

Návrh a optimalizace vstřikovací formy pro kryt průtokového čidla části motoru automobilu

Lukáš Mach

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Mach**
Osobní číslo: **T15338**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a optimalizace vstřikovací formy pro kryt průtokového čidla části motoru automobilu**

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:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



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



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

Příjmení a jméno: Mach Lukáš

Obor: Výrobní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 10.5.2017



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku 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 přihlíáde k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na konstrukci vstřikovací formy pro plastový díl, konkrétně kryt průtokového čidla části motoru automobilu.

V teoretické části diplomové práce je probrána problematika technologie vstřikování, rozdělení polymerních materiálů, základní informace z oblasti konstrukce vstřikovacích forem a také defekty vstřikovaných výrobků včetně popisu simulačního softwaru.

Praktická část je zaměřena na 3D model vyráběného dílu, návrh vstřikovací formy společně s určením vhodného stroje pro vyrábění zadaného dílu a také provedení analýzy procesu vstřikování v programu Moldflow. Veškerá dokumentace je vytvořena za pomoci softwaru Catia V5R19 a normalizovaných dílů firmy Hasco. Analýza procesu vstřikování je provedena pomocí softwaru Autodesk Simulation Moldflow.

Klíčová slova: vstřikování, 3D konstrukce formy, catia, moldflow, analýza

ABSTRACT

This master's thesis is focuses on the design of injection mold for plastic part, namely the housing of flow sensor of car motor part.

The theoretical part of the master's thesis discussed the issue of injection molding technology, polymer materials, basic information about design of injection molds and defects of injected products, including a description of the simulation software.

The practical part is focused on 3D model produced part, design of injection mold together with determining the appropriate machinery for making specified part and performing an analysis of the injection process in Moldflow software. All documentation is created using Catia V5R19 software and standard parts by Hasco Company. Injection process analysis is performed by Autodesk Simulation Moldflow software.

Keywords: injection molding technology, 3D mold design, catia, moldflow, analysis

Velký dík patří vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za velmi ochotné jednání, rady a čas, který mi věnoval při tvorbě této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.1 PLASTY.....	13
1.1.1 Reaktoplasty	13
1.1.2 Termoplasty.....	14
1.2 ELASTOMERY	14
1.2.1 Kaučuky	14
1.3 PŘÍSADY POLYMERŮ.....	15
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
2.2.1 Vstřikovací jednotka	18
2.2.2 Uzavírací jednotka.....	19
2.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	20
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	22
3.1 VTOKOVÁ SOUSTAVA	24
3.2 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS)	24
3.2.1 Druhy vtoků.....	26
3.3 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM	29
3.3.1 Vyhřívané rozvodné bloky	30
3.3.2 Vyhřívané trysky	30
3.4 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKU	31
3.4.1 Mechanický vyhadzovací systém.....	31
3.4.2 Vzduchový (pneumatický) systém	35
3.4.3 Hydraulický vyhadzovací systém.....	36
3.5 TEMPERACE FOREM.....	36
3.5.1 Temperační prostředky.....	37
3.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	38
3.7 MATERIÁLY FOREM.....	39
4 DEFEKTY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	41
4.1 VADY VIDITELNÉ.....	41
4.1.1 Studené spoje.....	42
4.1.2 Dieselův efekt.....	43
4.1.3 Stříbrné pruhy.....	44
4.1.4 Vzduchové bubliny	45
4.1.5 Tvarové a rozměrové vady	45
4.2 VADY SKRYTÉ	46

5	SIMULAČNÍ SOFTWARE.....	47
5.1	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW	47
5.2	SIMULACE	47
5.2.1	Simulace toku taveniny	48
5.2.2	Vady dílů	48
5.2.3	Simulace plnění	48
5.2.4	Simulace dotlaku	48
5.2.5	Simulace vtokového systému	48
5.2.6	Simulace vtoků	48
5.2.7	Projektování vtokového ústí	48
5.2.8	Modelování chladicích komponent	48
5.2.9	Analýza chladicích systémů	49
5.2.10	Simulace smrštění a deformace	49
5.2.11	Smrštění	49
5.2.12	Deformace	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	51
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	52
7.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	53
7.2	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	53
8	KONSTRUKCE FORMY	55
8.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	56
8.2	NÁSOBNOST FORMY	57
8.3	DĚLÍCÍ ROVINA.....	57
8.4	TVAROVÉ DÍLY FORMY	58
8.5	TVAROVÉ ČELISTI A POSUVNÁ JÁDRA	59
8.6	HORKÁ VTOKOVÁ SOUSTAVA	61
8.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	64
8.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	65
8.9	TRANSPORTNÍ SYSTÉM FORMY	68
9	ANALÝZA V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW	69
9.1	ZADANÝ VÝROBEK.....	69
9.1.1	Tvorba sítě.....	70
9.1.2	Analýza sítě	70
9.2	MATERIÁL	71
9.3	ROZVRŽENÍ VÝROBKU VE FORMĚ	72
9.4	VTOKOVÝ SYSTÉM	72
9.4.1	Analýza Beam L/D – vtokový systém.....	74
9.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	75
9.5.1	Analýza Beam L/D – temperačního systému	78
9.6	BLOK FORMY	80
9.7	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	80
9.8	PROCESNÍ PODMÍNKY	81

10	VÝSLEDKY ANALÝZY Z PROGRAMU MOLDFLOW	83
10.1	ČAS PLNĚNÍ (FILL TIME)	83
10.2	TLAK TAVENINY VE VTOKOVÉM ÚSTÍ (PRESSURE AT INJECTION LOCATION)	84
10.3	TLAK V BODĚ PŘEPNUTÍ – PRESSURE AT V/P SWITCHOVER.....	85
10.4	OBJEMOVÉ SMRŠTĚNÍ PŘI VYHOZENÍ (VOLUMETRICS SHRINKAGE AT EJECTION).....	86
10.5	VZDUCHOVÉ KAPSY (AIR TRAPS)	87
10.6	STUDENÉ SPOJE (WELD LINES)	88
10.7	UZAVÍRACÍ SÍLA (CLAMP FORCE)	89
10.8	TEPLOTA TEMPERAČNÍHO OKRUHU (CIRCUIT COOLANT TEMPERATURE).....	90
10.9	REYNOLDSOVO ČÍSLO (CIRCUIT REYNOLDS NUMBER)	92
10.10	PRŮMĚRNÁ TEPLOTA DÍLU (AVERAGE TEMPERATURE, PART).....	94
10.11	EFEKTIVITA ODEBÍRÁNÍ TEPLA (CIRCUIT HEAT REMOVAL EFFICIENCY).....	95
10.12	CELKOVÁ DEFORMACE (DEFLECTION, ALL EFFECTS: DEFLECTION)	96
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	97
	ZÁVĚR	99
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	100
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK	107
	SEZNAM PŘÍLOH	108

ÚVOD

Jednu z nejvýznamnějších úloh ve světě průmyslu v dnešní době zaujímají plasty a jejich následné zpracování. Většina výrobků, ať už konstrukčních, designových, či funkčních jsou tvořeny z polymerních materiálů. Zejména se jedná o průmysl automobilový, kde se materiály postupně nahrazují těmi plastovými. Ať už je to palubní deska automobilů, středové tunely, výplně dveří, zavazadlového prostoru, atd. Plast jako takový získává na trhu svou pevnou pozici díky výhodným vlastnostem, jako je například kombinace nízké hmotnosti a pevnosti, nižší požadavky na pozdější povrchovou úpravu materiálu, výrobní cena, atd. Plast zaujímá využití dále v leteckém průmyslu, ve zdravotnictví a převážně v elektrotechnickém průmyslu.

Mezi nejpoužívanější zpracování plastů patří tzv. vstřikování. Celý proces vykonává vstřikovací stroj, u kterého je součástí také forma, která udává vstříknutému materiálu konečný tvar.

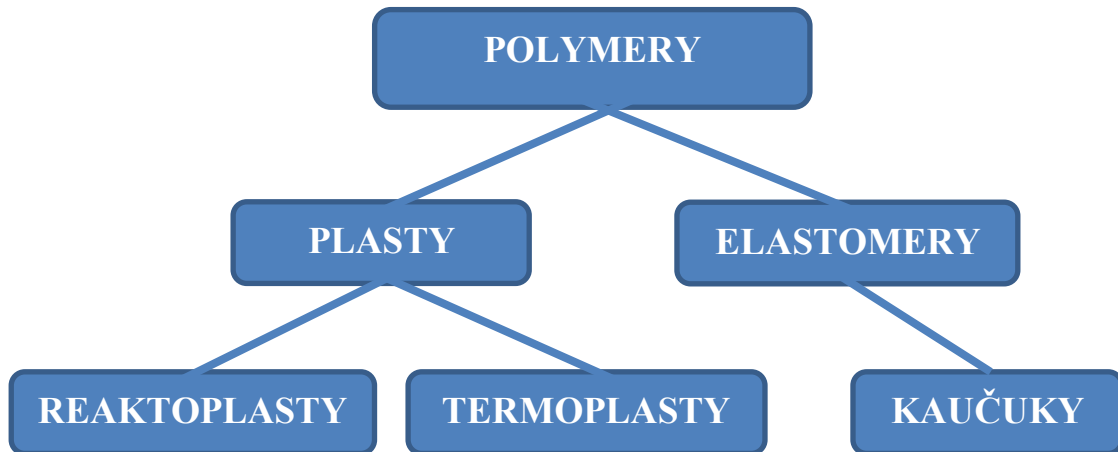
Vzhledem k individuálnosti každého výrobku je třeba navrhnout formu, která bude splňovat veškeré požadavky na kvalitu vyrobeného dílu. Konstrukce formy je časově i finančně dosti náročná, proto je konstrukce výhodná při navrhování forem pro velkosériovou výrobu. Finanční náročnost formy se dá snížit použitím normalizovaných dílů od různých výrobců, kterých je na trhu nepřeberné množství, tím zároveň docílíme pružnější konstrukci dané formy.

Návrh forem je dnes také velmi usnadněn použitím speciálních softwarů k tomu určených, neboť obsahují různé nástavby, které vedou ke zjednodušení celého konstruování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ

Polymery v dnešním světě představují obrovskou škálu využití, kdy dominují mezi použitými konstrukčními materiály. Polymery jsou rozděleny do dvou základních skupin a těmi jsou PLASTY a ELASTOMERY, ty se dále dělí na další podskupiny.



Obr. 1 Rozdělení plastů.

1.1 Plasty

Struktura plastů je tvořena makromolekulárními řetězci (například kovy jsou z hlediska struktury tvořeny krystalickými mřížkami). Za běžných podmínek se stávají tvrdými a křehkými. Při zvýšených teplotách se stávají plastickými a lze je tvarovat. [1]

1.1.1 Reaktoplasty

V konečné fázi zpracování jsou řetězce příčně propojeny chemickými vazbami (zesíťování) a tím vytvářejí trojrozměrnou prostorovou síť. V první fázi zahřívání měkne a je možné jej tvářet, avšak pouze krátkou dobu. V další fázi zahřívání dochází k prostorovému zesíťování (vytvrzení). Chemická reakce zajistí, že plast již nelze převést zpět do plastického stavu. [1]

1.1.2 Termoplasty

Termoplasty jsou dnes považovány za nejrozšířenější. Lze je teplem zpětně převést do plastického stavu a znovu je tvářet a zpracovávat. Následným ochlazením se termoplasty převedou zpět do tuhého stavu. Tento proces lze provádět opakovaně, neboť nedochází k chemickým reakcím (zesíťování) jako to bylo u reaktoplastů. Mají přímé řetězce nebo řetězce s bočními větvemi. [1]

Termoplasty se dále dělí, vzhledem ke struktuře, na:

- Amorfni – (např. PS, ABS, PC, PMMA). Řetězce jsou nepravidelného prostorového uspořádání. Vyznačují se tvrdostí, křehkostí a vysokou pevností. Díky nízkému indexu lomu jsou průhledné, transparentní. Využitelnost amorfniích plastů je pod teplotou skelného přechodu (T_g), neboť je polymer v tomto stavu pevný. Zvýšením teploty nad T_g se plast dostává do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty dochází i ke zvětšení objemu polymeru.

- Semikrystalické – (např. PE, PP, PA 6). Většina řetězců je těsně a pravidelně uspořádána a tím tedy tvoří krystalické útvary. Zbytek řetězců je amorfniího uspořádání. Semikrystalický plast je využíván nad teplotou T_g až do teploty tání T_m , neboť v téhle oblasti dosahují výhodných vlastností pevnosti a houževnatosti. Jsou mléčně zakalené. [1]

1.2 Elastomery

Jsou to polymery, které jde za normálních podmínek malou silou deformovat bez porušení, načež se deformace stává převážně vratnou. V první fázi zahřívání měknou a lze je po omezenou dobu tvářet. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci a tím k prostorovému zesíťování struktury, jenž se nazývá vulkanizace. Vulkanizačním procesem jsou převedeny na pryž. Po vulkanizaci už další tváření není možné. [2]

1.2.1 Kaučuky

Dělí se na dvě skupiny – kaučuky přírodní a syntetické. Vulkanizace probíhá pomocí dvou válců, které se otáčejí proti sobě. Mezi ně je vložen kaučuk, který je rozdrcen a navalován kolem jednoho z válců. Jsou do něj vmíchány přísady oleje, sazí a síry, díky kterým je umožněna právě vulkanizace. [3]

1.3 Přísady polymerů

Základní vlastnosti polymerů lze měnit i díky použití nejrůznějších přísad a tím tak splnit požadavek na volbu vhodného plastu ke konstrukci.

Mohou to být:

- *Vláknitá nebo prášková plniva* – mění fyzikální i mechanické vlastnosti plastu, zejména vyztužují hmotu a zvětšují její pevnost,
- *Změkčovadla* – jsou přidávány hlavně k některým tvrdým polymerům, čímž se získává měkkost a ohebnost,
- *Barviva* – používají se pro dosažení požadovaných barevných odstínů,
- *Stabilizátory* – zvyšují odolnost proti vyšším teplotám při zpracování, proti stárnutí, či proti UV záření apod.,
- *Antioxidanty* – jsou to přísady, které dlouhodobě chrání polymery před vlivem atmosférického kyslíku. Princip je v zabránění řetězového průběhu oxidace,
- *Antiozonanty* – jsou to přísady, které dlouhodobě chrání polymer před vlivem atmosférického ozónu,
- *Nadouvadla* – při zpracování uvolňují plyny, čímž vytváří lehčenou strukturu plastu se zvláštními vlastnostmi. [1]

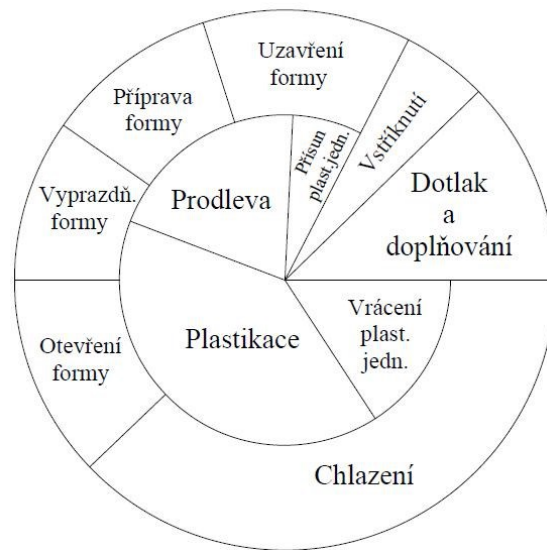
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Nejrozšířenějším způsobem výroby plastových dílů je technologie vstřikování, jež zaujímá ve světě výrobních technologií jednu z nejdůležitějších úloh. Tento způsob výroby je nejvhodnější pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Plastové díly vyrobené technologií vstřikování jsou nejčastěji uplatňovány v automobilovém, leteckém a elektrotechnickém průmyslu. Dále to jsou výrobky pro domácnost, pro sport, nebo také pro armádu. Celý proces výroby plastového dílu je poměrně složitým. Jedná se o proces cyklický, ve kterém figuruje polymer, vstřikovací stroj s plastikační jednotkou a vstřikovací forma. Princip výroby plastového dílu je následující: v plastikační jednotce vstřikovacího stroje je zpracováván polymer, který přechází do plastického stavu. Následuje vstříknutí polymeru vstřikovacím strojem do dutiny formy, kde je polymer v dalším kroku ochlazován, tím vznikne finální výrobek. Dutina vstřikovací formy představuje konečný tvar výrobku. [4]

2.1 Vstřikovací cyklus

Mezi nejdůležitější aspekty patří násobnost formy. Jedná se o počet dutin ve formě a určuje, kolik výstřiků bude vyrobeno za jeden vstřikovací cyklus. Násobnost formy nám udává výši produkce plastových dílů.

Jakmile se uzavře forma uvnitř stroje, je polymer plastického stavu o určité teplotě vstříknut pod vysokým tlakem do dutiny formy. Polymer (tavenina) zůstává pod tlakem v uzavřené formě, dokud nepřijde na řadu jeho ochlazování. Dále je proveden dotlak, který je ukončen při částečném ochlazení plastu uvnitř formy. Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka oddálí od formy a dochází k plastikaci další dávky polymeru. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a hotový výrobek je vyhozen. Po očištění a následné přípravě formy pro následující cyklus dochází k dalšímu cyklu. [4]



Obr. 2 Vstřikovací cyklus [4]

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací proces probíhá na strojích většinou plně automaticky, tudíž se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojů i vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je tedy vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, dále uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Každý výrobce vstřikovacích strojů je schopný vybavit vstřikovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště (např. manipulátory, roboty, temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky, mlýny, atd.). [5]

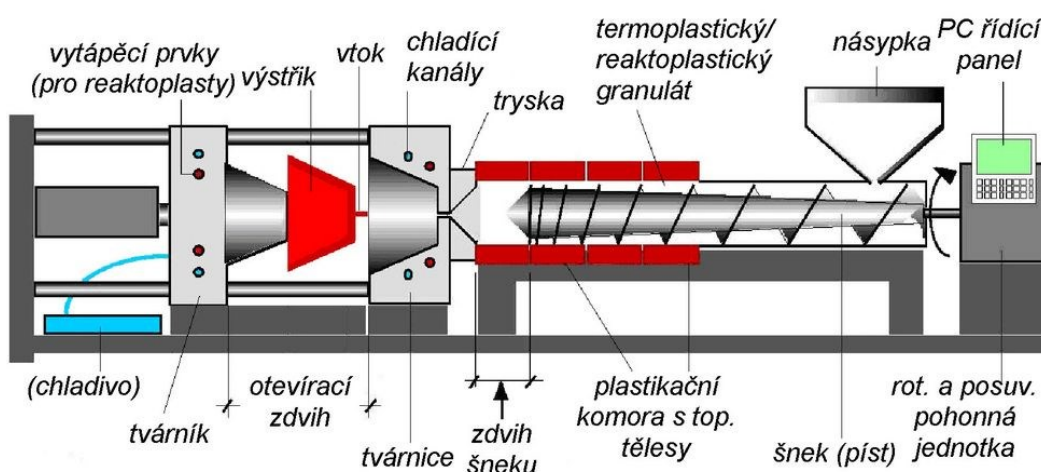
Vstřikovací stroj se skládá z těchto částí:

- vstřikovací jednotka – doprava materiálu přeměněného v taveninu do tvarové dutiny formy při vysokém tlaku i rychlosti,
- uzavírací jednotka – slouží k uzavření formy a k odolávání tlaku při vstřikování,
- forma – udává konečný tvar výrobku,
- ovládání a řízení stroje.

Nové generace vstřikovacích strojů umožňuje dodat zákazníkovi stroj navržený přesně podle jeho specifikace.

Požadavky na vstřikovací stroj pro přesné výstřiky:

- tuhost a pevnost při výstřiku,
- konstantní tlak, rychlost dopravy materiálu, teplota a ostatní parametry a jejich časování,
- přesná reprodukovatelnost technologických parametrů.



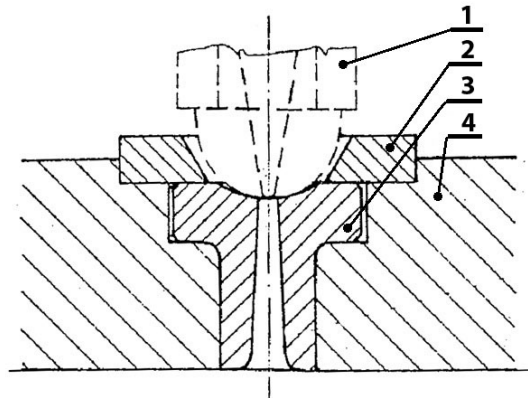
Obr. 3 Vstřikovací stroj [6]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Její úkol je připravit a dopravit požadované množství roztaveného polymeru s požadovanými technologickými parametry do formy. Množství taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky během jednom zdvihu. Vstřikovací jednotka má takovou funkci, že do tavného válce je dopravován zpracovávaný polymer z násypky rotačním pohybem šneku. Maximální vstřikované množství nesmí překročit 90% kapacity jednotky, neboť je zde nutná rezerva pro případné doplnění úbytku materiálu vlivem chlazení. Nadále je polymer postupně přepravován šnekem přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se tedy plastifikuje, homogenizuje a hromadí před čelem šneku, který se současně posunuje axiálním pohybem ve válci do zadní polohy. [1], [7]

Topení tavného válce je rozděleno do tří částí. Část tepelné energie vznikne disipací polymerního materiálu. Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, jež spojuje vstříkovací jednotku se samotnou formou (Obr. 4). Kulové zakončení trysky zajišťuje bezpečné a přesné dosednutí do vtokové vložky formy. [1]

Vstříkovací trysky mohou být otevřené a uzavíratelné. Otevřené trysky jsou nejčastěji využívány pro vstříkování více viskózních polymerů. Uzavíratelné trysky neumožňují samovolné vytečení materiálu ven. Tryska se otevírá tím způsobem, že dochází k odjištění jehlového uzávěru při dosednutí trysky do vtokové vložky. [1], [7]



Obr. 4 Usazená vstříkovací tryska na vtokové vložce [1]

1 – vstříkovací tryska, 2 – středící kroužek,
3 – vtoková vložka, 4 – deska formy

2.2.2 Uzavírací jednotka

Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je nastavitelná a je přímo závislá na velikosti vstříkovacího tlaku a průmětu plochy dutiny formy (včetně vtokových kanálů) do dělicí roviny. [1]

Hlavní části uzavírací jednotky:

- pevná opěrná deska,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus. [1]

Konstrukční provedení uzavíracích jednotek:

- hydraulické uzavírací jednotky umožňují otevření formy hydraulickým tlakem a vyžadují závorové zajištění uzavřené polohy,
- hydraulicko - mechanické jednotky – nejčastěji používané u strojů vstřikujících taveninu o nízké gramáži. Zaručují vyšší uzavírací rychlost, potřebné zpomalení před dosednutím dělicích rovin a optimální tuhost celé soustavy. Jsou konstruovány jako kloubové mechanismy ovládané hydraulickým válcem. Zajištění uzavřené polohy je zde docíleno za pomocí hydraulického válce s velkým průměrem pístu. [1]
- elektrické – pracují vysoce přesně a hospodárně a zároveň mají velmi účinné využití energie. Umožňují dosažení krátkých vedlejších časů stroje. [16]

2.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Snadná obsluha stroje a jeho vysoká schopnost řízení je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je významnou a nutnou okolností. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na kvalitě a přesnosti výroby výstřiku. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými regulačními prvky. [1]

Současné stroje jsou řízeny elektronickou jednotkou s procesorem. Namísto obvyklé textové formy nastavování technologických parametrů, se využívají různé grafické nadstavby, které jsou zobrazovány LCD displejem přímo na ovládacím panelu vstřikovacího stroje. Často jsou tyto stroje propojeny rozhraním se stolním počítačem s operačním systémem a připojením k místní počítačové síti. Obsluha tudíž nemusí k zjištění podrobných informací o výstřiku přecházet k jinému terminálu.

Koncepčně je celé řízení rozděleno:

- sestavení grafu vstřikovacího cyklu,
- definice a nastavení parametru,
- kontrola procesu. [1], [8]

Veškerá nastavení vstřikovacího procesu jsou díky sensorům zpětně verifikovány a případně dynamicky upravovány v závislosti na okolních podmínkách. Řízení stroje má rozhodující vliv na jakost a přesnost výstřiku tím, že určuje a dodržuje přesnost nastavení velikosti a doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují hlavně přesnost a toleranci výstřiku. Dále nastavením hodnoty teploty taveniny, jejíž homogenizací jsou dány fyzikální a mechanické vlastnosti vyrobeného dílu. Vedle vstřikovacího stroje a polymeru ovlivňuje tyto parametry i forma, její teplota a doba chlazení. [1]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

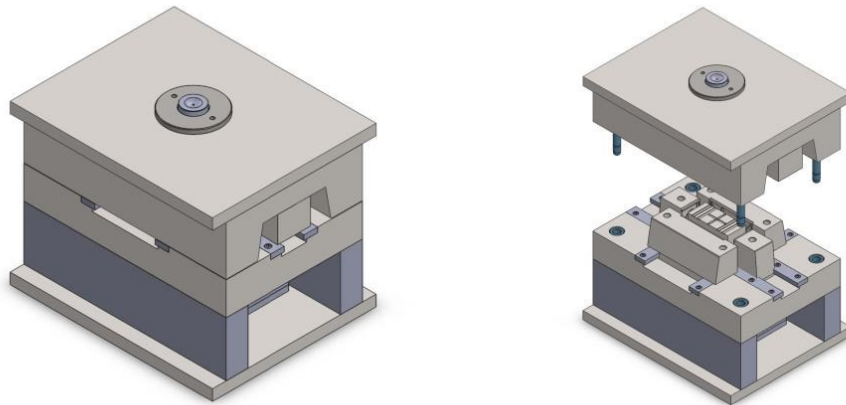
Vstřikovací forma obsahuje dutinu, do které je vstříknut polymer a která po ochlazení určuje konečný tvar a rozměry výrobku při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Vstřikovací forma musí být schopna odolávat vysokým tlakům, musí umožnit snadné vyjmutí hotového výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Konstrukce forem i výroba je z finančního hlediska velmi nákladná.

Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vstříku a opotřebení činných částí nástroje. [5]

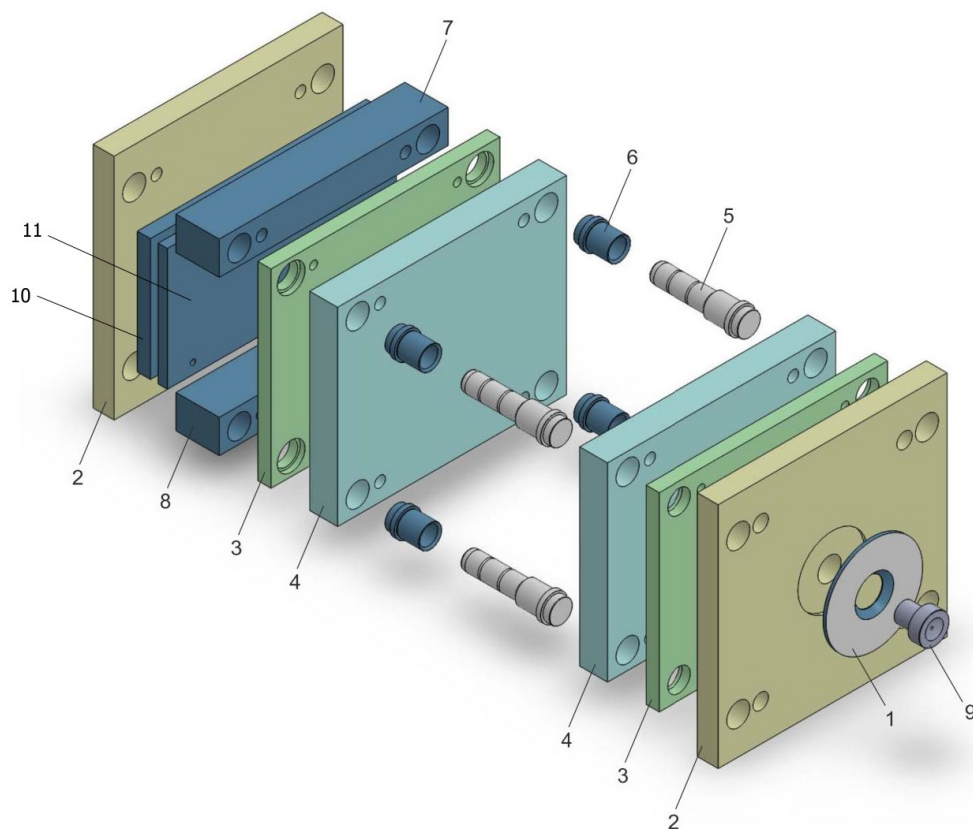
Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové, vytáček, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z chladičného (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. [5]



Obr. 5 3D vstřikovací forma [9]



Obr. 6 Rozložená forma [9]

1 – středící kroužek, 2 – upínací desky, 3 – opěrné desky, 4 – kotevní (tvarové) desky, 5 –
 vodící čepy, 6 - pouzdra vodících čepů, 7 – levá rozpěrná deska, 8 – pravá rozpěrná deska,
 9 – vtoková vložka, 10 – vyhazovací deska opěrná, 11 – vyhazovací deska kotevní

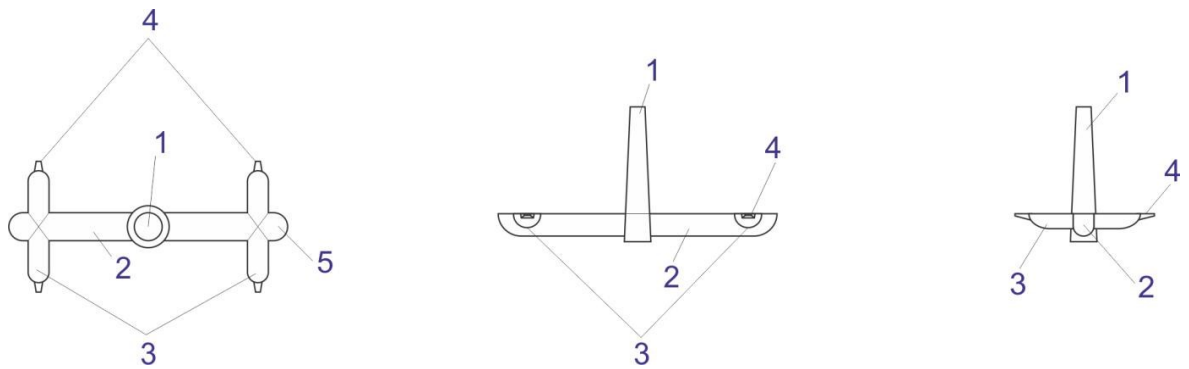
3.1 Vtoková soustava

Konstrukce vtokové soustavy určuje společně s technologickými parametry tokové poměry při plnění formy a je tak důležitým článkem z hlediska kvality samotného výstříku. Vtokový systém rozváděcích kanálů a ústí vtoku spojují otvor v trysce vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Musí zajišťovat správné rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstříku, snadné vyhození vtokového zbytku a objem vtokové soustavy omezit na minimum. Zde musíme skloubit ekonomičnost výroby a zároveň dbát na konstrukční požadavky.

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstříku, materiálu plastu a také podle toho, zda bude konstruována jako studený, nebo horký systém. [5]

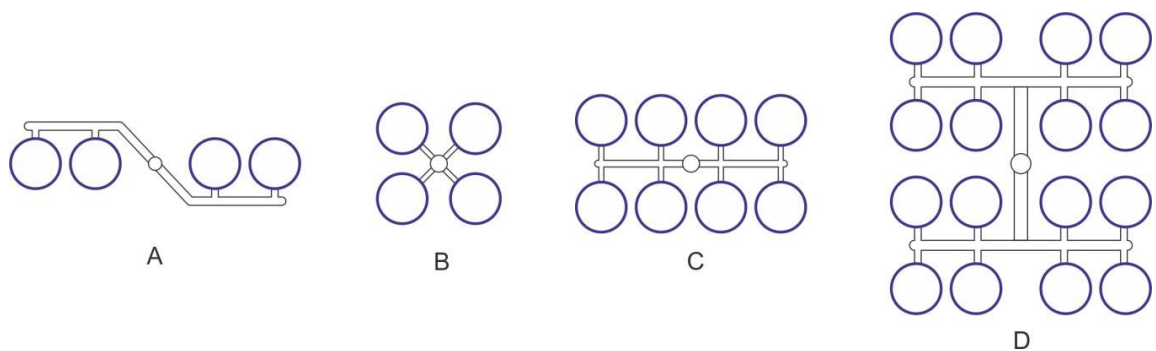
3.2 Studený vtokový systém (SVS)

Studené vtoky jsou používané u forem pro malé série výstříků. Klasický tvar studeného vtoku se používá zejména u stavebnic, kdy je žádoucí zachovat výstříky ve stromu vtoků nebo v rámečku. Tavenina prochází vtokovým kuželem (1) do hlavního kanálu (2). Z hlavního kanálu je vedena pomocí rozváděcích kanálů (3) a do tvarové dutiny vstupuje ústím vtoku (4). Je důležité zachovávat prodloužení čela hlavního kanálu (5). V tomto prodloužení se zachytí chladnější část taveniny, která by bez tohoto prodloužení vstupovala do ústí vtoku a způsobovala potíže při plnění tvarové dutiny. Nejideálnější rozmístění ve formě je ve tvaru hvězdice nebo kříže – obr. 8 položka B. Všechny vtoky mají stejnou délku, tvar i průřez, tudíž i všechny výstříky mají stejné technologické podmínky. U rozmístění A, C a D na obr. 8 mají výstříky blíže vtokového kužele jiné technologické podmínky než výstříky na okraji. Při konstrukci formy je nutno se změnou podmínek u těchto variant rozmístění výstříků počítat a přizpůsobit šířku a hloubku vtoků. Na obr. 9 je znázorněno několik možných průřezů vtokových kanálů. Často používanou variantou je tzv. tunelový vtok – obr. 10. Tento vtok je náročný na přesnost při výrobě, kdy je nutno dodržet ostrou hranu v místě vstupu vtoku do tvarové dutiny. Při vyhození výstříku z formy dojde k odstřížení vtoku od tvaru. Pro všechny typy a tvary vtoků platí, že je nutno zabezpečit co možná nejhladší povrch a ostré hrany kanálů zaoblit. [9]

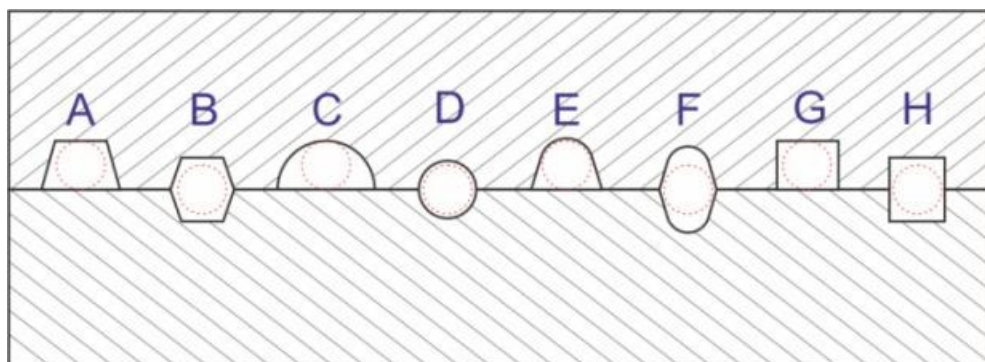


Obr. 7 Studený vtok [9]

1 – vtokový kužel, 2 – hlavní kanál, 3 – rozváděcí kanály, 4 – ústí vtoku, 5 – prodloužené čelo

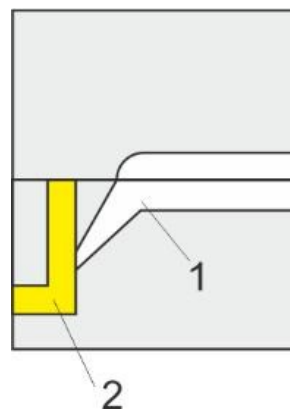


Obr. 8 Typy uspořádání vtoků [9]



Obr. 9 Průřez vtoků [9]

A, C, E, G – Výrobně vhodný průřez vtoku, B, D, F, H – Výrobně nevhodný průřez vtoku

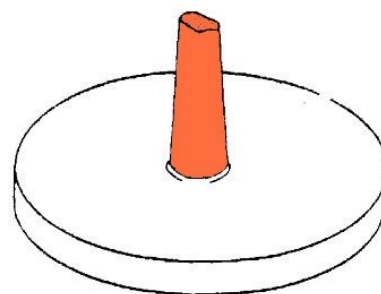


Obr. 10 Tunelový vtok [9]

1 – vtok, 2 – výstřík

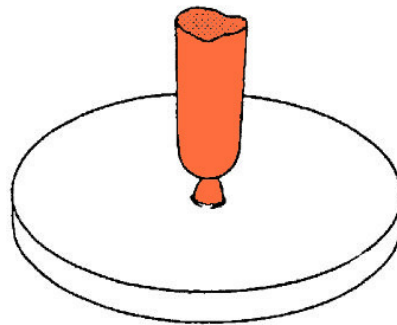
3.2.1 Druhy vtoků

Plný kuželový vtok - dopravuje taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se hlavně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výstříky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, neboť vtok tuhne ve formě jako poslední. Jeho odstranění je náročné a zanechává vždy stopu na výrobku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstříku. Pro menší tloušťky stěn se používá čokovitého zahloubení oproti vtokovému ústí. [1]



Obr. 11 Plný kuželový vtok [10]

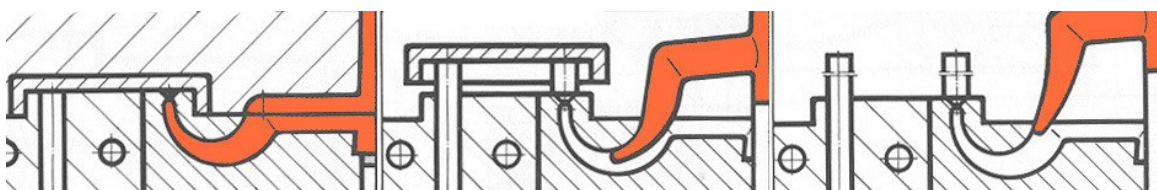
Bodový vtok - jedná se o nejpoužívanější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, jenž leží mimo nebo i uvnitř dělicí roviny. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třideskové formy. U tohoto typu musí být zajištěno, aby v první řadě došlo k odtržení vtokového ústí a teprve až poté k otevření formy v dělicí rovině. V zúženém místě vtoku dochází při odformování k odtržení vtokového zbytku od výstřiku. U tenkostěnných výstřiků se nejužší místo volí dál od těla výstřiku, než je tomu u výstřiků tlustostěnných, tím je zamezeno vytržení materiálu na vstřikovaném výrobku. [1]



Obr. 12 Bodový vtok [10]

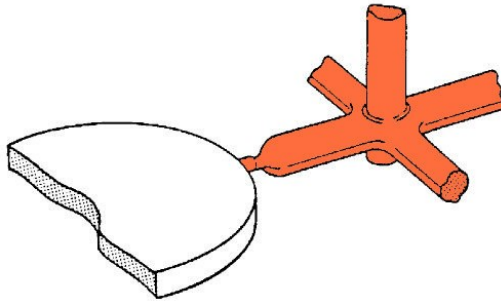
Tunelový vtok - je zvláštní případ bodového vtoku. Je výhodný proto, že vtokový zbytek může ležet ve stejné dělicí rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není tedy nutné konstruovat formu s více dělicími rovinami. Předpokladem správné funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. To je třeba zvážit u vzhledově náročných výstřiků. Není-li zaústění do boku výstřiku možné, využívá se zaústění do vnitřního nálitku, žebra apod. Oddělení vtokového zbytku se provádí buď při otevírání formy, nebo při vyhazování výstřiku, to ovšem vyžaduje použití přidržovače vtoku.

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý (banánový) vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do té části výstřiku, kde nebude působit jako rušivý element. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou. [1]



Obr. 13 Tunelový vtok [10]

Boční vtok - jde se o typ se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, také ale může být i kruhový či lichoběžníkový. Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Při automatickém cyklu je jeho oddělení vyřešeno zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. Ústí se často upravuje do tvaru vějíře, aby bylo zamezeno volnému vstříku. [1]



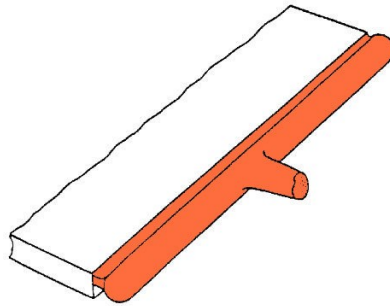
Obr. 14 Boční vtok [10]

Filmový vtok - je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí. Je používán hlavně k plnění kruhových a trubkových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Mezi filmové vtoky se také řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další. [1]

Od filmového ústí se vyžaduje:

- dodržení rovinnosti, přímosti a přesnosti tvaru výstřiku,
- malé vnitřní pnutí,
- odstranění studených spojů,
- vyvážení tlaku, kterým proudící tavenina působí na jádra,
- zmenšení rychlosti taveniny vstupující do formy,
- zmenšení odporu vtokového systému. [1]

Důležitým hlediskem je, že vedení taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné. Tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. Toto se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu. [1]



Obr. 15 Filmový vtok [10]

3.3 Vyhříváný vtokový systém

Systémy horkých vtoků jsou používány u profesionálně vyrobených forem na velké série výstřiků. Pro tento typ vtoků je nutno použít i robustnější konstrukci formy, čímž se i zvýší náklady na její výrobu. Samotný topný systém s tryskami je také poměrně nákladnou záležitostí. [9]

Výhody:

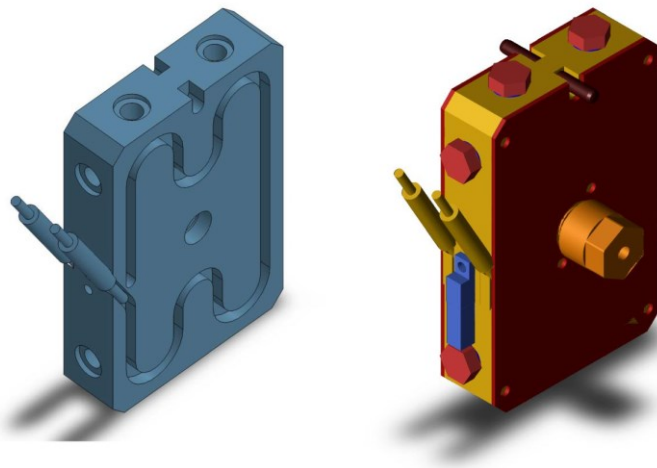
- automatizace výroby,
- kratší výrobní cyklus,
- nižší spotřebu polymeru – vstříkuje se bez vtokových zbytků,
- nižší náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků vtoků a problémy při jejich zpracování.

Nevýhody:

- technologicky složitější,
- vyšší cena formy, strojního zařízení a odborný personál,
- energetická náročnost (regulátory, snímače). [1]

3.3.1 Vyhřívání rozvodné bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se používají ve spojení s vyhříváními nebo izolovanými tryskami s předkomůrkou. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce závisí na rovnoměrném vytápění. Blok je ocelový a je uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Vyrábí se ve tvaru písmen I, H, X, Y či hvězdice. Blok, jako celek, musí být izolován od ostatních částí formy, obvykle vzduchovou mezerou a leštěnými plechy. Vytápění se provádí elektrickým odporovým topením v podobě topných hadů zalitých v mědi či topnými patronami. Regulace výkonu topení probíhá pomocí teplotních senzorů, které následně předávají potřebné informace regulátoru. Kanály pro taveninu musí být přesně vyrobeny, neboť nikde nesmí vzniknout ostré hrany a přechody s mrtvými kouty. Celý blok je ve formě vystředěn a zajištěn proti otočení pomocí trysek a kolíku. [1], [11]



Obr. 16 Vyhřívání blok [9]

3.3.2 Vyhřívání trysek

Konstrukce trysek umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný člunek i s regulací, či je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Značně vylepšuje technologické podmínky vstřikování. Takové vyhřívání vtokové soustavy (VVS) si obvykle uživatel sám nevyrábí, nýbrž nakupuje u specializovaných firem. Ti je vyrábí v širokém konstrukčním sortimentu. [1]



Obr. 17 Vyhříváná tryska [12]

3.4 Vyhazování výstřiku

Vyhazování výstřiků z formy je úkon, kdy je z dutiny formy nebo tvárníku otevřené formy vysunut nebo vytlačen hotový výrobek. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které je součástí vstřikovací formy a svojí funkcí zajišťuje automatický výrobní cyklus.

Pracuje ve dvou fázích:

- pohyb vpřed (vyhazování výrobku z dutiny formy),
- pohyb vzad (návrat vyhazovacího systému do původní polohy).

Pro správnou činnost vyhazovacího systému je důležité, aby měl výstřik hladký povrch a stěny s úkosem minimálně $0,50^\circ$. Vyhazovací systém musí výstřik vysunout rovnoměrně, aby nedocházelo k zapříčení výstřiku, a tím vzniku trvalých deformací nebo dokonce k poškození. Tvar, umístění a rozložení vyhazovačů je velmi různorodý, jednotlivé vlastnosti pak závisí zejména na tvaru výstřiku. V některých případech lze vyhazovače použít i k výrobě funkčních dutin popřípadě jako část tvárníku.

Ve většině případů zanechávají vyhazovače stopu na hotovém výstřiku. V takových případech, pokud je tato stopa považována za závadu, se výstřik buďto dodatečně opraví, nebo se vyhazovače umístí na stranu, která je z hlediska pohledu méně důležitá, tedy kde stopa po jejich činnosti nebude působit rušivě.

Mimo vyhazování výstřiků se také vyhazují vtokové zbytky. V některých případech je dokonce možné oddělit vtokový zbytek od výstřiku. [13]

3.4.1 Mechanický vyhazovací systém

Text Je nejrozšířenější vyhazovací systém, který se používá všude tam, kde je to možné. Jeho konstrukce má různá provedení, která představují:

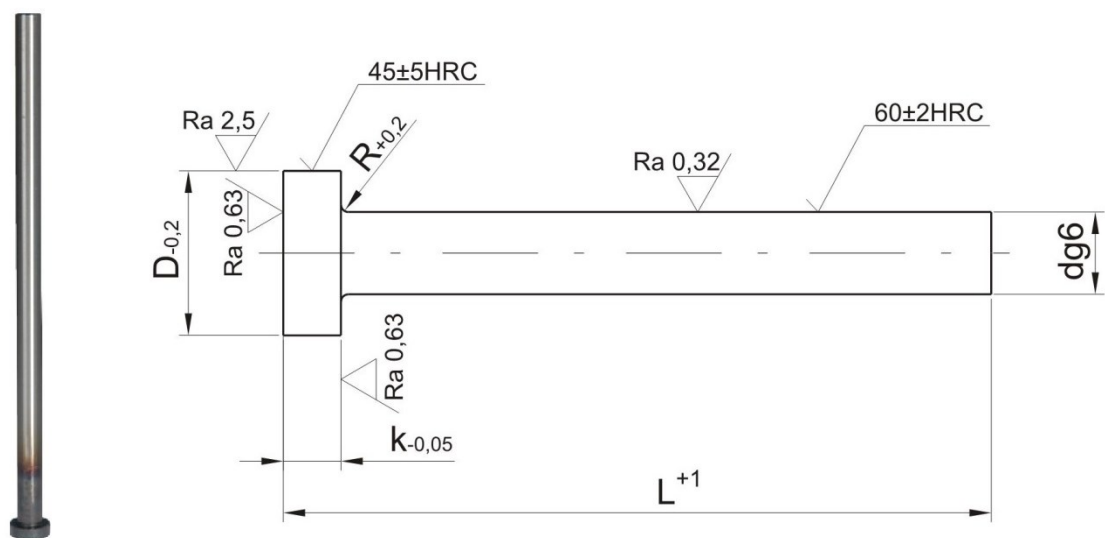
- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování,
- speciální vyhazování.

Ve zvláštních případech, kdy je výstřík mělký, se vyhazovače nemusí používat. V tomhle případě postačí pouze vyhození vtokového zbytku, se kterým je výstřík spojen. [13]

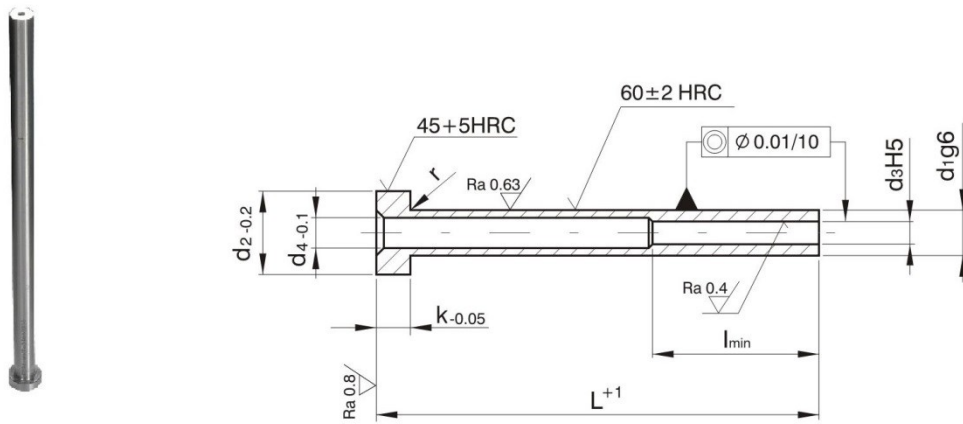
Vyhazovací kolíky

Jsou nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování hotových výstříků. Systém vyhazovacích kolíků lze použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače kolmo na plochu výstříku v ose vyhození. Je výrobně jednoduchý a z hlediska funkčnosti spolehlivý. Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstříku, které nesmí při vyhazování deformovat (bortit), jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstříku stopy, tudíž je není vhodné umístit na pohledových plochách. Pokud je vyhazování vybaveno větším množstvím vyhazovacích kolíků, obtížněji se u formy zhotovují temperační kanály.

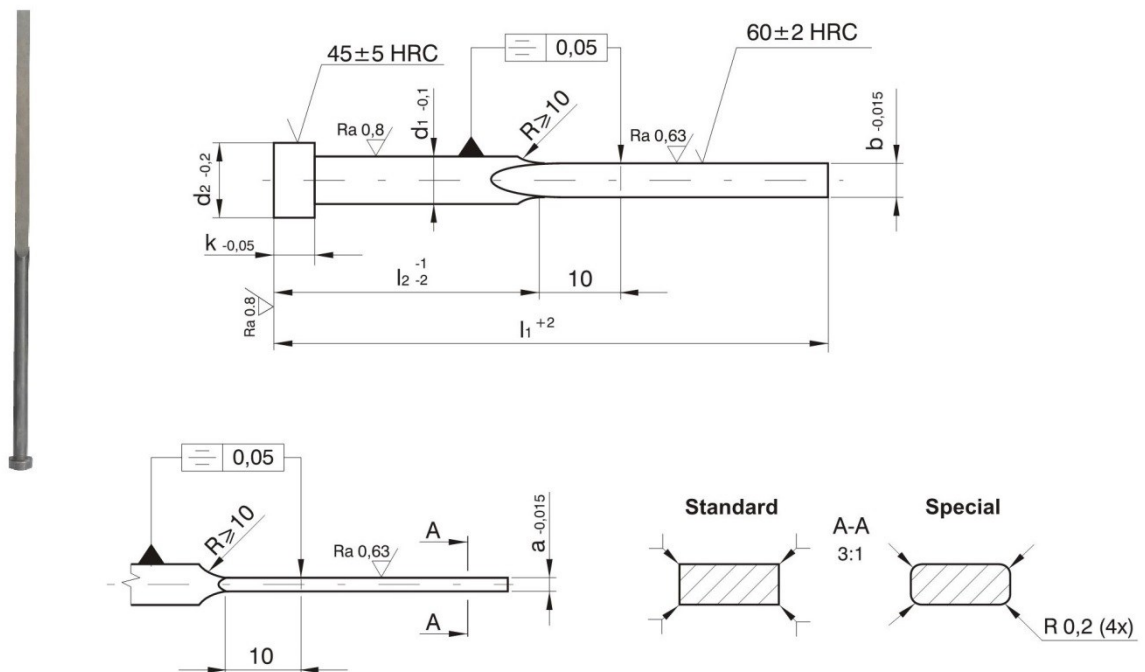
Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcovité. Mohou však mít jakýkoliv jiný tvar. [13]



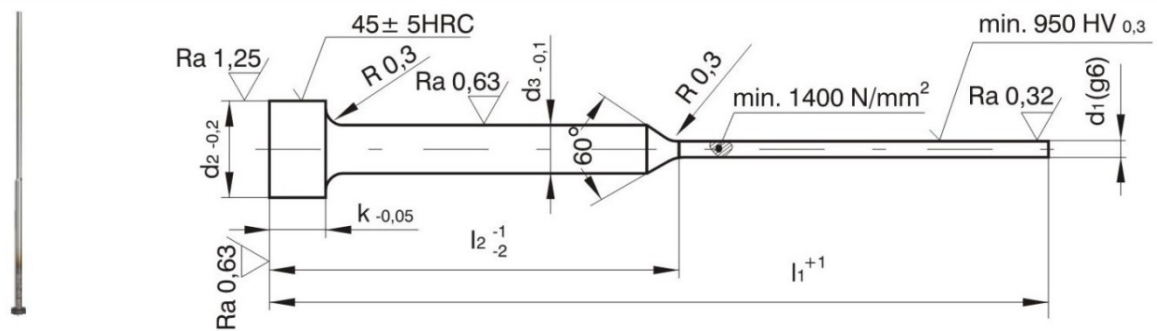
Obr. 18 Vyhazovací válcový kolík [14]



Obr. 19 Vyhazovací trubkový kolík [14]



Obr. 20 Vyhazovací prizmatický kolík [14]



Obr. 21 Vyhozovací osazený kolík [14]

Šikmé vyhazování

Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. V případě vyhazování výstřiku se zápichem vyhazovače svým šikmým pohybem uvolňují zvětšenou, případně zmenšenou část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich může být vytvořen přímo na vyhazovači, nebo s šikmo uloženými kolíky jsou pevně spojeny čelisti, se kterými plní podobnou funkci. Tohle uspořádání může být kombinováno i s přímým vyhazováním. Tenhle způsob musí být funkčně bezchybný a výrobně jednoduchý. [13]

Dvoustupňové vyhazování

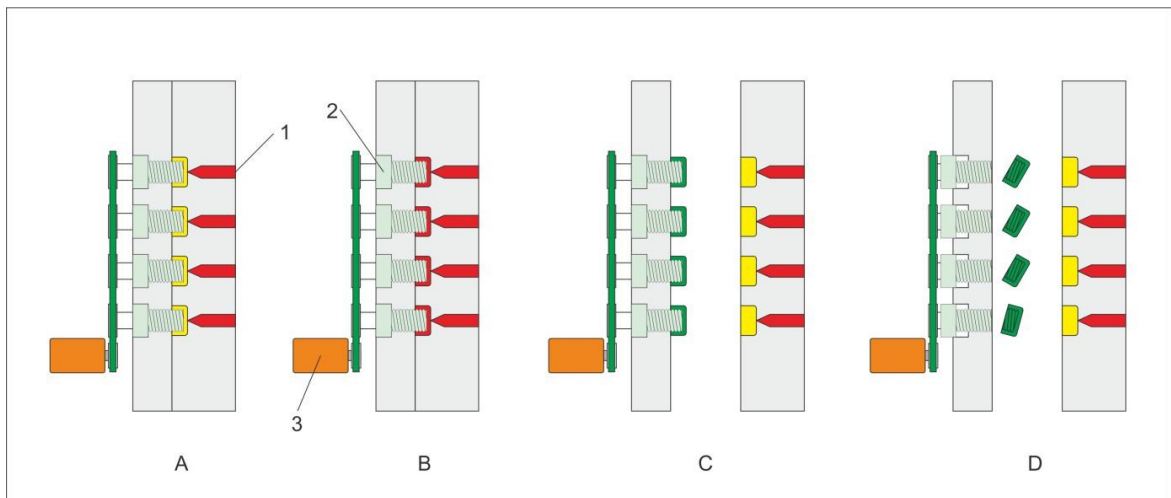
Vyžaduje dva vyhazovací systémy, jež se vzájemně ovlivňují. Umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Tudiž se používá například k vyhazování tenkostěnných výstřiků v kombinaci - stírání s vyhazovacími kolíky, při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem. [13]

Stírací deska

Tento způsob vyhazování funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Tento způsob vyhazování je vhodný u výstřiků, na kterých by stopa po vyhazovači byla optickým nedostatkem. Díky velké stykové ploše stopu nezanechá. Velká styková plocha způsobuje také minimální deformace výstřiku. Používá se zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by hrozila velká deformace díky vyhazovači a tam, kde vyžadujeme velkou vyhazovací sílu. Jediné omezení pro použití je, aby výstřik na stírací desku dosedal v rovině případně v mírně zakřivené ploše. Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo může být vázán na pohyb pevné desky při otevírání formy. [15]

Systém pro vytáčení výstřiku nebo jádra

Tyto systémy se převážně používají u konstrukcí forem na výstřiky se závity – např. uzávěry na PET lahve. Konstrukce a výroba takové formy je velmi náročná a nákladná. Z tohoto důvodu se umísťuje do jedné formy co nejvíce tvarových dutin. Vytáčení jádra je prováděno pomocí elektrického, hydraulického nebo pneumatického zařízení, které je zabudováno do formy. Plánovaný počet výstřiků se u těchto forem počítá na miliony až stovky milionů. V těchto formách se používají tzv. horké vtoky. Tímto odpadá manipulace se vtoky po otevření formy a vyhození výstřiků. [9]



Obr. 22 Vytáčení jádra [9]

1 – Horké vtoky, 2 – Jádra, 3 – Otočný mechanismus, A – Uzavřená forma, B – Vstřík, C – Otevření formy, D – Vytočení jader

3.4.2 Vzduchový (pneumatický) systém

Je vhodným systémem pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Způsob není tak častý, ale pro některé výstřiky je velmi výhodný (např. kbelík). Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřík a líc formy, umožní se rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku a tím se zamezí stopám po vyhazovačích na výstřiku. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků. [13]

3.4.3 Hydraulický vyhazovací systém

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. Pomocí tohoto mechanismu se přímo ovládají vyhazovací kolíky stírací desky apod. [13]

3.5 Temperace forem

Temperace forem slouží k udržování konstantního teplotního pole uvnitř formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování, při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Hlavním dějem celého procesu je ochlazování, případně vyhřívání celé formy, či některé její části. Během vstřikování je polymer přiváděn ve formě taveniny do dutiny formy, kde je následně ochlazen na vyhazovací teplotu (tj. teplotu, při které již nedochází k deformaci výstřiku vlivem vyhození). Temperace ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí výstřiku. Při každém vstřiku forma přijímá a akumuluje teplo z taveniny. Toto přebytečné teplo je nutné odvést temperačním systémem formy kvůli zajištění stejných technologických podmínek pro všechny výstřiky. [13]

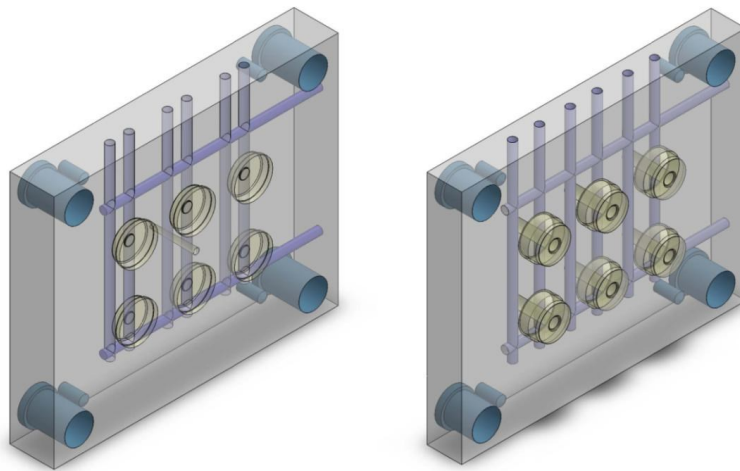
Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (PC). V takovém případě jsou tepelné ztráty formy do okolí větší, než její ohřátí taveninou a musí se forma naopak ohřívat. Taktéž při zahájení výroby je třeba nejdříve formu vyhřát na pracovní teplotu. V opačném případě by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku a reprodukovatelnost. [13]

Úkolem temperace je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby byl celý pracovní cyklus ekonomicky dlouhý.

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží se nebezpečí deformace za vysokých vstřikovacích tlaků.

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává, nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou, nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin, se volí s ohledem na celkové řešení formy. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média, nebo opačně. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak. [13]



Obr. 23 Chladicí kanály [9]

3.5.1 Temperační prostředky

Jedná se o média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Rozdělení je následující:

- aktivní (působí přímo na formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí),
- pasivní (svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy).

Množství a teplota chladicího média ve formě se řídí pomocí průtokoměrů. [13]

Tab. 1 Aktivní temperační prostředky [13]

Typ	Výhody	Nevýhody	Poznámka
Voda	Vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost.	Použitelné do 90°C*), vznik koroze**), usazování kamene.	*)v takových okruzích možno vodu použít i při vyšších teplotách, **) lze potlačit upravením vody
Oleje	Možnost temperace i nad 100°C, omezení koroze	Zhoršený přestup tepla, vyšší cena, ekologie	
Glykoly	Omezení koroze a ucpávací systému	Stárnutí, znečišťování prostředí	

3.6 Odvzdušnění forem

V dutině formy se před vstříknutím plastu nachází vzduch. Když se dutina formy zaplní vzduchem, dojde k jeho stlačení a tím pádem narůstá jeho tlak. Tento nárůst tlaku může zapříčinit zažehnutí vzduchu a tím ke spálení vstříkovaného polymeru. Tomuto jevu se říká Dieselův efekt. Vzduch v dutině formy má za následek negativní ovlivnění mechanických vlastností výstřiku tvořením bublin, které zůstávají uzavřené ve stěnách výstřiku. Z těchto důvodů je třeba zajistit dobré odvzdušnění formy.

Během vstřikování tlak taveniny narůstá. Velikost protitlaku stlačeného vzduchu je závislý na odvzdušnění. Je-li nutné zvýšit vstřikovací tlak díky nedokonalému odvzdušnění, důsledkem budou vnitřní pnutí na výstřiku.

U tenkostěnných výstřiků, díky nižší teplotě taveniny a nedostatečnému tlaku a rychlosti plnění, se soustřeďuje vzduch na opačné straně od vtoku. Není-li umožněno vzduchu uniknout, vzniká nedotečený výstřik. K této vadě může dojít i při nízké teplotě formy nebo malé dávce polymeru.

Při určitých technologických parametrech a vnějších tloušťkách stěn výstřiku vzduch, který nemohl uniknout, vnikne do taveniny a při ochlazování vytvoří bubliny. Bubliny vzniklé nedostatečným odvzdušněním od bublin vzniklých jiným způsobem, lze rozeznat tak, že

jsou rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé například z důvodu vlhkosti polymeru nebo přehřátím jsou naopak téměř rovnoměrně rozptýleny v celém objemu výstřiku. [15]

3.7 Materiály forem

Vstřikovací forma je nákladný celek sestavený z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Důležitým aspektem je materiál forem, který je ovlivněn podmínkami výroby, jež jsou určené:

- druhem vstřikovaného polymerního materiálu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem. [13]

Pro výrobu forem se používají materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře a mají univerzální rozsah použití. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovu (Cu, Al, ...),
- ostatní materiály (tepelně izolační, tepelně vodivé). [13]

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů pro výrobu forem. Svou pevností a ostatními mechanickými vlastnostmi těžko nacházejí alternativu. Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto vyžadují specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr musí odpovídat funkci součásti, s ohledem na opotřebení a požadovanou životnost. [13]

Od materiálu vhodných pro výrobu forem se očekává:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť,
- dobrá tepelná zpracovatelnost (cementování, kalení, nitridování, atd.). [13]

Z technologického hlediska výroby výstřiku má materiál dále zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům polymeru,
- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměru a minimálními deformacemi při kalení. [13]

4 DEFEKTY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Mezi nejdůležitější aspekty celého výrobního procesu vstřikování je hodnocení výrobku a jeho vad. I přesto, že v dnešní době existují stále modernější stroje, programy k simulaci celého procesu a veškeré znalosti z oblasti plastikářského průmyslu, tak nadále se s defekty vstřikovaných výrobků musí počítat a brát je na zřetel.

Dnešními počítačovými programy můžeme zjistit velkou spoustu výsledků. Ať už to je chování taveniny uvnitř formy, ale i další prvky důležité pro správné odformování výstřiku. Účelem je zajistit výrobek bez vad, které vedou ke znehodnocení celého pracovního cyklu. Největším problémem jsou považovány vady, které nalezneme uvnitř výstřiku samotného. [17]

Od stanovených norem daných výrobním výkresem, či referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami se mohou odlišovat rozměry, tvar a vlastnosti výstřiku, což je chápáno jako defekty výstřiku – přesněji řečeno „výrobní vady výstřiku“. Tyhle vady mohou být v materiálu, který je zpracováván, v konstrukci výrobku (plastového dílu), vstřikovací stroji, vstřikovací formě a taktéž ve zvolených technologických podmínkách. Základní rozdělení vad se rozlišuje na:

- vady viditelné – na první pohled zřetelné
- vady skryté – uvnitř výstřiku (výrobku) [1]

Vady výrobků mohou být zapříčiněny:

- ve zpracovaném polymeru;
- v konstrukci výrobku;
- ve vstřikovací stroji;
- ve vstřikovací formě;
- ve špatně zvolených technologických podmínkách. [17]

4.1 Vady viditelné

Tyhle vady lze rozlišit viditelně pouhým pohledem, při porovnání s referenčním vzorkem. Viditelné vady se dále rozdělují na dvě kategorie:

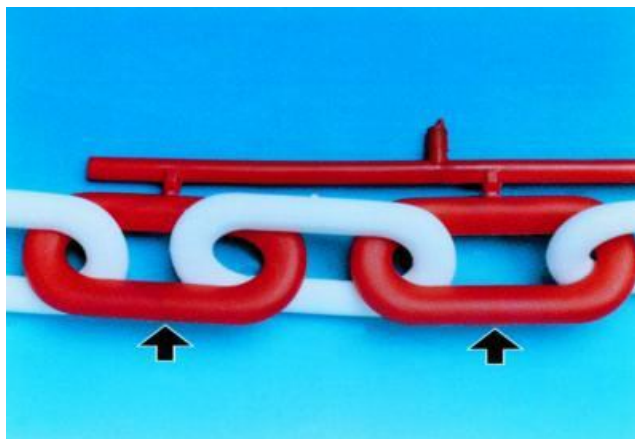
- vady tvaru;
- vady povrchu.

Mezi tvarové vady lze zařadit například nedostříknuté výrobky, propadliny, přetoky a otřepty, vrásnění nebo zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukce formy (např. malé úkosity, poddimenzovaný vyhazovací systém, nevhodná vtoková soustava, nedostačující temperační systém, nedokonalé odvodušnění dutiny formy), rozměrové vady atd. [5]

Povrchové vady jsou například stříbření, nerovnoměrný lesk, rozptyl světla způsobený malými částmi obsaženými v průhledné látce (opalescence), povrch gramofonové desky, matná místa, takzvaně povrch pomerančové kůry, stopy po studeném spoji, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhliny, tokové čáry, nedokonalé vybarvení či změna barvy, žloutnutí u přírodních plastů, stopy po zdegradovaném či jiném materiálu (černé body, tečky, šmouhy, spálená místa), stopy po vlhkosti, uzavřeném vzduchu v tavenině a další. [17]

4.1.1 Studené spoje

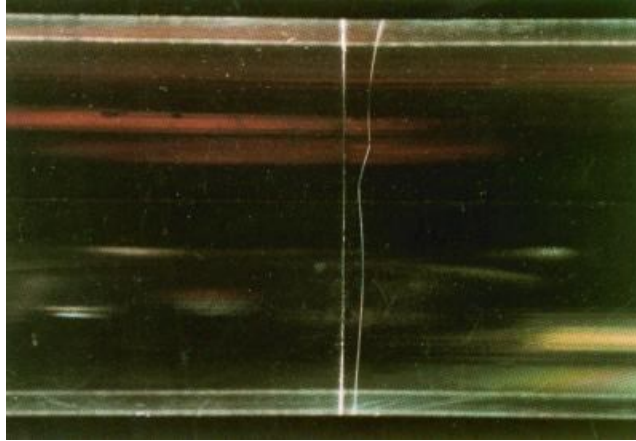
Tyhle vady způsobují pevnostní zeslabení výstřiku a stejně tak jsou i vadami vzhledovými na povrchu výstřiku. Vznikají tehdy, když se proud taveniny, který vyplňuje tvarovou dutinu formy, rozdělí o tvarové prvky (například jádra) na dva nebo více toků a opět se spojí čelně nebo bočně či tangenciálně. Jako nejbezpečnější studený spoj, a to ze vzhledového i pevnostního hlediska, je spoj čelní. [17]



Obr. 24 Čelní studený spoj [17]

Pevnostní hledisko je u mechanicky namáhaných plastových dílů zela určující. Z tohoto důvodu je důležitý správný výběr termoplastu pro konkrétní využití. V porovnání amorfní polymery – semikrystalické polymery jsou na tom z hlediska pevnostního zeslabení v místě studeného

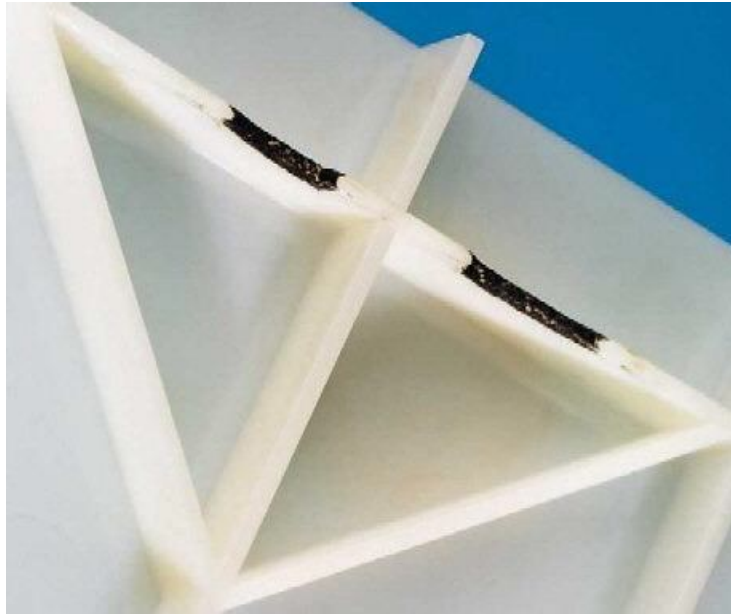
spoje lépe polymery semikrystalické. Amorfni polymery vykazují značné pevnostní oslabení, které se může přeměnit až na podobu vrubu. [17]



Obr. 25 Studený spoj – vrub amorfního polymeru [17]

4.1.2 Dieselův efekt

Dieselův efekt vzniká při vysoké vstřikovací rychlosti nebo také při špatném odvzdušnění dutiny formy. Vzduch, který se nedokázal z dutiny formy odvést, se komprimuje a tím pádem vzniká ohřev, který má právě za následek místní degradaci materiálu. Nejhorším případem Dieselového efektu může být vznik spálených míst na výrobku. V místě lokální komprese vzduchu vznikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy po spáleném materiálu. Například u tlustostěnných výrobků může docházet k tvorbě nežádoucích malých bublin, které jsou důsledkem rozptýlení vzduchu do taveniny. V těch místech, kde tento jev vzniká, je třeba zkonstruovat odvzdušňovací kanálky odpovídající tloušťky, která závisí na typu zpracovávaného materiálu a technologických podmínkách vstřikovacího procesu. Problémy s nedostatečným odvzdušněním se vyskytují převážně u nových forem, které mají velmi přesně slícované dělicí roviny, tvarové prvky atd. [17]



Obr. 26 Spálená místa – Dieselův efekt [17]

4.1.3 Stříbrné pruhy

Stříbrné pruhy se vyskytují na vstříkovaných výrobcích při vstříkovaní taveniny za příliš vysoké teploty, při špatně vysušeném materiálu či díky velkému tření v oblasti vtokového ústí. [1]



Obr. 27 Stříbrné pruhy [19]

4.1.4 Vzduchové bubliny

Vzduchové bubliny vznikají při nízkém vstřikovacím tlaku, při nízké teplotě formy nebo v případech, kdy jsou během vstřikování přítomny těkavé složky. Velký vliv na tvorbu vzduchových bublin má také přechod mezi silnou a slabou stěnou vstřikovaného výrobku. [1]



Obr. 28 Vzduchové bubliny [20]

4.1.5 Tvarové a rozměrové vady

Tvarové a rozměrové vady jsou takové, které ovlivňují správný tvar a rozměr výstřiku určený výrobním výkresem, 3D modelem. Výstřiky jsou narušené či deformované vlivem výrobního procesu a jeho nesprávného nastavení.

Nejčastěji se jedná o vady:

- Neúplné výstřiky;
- Přetoky, otřepy;
- Propadliny, zvlňný povrch, staženiny;
- Stopy po vyhazovačích;
- Deformace výstřiku při vyhození z formy;
- Stopy po studené tavenině, delaminace povrchu;
- Nedodržení rozměrů a předepsaných tolerancí. [18]

4.2 Vady skryté

Vedle vad viditelných existují také vady skryté. Jsou to ty vady, které nejsou pouhým okem viditelné, což na rozdíl u vad viditelných lze. Tyhle vady ovšem negativně ovlivňují celou řadu vlastností vstřikovaného výrobku, proto jsou vadami nebezpečnými. U termoplastů - nejvíce používaných polymerů - je třeba počítat s těmito vadami:

- Nerovnoměrná orientace vláken nebo molekul (u vyztužených typů);
- Vnitřní pnutí (důsledkem nerovnoměrné krystalizace nebo přeplnění dutiny formy)
- Nerovnoměrná krystalizace semikrystalických polymerů;
- Degradční procesy vedoucí ke snížení pevnosti a houževnatosti materiálu;
- Vnitřní defekty jako jsou lunkry, uzavření vzduchu, plyny z degradujících procesů a další. [18], [17]

5 SIMULAČNÍ SOFTWARE

V dnešní době má význam simulačních softwarů obrovský potenciál, neboť narůstá využití plastových dílů v téměř všech oborech. Vznikají čím dál větší požadavky na snížení výrobních nákladů či co nejrychlejší uvedení výrobku na trh. Těmito simulačními softwary můžeme získat velmi detailní kontrolu nad celým procesem vstřikování. Touto problematikou se zabývá několik specializovaných firem, které jsou v oblasti vstřikování plastů velmi žádanými.

5.1 Autodesk Simulation Moldflow

Jedná se o simulační software pro vstřikování plastů, součást řešení Autodesk pro Digital Prototyping, poskytuje nástroje, které pomáhají výrobcům predikovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design plastových dílů a vstřikovacích forem. Firmy po celém světě využívají software Autodesk®Simulation Moldflow® Adviser a Autodesk® Simulation Moldflow® Insight, který snižuje potřebu nákladných fyzických prototypů, omezuje potenciální výrobní vady a umožňuje rychleji uvést na trh inovované výrobky. [21]

5.2 Simulace

Simulační software Autodesk Simulation Moldflow vyniká svojí pestrostí, kdy poskytuje nepřehlednou škálu možností. Jednou z možností je například analýza optimálního umístění vtoku, efektivnost temperačního systému vstřikovací formy, dále také analýza plnění a dotlaku, či analýza smrštění a deformace, díky kterým lze vyhodnotit a minimalizovat případné vady budoucích výrobků. Na základě takových analýz je možné společně se zákazníkem tyto vady prodiskutovat a provést případné změny, ať už samotného výrobku, temperačního systému, či procesních parametrů. Mezi tyto úpravy může například spadat změna umístění polohy vtoku, rozšíření temperačních kanálků, či např. přidání žebírek samotnému výrobku nebo také pouze změna procesních parametrů, jako je třeba vstřikovací tlak, vyhazovací teplota, teplota formy nebo teplota chladicího média.

Dalšími velmi významnými parametry simulací je i to, že lze přesně zvolit použitý materiál, změnit násobnost formy včetně přesného zvolení temperačního média a tím nasimulovat celý proces vstřikování.

5.2.1 Simulace toku taveniny

Pomocí simulace toku taveniny lze optimalizovat technologický design plastového dílu a vstřikovací formy, omezit potenciální vady dílů a zlepšit proces vstřikování. [21]

5.2.2 Vady dílů

Lze určit potenciální vady dílů, jako jsou studené spoje, uzavřený vzduch a propadliny, projekt přepracovat a tyto problémy eliminovat. [21]

5.2.3 Simulace plnění

Simulace fáze plnění během procesu vstřikování termoplastů predikuje tok taveniny a pomáhá rovnoměrně plnit dutinu forem, eliminovat zmetkové výstřiky a odstranit, minimalizovat nebo přemístit studené spoje a uzavřený vzduch. [21]

5.2.4 Simulace dotlaku

Umožňuje optimalizovat dotlak a vizualizovat velikost a rozložení objemového a lineárního smrštění a tím minimalizovat deformace plastových dílů a omezit vady, např. propadliny. [21]

5.2.5 Simulace vtokového systému

Umožňuje modelovat a optimalizovat systémy horkých i studených vtoků a umístit vtoková ústí. Tím dosáhneme kvalitnějšího povrchu dílu, minimalizujeme deformace a snížíme čas cyklu. [21]

5.2.6 Simulace vtoků

Lze identifikovat až 10 vtokových ústí současně. To umožňuje minimalizovat vstřikovací tlak a zároveň specifikovat oblasti, kde je umístění vtoku vyloučené. [21]

5.2.7 Projektování vtokového ústí

Můžeme vytvořit vtokový systém na základě zadaných parametrů pro dané uspořádání, velikost a typ komponentů, např. trysek, vtokových kanálů a vtokových ústí. [21]

5.2.8 Modelování chladicích komponent

Funkce analyzuje účinnost systému chlazení formy. Modelování chladicích okruhů, přepážek, fontán, vložek a rámu forem. [21]

5.2.9 Analýza chladicích systémů

Umožňuje optimalizovat navržený chladicí okruh a tím dosáhnout rovnoměrného chlazení dílu, minimalizovat dobu cyklu, omezit deformace dílu a snížit výrobní náklady. [21]

5.2.10 Simulace smrštění a deformace

Vyhodnocení technologického designu dílu a formy pomůže lépe řídit smrštění a deformace. [21]

5.2.11 Smrštění

Rozměrové tolerance dílu lze dodržet predikcí smrštění dílu založenou na procesních parametrech a specifických materiálových datech pro daný typ polymeru. [21]

5.2.12 Deformace

Predikce deformace vyplývají z napětí, která vzniká při vstřikovacím procesu. Lze identifikovat místa, kde se mohou deformace vyskytnout a lze upravit design dílu a formy, zvolený materiál a procesní parametry tak, aby deformace byly v mezích tolerance. [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zadání diplomové práce:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- proved'te konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
- navrhnete vstřikovací formu pro zadaný díl,
- nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku,
- proved'te analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow.

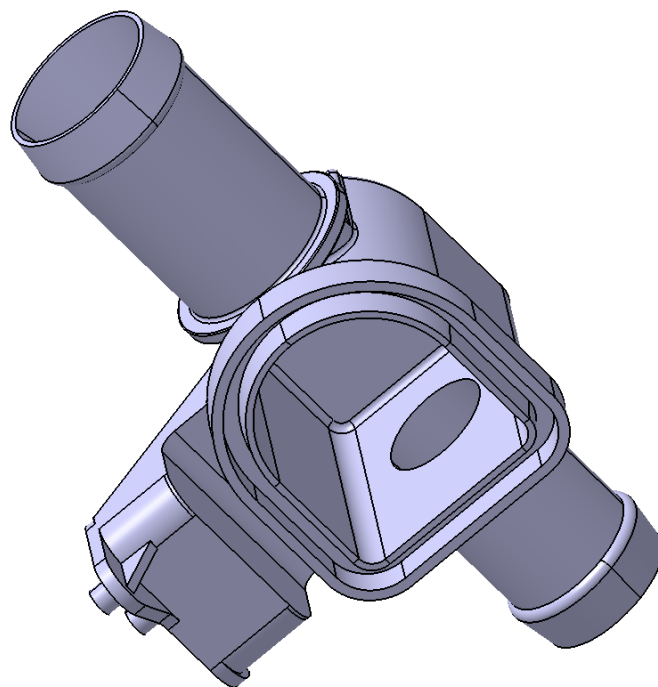
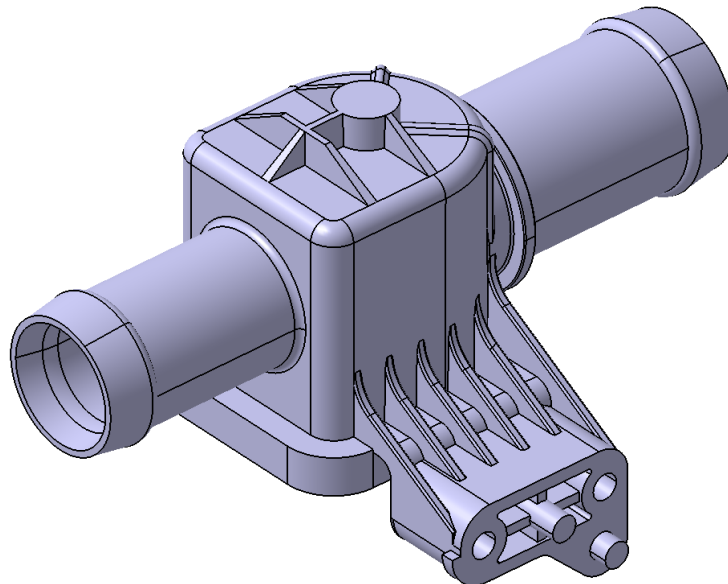
Literární studie má za úkol teoreticky přiblížit problematiku vstřikování, rozdělení materiálů určených ke vstřikování a rozbor jednotlivých částí formy.

Úkolem praktické části byla konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu. Výchozím modelem je reálný výrobek. Jedná se o kryt průtokového čidla části motoru automobilu. K tomuto výrobku byl navržen 3D model vstřikovací formy s 2D výkresovou dokumentací a kusovníkem včetně provedení analýzy procesu vstřikování v programu Moldflow.

Návrhy a konstrukce vstřikovací formy byly vytvořeny pomocí softwaru CATIA V5R19 a modulu s normáliemi firmy HASCO. Analýza procesu vstřikování byla provedena v softwaru Autodesk Simulation Moldflow.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaným vstříkovaným dílem je kryt průtokového čidla části motoru automobilu. Jedná se o reálný výrobek. Výrobek je černé barvy z materiálu polyamid 6 plněný z 35% skelnými vlákny (PA6GF35). Rozměry výrobku jsou 107x61,5x59,5 mm.



Obr. 29 3D model výrobku

7.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiál výstřiku je černý polyamid 6 plněný z 35% skelnými vlákny od firmy BASF spol. s r.o. s obchodním označením B3WG7 (PA6-GF35). Díky plnění z 35% skelnými vlákny je zvýšená pevnost a tuhost. Typické vlastnosti tohoto materiálu jsou odolnost proti stárnutí při vysokých teplotách, vysoká tuhost a pevnost, dobrá odolnost proti hoření, vynikající dielektrické vlastnosti, dobrá odolnost proti otěru, vynikající chemická odolnost.

Tab. 2 Vlastnosti materiálu

Hustota:	1,41 [g/cm ³]
Napětí na mezi kluzu:	195 [MPa]
Mez pevnosti v ohybu:	280 [MPa]
Modul pružnosti v tahu:	11000 [MPa]
Teplota tavení popř. zesklivatění:	220 [°C]
Tažnost:	3,5 [%]
Teplota taveniny:	270 – 290 [°C]
Teplota formy:	80 – 90 [°C]

7.2 Volba vstřikovacího stroje

Ke vstřikování dílu byl zvolen stroj od německé firmy Arburg typ Allrounder 470 S na základě zjištění technických údajů jako je např. objem dávky, vzdálenost mezi sloupky a velikost upínací desky, které zcela vyhovují rozměrům navržené vstřikovací formy.



Obr. 30 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 S [22]

Tab. 3 Parametry uzavírací jednotky [22]

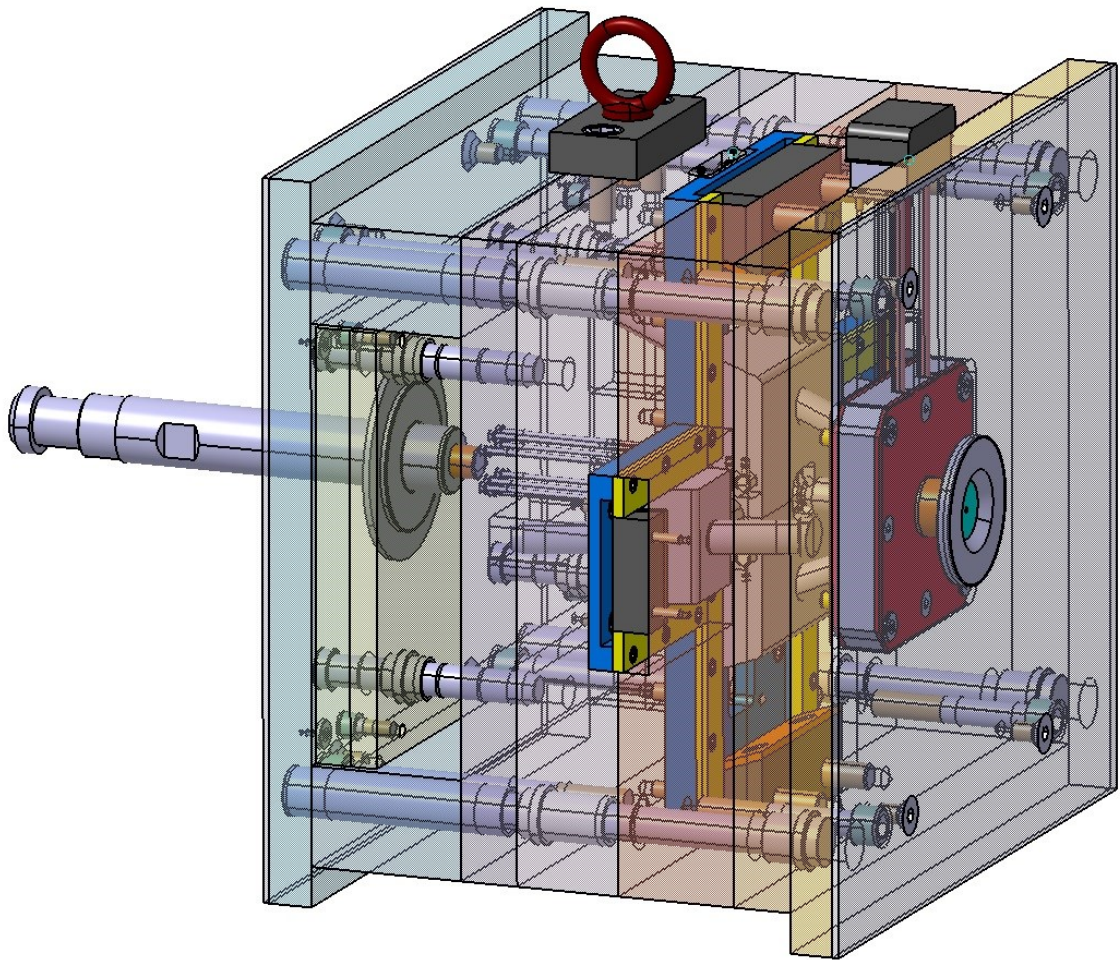
Uzavírací síla:	1100 [kN]
Vzdálenost mezi sloupky:	470x470 [mm]
Velikost upínací desky:	637x637 [mm]
Vyhazovací síla:	40 [kN]
Zdvih vyhazovače:	175 [mm]

Tab. 4 Parametry vstříkovací jednotky [22]

Průměr šneku:	35 [mm]
Poměr šneku:	20 [L/D]
Objem dávky:	144 [cm ³]
Vstříkovací tlak:	2000 [bar]
Přítlačná síla trysky:	60 [kN]
Objem násypky:	50 [l]

8 KONSTRUKCE FORMY

Při konstrukci vstřikovací formy musí být brán zřetel na složitost vyráběného dílu a jednoduchost formy. Použitím normalizovaných dílů od firmy Hasco se snižují náklady na výrobu formy a tím i její složitost. Vstřikovací forma je volena jako jednonásobná s horkým vtokovým systémem pomocí rozvodného bloku s horkou tryskou. Jednonásobná forma byla zadána z důvodu složitosti dílu a jeho spolehlivého odformování.

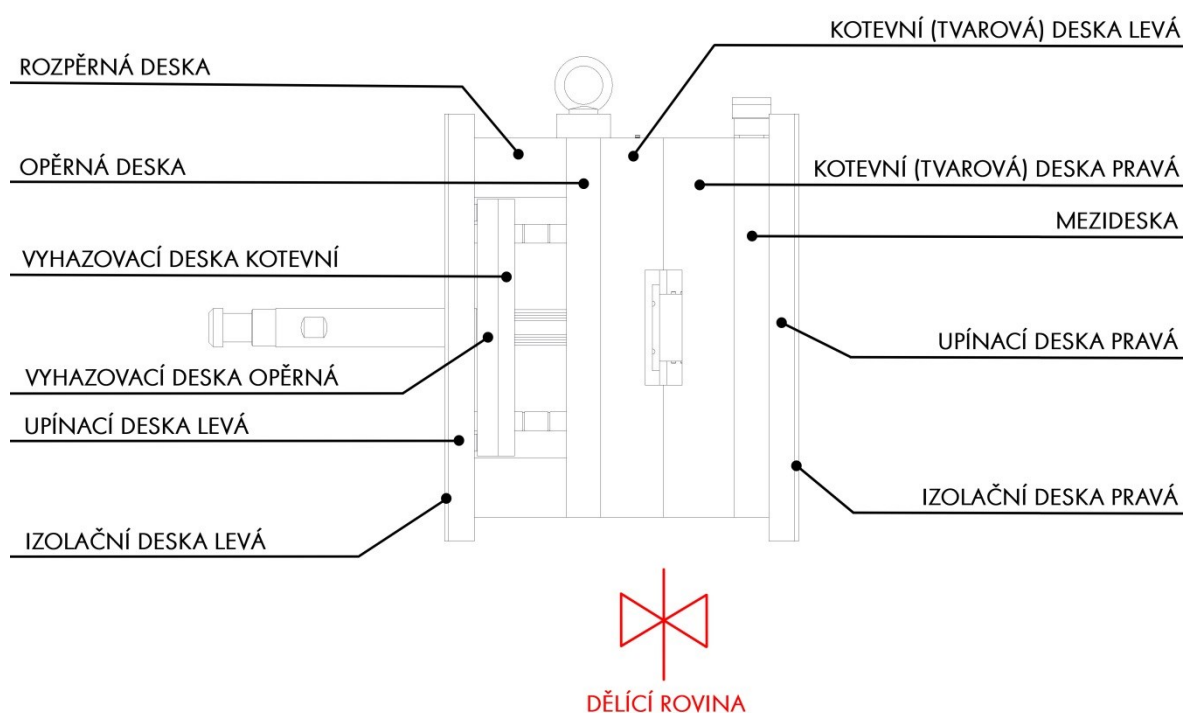


Obr. 31 Celkový pohled na vstřikovací formu

8.1 Rám vstřikovací formy

Rám vstřikovací formy je sestaven z desek, které jsou vyobrazeny na následujícím obrázku (obr. 32). Upínací desky zároveň s deskami izolačními jsou o rozměrech 446 x 446mm. Ostatní desky jsou s rozměry 396 x 446 mm. Tloušťka desek je uzpůsobena vzhledem k součástem uvnitř jich uložených.

Celkové rozměry rámu formy jsou 446 x 446 x 369,3 mm (v x š x d).



Obr. 32 Popis desek rámu vstřikovací formy

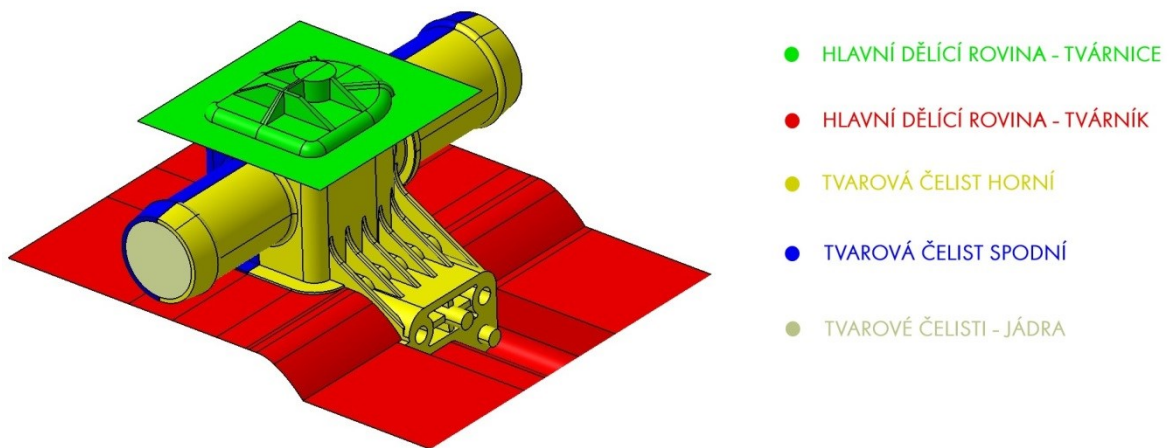
8.2 Násobnost formy

Při volbě násobnosti formy jsou důležité aspekty, jako je přesnost výstřiku, či jeho složitost. Vzhledem ke kvalitě výrobku je vhodné volit co možná nejmenší násobnost formy. Naopak pro ekonomickou výrobu je vhodná násobnost co největší. U co nejmenší násobnosti se zvyšuje doba potřebná k vyrobení daného množství kusů, u největší násobnosti se doba zkracuje, ale vznikají tím větší náklady na výrobu formy a je třeba využít výkonnější vstříkovací stroj.

8.3 Dělicí rovina

Vzhledem ke složitosti výrobku bylo nutné zvolit tři dělicí roviny – dvě hlavní (tvárníku a tvárnice) a jednu vedlejší (příčná dělicí rovina mezi tvárníkem a tvárnici pro tvarové čelisti). Hlavní dělicí rovina slouží k tomu, aby výrobek po otevření formy zůstal na její levé straně a bylo možné jej vyhodit z dutiny formy za pomoci vyhazovacích kolíků.

Vedlejší dělicí rovina je dána bočními stěnami výrobku, kterým určují tvar tvarové čelisti (horní a spodní), mají osu kolmou k ose formy a za běžných okolností by nebylo možné klasické odformování.

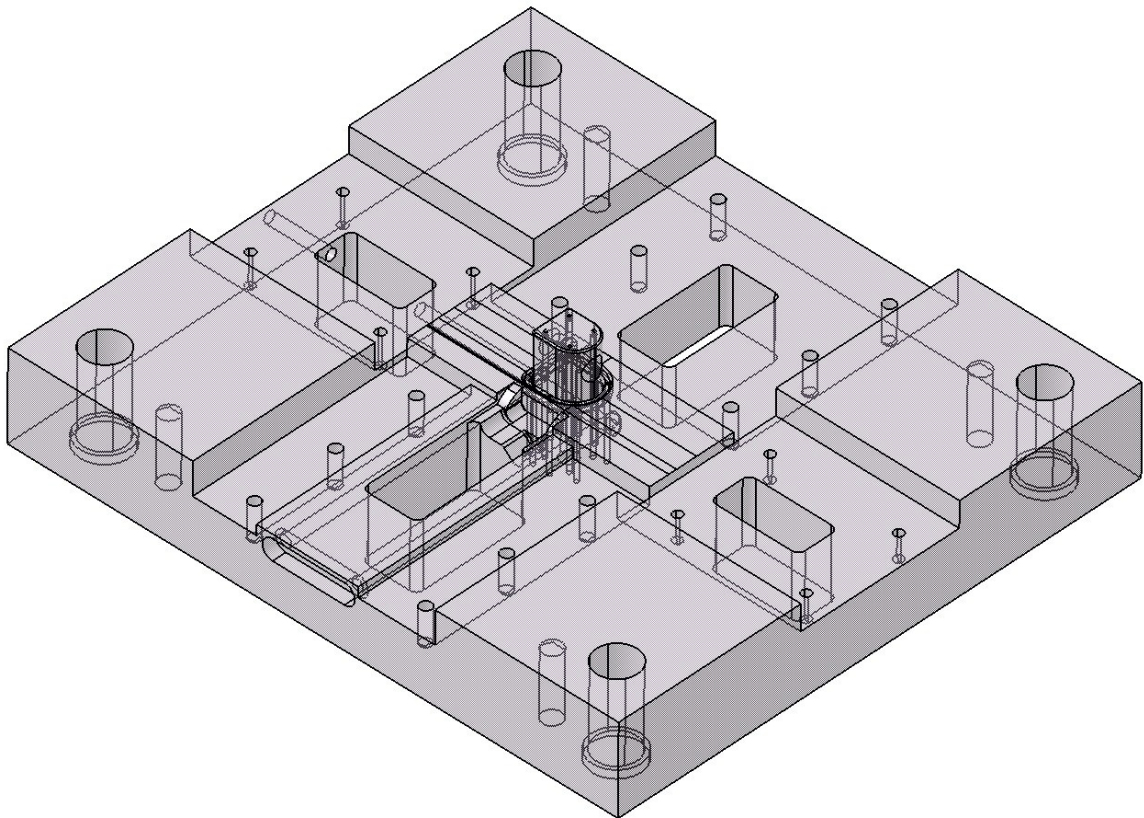


Obr. 33 Znáznornění dělicích rovin

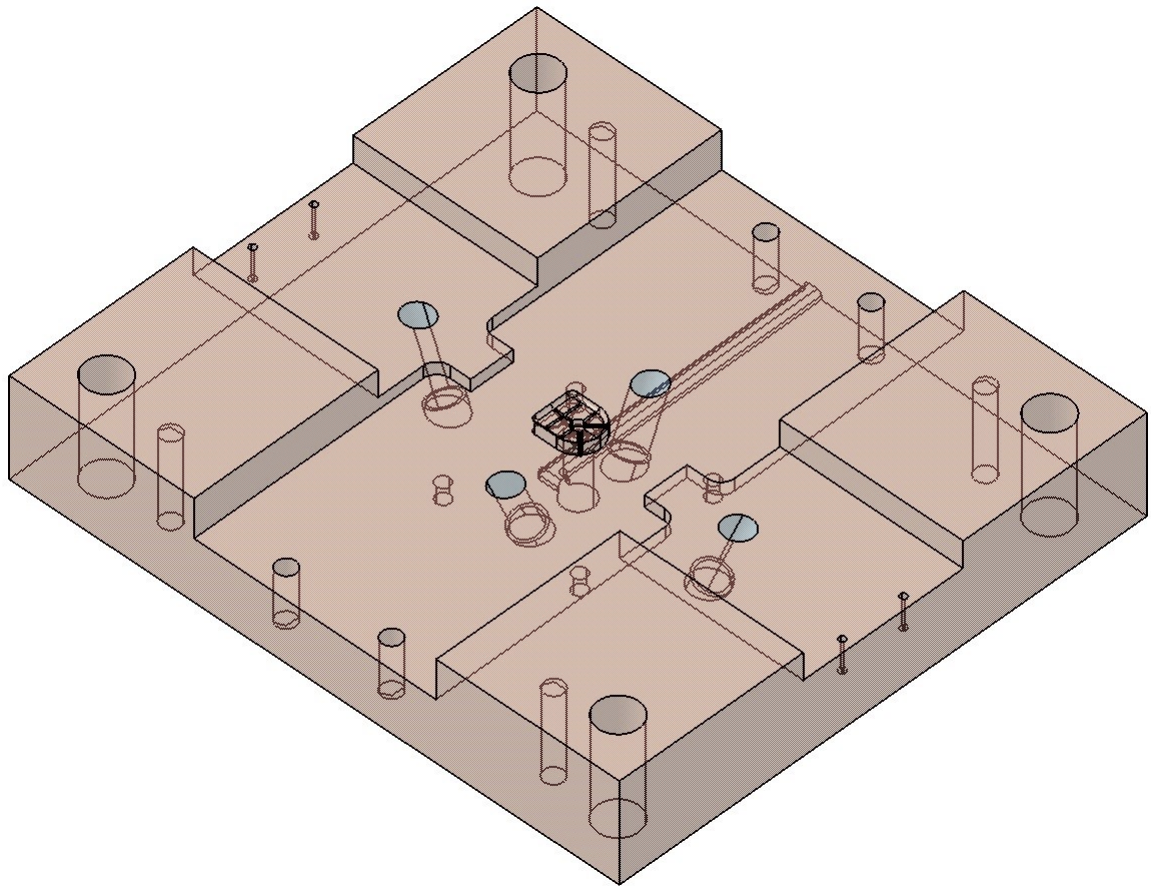
8.4 Tvarové díly formy

Po uzavření formy tvoří dutinu tvarové desky, neboli tvárník na levé straně formy a tvárnice na pravé straně formy. Dutina formy je negativem vyráběného dílu. Tvárník je vyřešen tak, že po vstříknutí polymeru a otevření formy zůstává výstřik v dutině tvárníku, následně je vyhozen vyhazovacími kolíky. Tvárník je taktéž tvořen tvarovými čelistmi, posuvnými jádry a temperačním systémem, kterým proudí chladicí médium – voda, která ochlazuje dutinu formy.

Součástí tvárnice jsou zámky tvarových čelistí a posuvných jader, šikmé čepy, otvory pro uložení horké trysky z rozvodného bloku a jejich zajištění. Obě tvarové desky jsou vyrobeny z nástrojové oceli třídy 1.2343 a následně cementovány a kaleny, aby byly dlouhodobě schopny odolávat podmínkám při samotném vstříkování.



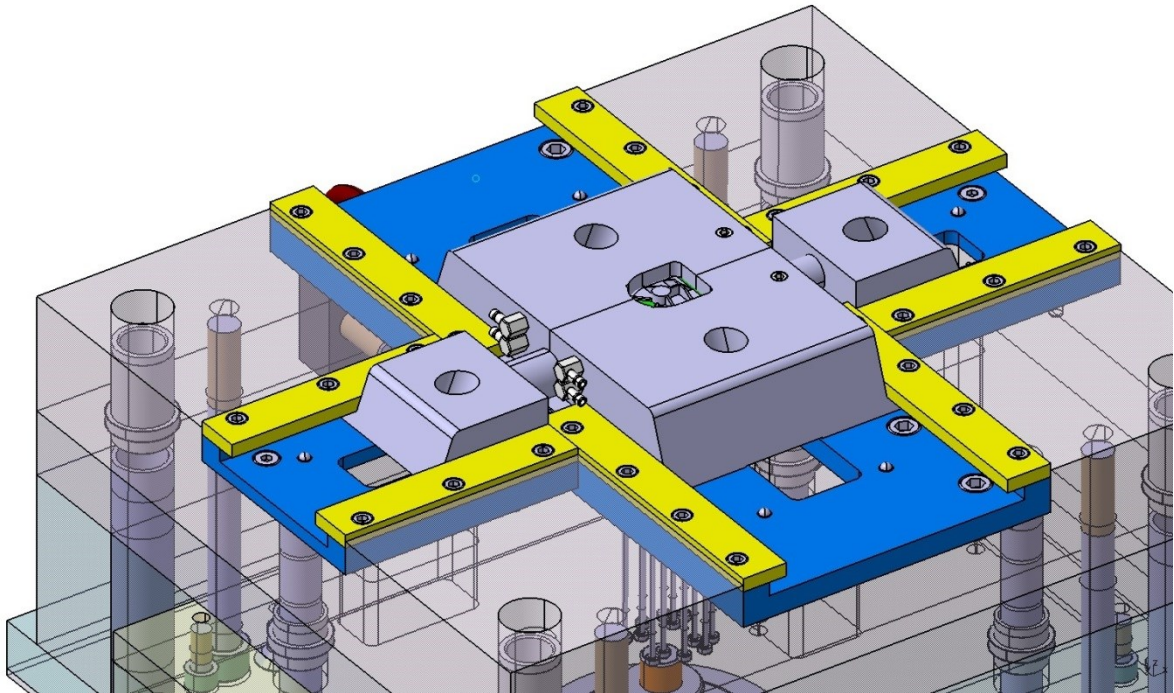
Obr. 34 Kotevní (tvarová) deska levá - tvárník



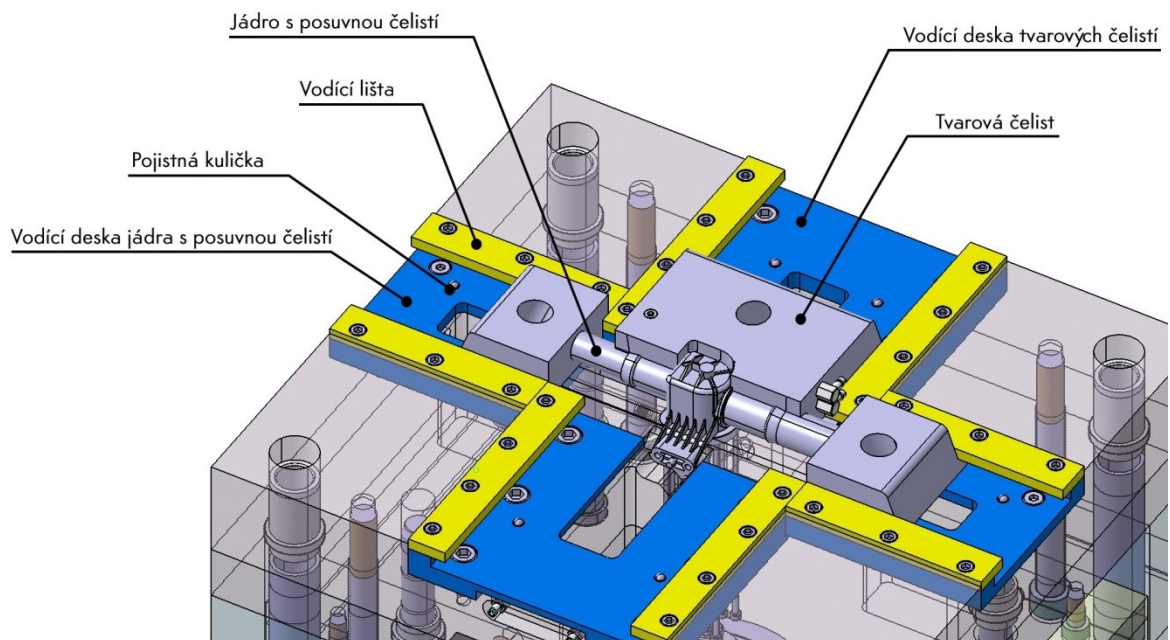
Obr. 35 Kotevní (tvarová) deska pravá - tvárnice

8.5 Tvarové čelisti a posuvná jádra

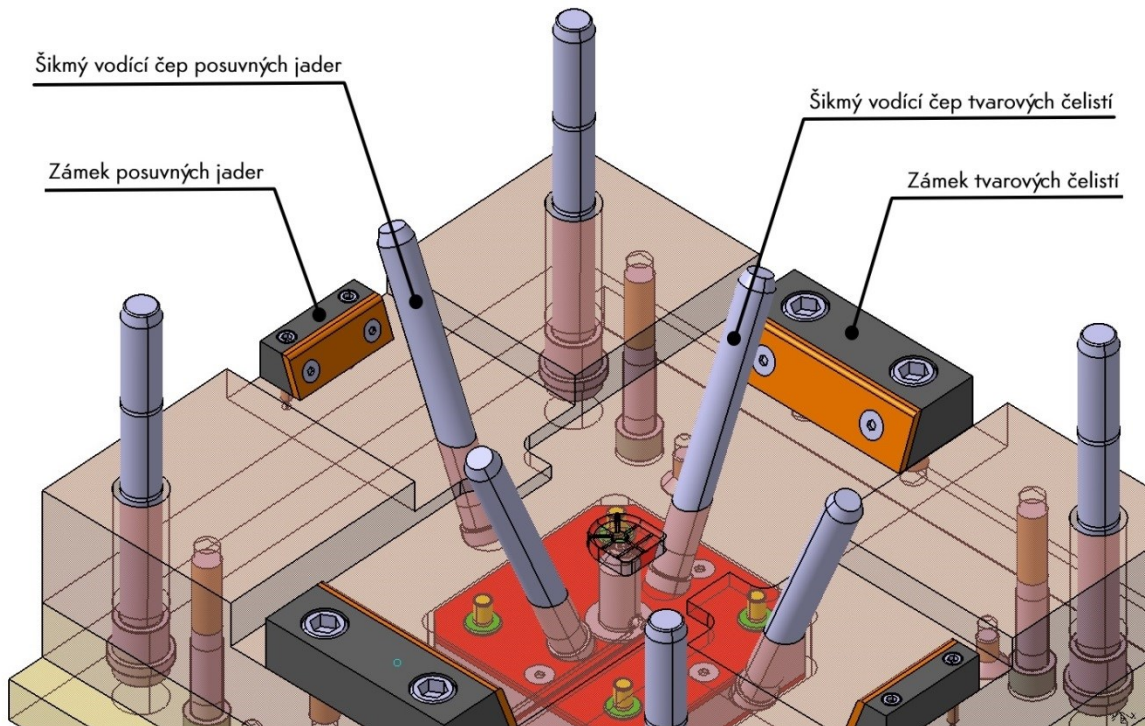
Tvarové čelisti slouží k zaformování bočních stěn výrobku, posuvná jádra k vytvoření průchozího otvoru uvnitř výrobku. Při otevírání formy se tvarové čelisti i posuvná jádra pohybují po vedení, díky šikmým čepům, po kterých jsou vedeny, až do momentu, kdy jsou v otevřené poloze zastavena pojistnou kuličkou, která zapadá do výřezů v čelistech. Po odjetí tvarových čelistí a posuvných jader je možné vyhození výstřiku. Pro tvarové čelisti i posuvná jádra byla nutná výroba vodících drážek v tvárníku, které mají za následek právě jejich posuv. Při vstřikování nastávají v dutině vysoké tlaky, a tak je nutné zajištění zavřené polohy proti případnému posunutí tvarových čelistí a posuvných jader. To je řešeno pomocí zámků, které jsou umístěny na pravé straně formy, tj. na tvarové desce – tvárnici. Materiál tvarových čelistí a posuvných jader je volen stejně, jako materiál tvarových desek, a to nástrojová ocel třídy 1.2343.



Obr. 36 Celkový pohled na posuvný mechanismus tvarových čelistí a posuvných jader –
levá strana



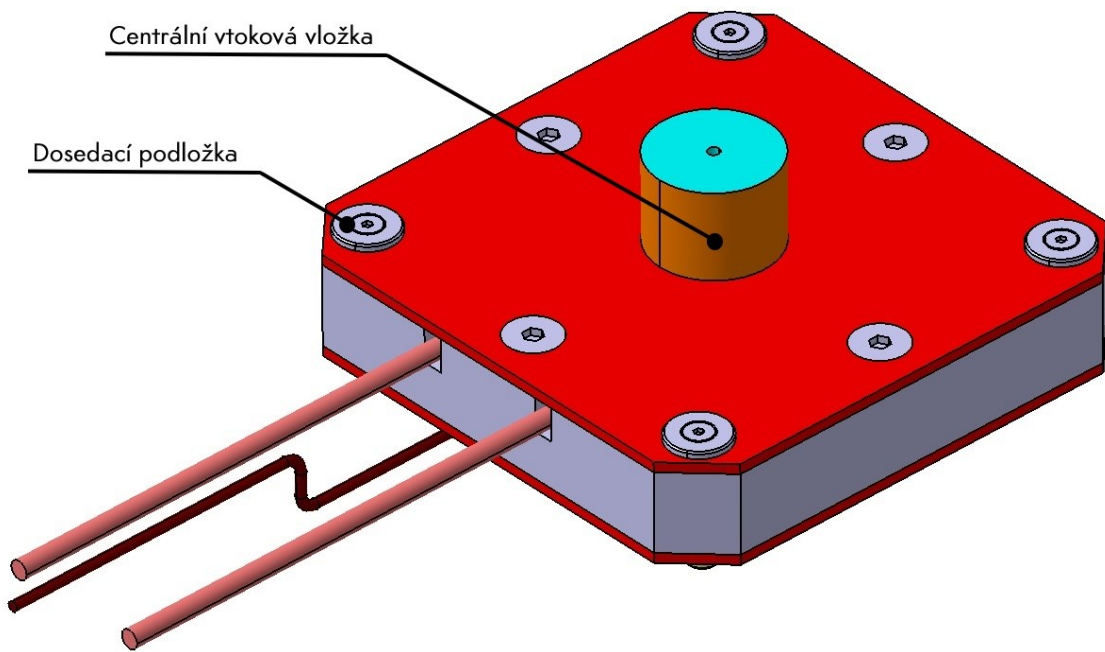
Obr. 37 Pohled na posuvný mechanismus tvarových čelistí a posuvných jader – levá
strana, popis



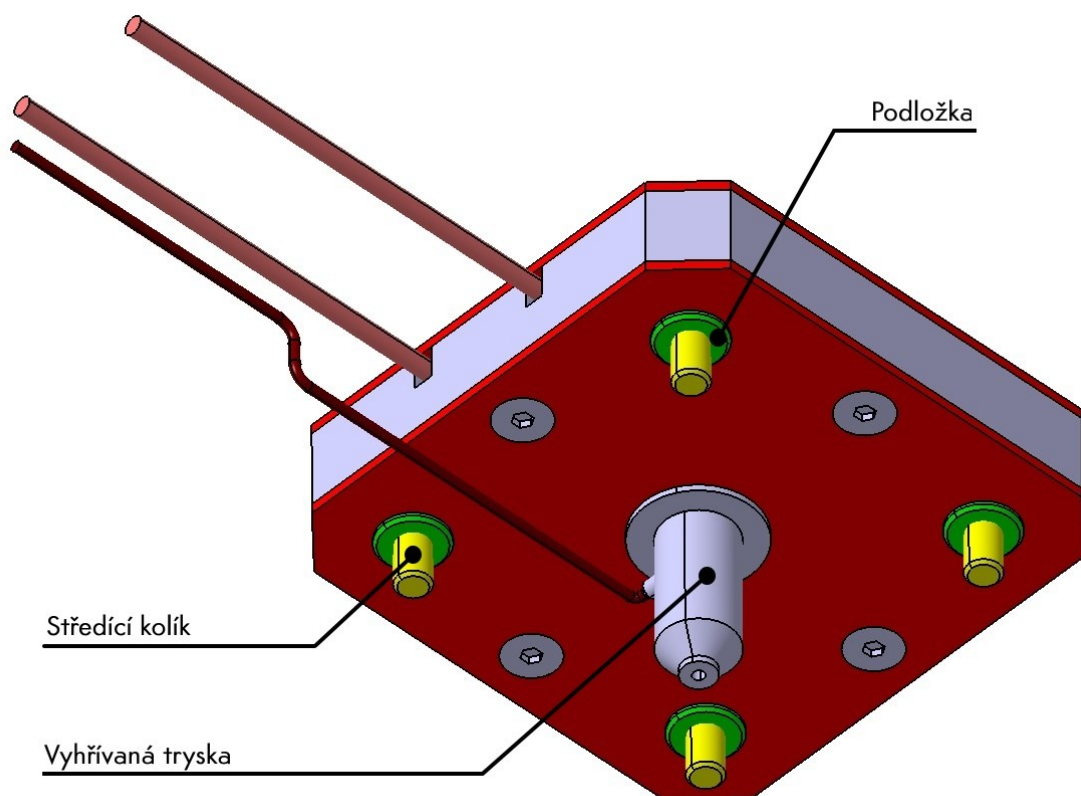
Obr. 38 Pohled na šikmé vodící čepy a zámky – pravá strana

8.6 Horká vtoková soustava

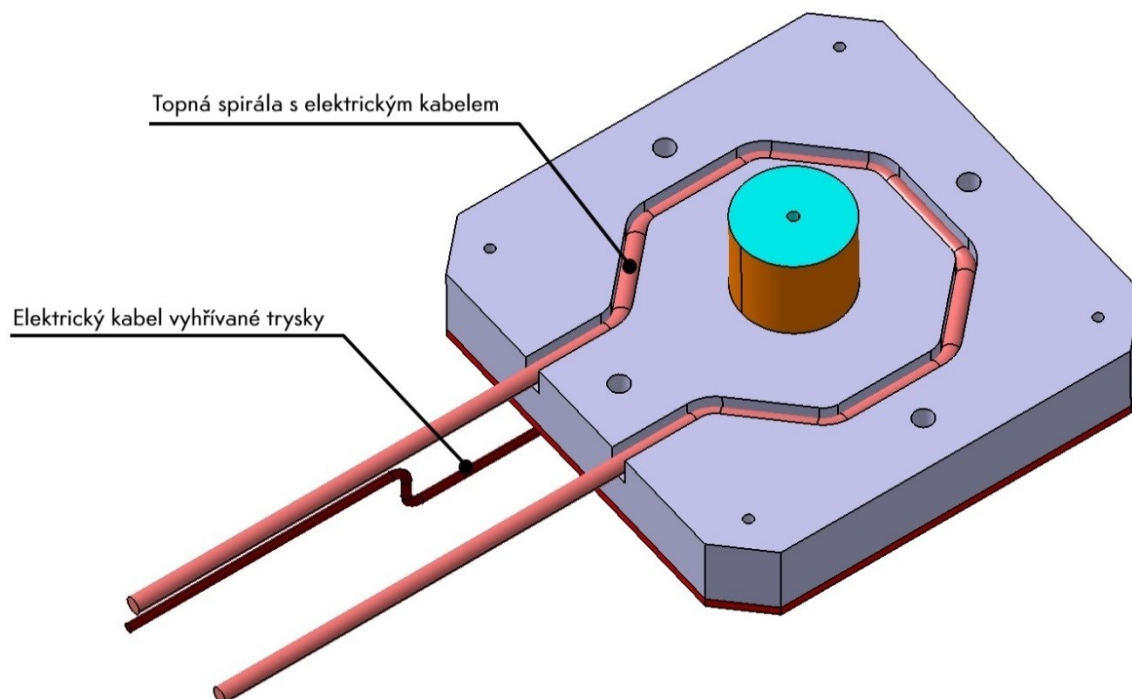
Kvůli nežádoucímu materiálovému odpadu byla zvolena horká vtoková soustava, neboli horký rozvodný blok, kterým je tento odpad eliminován. Rozvodný blok a horká tryska jsou umístěny do mezidesky mezi tvarovou desku (tvárnici) a pravou upínací desku, tam je vystředěn a zabezpečen čtyřmi kolíky proti pootočení či jakémukoliv jinému posunutí. Součástí rozvodného bloku je horká tryska, která plní dutinu formy taveninou. Roztavený polymer proudí ze vstřikovací jednotky do centrální vtokové vložky dovnitř bloku, následně do horké trysky, ze které roztavený polymer proudí do dutiny formy. Na opačné straně rozvodného bloku, oproti trysce, jsou situovány čtyři dosedací podložky. Ty plní funkci zachycování vstřikovacích tlaků působících na formu a k vytvoření vzduchové mezery. Zatvrdlý polymer se dá jednoduše vyčistit demontáží horké trysky a vtokové vložky z celkové sestavy rozvodného bloku. Součástí horké vtokové soustavy je také topná spirála, která vyhřívá celý blok a elektrická zásuvka, která je propojena elektrickými kabely s rozvodným blokem a horkou tryskou.



Obr. 39 Rozvodný blok – pohled shora



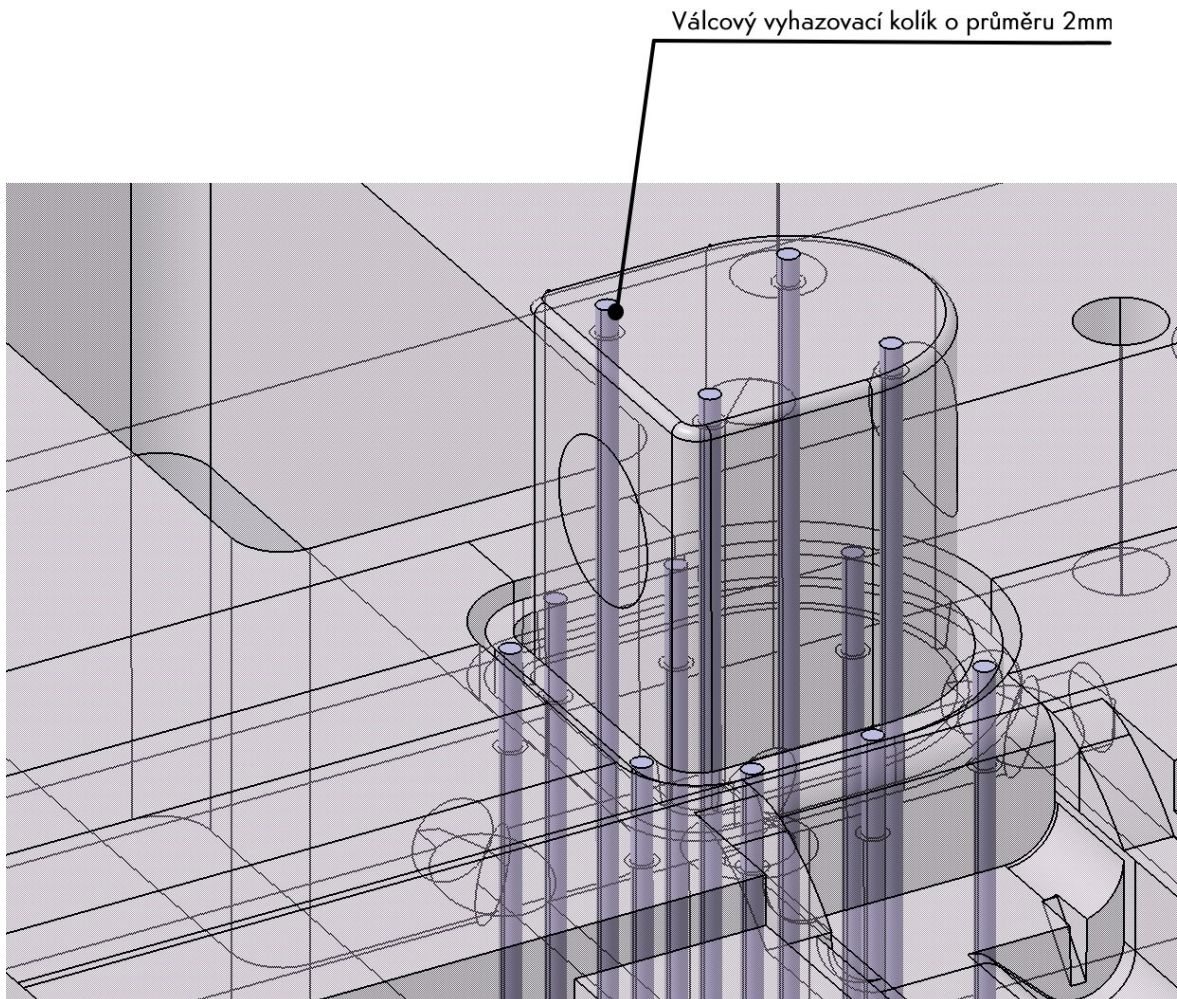
Obr. 40 Rozvodný blok – pohled zespod



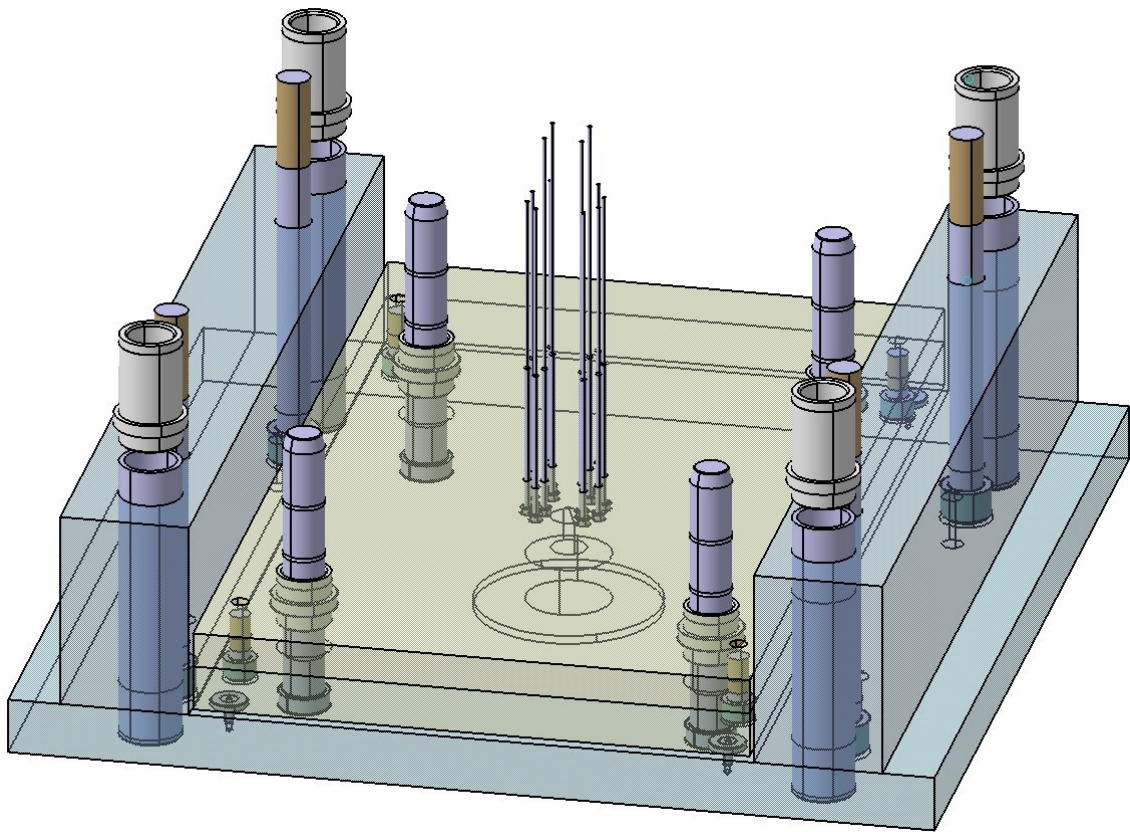
Obr. 41 Pohled na vnitřek rozvodného bloku

8.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém má za úkol vyhození výstřiku z dutiny formy z levé tvarové desky (tvárníku). To se děje pomocí vyhazovacích kolíků, které jsou rozmístěny na vnitřní horní stěně výrobku a spodní hraně stěny. Je použito 12 ks válcových vyhazovacích kolíků o průměru 2 mm. Jejich rozmístění je vyobrazeno na následujícím obrázku. Všechny vyhazovací kolíky jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách, které jsou vedeny po čtyřech vodících čepech. Velikost vyhazovacího zdvihu musí být minimálně tak velká, jako je výška vyrobeného dílu. Vnitřní prostor dílu, kde jsou umístěny 4ks válcových vyhazovacích kolíků, je vysoký 36,5 mm a maximální velikost vyhazovacího zdvihu, která je dána formou, je 54 mm, tudíž je velikost vyhazovacího zdvihu pro vyhození naprosto dostačující.



Obr. 42 Vyhazovací kolíky a jejich rozmístění



Obr. 43 Celkový pohled na vyhazovací systém

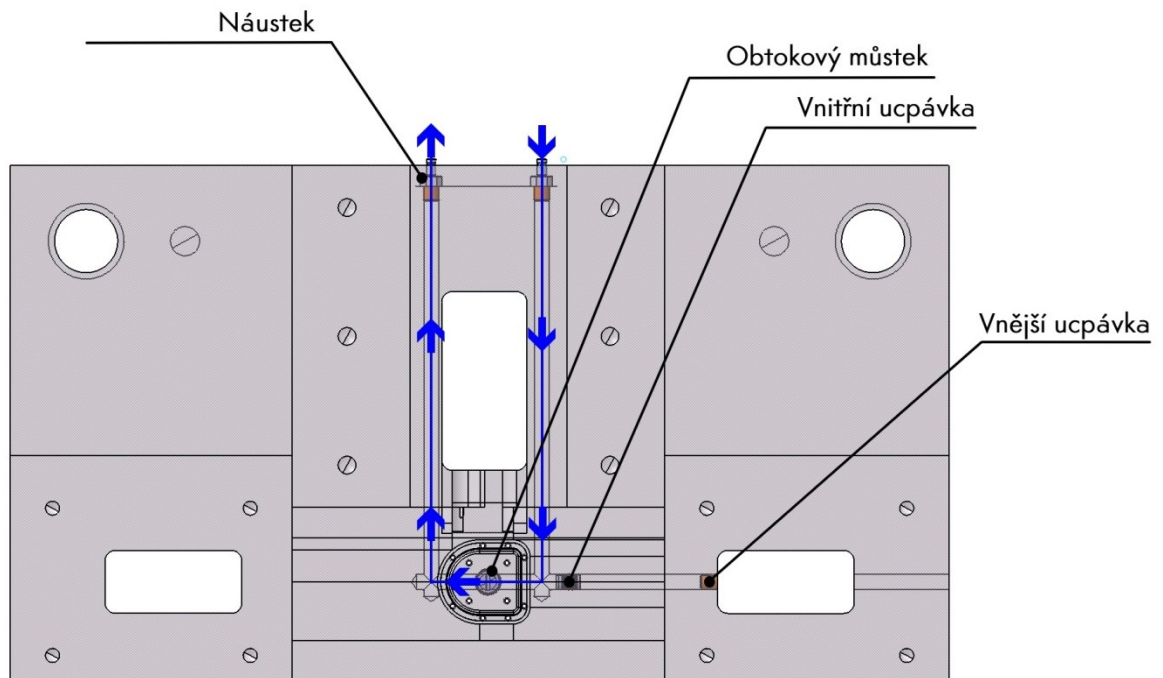
8.8 Temperační systém

Temperačním médiem je voda o teplotě 23°C, a to díky své ekonomičnosti i ekologičnosti. Celý temperační systém je rozdělen na tři části. Hlavní část, která je tvořena temperačními kanálky o průměru 8mm a obtokovým můstkem (bafflem), které jsou vedeny tvárníkem. Druhá část temperačního systému je tvořena horním a spodním okruhem, který je veden v horní a spodní tvarové čelisti, průměr temperačních kanálků v tvarových čelistích je 6mm. Temperační systém má za úkol odvést předané teplo z taveniny polymeru deskám vstříkovací formy.

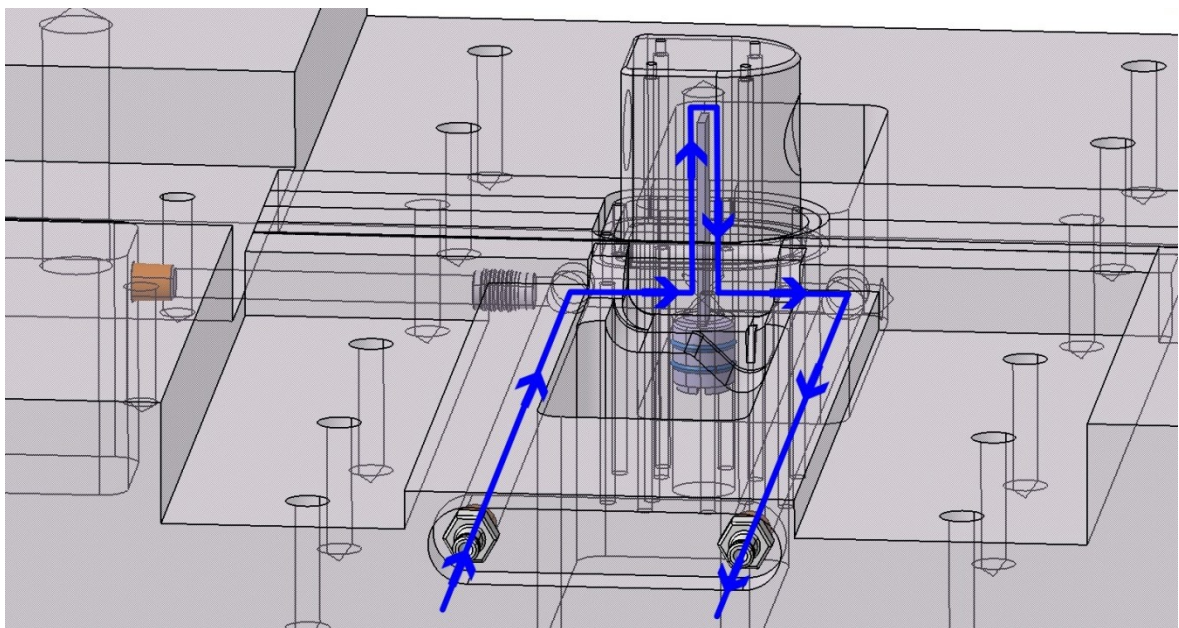
Uvnitř tvárníku je veden jeden temperační okruh, u kterého je použito obtokového můstku (bafflu) z důvodu rovnoměrného odvodu tepla chladícím médiem z dutiny formy. Všechny temperační okruhy je možné vyčistit díky uzavíracím šroubům umístěných buďto na boční straně formy, nebo v tvarových čelistech.

Obě tvarové čelisti obsahují jeden temperační okruh, který je konstruován vzhledem k dutině formy. Součástí temperačních okruhů tvarových čelistí jsou dva 90° náustky pro

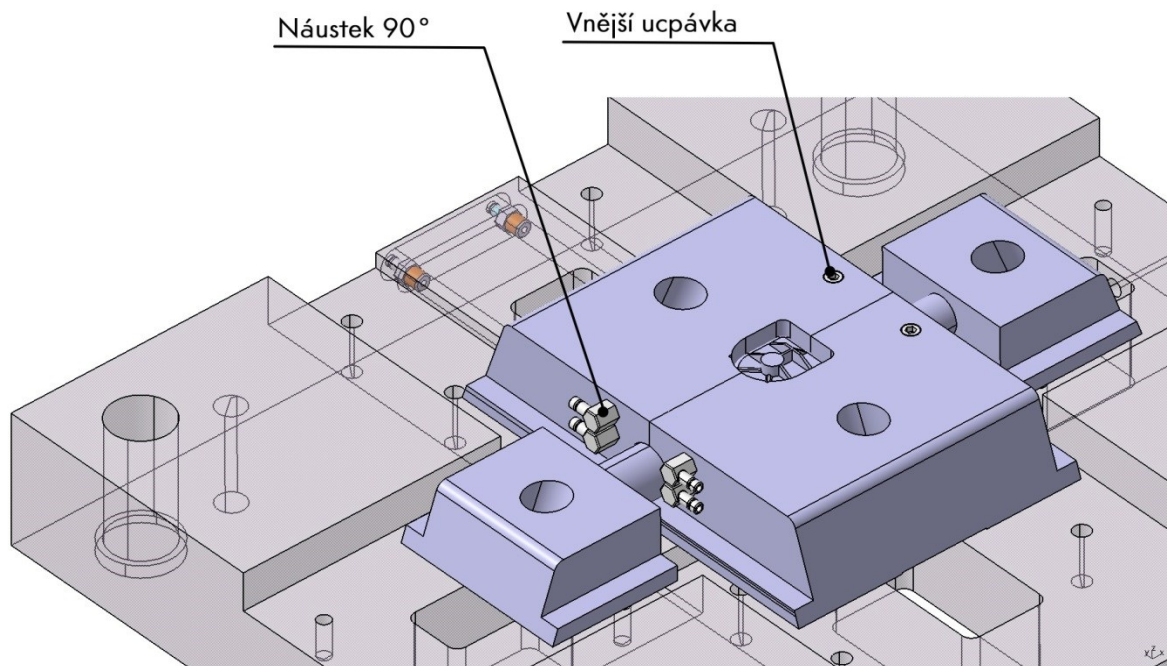
snadné nasazení hadic s temperačním médiem a následně jejich snadné vedení uvnitř drážek, které jsou pro tento účel vytvořeny.



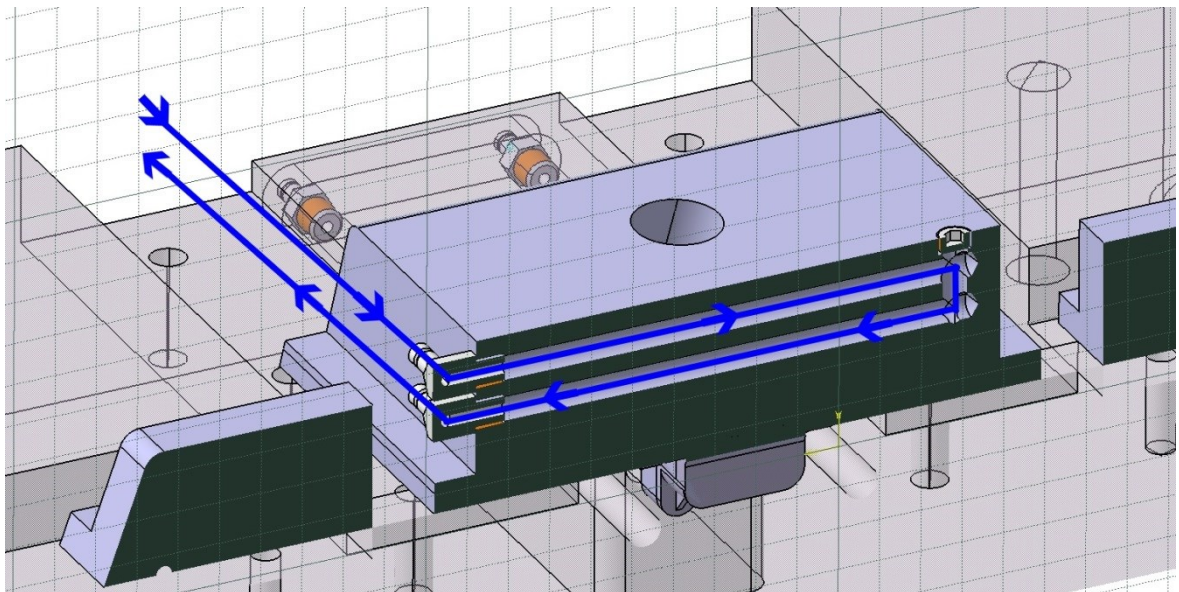
Obr. 44 Temperační systém levé strany formy – tvárník



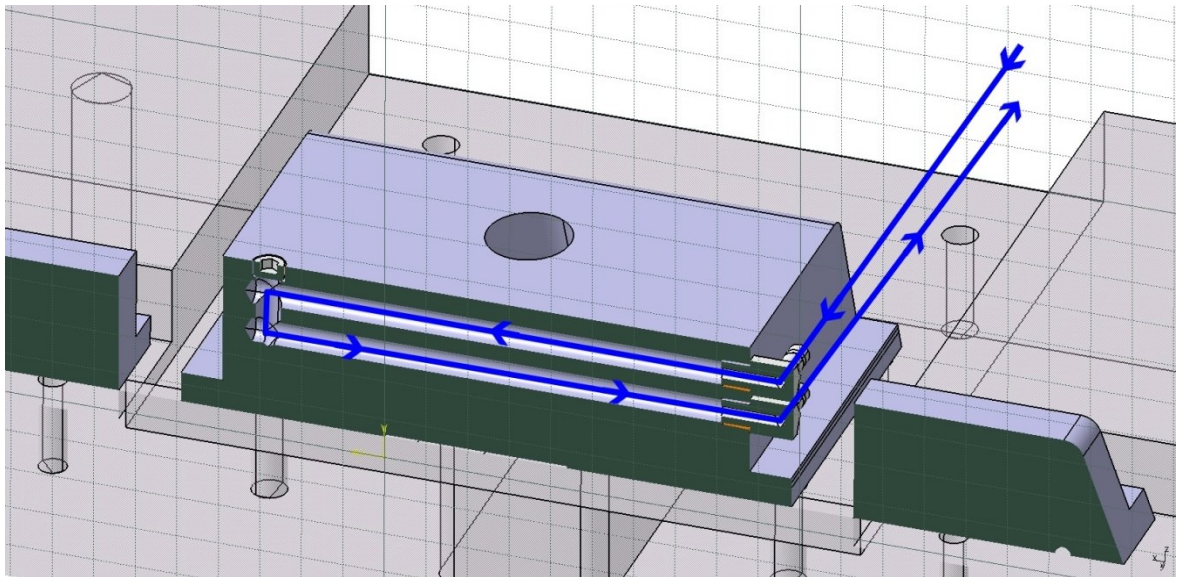
Obr. 45 Temperační systém levé strany formy – tvárník, 3D pohled



Obr. 46 Temperační systém integrovaný do tvarových čelistí – 3D pohled



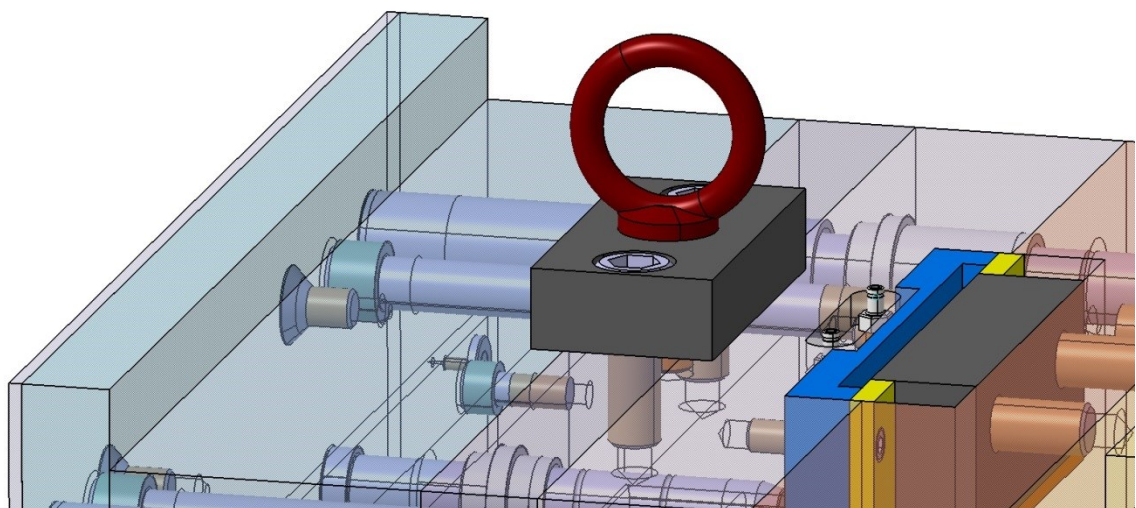
Obr. 47 Temperační systém horní tvarové čelisti



Obr. 48 Temperační systém spodní tvarové čelisti

8.9 Transportní systém formy

Manipulace se vstříkovací formou je řešena pomocí transportního oka, jehož součástí je kostka, která slouží k nastavení oka a uchycení k formě. Uchopení a manipulace celé formy se děje pomocí transportního háku na jeřábu.



Obr. 49. Transportní oko

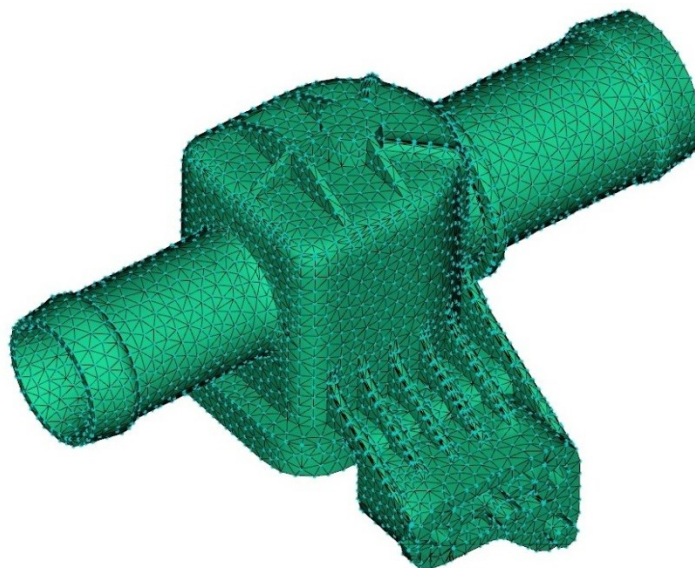
9 ANALÝZA V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW

V této části diplomové práce je provedena analýza výrobku pomocí konečně-prvkového softwaru Autodesk Moldflow. Zadaný výrobek byl vymodelován ve 3D. Výrobek, jenž představuje model dutiny formy, bylo nutné vycentrovat do dutiny vstřikovací formy a vytvořit fiktivní trajektorii horkého vtokového systému včetně temperačního systému. Díky těmto vstupním datům byla připravena a provedena kompletní analýza v programu Autodesk Moldflow. V průběhu práce bylo dodrženo:

- základní pravidla technologie vstřikování a toku polymeru;
- pravidla konstrukce vstřikovaných výrobků;
- pravidla konstrukce vstřikovacích forem;

9.1 Zadaný výrobek

Výrobek je z materiálu Polyamid 6 plněný z 35% skelnými vlákny černé barvy. Vstřikovací forma byla zadána jako jednonásobná včetně horkého vtokového systému. Výrobek je reálný a slouží jako kryt průtokového čidla části motoru automobilu. 3D model výrobku byl vymodelován v programu CATIA V5R19 ve formátu *CATPart. Rozměry výrobku byly změřeny posuvným měřidlem, následně dopočítány a uplatněny při tvorbě samotného modelu. Po celkovém vymodelování a úpravách byl model výrobku vyexportován do formátu *.stl.



Obr. 50 3D model výrobku ze softwaru Autodesk Moldflow

9.1.1 Tvorba sítě

V softwaru Autodesk Moldflow existují 3 typy sítě:

- **Midplane** - trojúhelníková síť, výpočet se provádí jako 2D.
- **Dual-Domain** - trojúhelníkovou síť, jednoduchá (dosažení velké přesnosti).
- **Solid 3D Plane** - prostorová síť tvořená čtyřstěny, je velmi přesná, 3D výpočet.

Importovaný model byl vysítován sítí typu Dual-Domain (jeden elementu – délka stěny 1,5 mm). Sítování Dual Domain je sítování trojrozměrných modelů, a to ideálně za pomoci rovnostranných trojúhelníků. Po sítování byla provedena diagnostika sítě a následně upraveny hodnoty Aspect Ratio s hodnotou nižší než 15, čímž byla zajištěna dostatečná kvalita sítě.

9.1.2 Analýza sítě

Na kvalitě sítě závisí doba a přesnost výpočtu. Zobrazení statistiky trojúhelníkových elementů sítě (Mech Statistic) je podmínkou pro ověření kvality sítě, popřípadě nalezení chyb.

```
Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           15878
  Connected nodes    7937
  Connectivity regions 1

  Invisible triangles           0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
  Surface Area:      255.073 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         25.6236 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    15.00     2.23     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges      23817
  Non-manifold edges   0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage      85.0%
  Reciprocal percentage 80.4%
```

Obr. 51 Statistika optimalizované sítě

Ze statistiky sítě lze vidět, že počet elementů na jednom výrobku je 23 817. Další důležitou informací, která je v analýze uvedena, je Aspect Ratio. To je poměr základny trojúhelníku k jeho výšce. Čím, je jeho maximální hodnota menší, tím je síť přesnější. V případě této analýzy pokud je maximum Aspect Ratio menší než 15 a hodnota Average Aspect Ratio menší než 3, je síť optimalizovaná. Poslední dvě hodnoty Match percentage a Reciprocal percentage přímo ovlivňují výpočet analýz. Zmenšením elementů se tato hodnota zvýší, ale prodlouží se doba výpočtu analýzy. Obě hodnoty jsou na vysoké úrovni, ovšem neměly by klesnout pod 80%.

9.2 Materiál

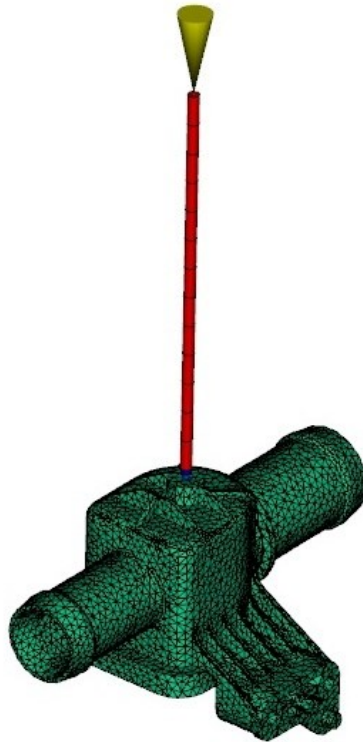
Zvolený materiál je obecný PA6-GF35 (Polyamid 6 plněný z 35% skelnými vlákny). Materiál byl zvolen podle označení na výrobku. Základní parametry materiálu jsou vypsány v tab. 5.

Tab. 5 Materiálové parametry

Parametr	Hodnota
Materiál	PA6-GF35
Doporučená teplota formy	80°C
Doporučená teplota taveniny	280°C
Doporučená teplota při vyhazování	160°C
Vstřikovací čas	0,8 s
Doba otevření formy	5 s
Přepnutí na dotlak při % objemového zaplnění	99%

9.3 Rozvržení výrobku ve formě

Dle zadání vedoucího byla vytvořena násobnost formy 1 (Obr. 52). Rozmístění výrobku bylo provedeno pomocí geometrických funkcí programu Moldflow.



Obr. 52 Rozvržení výrobku ve formě vůči poloze vtoku

9.4 Vtokový systém

U vstříkovací formy byl zadán a zkonstruován vtokový systém, který je tvořen horkým rozvodným blokem s horkou tryskou. Vtok je navržen tak, aby trajektorie toku virtuální taveniny odpovídala trajektorii toku taveniny ve skutečném vyhřívaném bloku s horkou vtokovou tryskou. Systém byl nakreslen a vložen z programu CATIA V5R19 ve formátu *.igs. Virtuální podoba vtokového systému je zobrazena na obr. 53 a jeho parametry zapisány v tabulce č. 6.

Geometrie zadaného horkého vtokového systému byla v softwaru Autodesk Moldflow vložena přes tlačítko Add ve formátu *.igs. Dále byla vysíťována na co nejpřesnější velikost beam elementů v poměru $L/D = 2,5$.



Obr. 53 Horký vtokový systém



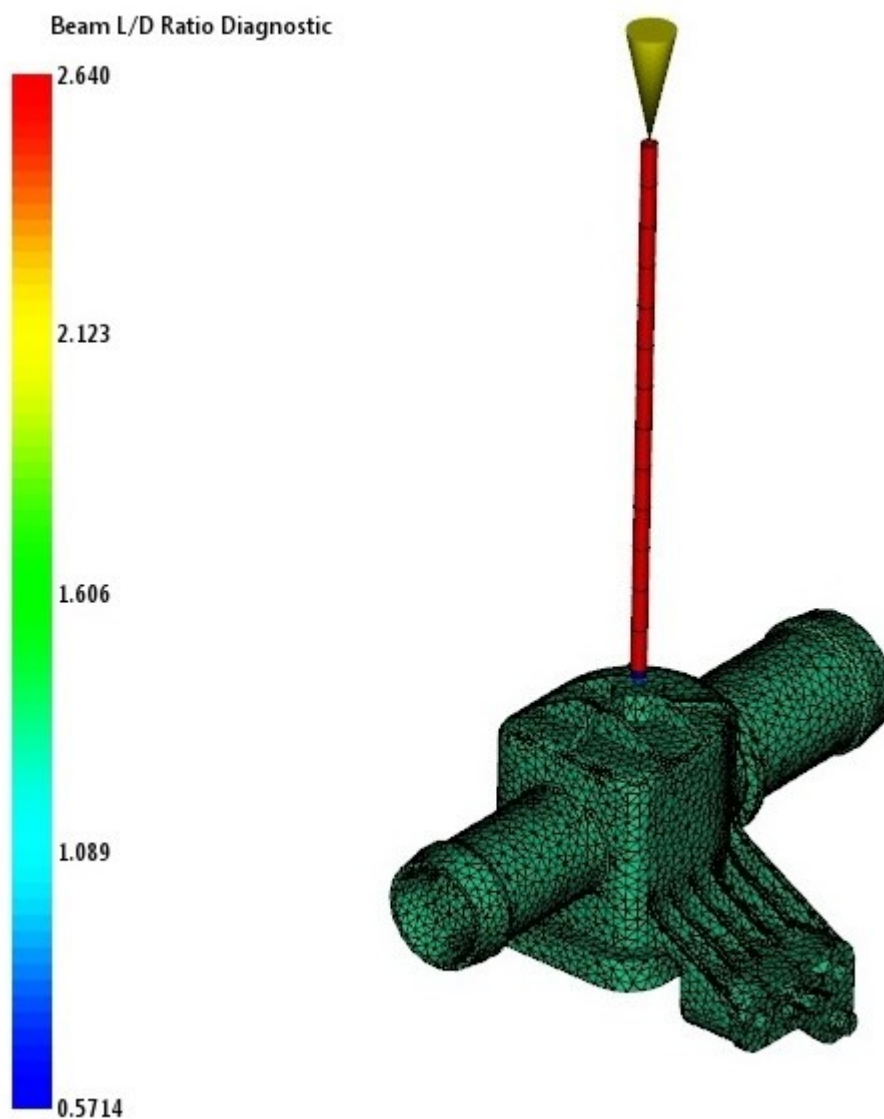
Obr. 54 Zobrazení geometrie vtokového systému

Tab. 6 Rozměry a geometrie vtokového systému

ČÁST SYSTÉMU	GEOMETRIE	ROZMĚRY [mm]
horká vtoková vložka	válec	$\text{ØD} = 3,5 - L = 103$
horká vtoková tryska	komolý kužel	$\text{ØD} = 3,5 - \text{Ød} = 1,5 - L = 3$

9.4.1 Analýza Beam L/D – vtokový systém

U této analýzy byla provedena kontrola beam elementů (Obr. 55) pomocí funkce L/D Ratio Diagnostic. Nevyhovující elementy bylo nutné přesít'ovat, a to díky funkci Remesh Area. Elementy byly upraveny nejvhodnějším způsobem, vzhledem k rozměrům vtokového systému. Maximální hodnota Beam L/D Ratio Diagnostic se pohybuje kolem hodnoty 2,5, čímž je splněno zadání a kvalita beam elementů.



Obr. 55 Analýza L/D vtokového systému

9.5 Temperační systém

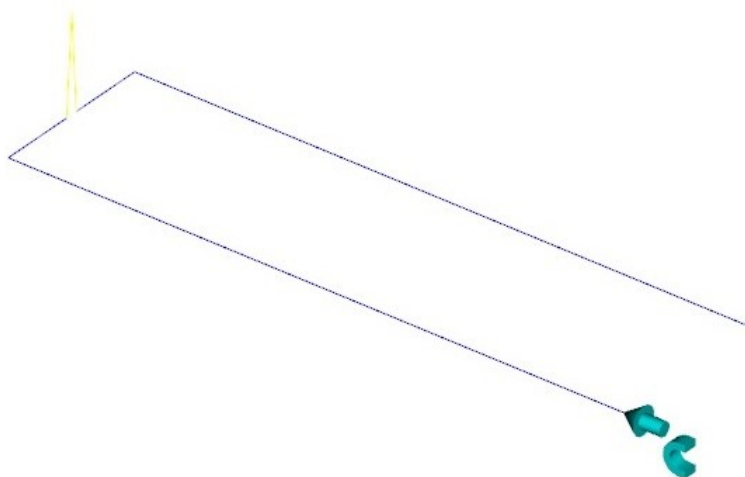
Mezi nejdůležitější části vstřikovací formy patří temperace dutiny formy. Temperační systém udržuje konstantní teplotu formy tak, aby nedocházelo ani k přehřátí, ani podchlazení celého systému. Chlazení patří k časově nejnáročnějším složkám vstřikovacího cyklu, proto musí být co nejlépe navrženo, aby bylo možné co nejvíce minimalizovat jeho časovou náročnost při zachování všech technologických požadavků na výrobu.

Temperační systém byl navržen tak, aby splňoval konstrukční podmínky formy. Je rozdělen na hlavní, horní a spodní temperační systém. Hlavní temperační systém se skládá z temperačního kanálku o průměru 8mm a přepážky (baffle), která umožňuje účinné chlazení ve vnitřní části výrobku. Dále jsou součástí temperačního systému kanálky umístěné v tvarových čelistech, jsou rozděleny na horní a spodní (v každé čelisti jeden okruh). Kanálky temperačního systému v obou čelistech mají průměr 6 mm po celé své délce. Návrh trajektorie temperačních kanálků byl proveden v softwaru CATIA V5R19 a následně vyexportován ve formátu *.igs.

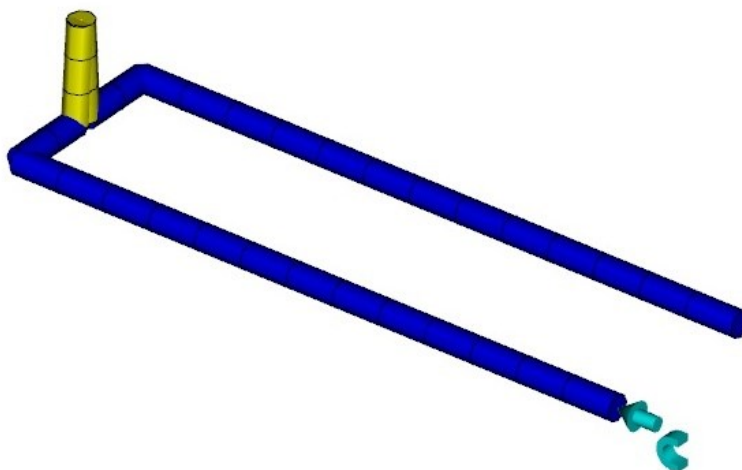
Geometrie temperačního systému byla v softwaru Autodesk Moldflow vložena přes tlačítko Add ve formátu *.igs. Následně byla vysítována na co nejpřesnější velikost beam elementů, v poměru $L/D = 2,5$. Jednotlivým temperačním okruhům byly přiřazeny vstupy, temperačního média, jeho teplota a objemový průtok.

Vlastnosti temperačních okruhů:

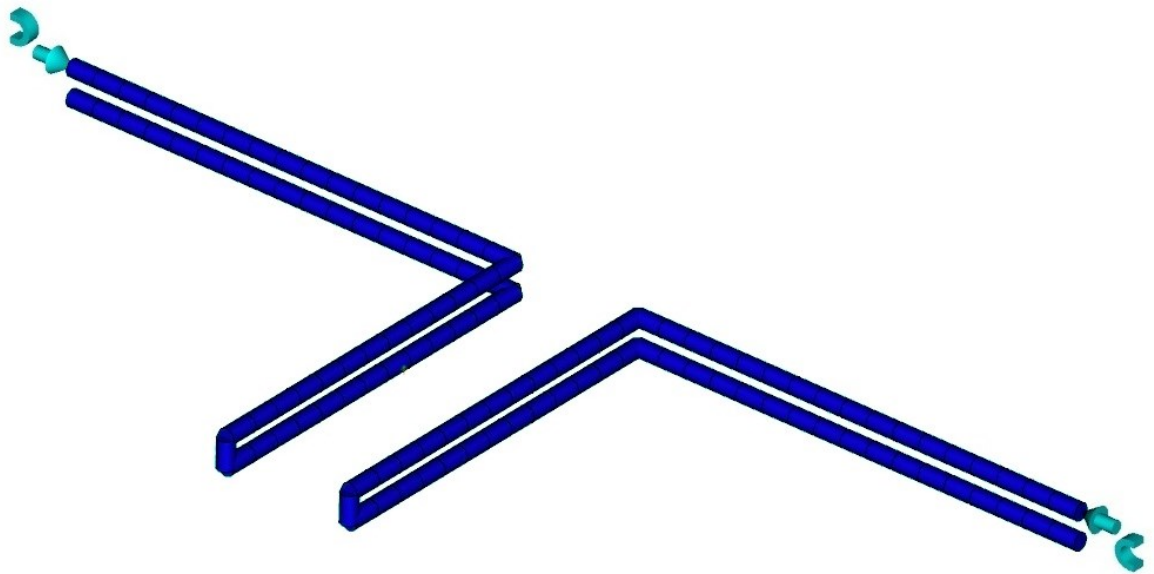
- Medium: voda
- Teplota temperačního média: 23°C
- Objemový průtok: 3,5 l/min



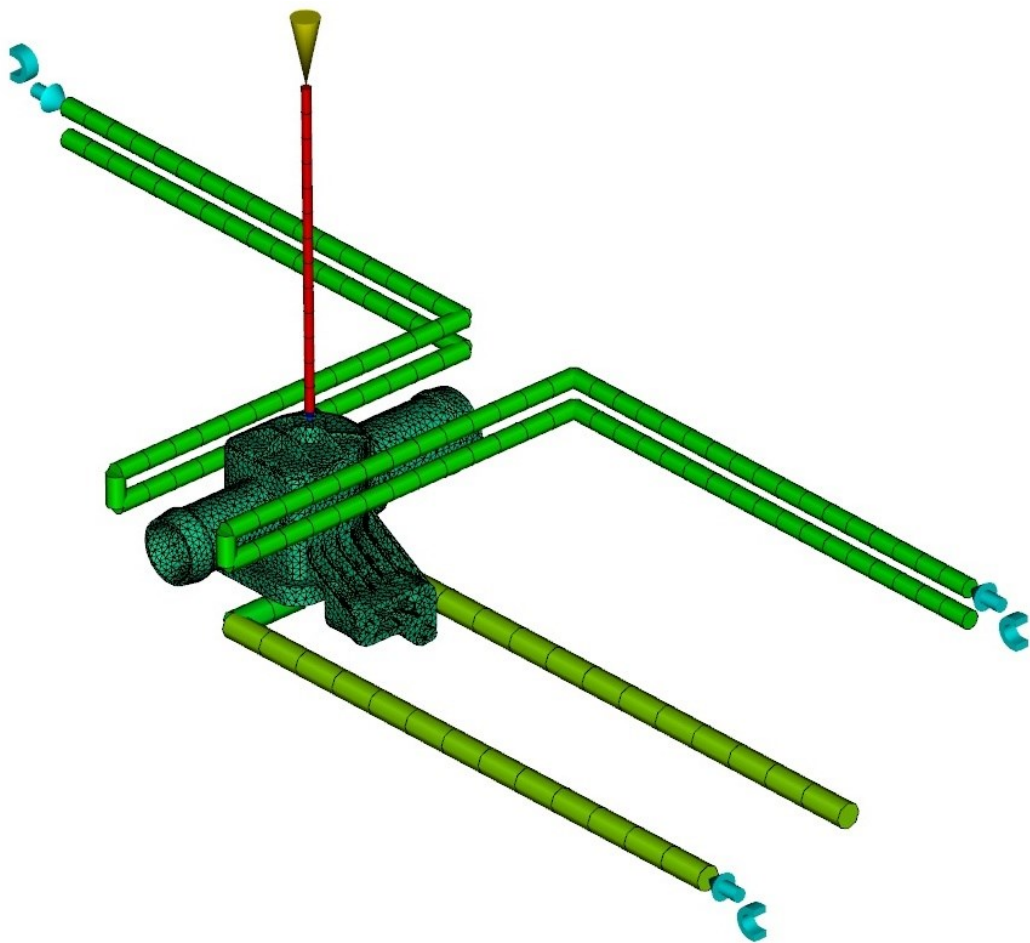
Obr. 56 Trajektorie hlavního temperačního systému



Obr. 57 Hlavní temperační systém, vykresleno v Autodesk Moldflow.



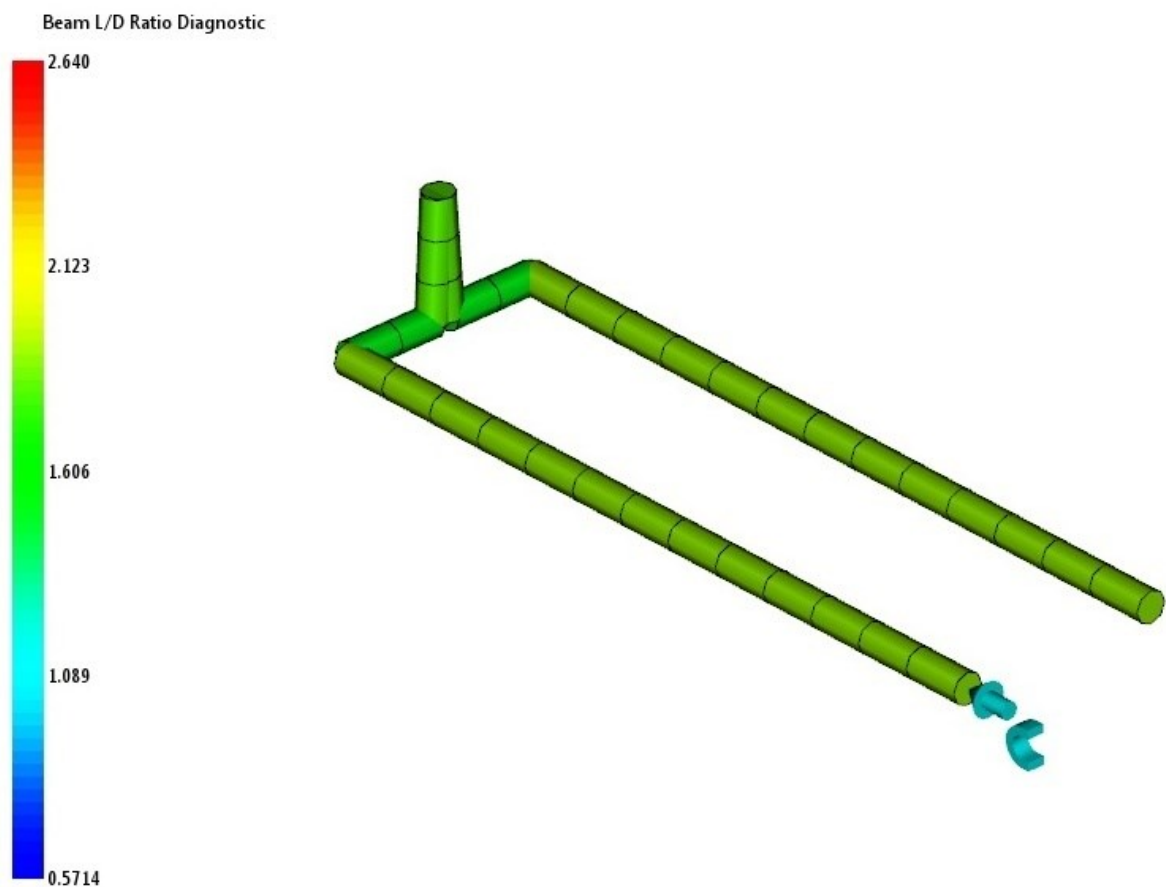
Obr. 58 Horní a spodní temperační systém tvarových čelistí, vykresleno v Autodesk Moldflow.



Obr. 59 Kompletní temperační systém včetně vtokového systému vůči dutině formy, vykresleno v Autodesk Moldflow.

9.5.1 Analýza Beam L/D – temperačního systému

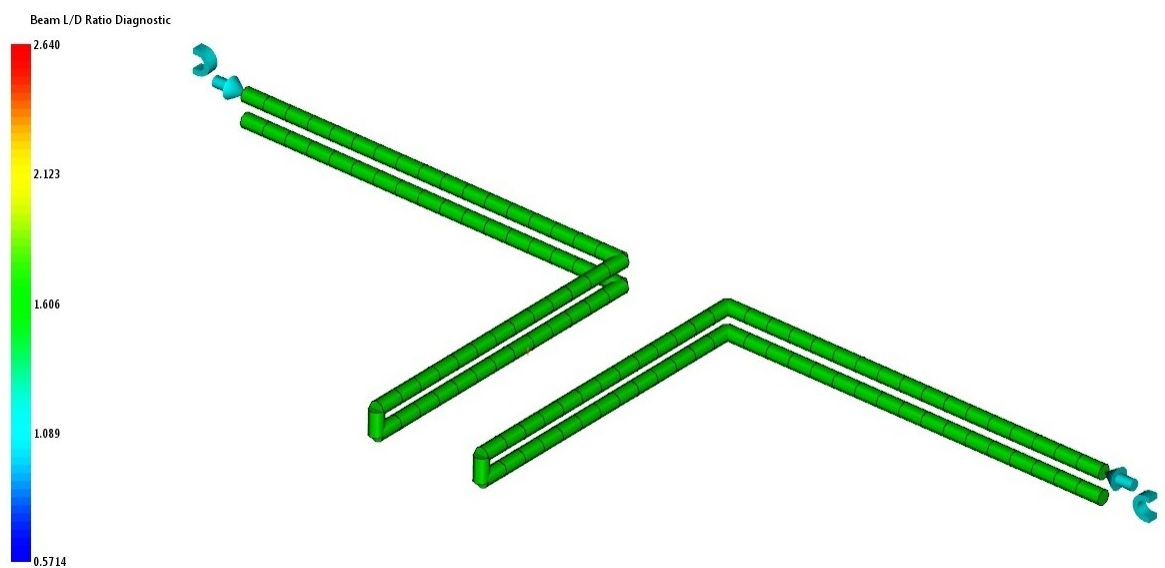
U této analýzy byla provedena kontrola beam elementů (Obr. 60, Obr. 61, Obr. 62) pomocí funkce L/D Ratio Diagnostic. Nevyhovující elementy bylo nutné přesíťovat, a to díky funkci Remesh Area. Elementy byly upraveny nejvhodnějším způsobem, vzhledem k rozměrům temperačního systému. Maximální hodnota Beam L/D Ratio Diagnostic se pohybuje kolem hodnoty 2,5, čímž je splněno zadání a kvalita beam elementů.



Obr. 60 Hlavní temperační systém vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou.



Obr. 61 Spodní pohled na hlavní temperační systém vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou včetně dutiny formy



Obr. 62 Horní a spodní temperační systém tvarových čelistí vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou.

9.6 Blok formy

Fiktivní vstřikovací forma je optimálně navržena, aby odpovídala návrhu budoucí reálné formě, kde jsou rozměry závislé na poloze a velikosti jednotlivých konstrukčních dílů vstřikovací formy. Při návrhu vstřikovací formy bylo vycházeno z její násobnosti, ze zadaného vtokového systému a temperačního systému. Zvolená forma obsahuje tři dělicí roviny – dělicí rovinu tvárníku a tvárnice a mezi nimi dělicí rovina pro tvarové čelisti.

Tab. 7 Rozměry fiktivní vstřikovací formy v programu Autodesk Moldflow

Směr	Rozměr [mm]
Výška (osa x)	396
Šířka (osa y)	446
Délka (osa z)	371,2

9.7 Vstřikovací stroj

Z důvodů dosažení procesních parametrů byl zvolen stroj s průměrem šneku 35mm: Allrounder 470 S 110 tons 3.4 oz (35mm). Stroj byl zvolen tak, aby dokázal zcela vyplnit dutinu formy. Dále podle velikosti uzavírací síly, která musí být větší, než síly vznikající uvnitř dutiny formy v průběhu vstřikovacího cyklu a podle velikosti formy, kterou je možné rozměrově umístit mezi vodící sloupky.

Tab. 8 Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.

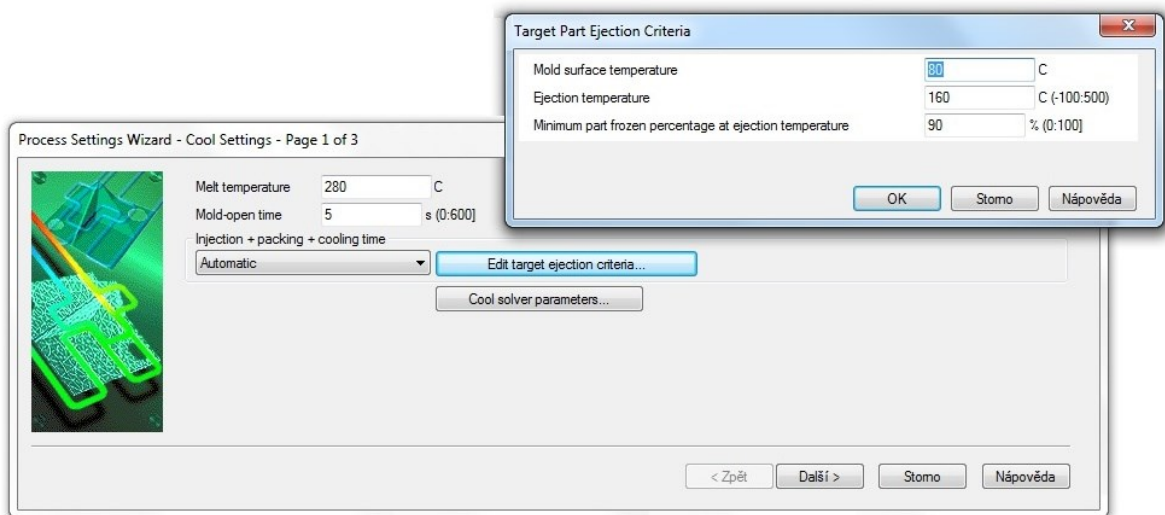
Parametry	Požadované hodnoty	Hodnoty stroje
Velikost stroje (vodící sloupky)	446 mm	470 mm
Uzavírací síla	cca 36 tun	110 tun
Maximální vstřikovací rychlost	-	430 cm ³ /s
Průměr šneku	-	35 mm

9.8 Procesní podmínky

Volba procesních podmínek byla provedena dle doporučené defaultně nastavené analýzy pro daný materiál, aby bylo dosaženo co nejoptimálnějšího procesu vstřikování.

Nastavení procesních parametrů bylo provedeno v Process Settings Wizard. V prvním kroku se nastavuje chlazení – Cool Settings:

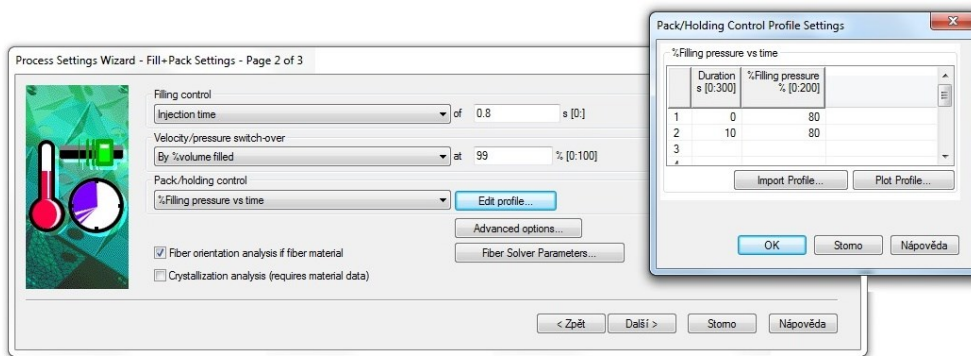
- Teplota taveniny: 280°C
- Doba otevření vstřikovací formy: 5s
- Vstřik + dotlak + čas chlazení: Automatic, Edit (obr. 63)



Obr. 63 Nastavení vstřik + dotlak + čas chlazení

V druhém kroku se nastavují hodnoty pro fázi plnění a dotlaku – Fill + Pack Settings:

- Čas plnění: 0,8s
- Přepnutí na dotlak: 99% objemového zaplnění
- Fáze dotlaku: kontrolována podle relativního plnicího tlaku (obr. 64), kde 100% je maximální vstřikovací tlak.

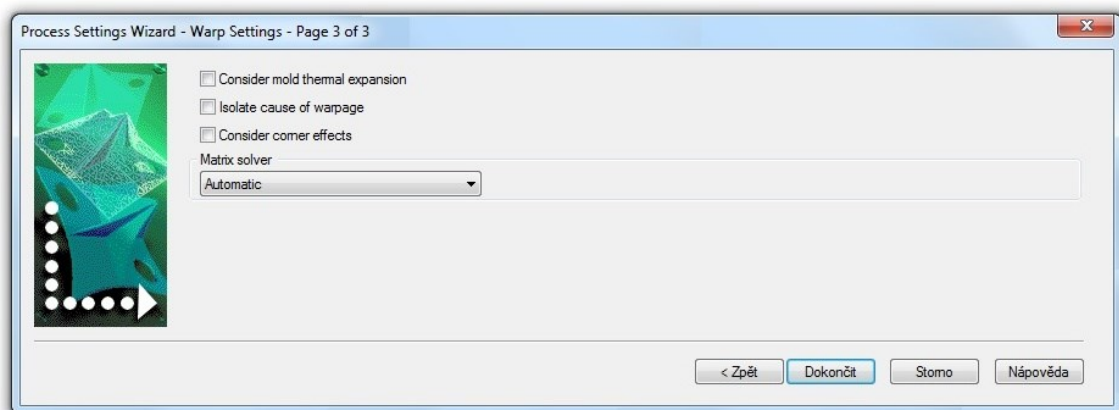


Obr. 64 Nastavení Fill + Pack

V záložce pokročilé nastavení (Advanced options) byl zvolen vstřikovací stroj (kapitola 9.7). Poté byly zaškrtnuty položky: nesmí být překročena maximální uzavírací síla stroje. Materiál vstřikovací formy zůstal dle defaultního nastavení - Tool Steel P-20.

V posledním kroku procesních podmínek (Process Settings Wizard) se nastavuje smrštění – Warp Settings. Nebyly zaškrtnuty žádné možnosti.

Výpočtová matice - automatické nastavení (Obr. 65).



Obr. 65 Nastavení smrštění

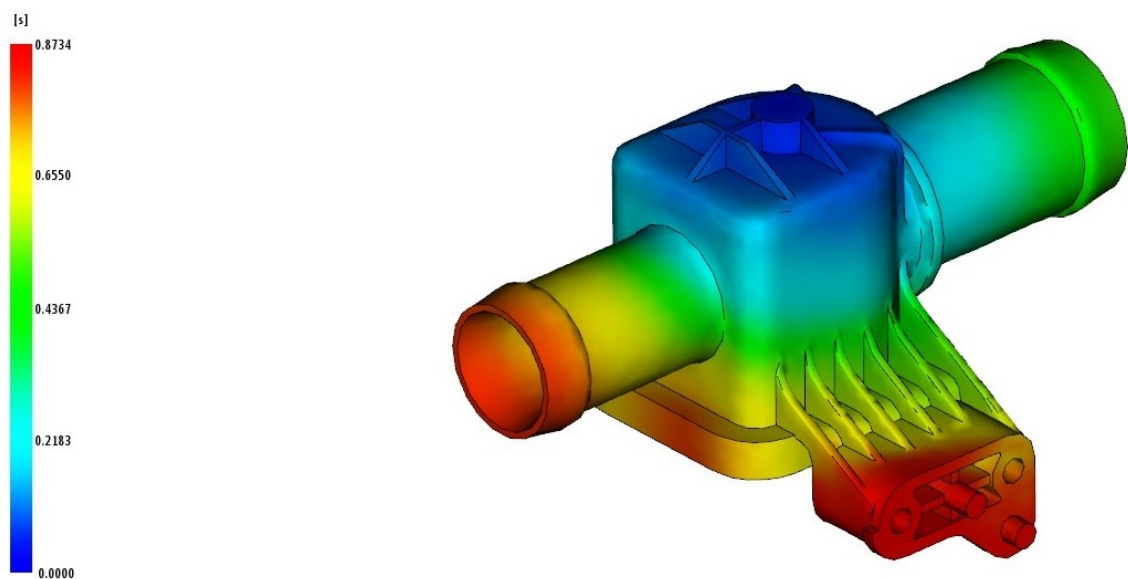
10 VÝSLEDKY ANALÝZY Z PROGRAMU MOLDFLOW

Pro výpočet celkové analýzy bylo vybráno nastavení (Cool + Fill + Pack + Warp). Program Autodesk Moldflow po ukončení analýz nabízí řadu výsledků. V této kapitole se věnují zpracování výsledků analýz teploty, plnění, dotlaku, smrštění a deformace.

10.1 Čas plnění (Fill time)

Jedná se o grafické i početní vyjádření doby, která je potřebná pro úplné zaplnění dutiny formy. Dle tohoto vyhodnocení lze usoudit, zdali je samotná analýza vůbec správně nastavena. Tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku za stejnou dobu, tzn., že plnění dutiny vstříkovaným materiálem musí být vyvážené.

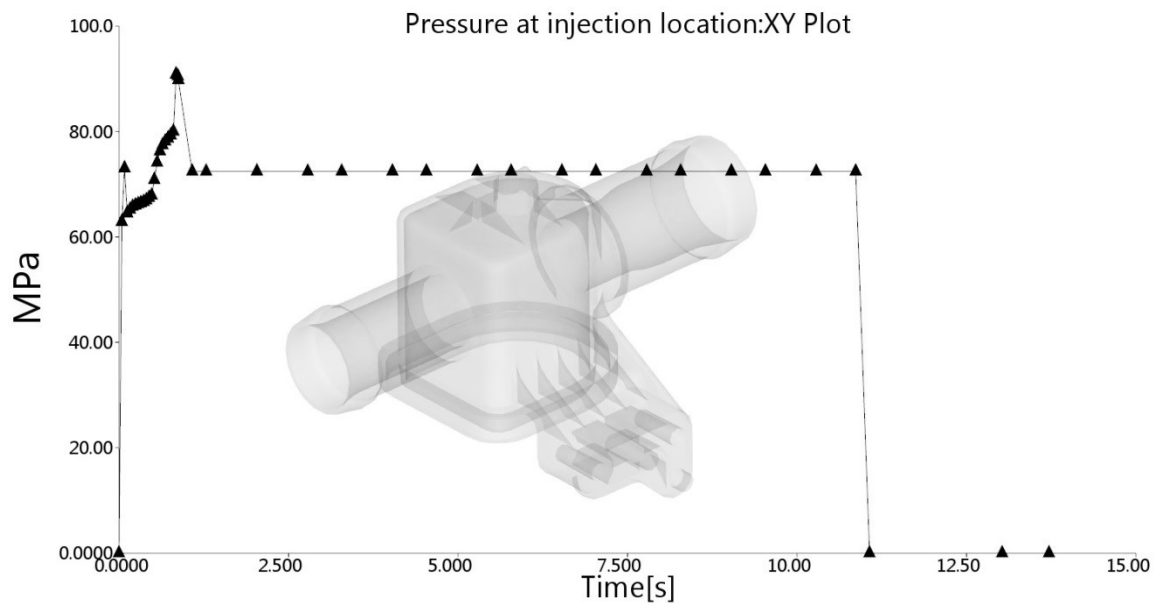
Čas plnění byl nastaven na 0,8 s, skutečný čas se bude pohybovat okolo 0,87 s. Na obrázku 25 lze také pozorovat, že materiál dotekl do všech míst dutiny.



Obr. 66 Čas plnění

10.2 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

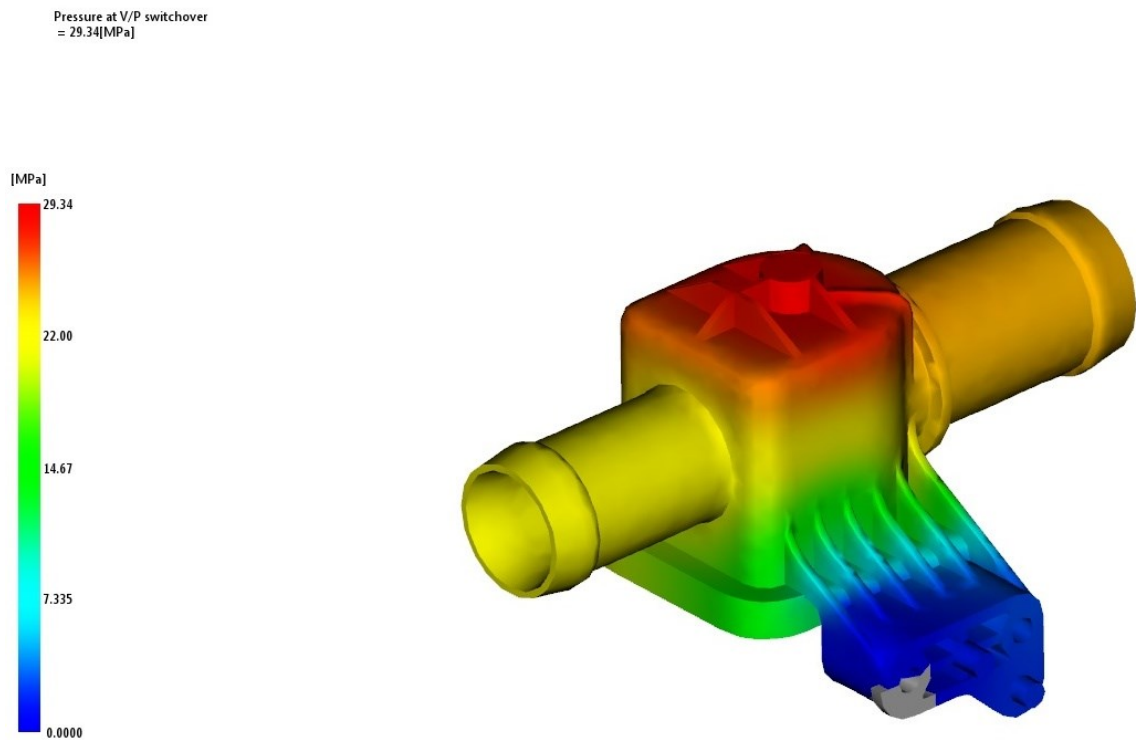
Na obrázku (Obr. 67) lze vidět průběh tlaku během vstřikovacího cyklu v závislosti na čase. Nejvyšší hodnota vstřikovaného tlaku se nachází na konci plnění a dosahuje hodnot tlaku 90MPa. Počátek grafu představuje začátek vstřikování (plnění), které jakmile skončí, započne fáze dotlaku. Doba a velikost dotlaku je jedním z nejdůležitějších parametrů správné volby vstřikovacího procesu, neboť značně ovlivňuje kvalitu výrobku (tvarovou a rozměrovou přesnost). Eventuelně, pokud by byla dotlaková fáze příliš krátká, mohlo by nastat snížení kvality a jakosti výrobku (např. tvorba propadlin, lunek, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy a nerovnosti).



Obr. 67 Tlak taveniny ve vtokovém ústí

10.3 Tlak v bodě přepnutí – pressure at V/P switchover

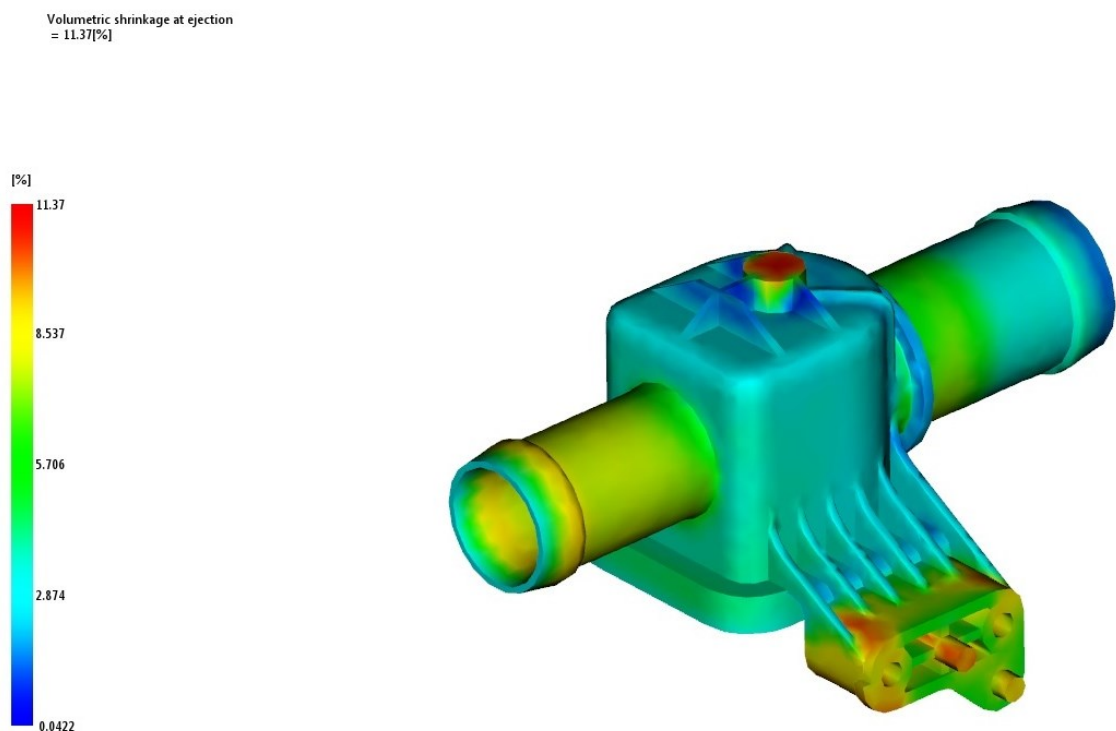
Bod přepnutí je moment, při kterém dochází během vstřikování k přepnutí z fáze vstřikovacího tlaku na fázi dotlaku. Tento typ analýzy taktéž dokazuje, zdali dochází k rovnoměrnému zaplnění dutiny formy ve stejném časovém okamžiku. Ve výsledku této analýzy je barevně znázorněna velikost tlaku uvnitř dutiny formy právě během okamžiku přepnutí na dotlak. Šedá místa znázorňují nezaplňené prostory dutiny formy. To je však z toho důvodu, že pro správnou kvalitu a rovnoměrnost výroby v momentě přepnutí na dotlak nesmí být zaplněn celý objem dutiny, zaplnění se má pohybovat mezi 95 – 99 % objemu dutiny.



Obr. 68 Analýza tlaku v bodě přepnutí

10.4 Objemové smrštění při vyhození (Volumetric shrinkage at ejection)

Po zaplnění tvarové dutiny formy taveninou a ukončení dotlaku nastává objemové smrštění vstříkovaného výrobku. Smrštění se dělí na výrobní (90 % celkového smrštění) a dodatečné (10 % celkového smrštění). Smrštění není ve všech směrech stejné, ale záleží na směru proudění taveniny, druhu polymeru, plnivu, tvaru výrobku a teplotě. Na výrobku (Obr. 69) jsou viditelná barevná místa, která znázorňují jednotlivé procentuální smrštění, v různých částech výrobku je tahle hodnota rozdílná. Je zřejmé, že k největšímu smrštění dochází v místech, kde jsou nejtlustší stěny = nejvíce materiálu. Díky této analýze lze správně určit rozměry dutiny vstříkovací formy, které jsou rozdílem mezi rozměrem dutiny vstříkovací formy a skutečným rozměrem výrobku. Velikostí a dobou dotlaku lze výrazně ovlivnit míru smrštění.



Obr. 69 Objemové smrštění při vyhození

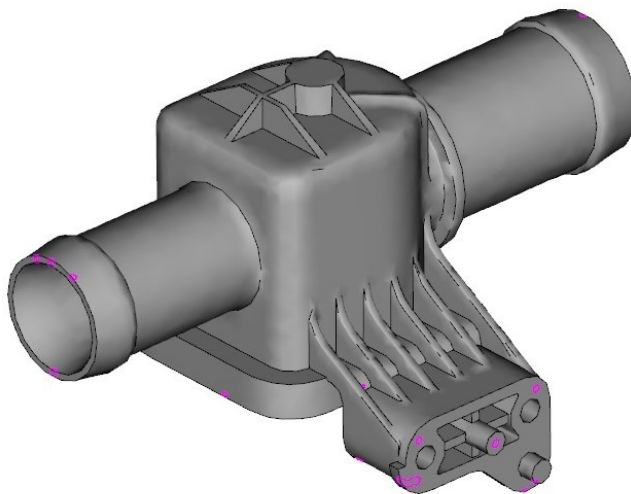
10.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

V místech, kde dochází ke spojení čel proudů tavenin, se mohou vyskytovat vzduchové kapsy (Obr. 70). V těchto místech by bylo nutné řešit problematiku odvzdušnění formy, například vůlemi mezi vyhazovači nebo dělicí rovinou.

Problém lze v některých případech také řešit zvýšením vstřikovacího tlaku nebo také vhodnou a lepší konstrukcí formy nebo úpravou vstřikovací rychlosti.

Na Obr. 70 jsou růžovou barvou vyobrazeny vzduchové kapsy, které mohou vznikat při plnění dutiny formy taveninou. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Díky této analýze lze správně vyhodnotit místa pro odvzdušnění a eliminovat tak vznik spálených míst, bublin, nebo lunkrů.

V daném případě je počítáno s tím, že přebytečný vzduch se z dutiny formy dostane vůlí mezi vyhazovači a tvarovými čelistmi.



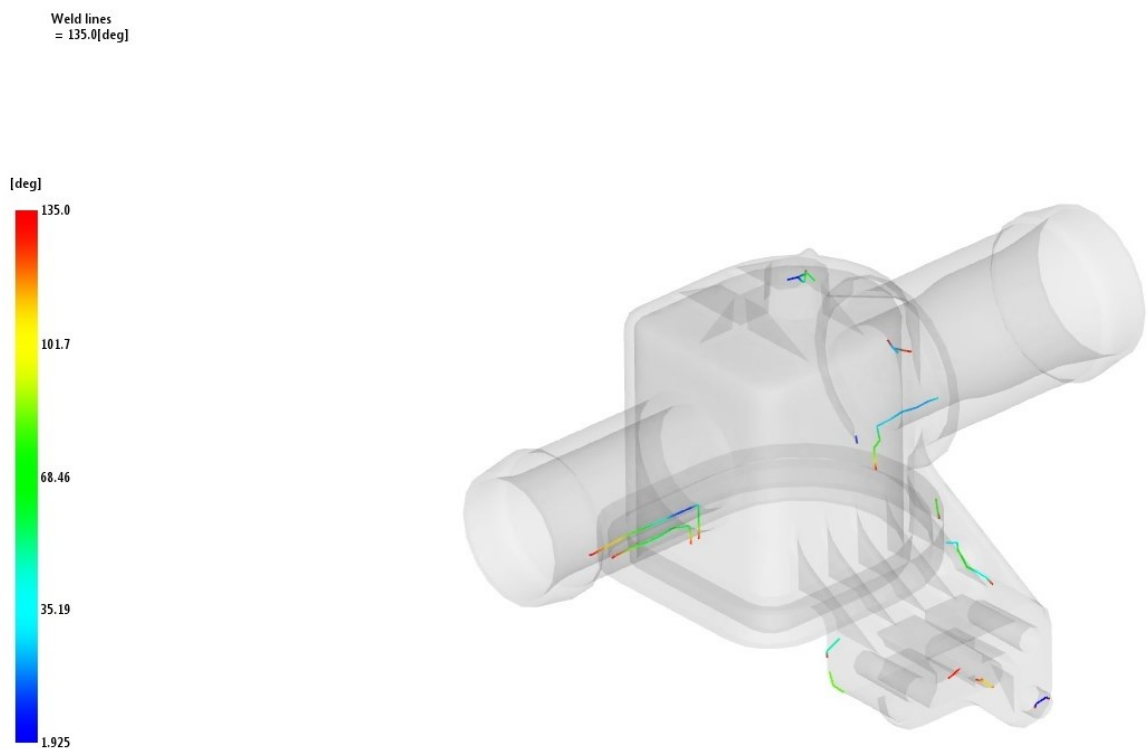
Obr. 70 Vzduchové kapsy

10.6 Studené spoje (Weld lines)

Tam, kde dojde ke spojení dvou proudů taveniny, se vyskytují studené spoje. Dochází tak při plnění formy taveninou. V těchto místech se výrazně zhorší mechanické vlastnosti výrobku a taktéž zhorší kvalita vzhledu, proto je tento jev nežádoucím. Studené spoje může také zapříčinit například nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odvzdušnění, malá rychlost vstřikované materiálu či příliš dlouhá dráha toku taveniny.

Studené spoje lze zmírnit zvýšením teploty taveniny, popřípadě zvýšit teplotu formy v oblasti tvárnice přidáním např. lepšího tepelně vodivého materiálu.

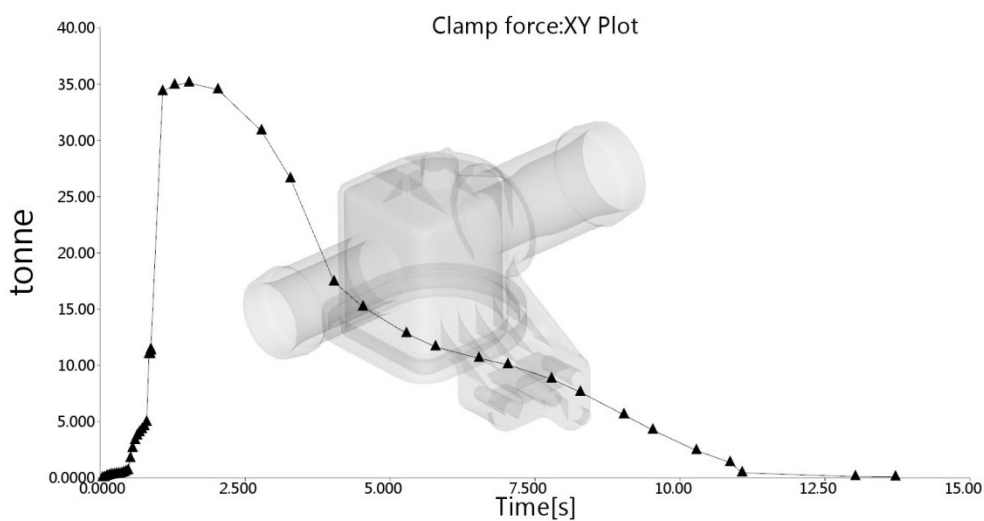
Důležité je dosáhnout toho, aby studený spoj nebyl v místě, které je výrazněji mechanicky namáhané. Na Obr. 71 lze vidět predikované studené spoje na výrobku.



Obr. 71 Studené spoje

10.7 Uzavírací síla (Clamp force)

Velikost uzavírací síly je jeden ze základních parametrů potřebných pro správnou volbu vstřikovacího stroje. Výsledná velikost uzavírací síly nesmí překročit maximální uzavírací sílu vstřikovacího stroje a na grafu je znázorněna při konci plnění cyklu. Velikost uzavírací síly je 35 tun. Zvolený vstřikovací stroj s uzavírací silou 110 tun vyhovuje. Na grafu je znázorněno, jaká uzavírací síla v závislosti na čase je potřeba.

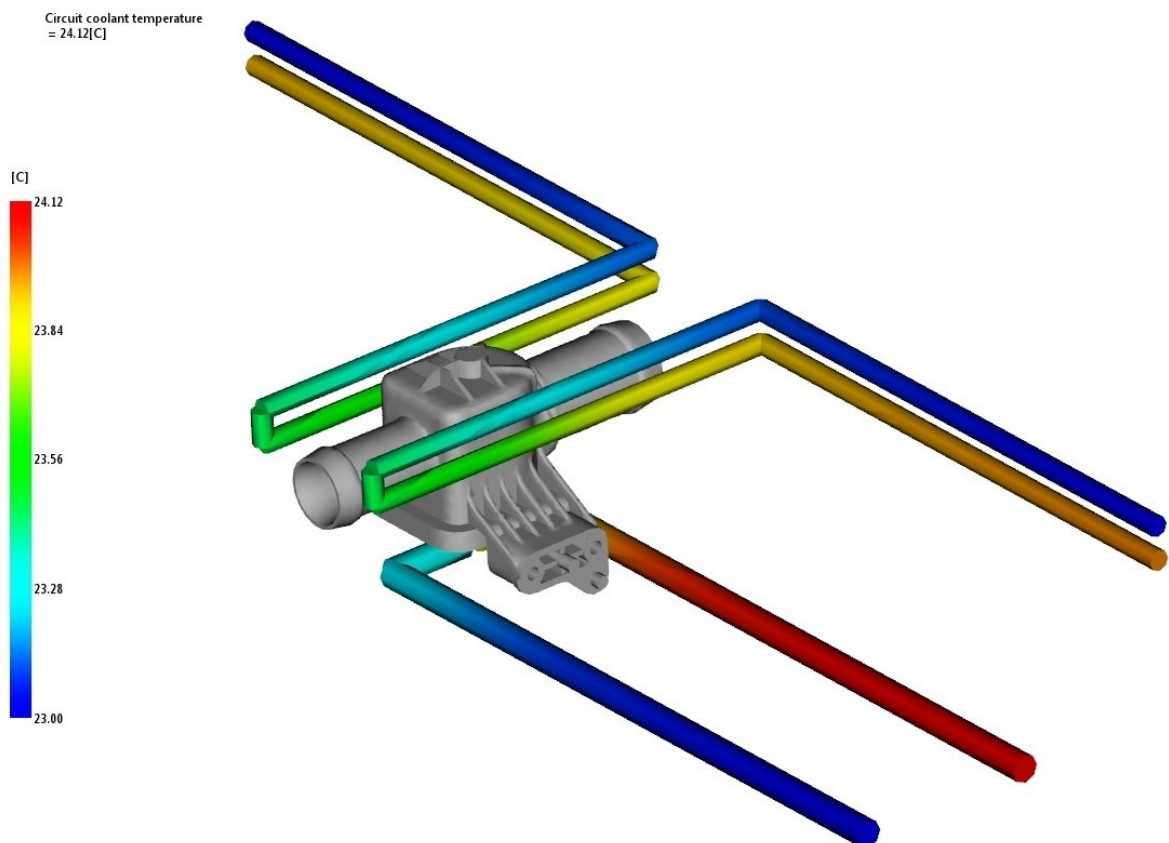


Obr. 72 Průběh uzavírací síly.

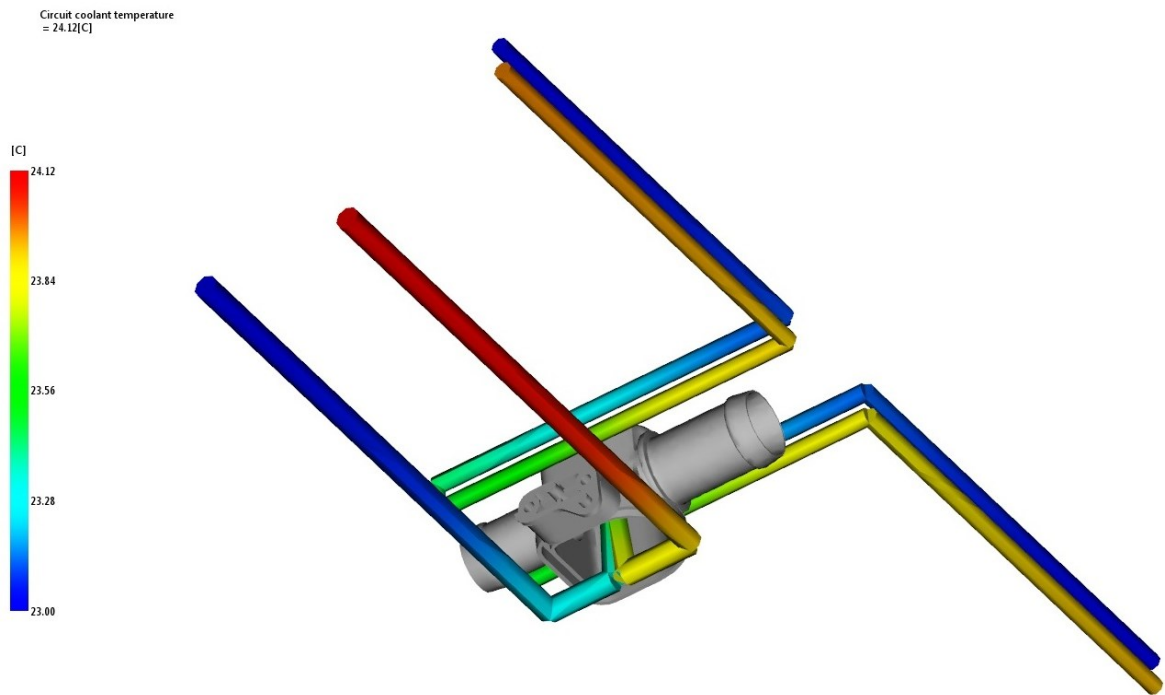
10.8 Teplota temperačního okruhu (Circuit coolant temperature)

Průběh teploty v jednotlivých částech temperačního okruhu je důležitým parametrem efektivnosti a správné koncepce chlazení. Ve všech částech výstřiku by chlazení mělo probíhat rovnoměrně a nemělo by docházet k velkému rozdílu teplot chladicího média, maximální rozdíl by však neměl být větší než 3° C. Toto je nutné zejména s ohledem na kvalitu a přesnost rozměrů výrobku a taktéž s ohledem na vzhled finálního výrobku. Z výsledku provedené analýzy je zřejmé, že temperační okruh byl navržen správně.

Temperační systém se skládá ze tří okruhů, kterými jsou hlavní okruh a horní + spodní okruh, které jsou součástí tvarových čelistí. V každém temperačním okruhu není rozdíl teplot nijak značný, to svědčí o velké efektivnosti temperačního systému, neboť dochází pouze k zanedbatelnému ohřevu chladicího média.



Obr. 73 Teplota temperačního okruhu.

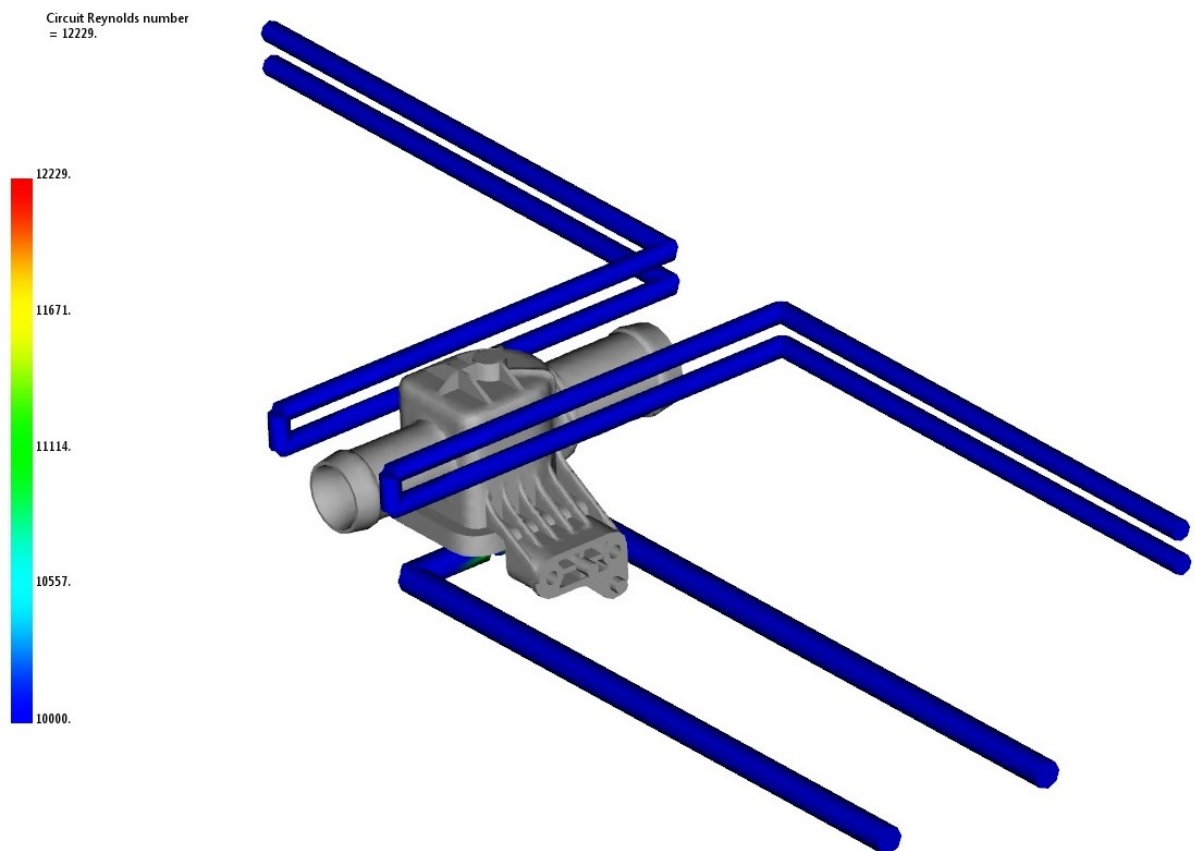


Obr. 74 Spodní pohled - teplota temperačního okruhu.

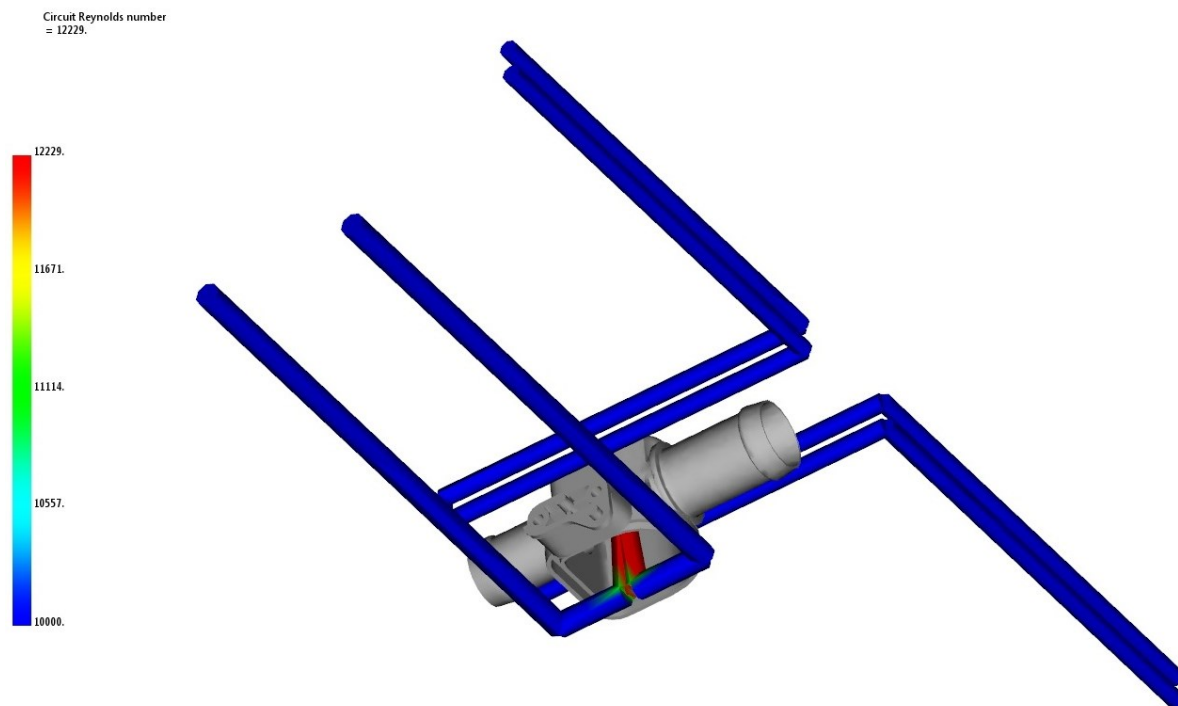
10.9 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

Temparační médium proudící temperačními vrtanými kanály má definovaný typ proudění. Typ proudění charakterizuje bezrozměrné Reynoldsovo číslo. Pokud je Reynoldsovo číslo menší než 2500, jedná se o proudění laminární, pokud je Reynoldsovo číslo větší, než 10000, jedná se o proudění turbulentní. Mezi hodnotami 2500 až 10000 Reynoldsova čísla je přechodová oblast proudění. Při tečení temperačního média v temperačním systému je cílem mít turbulentní typ proudění, které má za následek zvýšení intenzity odvádění tepla ze vstříkovací formy.

Objemový průtok proudící vody byl při spouštění analýzy nastaven na 3,5 litrů za minutu. Reynoldsovo číslo je v jednotlivých částech temperačního systému rozdílné. V celé oblasti temperačních kanálků je proudění temperační kapaliny kolem 10000 Reynoldsova čísla, avšak v oblasti přepážky (bafflu) se Reynoldsovo číslo pohybuje maximálně na hodnotu 12229. Hodnotu Reynoldsova čísla lze zvýšit větším objemovým průtokem, který vede k větší rychlosti proudění kapaliny. Reynoldsovo číslo je také závislé na průměru temperačního kanálku a na kinematické viskozitě temperační kapaliny.



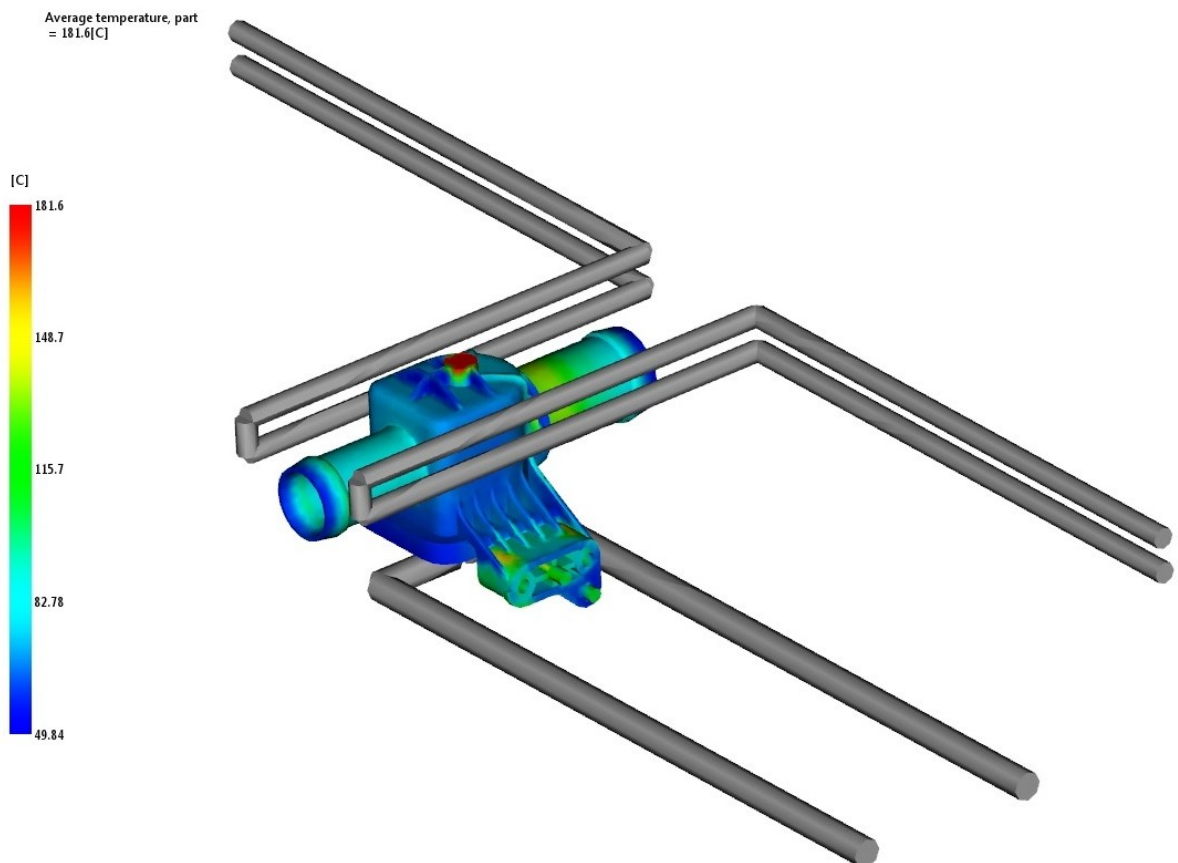
Obr. 75 Reynoldsovo číslo.



Obr. 76 Spodní pohled - Reynoldsovo číslo.

10.10 Průměrná teplota dílu (Average temperature, part)

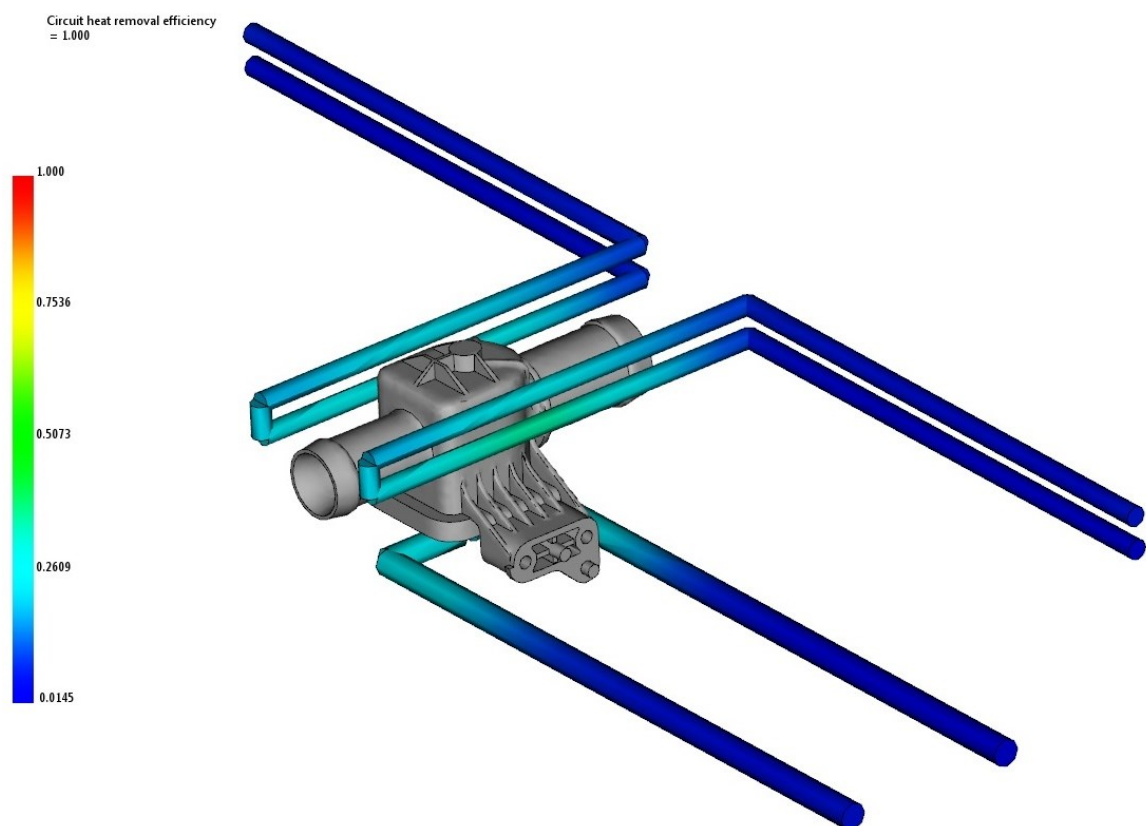
V této analýze je zobrazena průměrná teplota dílu a je zde znázorněno, jak účinně nebo naopak neúčinně je výrobek chlazen. Z analýzy je patrné, že nechladnější jsou místa na výrobku, kde je stěna tenká a je nejméně materiálu. Naopak nejteplejší místa jsou ty, kde je materiálu nejvíce a vyžadují tak větší odvod tepla a také v oblasti horkého vtokového systému. Na výrobku jsou nejteplejší místa zobrazena červenou barvou, teplota se zde pohybuje v maximální hodnotě 181,6 °C. Ostatní teplejší místa se díky složitosti tvaru výrobku a rozmístění jednotlivých částí uvnitř vstřikovací formy obtížně temperují. Nejdůležitější však je, aby v místech vyhazovačů byla požadovaná vyhazovací teplota. Pokud by bylo třeba snížení nejvyšší teploty, musel by být prodloužen čas chlazení, což má naopak za následek prodloužení celého vstřikovacího procesu.



Obr. 77 Průměrná teplota dílu.

10.11 Efektivita odebrání tepla (Circuit heat removal efficiency)

Výsledky analýzy efektivnosti odebrání tepla vyjadřují, že nejvyšší efektivita odebrání tepla je v místech temperačních kanálků tam, kde sousedí v největší blízkosti s výrobkem. Z důvodu složitějšího rozmístění jednotlivých částí forem, ať už se jedná o vodící elementy, vyhazovače či posuvné tvarové čelisti, je celý temperační systém navržen nejvhodnějším možným způsobem tak, aby bylo rozmístění těchto částí respektováno a zachováno co nejefektivnější odvod tepla z dutiny vstřikovací formy.

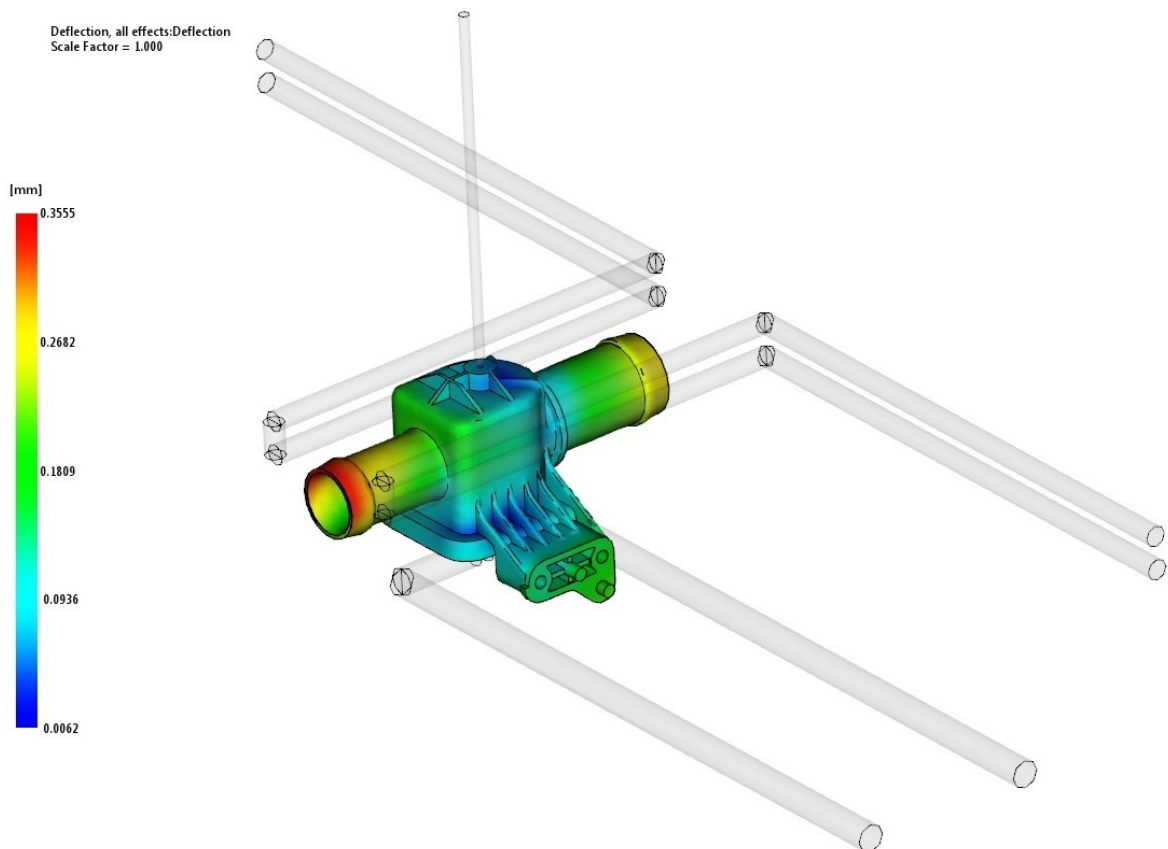


Obr. 78 Efektivita odebrání tepla.

10.12 Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection)

U vstřikovaného výrobku může dojít ke vzniku deformací, které mohou být způsobeny mnoha vlivy. V analýze jsou řešeny deformace způsobené vlivem tepelné roztažnosti, orientace vstřikované taveniny a vlivem působícího temperačního systému. Velikost celkových deformací je velmi důležitá při navrhování rozměrů dutiny vstřikovací formy. Na níže uvedeném obrázku (Obr. 79) je vykreslena deformace způsobená všemi třemi vlivy.

Maximální deformace je zobrazena červenou barvou a má hodnotu 0,3555 mm. Deformaci může ovlivňovat nedostatečná doba chlazení, orientace plniv, špatný výběr materiálu, příliš vysoká teplota formy. Pokud je deformace výrobku příliš velká, je potřeba tyto zmíněné aspekty upravit, a tím velké deformace eliminovat.



Obr. 79 Celková deformace.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hlavním bodem této diplomové práce bylo zkonstruování vstřikovací formy pro plastový díl, jímž je kryt průtokového čidla části motoru automobilu o rozměrech 107x61,5x59,5 mm, který je zhotovena z materiálu černé barvy polyamid 6, jenž je plněn z 35% skelnými vlákny, které dopomáhají ke zvýšení pevnosti a tuhosti, odolnosti otěru a proti stárnutí při vysokých teplotách, zvyšují odolnost vůči hoření a mají vynikající dielektrické vlastnosti.

Při navrhování vstřikovací formy bylo za úkol použít co největšího počtu normalizovaných dílů z důvodu méně náročnější výrobnosti celé formy díky stavebnicovému uspořádání. Vstřikovací forma byla navržena jako jednonásobná v kombinaci s horkou tryskou umístěnou v rozvodném bloku. Všechny desky formy jsou ze stejného materiálu mimo desky kotevní neboli tvarové, z důvodu kontaktu desek s roztaveným materiálem. Kotevní (tvarové) desky jsou z nástrojové oceli třídy 1.2343, jenž jsou následně cementovány a kaleny pro dlouhodobé odolávání vysokým teplotám při vstřikování polymeru. K chlazení dutiny formy slouží temperační kanálky, které jsou zkonstruovány tak, aby rovnoměrně odváděly teplo, které prostupuje z taveniny do desek formy. Temperační systém se skládá z hlavního temperačního okruhu, který je umístěn v tvárníku a je tvořen temperačním kanálkem o průměru 8mm a obtokovým můstkem (baffle). Dále je součástí temperačního systému horní a spodní okruh, který je umístěn v jednotlivých tvarových čelistech a je tvořen temperačním kanálkem o průměru 6mm. Posuvné čelisti a tvarová jádra se během otevírání formy posouvají po vedení směrem od stěny výrobku, v dané poloze se posuvné čelisti i tvarová jádra, pohybující se po šikmých čepech, zajistí pojistnou kuličkou, v tento moment je možné bezpečné odformování bez případných kolizí. Celý výrobek je ze stroje vyhozen vyhazovacím systémem, v kterém je upevněno 12 ks válcových vyhazovacích kolíků o průměru 2mm. Při otevřené formě se celý vyhazovací systém posouvá směrem k výrobku, který je stále uvnitř dutiny tvarové desky, posuv je kolmý na čelo desky a tím je výrobek z formy vyhozen. Následně se forma zavírá, posuvné čelisti s tvarovými jádry se posouvají zpět k vedlejší dělicí rovině, následuje další plastikace dávky polymeru a dochází k opakování celého děje vstřikování.

Velmi důležitou částí praktické části diplomové práce bylo provedení analýzy z programu Moldflow. Celková analýza pojednává například o čase plnění, kdy výsledky zobrazují celkové zaplnění dutiny formy a přesný čas zaplnění, který se pohybuje v hodnotě 0,87s, což je od původního procesního nastavení 0,8s velmi minimální rozdíl. Dále analýza po-

skytuje výsledky z oblasti vzduchových kapes či studených spojů. V reálném procesu bychom tyto jevy nemohly správně odhadnout a eliminovat, proto je velkým pomocníkem právě tato analýza. Vzduchové kapsy se na výrobku dle analýzy vyskytují, a tak je možné je v budoucnu eliminovat, například zlepšením odvětrání formy, což mohou být třeba vůle mezi vyhazovači, či dělicí rovinou. Studené spoje lze naopak zmírnit zvýšením teploty taveniny, popřípadě zvýšením teploty formy v oblasti tvárnice přidáním např. lepšího tepelně vodivého materiálu. Velmi důležitou analýzou je též analýza uzavírací síly, ta pojednává o tom, jaká je maximální velikost uzavírací síly vstřikovacího stroje. Tento parametr nám pomáhá při volbě vhodného vstřikovacího stroje, u kterého musí hodnota uzavírací síly převyšovat hodnotu z analýzy. Analýza Moldflow se také věnuje temperačnímu systému, a to například analýza teploty temperačního systému, u které můžeme pozorovat průběh teploty v různých místech tohoto systému. Taktéž je zde možnost analýzy průměrné teploty dílu, která zobrazuje rozsah teplot celého vstřikovaného dílu a dále analýza efektivit odebrání tepla, která vyjadřuje míru odebrání tepla z dutiny formy. Poslední částí Moldflow analýzy je analýza celkové deformace. Analýza poskytuje výsledky deformací způsobených vlivem tepelné roztažnosti, orientace vstřikované taveniny a vlivem působícího temperačního systému. Maximální deformace byla naměřena s hodnotou 0,3555 mm. Tuto deformaci může ovlivňovat nedostatečná doba chlazení, orientace plniv, špatný výběr materiálu, či příliš vysoká teplota formy. Pokud by byla tahle deformace příliš velká, bylo by třeba tyto zmíněné aspekty upravit a tím velké deformace eliminovat.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro výrobu daného dílu tak, aby byla výroba co nejekonomičtější a nejefektivnější, proto také byl zvolen horký vtokový systém z důvodu odstranění vtokových zbytků. Okolí dutiny formy je chlazeno pro dokonalý odvod tepla, jenž vzniká při vstřikování. Pro vstřikovaný díl byl zvolen materiál polyamid 6 s obsahem 35% skelných vláken.

Model výrobku, vstřikovací forma i výkresová dokumentace byla vytvořena v softwaru Catia V5R19. Bylo využito co největšího počtu normalizovaných součástí od firmy Hasco, které software umožňuje vkládat, tím je usnadněna veškerá konstrukce formy. Analýza Moldflow byla vytvořena v softwaru Autodesk Moldflow pro zhodnocení celého vstřikovacího procesu.

Veškerá konstrukční řešení jsou blíže rozebrána v jednotlivých kapitolách.

Součástí diplomové práce je také CD s 3D daty včetně dat analýzy Moldflow a výkresová dokumentace s kusovníkem ve hmotné podobě, jež jsou uschovány v kapse vazby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [2] *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupný z WWW:
< http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm >
- [3] *GUMEX* [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupný z WWW:
< <http://www.gumex.cz> >
- [4] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [5] LENFELD, P. *Technologie II. -Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná z www:
< http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm >
- [6] *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupný z WWW:
< http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm >
- [7] NEUHAUSL, E. *Vstřikování plastických hmot*. Praha: SNTL, 1973. 206 s.
- [8] GOODSHIP, V. *Practical Guide to Injection Moulding*. Shropshire, UK: Rapra Tech. Ltd. and ARBURG Ltd, 2004. 202s. ISBN 1-85957-444-0
- [9] *Tváření forem a výroba plastů II*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupný z WWW:
< <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-i/> >
- [10] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. *Injection Molding Handbook (3rd Edition)*. NYC, NY, USA: Springer - Verlag, 2000. 1485s. ISBN 978-0-7923-8619-3.
- [11] OSSWALD, T. A. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.

- [12] *HASCO - Products*. [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupný z WWW:
<<http://www.hasco.com/index.php/gb/Products/Standards/Z-Standards/Cold-runner-components/Hot-runner-nozzle-Standard-Shot-Z104G> >
- [13] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [14] *CECHO – Normalizované díly pro formy* [online]. [cit. 2015-01-18].
Dostupný z WWW:
<<http://www.cecho.cz/cs/soubory-ke-stazeni/46/fcpk-bytow-normalizovane-dily-pro-vyrobu-a-opravy-forem-na-vstrikovani-plastu> >
- [15] *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupný z WWW:
<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf >
- [16] Arburg [online]. [cit.2015-5-14]. Dostupný z www: <<http://www.arburg.com>>
- [17] NEUHÄUSL, Ing. Emil. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM průmyslové spektrum*. roč. 2010, č. 3, s. 58. DOI: 100307.
- [18] NEUHÄUSL, Ing. Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. *MM průmyslové spektrum*. roč. 2010, č. 3, s. 64. DOI: 100406.
- [19] *Vady po vstřikování* [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupný z WWW:
http://www.xsplasticmould.com/html_news/Moisture-streaks-20.html
- [20] *Vznik vzduchových bublin*. [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupný z WWW:
<<http://www.protolabs.com/resources/injection-molding-design-tips/united-states/2006-03/>>

[21] *Autodesk* [online]. [cit.2017-02-02]. Dostupný z www: http://www.tdis.cz/doc/autodesk/Autodesk_simulation_moldflow.pdf

[22] *Arburg* [online]. [cit.2017-4-28]. Dostupný z www: <<http://www.arburg.com>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvou rozměrný prostor
3D	Tří rozměrný prostor
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PP 30GF	Polypropylen plněný 30% skelných vláken
PA 6	Polamid 6
T _m	Teplota tání [°C]
UV	Ultrafialové záření
LCD	Displej z tekutých krystalů
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
PET	Polyethyltereftalát
Cu	Chemické označení mědi
Al	Chemické označení hliníku
CD	Kompaktní disk

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení plastů	9
Obr. 2 Vstřikovací cyklus [4]	13
Obr. 3 Vstřikovací stroj [6].....	14
Obr. 4 Usazená vstřikovací tryska na vtokové vložce [1]	15
Obr. 5 3D vstřikovací forma [9]	19
Obr. 6 Rozložená forma [9]	19
Obr. 7 Studený vtok [9]	21
Obr. 8 Typy uspořádání vtoků [9]	21
Obr. 9 Průřez vtoků [9]	21
Obr. 10 Tunelový vtok [9]	22
Obr. 11 Plný kuželový vtok [10]	22
Obr. 12 Bodový vtok [10].....	23
Obr. 13 Tunelový vtok [10]	23
Obr. 14 Boční vtok [10].....	24
Obr. 15 Filmový vtok [10].....	25
Obr. 16 Vyhřívání blok [9]	26
Obr. 17 Vyhřívání tryska [12].....	27
Obr. 18 Vyhazovací válcový kolík [14].....	28
Obr. 19 Vyhazovací trubkový kolík [14].....	29
Obr. 20 Vyhazovací prizmatický kolík [14]	29
Obr. 21 Vyhazovací osazený kolík [14]	30
Obr. 22 Vytáčení jádra [9]	31
Obr. 23 Chladicí kanály [9]	33
Obr. 24 Čelní studený spoj [17].....	38
Obr. 25 Studený spoj – vrub amorfního polymeru [17]	39
Obr. 26 Spálená místa – Dieselův efekt [17].....	40
Obr. 27 Stříbrné pruhy [19]	40
Obr. 28 Vzduchové bubliny [20]	41
Obr. 29 3D model výrobku	48
Obr. 30 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 S [22]	49
Obr. 31 Celkový pohled na vstřikovací formu	51
Obr. 32 Popis desek rámu vstřikovací formy	52

Obr. 33 Znázornění dělicích rovin.....	53
Obr. 34 Kotevní (tvarová) deska levá – tvárník.....	54
Obr. 35 Kotevní (tvarová) deska pravá – tvárnice.....	55
Obr. 36 Celkový pohled na posuvný mechanismus tvarových čelistí a posuvných jader – levá strana	56
Obr. 37 Pohled na posuvný mechanismus tvarových čelistí a posuvných jader – levá strana, popis.....	56
Obr. 38 Pohled na šikmé vodící čepy a zámky – pravá strana	57
Obr. 39 Rozvodný blok – pohled shora	58
Obr. 40 Rozvodný blok – pohled zespodu.....	58
Obr. 41 Pohled na vnitřek rozvodného bloku	59
Obr. 42 Vyhazovací kolíky a jejich rozmístění	60
Obr. 43 Celkový pohled na vyhazovací systém.....	61
Obr. 44 Temperační systém levé strany formy – tvárník	62
Obr. 45 Temperační systém levé strany formy – tvárník, 3D pohled.....	62
Obr. 46 Temperační systém integrovaný do tvarových čelistí – 3D pohled.....	63
Obr. 47 Temperační systém horní tvarové čelisti	63
Obr. 48 Temperační systém spodní tvarové čelisti.....	64
Obr. 49 Transportní oko.....	64
Obr. 50 3D model výrobku ze softwaru Autodesk Moldflow	65
Obr. 51 Statistika optimalizované sítě	66
Obr. 52 Rozvržení výrobku ve formě vůči poloze vtoku	68
Obr. 53 Horký vtokový systém.....	69
Obr. 54 Zobrazení geometrie vtokového systému	69
Obr. 55 Analýza L/D vtokového systému	70
Obr. 56 Trajektorie hlavního temperačního systému.....	72
Obr. 57 Hlavní temperační systém, vykresleno v Autodesk Moldflow.....	72
Obr. 58 Horní a spodní temperační systém tvarových čelistí, vykresleno v Autodesk Moldflow	73
Obr. 59 Kompletní temperační systém včetně vtokového systému vůči dutině formy, vykresleno v Autodesk Moldflow.....	73
Obr. 60 Hlavní temperační systém vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou.....	74

Obr. 61 Spodní pohled na hlavní temperační systém vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou včetně dutiny formy	75
Obr. 62 Horní a spodní temperační systém tvarových čelistí vykreslený v Autodesk Moldflow s upravenou L/D diagnostikou.....	75
Obr. 63 Nastavení vstřík + dotlak + čas chlazení	77
Obr. 64 Nastavení Fill + Pack.....	78
Obr. 65 Nastavení smrštění.....	78
Obr. 66 Čas plnění	79
Obr. 67 Tlak taveniny ve vtokovém ústí.....	80
Obr. 68 Analýza tlaku v bodě přepnutí.....	81
Obr. 69 Objemové smrštění při vyhození	82
Obr. 70 Vzduchové kapsy.....	83
Obr. 71 Studené spoje.....	84
Obr. 72 Průběh uzavírací síly	85
Obr. 73 Teplota temperačního okruhu.....	86
Obr. 74 Spodní pohled - teplota temperačního okruhu.....	87
Obr. 75 Reynoldsovo číslo.....	88
Obr. 76 Spodní pohled - Reynoldsovo číslo	89
Obr. 77 Průměrná teplota dílu.....	90
Obr. 78 Efektivita odebrání tepla.....	91
Obr. 79 Celková deformace	92

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Aktivní temperační prostředky [13]	34
Tab. 2 Vlastnosti materiálu	49
Tab. 3 Parametry uzavírací jednotky [22]	50
Tab. 4 Parametry vstřikovací jednotky [22]	50
Tab. 5 Materiálové parametry	67
Tab. 6 Rozměry a geometrie vtokového systému	69
Tab. 7 Rozměry fiktivní vstřikovací formy v programu Autodesk Moldflow	76
Tab. 8 Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.....	76

SEZNAM PŘÍLOH

P I Materiálový list polymeru

P II Technický list stroje

P III Výkresová dokumentace sestavy formy – jednotlivé řezy vstřikovací formou, iso pohled na vstřikovací formu

P IV Kusovník

P V CD – diplomová práce, data k modelu formy a výrobku, výkresová dokumentace, kusovník, data k analýze Moldflow

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST POLYMERU

Ultramid® B3WG7



We create chemistry

Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C ¹⁾	Test method	Unit	Values ²⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF35
Density	ISO 1183	kg/m ³	1410
Viscosity number (0.5% in 96 % H ₂ SO ₄)	ISO 307, 1157, 1628	cm ³ /g	140
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	5.9 - 6.5
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	1.80 - 2.20
Processing			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	220
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	45
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	270 - 290
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained ³⁾	-	%	0.35
Moulding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.25
Moulding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	0.75
Flammability			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60695-11-10	class	HB
Automotive materials (Thickness >= 1mm) ⁴⁾	FMVSS 302	-	+
Mechanical properties			
			dry / cond.
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	11000 / 7200
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	195 / 130
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3.5 / 7
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	3300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	10000 / 6300
Flexural strength	ISO 178	MPa	280 / 200
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	100 / 105
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	90 / 93
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	14 / 22
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	10 / 11
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/A	kJ/m ²	19 / 27
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	215
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	220
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	200
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 60216	°C	175
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 60216	°C	145
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	15 - 20
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	60 - 70
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.36
Specific heat capacity	-	J/(kg*K)	1400
Electrical properties			
			dry / cond.
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.9 / 6.2
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	210 / 1900
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	1E10
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	450

Footnotes

- 1) If product name or properties don't state otherwise.
- 2) The asterisk symbol "*" signifies inapplicable properties.
- 3) Test box with central gating, dimensions of base (107*47*1.5) mm, processing condition: TM = 280°C, TW = 80°C
- 4) + = passed

BASF SE

67056 Ludwigshafen, Germany

Ultramid® B3WG7

Processing Data Sheet



	Test method	Unit	Values
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF35
Density	ISO 1183	kg/m ³	1410
Melt volume rate MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	45
Drying			
Moisture, max.	-	%	0.15
Moisture, optimal ¹⁾	-	%	0.03 - 0.06
Dryer temperature ²⁾	-	°C	80
Drying time ³⁾	-	h	4
Injection molding			
Melt temperature range	-	°C	270 - 290
Melt temperature, optimal	-	°C	280
Mold temperature range	-	°C	80 - 90
Mold temperature, optimal	-	°C	80
Residence time, max.	-	min	10
Machine Settings			
Temperature hopper throat	-	°C	80
Cylinder temperature 1 (feed zone)	-	°C	260
Cylinder temperature 2 (compression)	-	°C	270
Cylinder temperature 3 (metering-zone, in front of the screw)	-	°C	280
Cylinder temperature 4 (nozzle)	-	°C	280
Peripheral screw speed	-	m/s	≤ 0.3
Shrinkage			
Molding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.25
Molding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	0.75
Processing shrinkage, constrained, longitudinal (TM = 280 °C, TW = 80 °C) ⁴⁾	-	%	0.35

Footnotes

- 1) Excessive drying of the granules may lead to an increase of melt viscosity during processing.
- 2) Dry air dryer; drying time is dependent on the initial moisture content of the granules, drying temperature and the dew point of the dried air.
- 3) In case of improper storage (e.g. open packages) drying time may have to be extended.
- 4) Model housing with central sprue, measures of the base: 107 x 47 x 1.5 mm.

BASF SE
67056 Ludwigshafen, Germany

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE

Technical data

470 S Multi-component

Clamping unit		0				470 S				0			
with clamping force	max. kN	0	0	0	0	1100	0	0	0	0	0	0	0
Opening force stroke	max. kN mm	255 500											
Mould height, fixed variable	min. mm	0				250 ---				0			
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---											
Distance between tie bars (w x h)	mm	0				470 x 470				0			
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	637 x 637											
Weight of movable mould half	max. kg	0				760				0			
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175											
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	0				1,5 - 329				0			

Injection unit		170			290			400		
with screw diameter	mm	25	30	35	30	35	40	35	40	45
Effective screw length	LD	24	20	17	23,3	20	17,5	23	20	18
Screw stroke	max. mm	120			150			160		
Calculated stroke volume	max. cm ³	59	85	115	106	144	188	154	201	254
Shot weight	max. g PS	54	77	105	97	132	172	141	184	232
Material throughput	max. kg/h PS	10	13,5	16	17	20,5	24,5	25	29	35
	max. kg/h PA6.6	5	7	8	8,5	10,5	12,5	12,5	15	17,5
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Injection flow ²	max. cm ³ /s	216	312	424	316	430	562	492	642	814
Screw circumferential speed ²	max. m/min	24	29	33	23	27	30	16	19	21
Screw torque	max. Nm	210	250	290	320	380	430	480	550	610
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 210			60 240			60 300		
Heating capacity zones	kW	9,4 5			6,4 5			9,4 5		
Feed hopper	l	50			50			50		

Drive and connection		400					0				
with horizontal/vertical injection unit		30	70	100	170	290	0	0	0	0	0
Net weight of machine	kg	6030	6020	6060	6190	6180					
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	66 3					0				
Oil filling	l	175									
Drive power ²	max. kW	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
Electrical connection ³	kW	36	38	39	43	40					
	Total	A									
	Machine	A									
	Heating	A									
Cooling water connection	max. °C	30									
	min. Δp bar	1,5 DN 25					0	0	0	0	0

Machine type

with EUROMAP size designation¹

470 S 1100-400/30 | 400/70 | 400/100 | 400/170 | 400/290

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers, etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).

2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[] Specifications apply to alternative equipment.