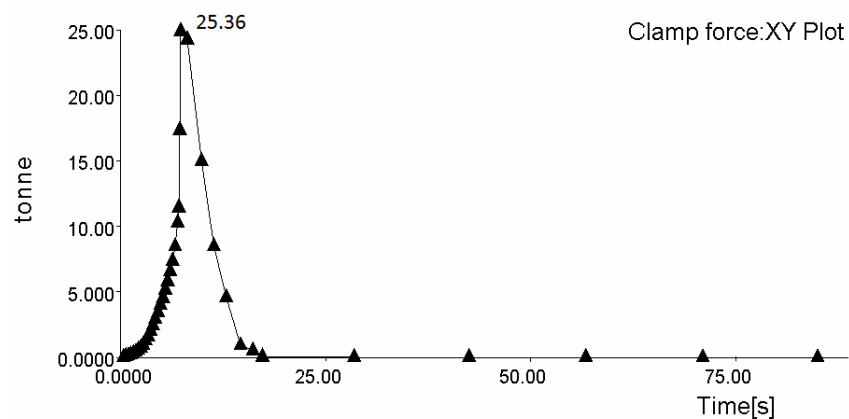
Analýza zobrazuje, v jakém teplotním rozmezí se pohybují teploty temperačního média v jednotlivých okruzích. Teploty by neměly kolísat o více než o 5°C. Je patrné, že rozdíl teplot je cca 0,1 °C (Obr. 68.). Dle výsledku je zaručen rovnoměrný odvod tepla z celého výrobku.



Obr. 68. Teplota temperačního média.

8.4 Uzavírací síla stroje

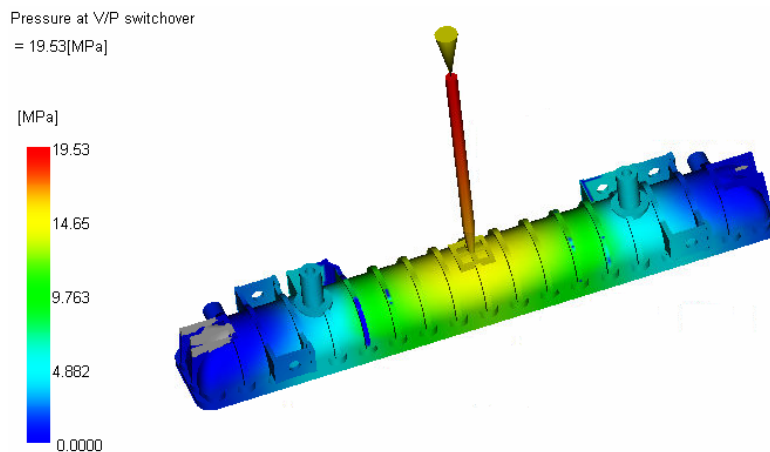
Následující graf zobrazuje jaká maximální uzavírací síla je v průběhu celého cyklu potřeba. Na základě tohoto údaje se zvolí vhodný vstříkovací stroj. K maximální hodnotě odečtené z grafu 25,36 tun, přičteme 20% a získáme minimální potřebnou uzavírací sílu. Mnou zvolený vstříkovací stroj disponuje uzavírací silou 130 tun, tzn., že vyhovuje požadavkům.



Obr. 69. Uzavírací síla stroje.

8.5 Tlak při přepnutí na dotlak

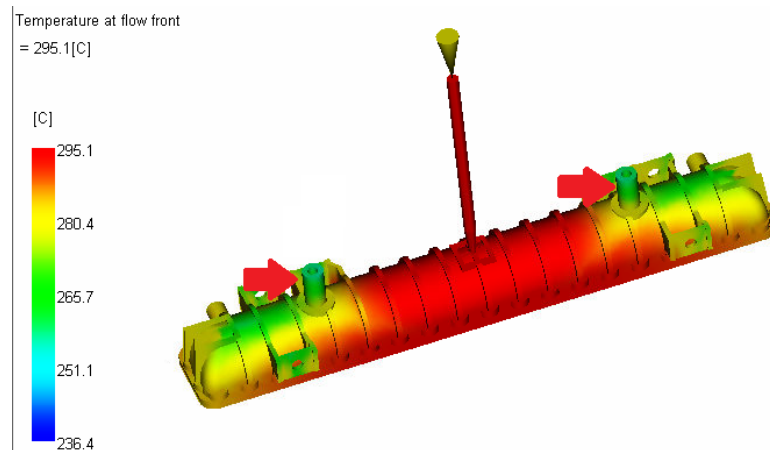
V procesních podmínkách bylo nastaveno, že při 99% zaplnění dutiny formy dojde k přepnutí na dotlak. Je to z důvodu eliminace tzv. tlakové špičky, která zapříčiňuje přetok materiálu. Největší tlak je u vstupu materiálu do dutiny formy, nejmenší zase na koncích dutiny. Zobrazená nezatečená místa se vyplní pomocí dotlaku.



Obr. 70. Tlak při přepnutí na dotlak.

8.6 Teplota čela taveniny

Analýza zobrazuje teplotu čela taveniny. V případě, že by v průběhu vstřikování došlo k velkému zvýšení nebo naopak snížení teploty taveniny. V případě vysoké teploty může docházet k degradaci materiálu. V opačném případě studené čelo taveniny může být příčinou studených spojů. Právě ony studené spoje vznikají při střetnutí dvou studených čel taveniny. Velká změna teploty je příčinou dlouhé dráhy taveniny a zesílené stěny válcových úchytů (Obr. 71.).

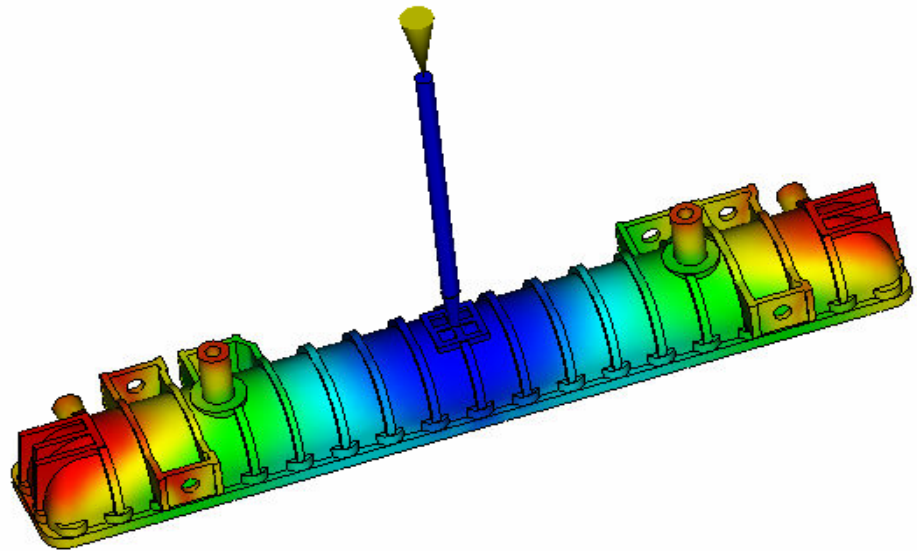


Obr. 71. Teplota čela taveniny.

8.7 Čas plnění

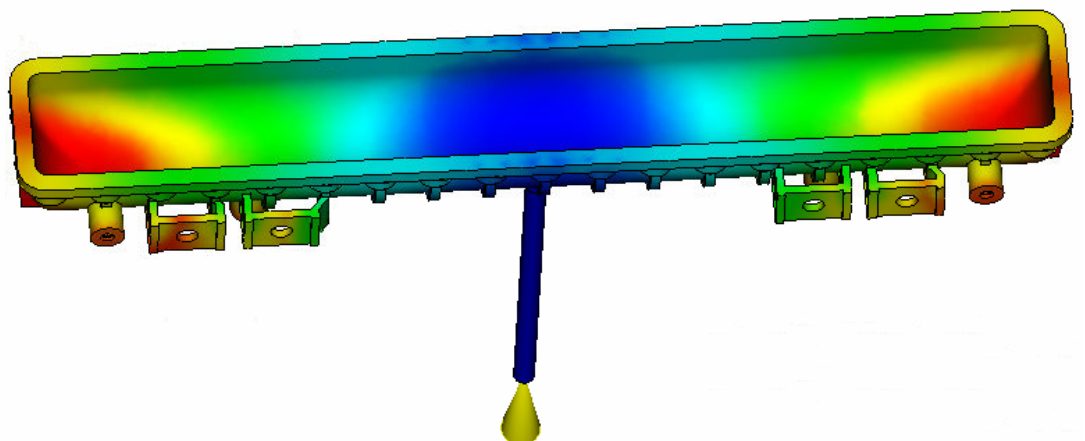
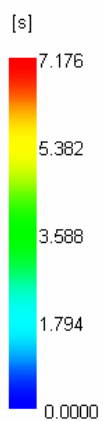
Tento typ analýzy zobrazuje, za jakou dobu dojde k vyplnění dutiny formy daným polymerem. U vícenásobných forem musíme pozorovat, zda plnění probíhá rovnoměrně do všech dutin formy. V tomto případě je celkový čas potřebný k zaplnění formy 7,176 s.

Fill time
= 7.176[s]



Obr. 72. Čas plnění.

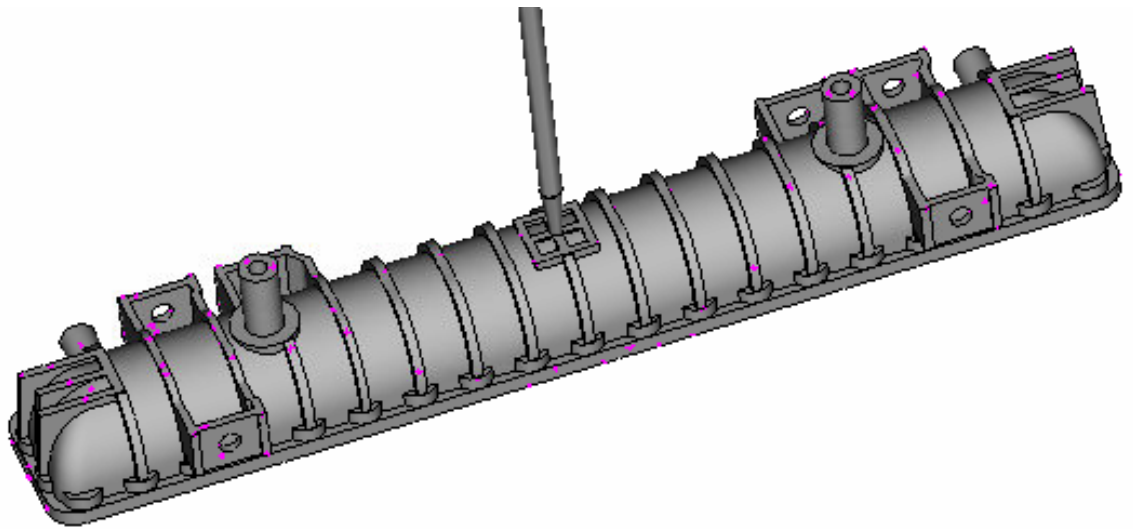
Fill time
= 7.176[s]



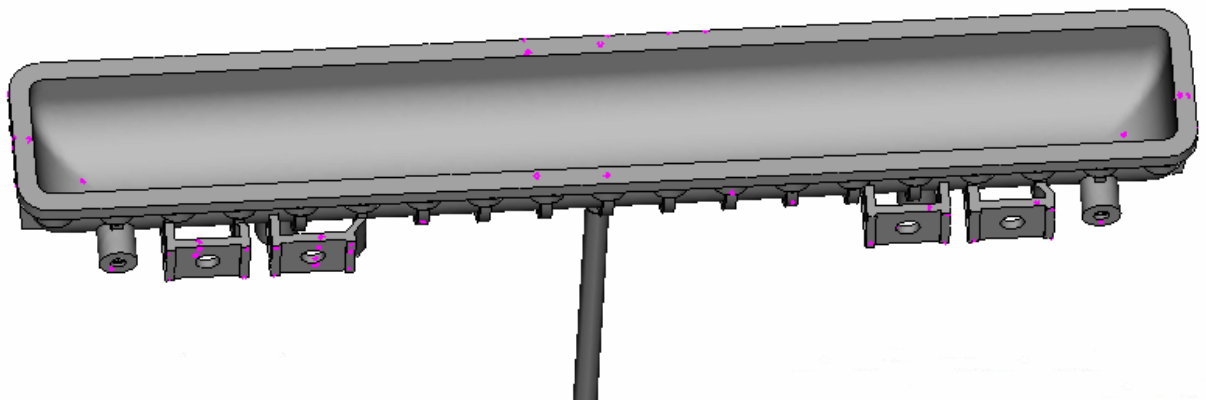
Obr. 73. Čas plnění obrácená strana.

8.8 Vzduchové kapsy

Vznikají zejména v nejvzdálenějších místech od vtoku taveniny do dutiny. Zde je zvýšený výskyt zejména v okolí posuvných čelistí a dělicí roviny. Dělicí rovina ani posuvné čelisti nejsou vzduchotěsné, to umožní přebytečnému vzduchu odejít z dutiny formy.



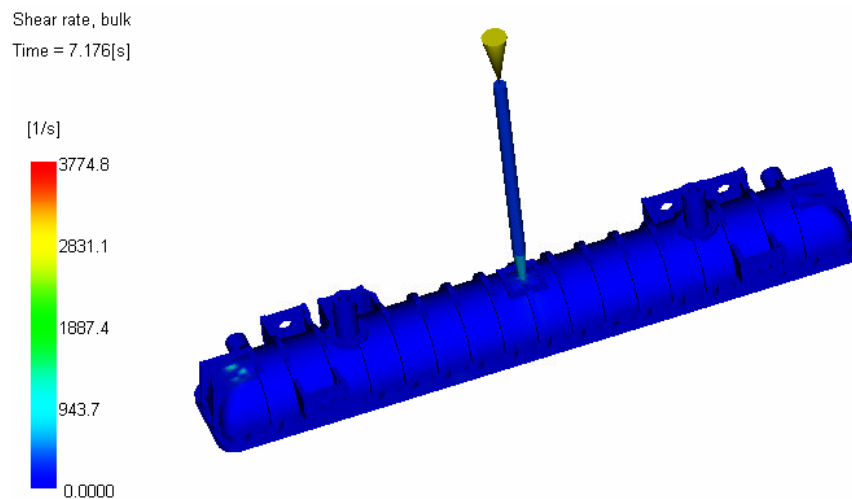
Obr. 74. Vzduchové kapsy.



Obr. 75. Vzduchové kapsy obrácená strana.

8.9 Rychlost smykové deformace

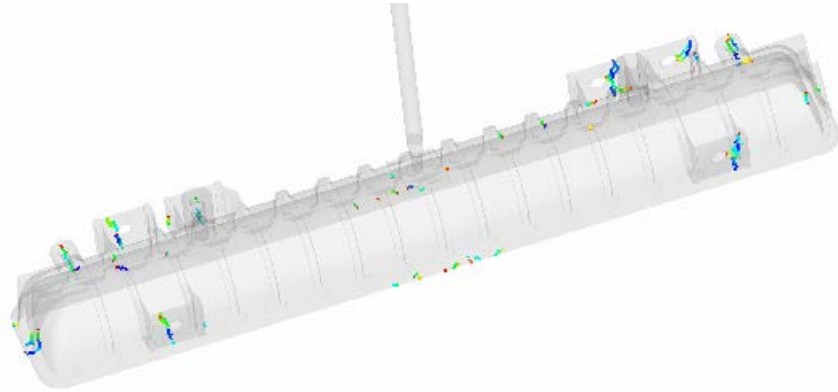
Rychlost smykové deformace značí rychlost, jakou se vrstvy taveniny po sobě pohybují. Při vysoké rychlosti dochází k lámání řetězců polymeru a následné degradaci. Ovlivňuje také jakost povrchu výrobku. Podle analýzy vychází maximální hodnota $3774,8 \text{ s}^{-1}$, u zvoleného materiálu nesmíme překročit hodnotu 60000 s^{-1} .



Obr. 76. Rychlost smykové deformace.

8.10 Studené spoje

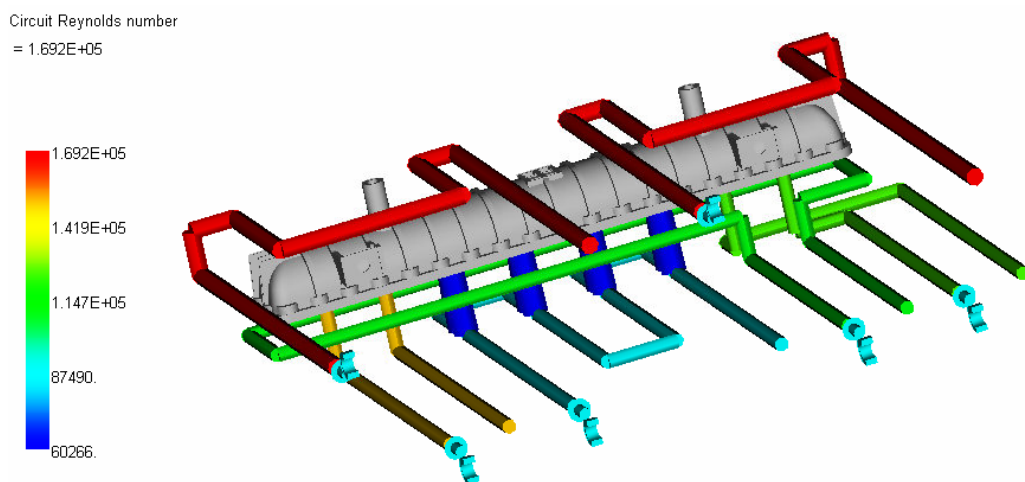
Vznikají při setkání dvou čel taveniny, místa setkání jsou zpravidla negativně ovlivněny z hlediska mechanických i vizuálních vlastností. Úplné odstranění studených spojů není vždy možné, proto se mnohdy snažíme pouze o přemístění do míst, méně mechanicky namáhaných. Kvalitu studeného spoje lze ovlivňovat vstřikovací rychlostí nebo dotlakem.



Obr. 77. Studené spoje.

8.11 Reynoldsovo číslo

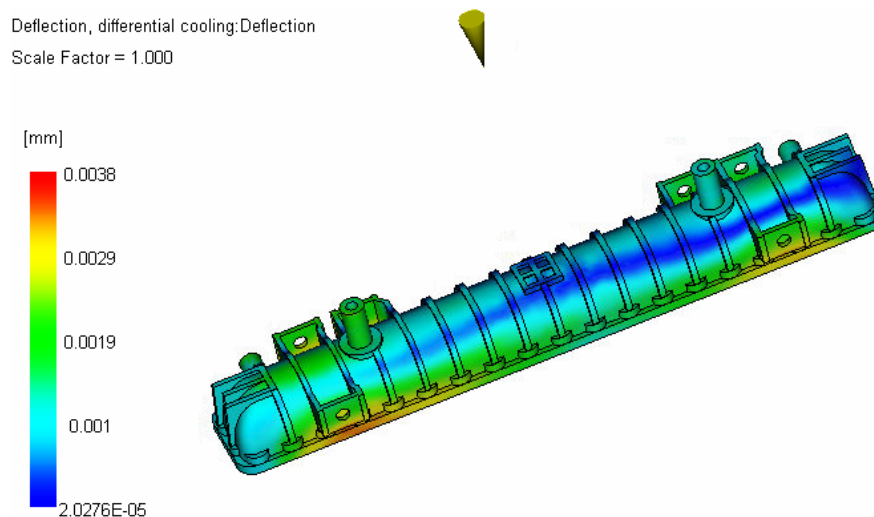
Reynoldsovo číslo určuje typy proudění, ke kterým může v okruzích dojít. Výhodné proudění pro temperaci je turbulentní proudění, to u vody nastává při Reynoldsově čísle ≥ 4000 . Reynoldsovo číslo lze zvyšovat pomocí zvýšení průtoku nebo tlaku temperačního média.



Obr. 78. Reynoldsovo číslo.

8.12 Hodnota deformace při chlazení

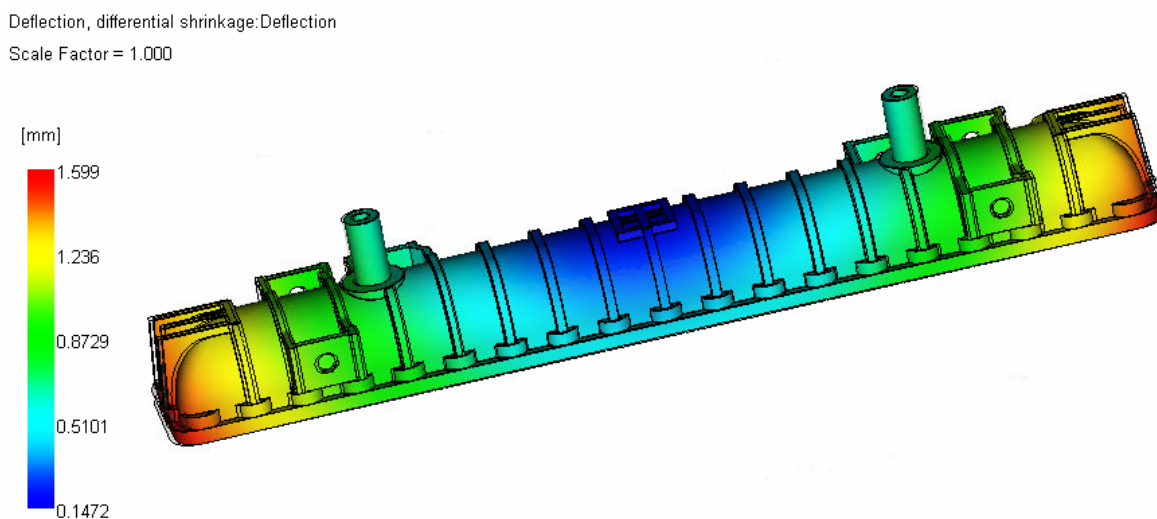
Tato hodnota zobrazuje velikosti odchylek zapříčiněné temperací formy. Jde o odchylky ve směrech os X, Y, Z. Z výsledků vidíme, že maximální hodnota odchylky je 0,0038 mm.



Obr. 79. Hodnota deformace při chlazení.

8.13 Hodnota deformace smrštění

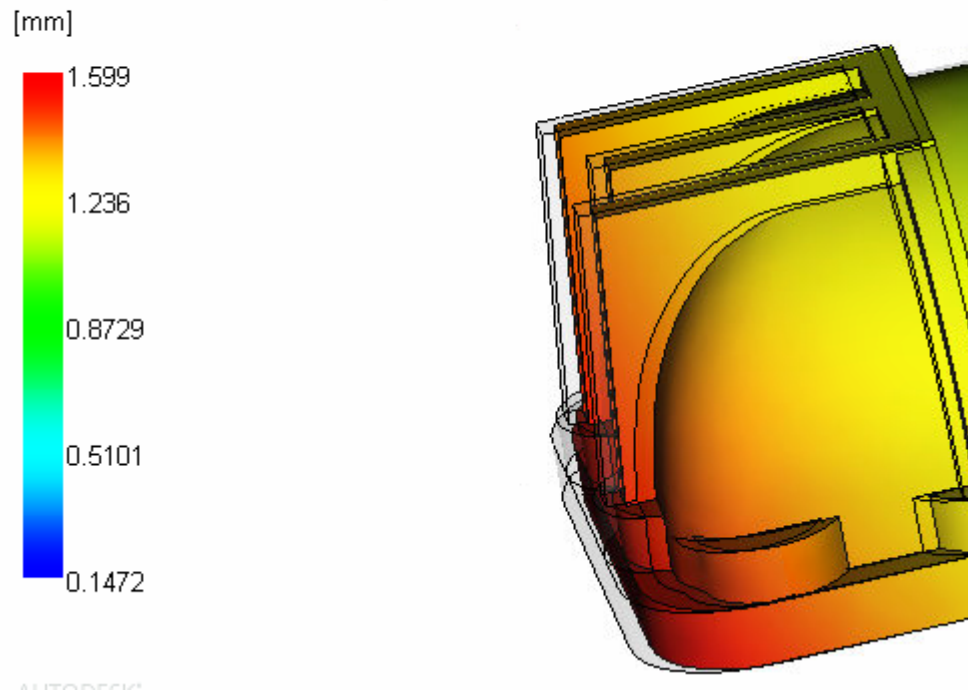
Hodnotu smrštění ovlivňuje daný typ polymeru. Každý polymer se při ochlazování smršťuje. Velikost smrštění lze tedy ovlivňovat změnou materiálu, teploty případně změnou dotlaku. Maximální hodnota smrštění je 1,599 mm.



Obr. 80. Hodnota deformace smrštění.

Deflection, differential shrinkage: Deflection

Scale Factor = 1.000

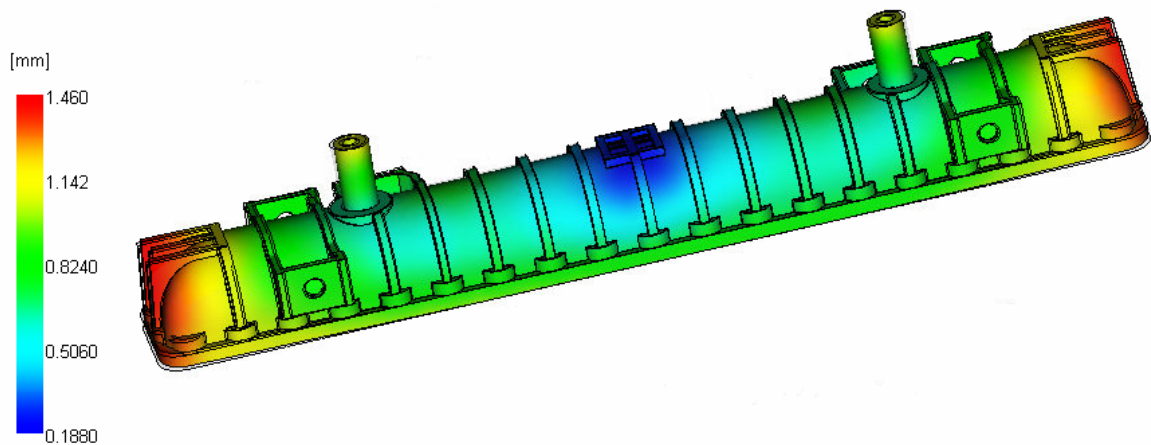


Obr. 81. Detail deformace smrštění.

8.14 Hodnota celkové deformace

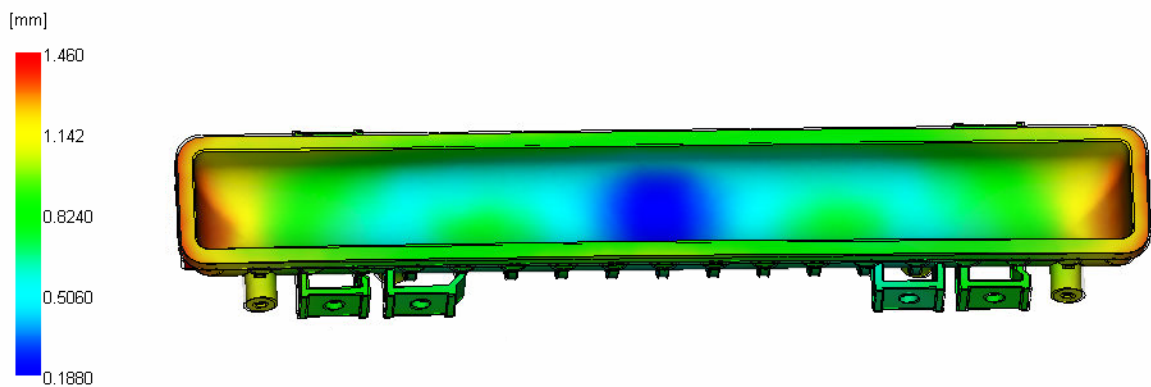
Celková deformace udává rozdíl mezi rozměry dutiny formy a rozměry zhotoveného výrobku. Ovlivňuje ji zvolený druh polymeru, technologie jakou je polymer vstřikován, ale i samotný tvar výrobku.

Deflection, all effects:Deflection
Scale Factor = 1.000



Obr. 82. Hodnota celkové deformace.

Deflection, all effects:Deflection
Scale Factor = 1.000

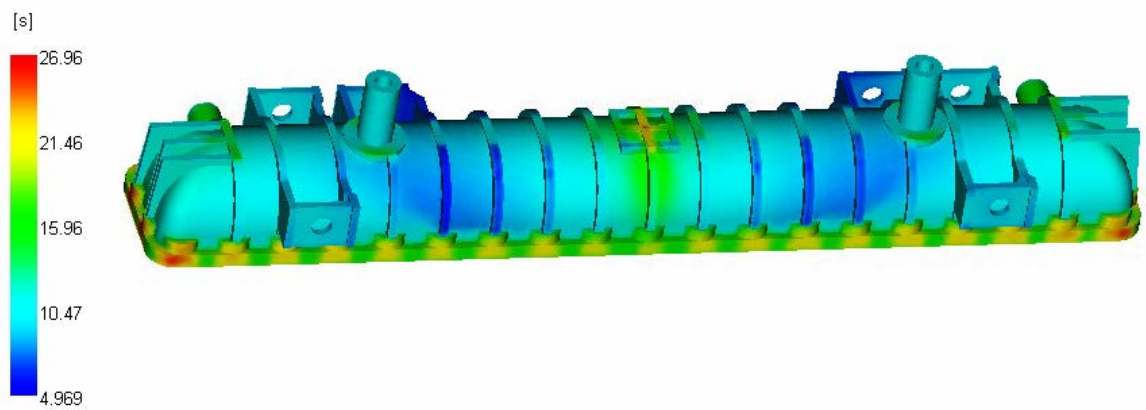


Obr. 83. Hodnota celkové deformace obrácená strana.

8.15 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

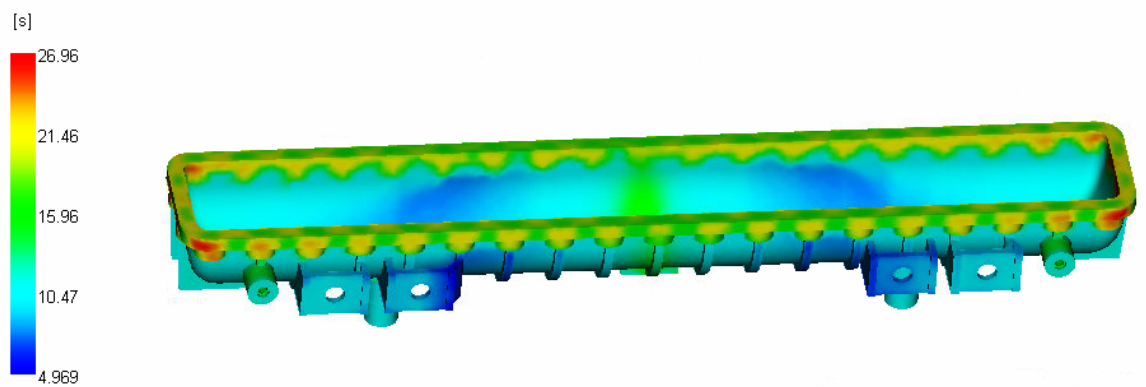
Dle této analýzy lze zjistit, po jaké době je díl ochlazen na teplotu, kdy lze bezpečně výrobek vyhodit ze vstřikovací formy. Tyto údaje jsou důležité hlavně pro místa, kde výrobek přichází do styku s vyhazovači. Kratších časů k dosažení vyhazovací teploty lze dosáhnout úpravou temperačních podmínek.

Time to reach ejection temperature
= 26.96[s]



Obr. 84. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty.

Time to reach ejection temperature
= 26.96[s]



Obr. 85. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty obrácená strana.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce bylo zadáno vypracovat konstrukční návrh vstříkovací formy pro zvolený plastový díl a provedení analýzy procesu vstříkování v programu Autodesk Moldflow Synergy.

Nejdříve byl pomocí programu CATIA V5/R19 zhotoven daný výrobek. Následně došlo ke dvěma modifikacím tohoto modelu. V první řadě došlo k jeho zvětšení o velikost smršťení, materiál byl zvolen PA66/GF30 s přísadou 30% skelných vláken. Následně proběhla druhá modifikace modelu, tentokrát kvůli provedení vstříkovací analýzy. Model musel být zjednodušen o tvary a zaoblení malých rozměrů, které by byly problémové při tvorbě Dualdomain sítě.

Při konstruování vstříkovací formy byly využívány normalizované díly od firmy HASCO. Samotná koncepce formy byla zvolena jako forma jednonásobná s vyhřívanou vstříkovací tryskou. Zvoleným způsobem vstříkování došlo k eliminaci vtokového zbytku, tím pádem k ušetření materiálu.

Tvárník i tvárnice jsou vytvořeny jako negativní tvar výrobku zvětšeného o velikost smršťení materiálu. Z hlediska polohy bočních otvorů ve výrobku bylo nutností opatřit formu posuvovými tvarovými kostkami, bez těchto kostek by nebylo možné výrobek odformovat, kostky jsou ovládány pomocí šikmých kolíků. Dále se na odformování podílí trojice válcových vyhazovačů a dvojice krajních tvarových vyhazovačů. Válcové vyhazovače mají vytvořenou plošku na osazené části kvůli zabránění pootočení. Tvarové vyhazovače musely být kvůli jejich konstrukci opatřeny pojistnými pery. Pohyb vyhazovačů je zajištěn pomocí táhla, to je ovládáno vstříkovacím strojem.

Vstříkovací forma byla na obou krajích opatřena izolačními deskami, kvůli zabránění přestupu tepla mezi formou a vstříkovacím strojem a udržení stálého teplotního pole.

Temperaturaci formy je zajištěna šesti temperačními okruhy. Okruhy jsou vrtány do tvárníku, tvárnice a kotevních desek pravé i levé strany formy. Přejechy mezi tvárnicí (tvárníkem) a kotevní deskou jsou opatřeny těsníci O-kroužky kvůli zamezení úniku temperačního média. Jako temperační médium byla ve všech okruzích zvolena voda. Médium bylo před vstupem do formy temperováno na 70°C. Rozdíl byl pouze v použitých tlacích, do pravé strany formy bylo přiváděno pod tlakem 2.2 baru, do levé části tlakem 2

barů. Tvárník na pravé straně formy byl ještě osazen čtveřicí obtokových můstků, z důvodu zvýšení efektivity teploty.

Dutina formy je odvětvována díky vůlím v dělicí rovině, mezi vodícími prvky, vyhazovači a tvarovými kostkami.

Velikost rámu vstřikovací formy je 646x488 mm. Levá a pravá strana vstřikovací formy jsou vůči sobě vystředěny pomocí vodících čepů, vodících pouzder a vodících trubek. Taktéž vyhazovací systém formy je opatřen čtyřmi vodícími čepy a čtyřmi vodícími pouzdry.

Pro usnadnění manipulace je forma osazena dvojicí transportních můstků.

Následně byl modifikovaný model vložen do programu Autodesk Moldflow, kde byla vytvořena 2D síť Dualdomain. Tu bylo nutno opravit, aby vyhovovala požadavkům pro vytvoření analýzy. Po vytvoření sítě vhodné k provedení analýzy, byla vložena trajektorie vtokového systému, ta byla předem vytvořena společně s trajektoriemi teploty v programu CATIA V5/R19. Po vysíťování všech trajektorií, nadefinování jejich parametrů a úpravě jejich Beam elementů na vhodný poměr L/D bylo vybráno místo vtoku. U teplotních okruhů byly vybrány vstupy teplotního média a nadefinovány vstupní parametry média. Po té byl vybrán materiál, zvolen typ analýzy, vstřikovací stroj, rám formy a na závěr byly zvoleny procesní parametry.

Výsledky analýz jsou diskutovány v 8. kapitole diplomové práce.

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo vytvořit návrh vstřikovací formy k zadanému výrobku, konkrétně se jednalo o část chladícího zařízení z osobního automobilu.

V teoretické části je řešena problematika vstřikování polymerních materiálů, konstrukční zásady a vady při vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá tvorbou 3D modelu vstřikovaného výrobku, konstrukcí 3D sestavy vstřikovací formy, ze které byly následně vytvořeny výkresové dokumentace společně s opozicováním jednotlivých dílů a kusovníkem. Dále byla vypracována analýza vstřikovacího procesu v programu Autodesk Moldflow. Výsledky vybraných analýz byly následně popsány v závěru praktické části diplomové práce.

Z konstrukčního hlediska byl největší problém vytvořit funkční návrh odformování modelu pomocí posuvových kostek. Dále při tvorbě temperačních okruhů muselo dojít k několika modifikacím původních okruhů, než bylo docíleno vhodného a funkčního temperování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. *Injection molding: an introduction*. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, 1995, 195 s. ISBN 15-699-0193-7.
- [2] ŠTĚPEK, Jiří. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 637 s.
- [3] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133s.
- [4] *Vstřikovací stroj* [online]. [cit. 2014-11-2]. Dostupné z WWW: <<http://gadabinausaha.wordpress.com/>>
- [5] *Vstřikovací jednotka* [online]. [cit. 2014-11-2]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [6] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990.199 s.
- [7] *Arburg* [online]. [cit. 2014-11-2]. Dostupné z WWW: <<http://arburg.com>>
- [8] *Vstřikovací cyklus* [online]. [cit. 2014-11-2]. Dostupné z WWW: <<http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics-technologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>>
- [9] Odborná skupina Uniplast Brno: *Formy pro zpracování plastů – 1. díl, Vstřikování termoplastů*, 2. vydání, Brno, 1999
- [10] *Tok polymeru* [online]. [cit. 2014-11-5]. Dostupné z WWW: <<http://viewmold.com/injection%20mold%20management/Injection%20molding%20defects/molding%20jetting.html>>
- [11] *Vady po vstřikování* [online]. [cit. 2014-11-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.hawkridgesys.com/blog/solidworks-plastics-short-shots/>>
- [12] *Vznik přetoků* [online]. [cit. 2014-11-12]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09-lisovani/07-pretoky.jpg>
- [13] *Vznik vzduchových bublin* [online]. [cit. 2014-11-20] <<http://www.protolabs.com/resources/injection-molding-design-tips/united-states/2006-03/>>
- [14] *Vady po vstřikování* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.xsplasticmould.com/html_news/Moisture-streaks-20.html>

- [15] *Vady po vstřikování* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.somold.com/Blog/Plastic-Mould-Defects-Burnt-Streaks-brown-or-silver.html>>
- [16] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [17] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding: a practical manual*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987, 395 p. ISBN 04-422-1785-4.
- [18] *Výroba forem* [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>>
- [19] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. Brno: VUT, 1985. 278 s.
- [20] *Horký rozvodný blok* [online]. [2015-1-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.i-mold.de>>
- [21] *Temperační systém* [online]. [2015-1-10]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf>
- [22] *Konformní chlazení* [online]. [2015-1-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>>
- [23] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 2. 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 214s.
- [24] GASTROW, Hans. *Injection Molds: 130 proven designs*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 313 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [25] *CATIA V5/R19* [online]. [2015-4-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.technodat.cz/catia-v5>>
- [26] *Autodesk Simulation Moldflow* [online]. [2015-4-28] Dostupné z WWW: <<http://smartplast.cz/ami.php>>
- [27] *Izolační deska* [online]. [2015-4-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.hasco.com/>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

t	tuna
s	sekunda
°C	stupeň Celsia
mm	Milimetr
cm ³	krychlový metr
3D	trojrozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
PA66	Polyamid 66
PA6	Polyamid 6
T	teplota [°C]
T _g	teplota skelného přechodu [°C]
T _m	teplota tání [°C]
CAD	Computer aided design – počítačově podporované konstruování
CAM	Computer aided manufacturing – počítačová podpora obrábění
CAE	Computer aided engineering – inženýrství pomocí počítače
%	procento
ČSN	Česká státní norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normy
Al	hliník
Cu	měď
PVC	polyvynilchlorid
DMLS	Direct Metal Laser Sintering – laserové sinterování kovů
NC	číslicové ovládání
L/D	poměr délky na průměr
W	watt

m metr

K kelvin

g gram

PLM Product Lifecycle Management - správa životního cyklu výrobku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací stroj. [4]</i>	15
<i>Obr. 2. Vstřikovací jednotka. [5]</i>	16
<i>Obr. 3. Hydraulická uzavírací jednotka. [7]</i>	16
<i>Obr. 4. Vstřikovací cyklus. [8]</i>	17
<i>Obr. 5. Průběh vstřikovacího cyklu.</i>	17
<i>Obr. 6. Porovnání volného a laminárního toku. [10]</i>	18
<i>Obr. 7. Průběh teploty polymeru. [9]</i>	19
<i>Obr. 8. Konstrukce výrobků a) chybná, b) správná. [3]</i>	22
<i>Obr. 9. Různá uspořádání žeber. [3]</i>	23
<i>Obr. 10. Maximální hloubka otvorů. [3]</i>	24
<i>Obr. 11. Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek. [3]</i>	24
<i>Obr. 12. Nedostříknutý výrobek. [11]</i>	25
<i>Obr. 13. Přetok taveniny. [12]</i>	25
<i>Obr. 14. Vzduchové bubliny. [13]</i>	26
<i>Obr. 15. Stříbrné pruhy. [14]</i>	26
<i>Obr. 16. Spálená místa. [15]</i>	27
<i>Obr. 17. Tvarová část formy. [18]</i>	28
<i>Obr. 18. Univerzální rám formy. [18]</i>	28
<i>Obr. 19. Studený vtok. [18]</i>	31
<i>Obr. 20. Uspořádání vtoků. [18]</i>	32
<i>Obr. 21. Plný kuželový vtok.</i>	33
<i>Obr. 22. Bodový vtok.</i>	33
<i>Obr. 23. Sprkovitý vtok.</i>	33
<i>Obr. 24. Filmový vtok.</i>	33
<i>Obr. 25. Řez horkým rozvodným blokem a tryskou. [20]</i>	34
<i>Obr. 26. Průřezy rozvodných kanálů. [18]</i>	35
<i>Obr. 27. Temperační kanály tvárníku a tvárnice. [18]</i>	35
<i>Obr. 28. Sdílení tepla u vstřikovací formy. [16]</i>	36
<i>Obr. 29. Vzdálenost umístění temperačních kanálů. [21]</i>	37
<i>Obr. 30. Vliv umístění temperačních kanálů. [21]</i>	37
<i>Obr. 31. temperační kanály vrtané. [22]</i>	38
<i>Obr. 32. Temperační kanál vyroben technologií DMLS. [22]</i>	38

<i>Obr. 33. Sestava s vyhazovači. [18].....</i>	39
<i>Obr. 34. Typy vyhazovacích kolíků.</i>	40
<i>Obr. 35. Řez formou s vyhazovacími kolíky. [23].....</i>	40
<i>Obr. 36. Řez Formou se stírací deskou.</i>	41
<i>Obr. 37. Trubkový vyhazovač.</i>	41
<i>Obr. 38. Řez formou s trubkovými vyhazovači. [23].....</i>	42
<i>Obr. 39. Vyhazování pomocí šikmých kolíků. [23].....</i>	43
<i>Obr. 40. Model vstříkovaného dílu.....</i>	47
<i>Obr. 41. Zjednodušený model dílu pro vytvoření analýzy.</i>	47
<i>Obr. 42. pvT diagram PA66-G30 Kingfa z programu Moldflow.</i>	48
<i>Obr. 43. Ilustrační foto vstříkovacího stroje Arburg. [7].....</i>	49
<i>Obr. 44. Vstříkovací forma.</i>	50
<i>Obr. 45. Levá a pravá strana vstříkovací formy.</i>	52
<i>Obr. 46. Vstříkovací (pravá) strana formy.</i>	53
<i>Obr. 47. Funkce izolační desky. [27]</i>	54
<i>Obr. 48. Kotevní deska vstříkovací části formy.</i>	54
<i>Obr. 49. Tvarová vložka vstříkovací části formy.</i>	55
<i>Obr. 50. Vtokový systém.</i>	55
<i>Obr. 51. Vyhazovací (levá) strana vstříkovací formy.....</i>	56
<i>Obr. 52. Kotevní deska vyhazovací části.</i>	57
<i>Obr. 53. Rozložená tvarová vložka vyhazovací části formy.</i>	57
<i>Obr. 54. Složená tvarová vložka s tvarovými posuvovými kostkami.</i>	58
<i>Obr. 55. Vyhazovací systém.</i>	58
<i>Obr. 56. Temperační okruhy vstříkovací části formy.</i>	59
<i>Obr. 57. Temperační okruhy vyhazovací části formy.....</i>	60
<i>Obr. 58. Seznam použitých komponent v temperaci.....</i>	60
<i>Obr. 59. Vysíťovaný model sítě Dualdomain v programu Moldflow.....</i>	61
<i>Obr. 60. Mesh statistic před úpravou sítě.</i>	62
<i>Obr. 61. Mesh statistic po úpravě sítě.</i>	62
<i>Obr. 62. Nastavení temperačního okruhu vstříkovací části formy Moldflow.</i>	63
<i>Obr. 63. Temperační okruhy vstříkovací části.</i>	64
<i>Obr. 64. Beam L/D Ratio u vstříkovacího okruhu.</i>	64
<i>Obr. 65. Nastavení temperačního okruhu vyhazovací části formy Moldflow.</i>	65

<i>Obr. 66. Temperační okruhy vyhazovací části.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 67. Beam L/D Ratio u vyhazovacího okruhu.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 68. Teplota temperačního média.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 69. Uzavírací síla stroje.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 70. Tlak při přepnutí na dotlak.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 71. Teplota čela taveniny.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 72. Čas plnění.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 73. Čas plnění obrácená strana.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 74. Vzduchové kapsy.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 75. Vzduchové kapsy obrácená strana.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 76. Rychlost smykové deformace.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 77. Studené spoje.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 78. Reynoldsovo číslo.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 79. Hodnota deformace při chlazení.</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 80. Hodnota deformace smrštěním.</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 81. Detail deformace smrštěním.</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 82. Hodnota celkové deformace.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 83. Hodnota celkové deformace obrácená strana.</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 84. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 85. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty obrácená strana.</i>	<i>75</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Doporučené velikosti úkosů. [3]</i>	21
<i>Tab. 2. Zaoblení hran a rohů. [3]</i>	22
<i>Tab. 3. Maximální hloubka otvorů. [3]</i>	23
<i>Tab. 4. Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek. [3]</i>	24
<i>Tab. 5. Materiál pro různé části formy. [16]</i>	30
<i>Tab. 6. Doporučené procesní podmínky materiálu PA66-G30 Kingfa.</i>	48
<i>Tab. 7. Porovnání parametrů vstřikovacího stroje s analýzou.</i>	49
<i>Tab. 8. Celkové rozměry vstřikovací formy.</i>	52
<i>Tab. 9. Procesní podmínky Autodesk Moldflow.</i>	63

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Řez formou

PII: Kusovník