

Konstrukce vstřikovacího nástroje pro díl motoru a ověření funkčnosti pomocí simulace

Bc. Lukáš Smolík

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Smolík**
Osobní číslo: **T20120**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce vstřikovacího nástroje pro díl motoru a ověření funkčnosti pomocí simulace.**

Zásady pro vypracování

Vypracovat literární studii pro dané téma.
Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnosť.
Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

Seznam doporučené literatury:

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.

WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4.

YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.

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

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně dne:
10.5.2022

Jméno a příjmení studenta:
Lukáš Smolík

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh a konstrukci vstřikovacího nástroje pro díl motoru a následné ověření jeho funkčnosti pomocí simulace.

Teoretická část obsahuje literární rešerši na dané téma. Jsou zde stručně popsány polymerní materiály využívající se pro proces vstřikování, samotná technologie vstřikování a také základní zásady při návrhu vstřikované součásti. Dále je v teoretické části probrána konstrukce vstřikovacích forem, její kritéria, zásady a podmínky. A jako poslední tato část uvádí základní informace o vstřikovacích strojích a jejich správné volbě.

Praktická část se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro díl motoru automobilu. Jedná se o díl sacího ústrojí, v němž je uložen sací filtr. Konstrukce návrhu formy je vytvořena v programu CATIA V5R19. Ověření funkčnosti návrhu se provedlo pomocí analytického programu Autodesk MoldFlow Synergy.

Klíčová slova: technologie vstřikování, vstřikovací forma, analýza, vstřikovaná součást

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the design and construction of the injection tool for the engine part and the subsequent verification of its functionality by simulation.

The theoretical part contains research of a given topic. The polymer materials used for the injection process, the injection technology and the basic principles of the design of injected component are briefly described here. Furthermore, in the theoretical part is discussed the construction of injection molds, its criteria, principles and conditions. The last part shows basic information about injection machines and their correct choice.

The practical part deals with the design and construction of the injection mold for the motor part. The design of the mold is created in the Catia V5R19 program. The design functionality was verified using the Autodesk Moldflow Synergy analytical program.

Keywords: Injection technology, injection mold, analysis, injected component

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za věnovaný čas, poskytnuté odborné rady a připomínky, které mi byly velmi nápomocny při tvorbě této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval všem členům ústavu výrobního inženýrství, díky kterým jsem v průběhu studia získal potřebné znalosti na vytvoření této práce.

Nakonec bych také rád poděkoval své rodině a přátelům, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této diplomové práce a během celého mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERŇÍ MATERIÁLY	12
1.1 TERMOPLASTY	12
1.2 REAKTOPLASTY.....	12
1.3 ELASTOMERY	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	14
2.1 POSTUP VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	14
2.2 LAMINÁRNÍ A TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ	16
2.3 FONTÁNOVÝ TOK	17
2.4 PRŮBĚH TLAKU A TEPLoty VE FORMĚ BĚHEM VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	18
2.5 DIAGRAM PV _T	19
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉ SOUČÁSTI	20
3.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	20
3.2 TLOUŠŤKA STĚN	20
3.3 ŽEBRA	21
3.4 KONSTRUKCE ROHŮ	21
3.5 ÚKOSY A PODKOSY.....	21
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	22
4.1 FUNKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
4.2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	23
4.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	24
4.3.1 Studený vtokový systém	25
4.3.2 Vyhříváný vtokový systém	33
4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM	38
4.4.1 Přivedení temperačního média do formy	40
4.4.2 Vedení temperačního média ve formě	41
4.4.3 Tepelná trubice.....	43
4.5 VYHAZOVCÍ SYSTÉM	44
4.5.1 Vyhazovací kolíky	45
4.5.2 Pneumatické vyhazování.....	46
4.5.3 Boční posuvné čelisti	47
4.6 ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY	47
5 VSTŘIKOVACÍ STROJ	49
5.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	49

5.2	UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	52
7	VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST	53
7.1	MATERIÁL SOUČÁSTI.....	54
7.2	VYTVOŘENÍ SÍTĚ	54
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	56
8.1	NÁVRH DUTINY FORMY	57
8.2	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
8.3	VTKOVÝ SYSTÉM	61
8.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	63
8.4.1	První temperační systém	63
8.4.2	Druhý temperační systém.....	66
8.4.3	Zvolený temperační systém.....	67
8.5	ODFORMOVÁNÍ VSTŘIKOVANÉ SOUČÁSTI	69
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	72
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	73
10	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI POMOCÍ ANALÝZY V MOLDFLOW	75
10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY	75
10.2	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU.....	76
10.2.1	Čas plnění (<i>Fill time</i>)	76
10.2.2	Působení tlaku během vstřikovacího procesu (<i>Pressure at V/P switchover</i>)	77
10.2.3	Vzduchové kapsy (<i>Air traps</i>)	78
10.2.4	Studené spoje (<i>Weld lines</i>)	79
10.2.5	Velikost uzavírací síly (<i>Clamp force</i>)	80
10.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY CHLAZENÍ	81
10.3.1	Teplota temperačního média v temperačním systému (<i>Circuit coolant temperature</i>)	81
10.3.2	Tlak působící v temperačním systému (<i>Circuit pressure</i>)	83
10.3.3	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (<i>Time to reach ejection temperature</i>)	85
10.3.4	Reynoldsovo číslo (<i>Circuit Reynolds number</i>)	86
10.3.5	Účinnost odvodu tepla temperačního systému (<i>Circuit heat removal efficiency</i>)	87
10.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE	89
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ	91
	ZÁVĚR	93
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	95

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	99
SEZNAM OBRÁZKŮ	100
SEZNAM TABULEK.....	104
SEZNAM PŘÍLOH.....	105

ÚVOD

V dnešním technickém světě se spousta aplikací odehrává kolem plastikářského průmyslu. Jedná se o velmi rychle se rozvíjející průmysl, který postupně nahrazuje tradiční postupy a materiály. Polymerní materiály jsou využívány v mnoha odvětvích zejména pro jejich vlastnosti, jako je například nízká hmotnost, dobrá trvanlivost, nízká cena, výborná tvarovatelnost, elektrická a korozní odolnost atd. Díky tomu jsou hojně využívány v automobilovém, leteckém či v potravinářském průmyslu. Celkově lze říci, že se plastové díly vyskytují téměř v každém odvětví.

Pro zpracování polymerních materiálů se využívá mnoho zpracovatelských technologií. Ty se volí dle technologických vlastností daného polymeru, požadovaných vlastností a aplikace budoucího výrobku, aby správně plnil svoji funkci. Technologie lze rozdělit na tvářecí technologie, tvarovací technologie a doplňkové technologie. Tvarovací technologie zahrnují například obrábění plastových dílů, spojování či ohýbání. Jako doplňkové technologie lze uvádět procesy upravující polymer před jeho zpracováním, jako je míchání, hnětení nebo sušení, a do tvářecích technologií patří například válcování, vytlačování, lisování nebo vstřikování.

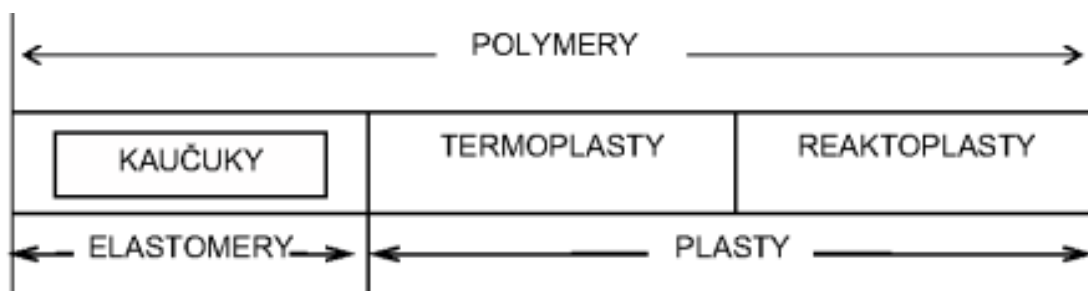
Právě vstřikování v posledních letech zažilo velký rozmach. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších technologií v oblasti zpracování polymerních materiálů. Technologie se s oblibou využívá pro možnost vyrábět složité součásti. Jedná-li se o velkosériovou výrobu, lze docílit levné, rychlé a efektivní výroby. Součásti vytvořené procesem vstřikování lze najít téměř v jakémkoli průmyslu. Velké zastoupení vstřikovaných dílů se nachází v automobilovém průmyslu, kde čím dál více nahrazují kovové materiály, převážně díky jejich nízké hmotnosti, nízké ceně a tvarové rozmanitosti.

Základem vstřikovacího procesu je vstřikovací forma. Jedná se o velmi komplexní nástroj obsahující několik systémů a velké množství součástí spojených v jeden funkční celek. Čím dál více společností se specializuje na výrobu těchto vstřikovacích nástrojů. Z toho důvodu jsem si zvolil téma diplomové práce zaměřující se na konstrukci vstřikovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou makromolekulární látky tvořené řetězci, jejichž základem je monomerní jednotka. Řetězce mohou být lineární, rozvětvené nebo zesíťované. Polymery se dělí na elastomery a plasty, přičemž plasty se dále dělí na reaktoplasty a termoplasty. Pro vstřikování se využívají všechny tyto druhy polymerů, avšak každý za jiných podmínek. [1]



Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [4]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které jsou za běžné teploty v tuhém stavu. Při jejich zahřívání měknou a přecházejí do plastického stavu. Jakmile se začnou ochlazovat, přecházejí zpět do tuhého stavu. Vzhledem k tomu, že se při zahřívání nemění jejich chemická struktura, lze tento proces provádět opakovaně. I díky této vlastnosti jsou termoplasty nejběžnějším používaným materiálem v plastikářském průmyslu. [1, 2]

Při vstřikování se termoplasty v plastikační jednotce zahřejí nad teplotu tání (T_m), čímž se převedou do plastického stavu, a následně se vstříknou do vstřikovací formy. Po vstříknutí se materiál postupně ochlazuje pod teplotu T_m , tím se materiál zafixuje a vzniká tak výrobek. Při vstřikování musí být polymer do formy vstříknut pod dostatečným tlakem, jinak by mohlo dojít k nedotečení materiálu, případně tvarovým defektům. Pozornost je třeba věnovat i chlazení, pokud bude forma příliš studená, nebo se bude výrobek ochlazovat příliš rychle, mohou vznikat studené spoje nebo vysoká zbytková napětí. [3]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty, nebo také termosety, jsou materiály, které po ztuhnutí již nelze znovu přetavit. V první fázi zahřívání reaktoplasty měknou a mohou se tvářet, avšak během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci nazývané vytvrzování nebo též síťování. Jedná se o nevratný děj a vytvrzené plasty již nelze znovu roztavit nebo rozpustit. Toho se využívá

u výrobků využívajících se v elektroprůmyslu, stavebnictví nebo teplotně namáhaných oblastech. [1, 2]

Reaktoplasty se připravují v plastikační jednotce při teplotě nižší, než je jejich teplota sítování. Po vstříknutí reaktoplastů je snaha, aby sítování proběhlo co nejrychleji, proto jsou formy temperované až na teploty, při kterých dochází k vytvrzování daného materiálu. Průměry trysek jsou v případě vstříkování reaktoplastů větší než v případě vstříkování termoplastů. Vstřikovací časy musí být velmi krátké, aby nedocházelo k předčasnému vytvrzování materiálu. Ochlazení výrobku probíhá již mimo formu. [2]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou materiály, které lze, jako v případě reaktoplastů, tvarovat pouze do určité teploty, po dalším zahřívání dochází k chemické reakci nazývané vulkanizace. Jedná se o reakci, při které dochází k zesíťování polymeru. Při této reakci probíhá fyzikální děj, tudíž proces zahřívání a následného ochlazování lze stejně jako u termoplastů opakovat. Jejich největší předností je vysoká hodnota elastické deformace, kdy se při působení zatížení zdeformují a poté opět vrátí do původního stavu.[1]

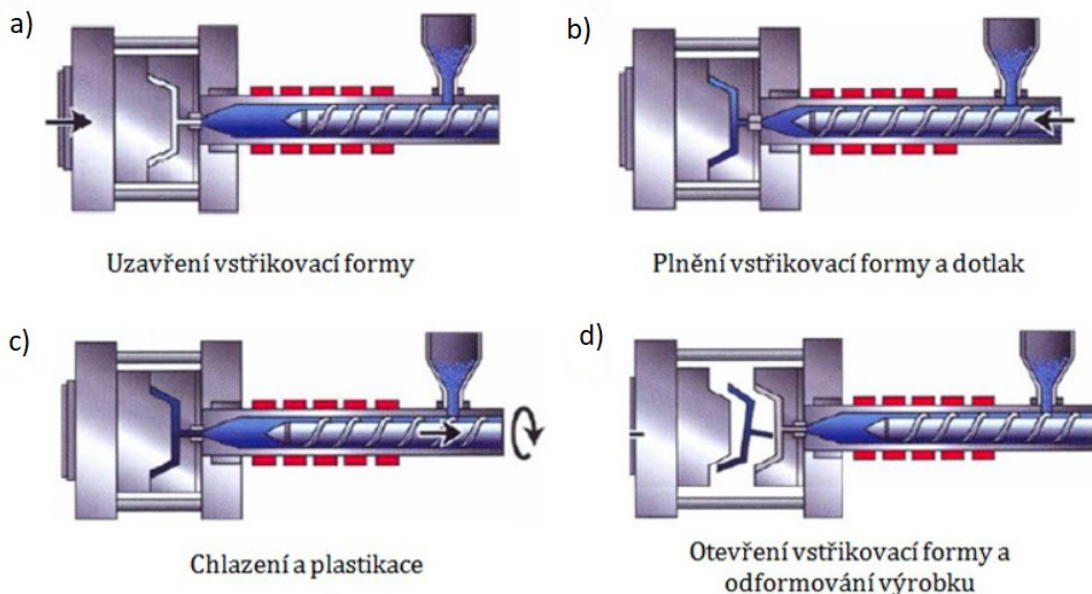
Proces vstříkování elastomerů zahrnuje dva stupně. V prvním stupni se směs vlivem míchání a zahřívání plastikuje. Při tomto procesu se musí stejně jako u reaktoplastů dbát na to, aby teplota nevzrostla příliš vysoko a nedošlo tak k navulkanizování směsi. V druhém stupni je směs dopravena do vstřikovacího válce, odkud je vstříknuta do dutiny formy. Správná teplota temperace formy zajistí zvulkanizování materiálu a vzniká tak hotový díl. [3]

2 TECHNOLOGIE VSTŘÍKOVÁNÍ

Vstříkování je nejuniverzálnějším a nejrozšířenějším procesem zpracování polymerních struktur. Lze vyrábět plastové výrobky různých velikostí, tvarů a rozměrů. Proces se také využívá pro výrobu výrobků se složitými trojrozměrnými tvary. Technologií vstříkování se zpracovávají téměř všechny druhy termoplastů, některé druhy reaktoplastů a kaučuků. V posledních letech se také metoda vstříkování používá k výrobě kovových a keramických výrobků. Kvůli zvyšujícím se nárokům na kvalitu výrobku a kvůli zlepšení účinnosti a univerzálnosti procesu bylo zavedeno mnoho inovačních technologií, jako je vstříkování za asistence plynu, vstříkování za asistence vody nebo mikrovstříkování. Proces vstříkování hraje důležitou roli v plastikářském průmyslu především díky vysoké výrobní rychlosti, finanční efektivitě a schopnosti vyrábět složité výrobky s vysokou tvarovou a rozměrovou přesností s dobrými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Přestože je vstříkování z hlediska zpracování objemu plastu až druhou největší technologií, má největší přidanou hodnotu. [5, 6, 7]

2.1 Postup vstříkovacího procesu

Technologie vstříkování je oproti jiným technologiím pro zpracování plastů diskontinuální neboli cyklický proces. Na obrázku 2 je znázorněná posloupnost kroků jednoho vstříkovacího cyklu. [5]



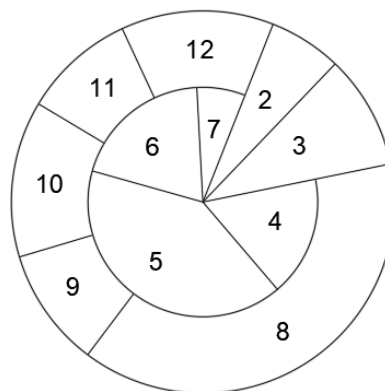
Obrázek 2 Postup vstříkovacího procesu [8]

Materiál, nejčastěji ve formě granulí, je přiveden do násypky, z níž je následně odebírán zásobovací částí šneku. Pevný materiál je postupně posouván v ose šneku směrem dopředu uvnitř vyhřívacího válce. Materiál se ve válci mísí, stlačuje, zahřívá a taví. K tavení dochází díky dodávané energii topnými tělesy a disipační energií vznikající uvnitř topného válce vlivem tření, dochází k plastikaci materiálu. Roztavený materiál je dodáván před čelo šneku, kde se nashromáždí na dostatečný objem tak, aby byl schopen zcela zaplnit dutinu nebo dutiny formy, viz obrázek 2a). Po dosažení požadovaného množství taveniny před čelem šneku dojde k zastavení otáčení šneku. [5]

V dalším kroku začíná fáze plnění, kdy šnek funguje jako píst. Šnek axiálním pohybem vytlačí taveninu z válce do formy, viz obrázek 2b). Tavenina je dopravována do dutiny nebo dutin formy pomocí vtokové soustavy. Plnění dutiny formy probíhá do jejího úplného nebo téměř úplného zaplnění. Poté se proces přepne na dotlakovou fázi, během níž se do dutiny formy pod tlakem dostává další materiál. Dotlaková fáze slouží ke kompenzaci smrštění vznikající v důsledku chladnutí a tuhnutí materiálu. Dotlaková fáze působí, dokud vtokové ústí „nezamrzne“, čímž dojde k izolaci materiálu uvnitř formy od vstřikovacího systému. [5, 7]

Po fázi plnění a dotlaku následuje fáze chlazení. V této fázi dochází k ochlazení a tuhnutí materiálu v dutině formy. Materiál se v dutině formy ochladí na teplotu, která zajišťuje jeho bezpečné vyhození. Současně s chlazením a tuhnutím materiálu v dutině formy probíhá v plastikační jednotce příprava další dávky materiálu. Šnek se opět začne otáčet a zároveň posouvat směrem vzad, viz obrázek 2c). [5]

Jakmile dosáhne teplota výrobku požadované hodnoty, forma se otevře a výrobek se vyhodí pomocí vyhazovacího systému, viz obrázek 2d). Poté se forma uzavře a připraví tak na další vstřikovací cyklus. [5]



Obrázek 3 Vstřikovací cyklus znázorněný v kruhovém diagramu [9]

Činnost plastikační jednotky:

- 2 – Vstříknutí
- 3 – Dotlak a doplnění
- 4 – Odjezd plastikační jednotky
- 5 – Plastikace
- 6 – Prodleva
- 7 – Příjezd plastikační jednotky

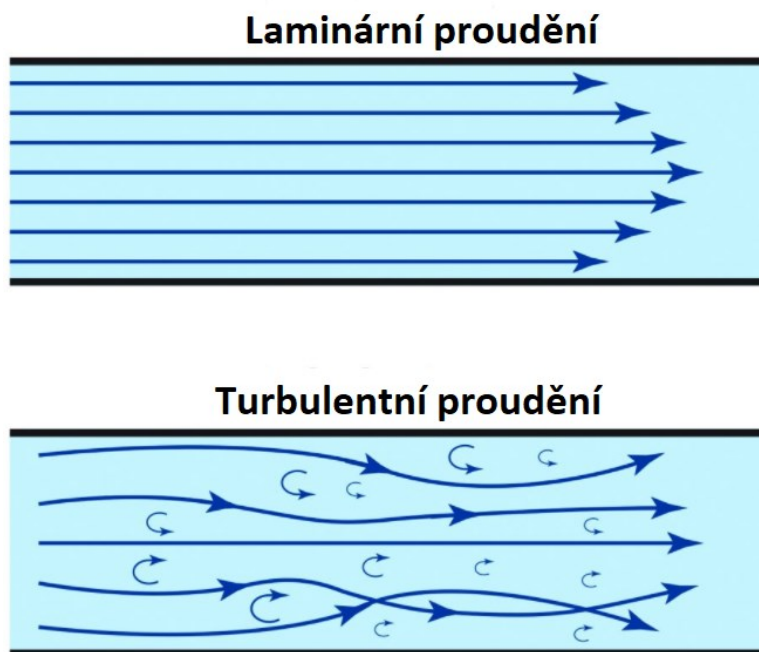
Činnost vstřikovací formy:

- 1 – Uzavření formy
- 2 – Vstříknutí
- 3 – Dotlak
- 8 – Chlazení
- 9 – Otevření formy
- 10 – Vyhození výrobku
- 11 – Příprava formy

2.2 Laminární a turbulentní proudění

Při procesu vstřikování by měla tavenina proudit laminárně. Laminárním prouděním se rozumí takové proudění, při kterém kapalina proudí v samostatných vrstvách a nemísí se. Laminárního proudění je vzhledem k poměrně vysoké viskozitě polymerní taveniny téměř vždy docíleno. [10]

Naproti tomu turbulentní proudění se v kanálu víří a mísí se. Z toho důvodu se turbulentní proudění využívá u temperační kapaliny v temperačním systému, kde je potřeba zvýšená účinnost přenosu tepla mezi formou a temperační kapalinou. Oba druhy proudění jsou znázorněny na obrázku 4. [10]

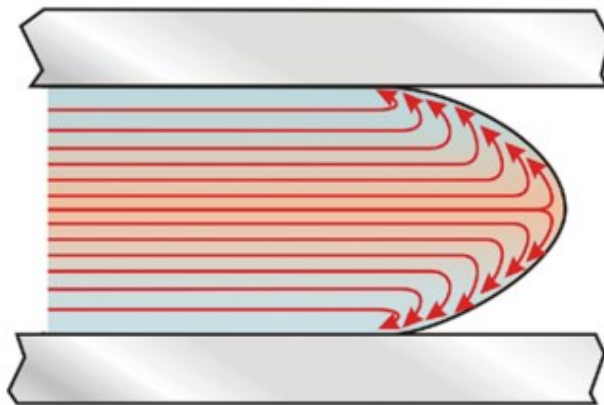


Obrázek 4 Laminární a turbulentní proudění [11]

Druh proudění udává Reynoldsovo číslo. Laminární proudění se vyskytuje do Reynoldsova čísla 2 300, od této hodnoty nastává turbulence. K plné turbulenci dochází při hodnotě Reynoldsova čísla 4 000. Aby chladicí kapalina v temperačním systému docílila nejlepší účinnosti přenosu tepla, mělo by v kanálu vzniknout turbulentní proudění kolem hodnoty Reynoldsova čísla 10 000. Turbulentní proudění by se nikdy nemělo vyskytovat u toku polymerní taveniny ve formě. [10]

2.3 Fontánový tok

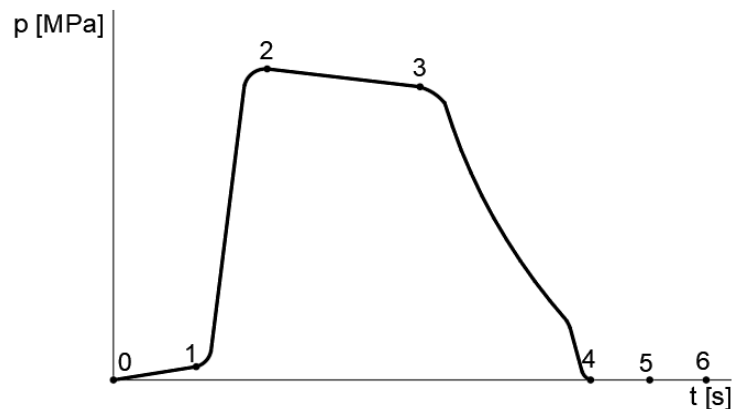
V ideálním případě by tavenina měla mít tzv. fontánový tok. Jedná se o proudění řízené tlakem, kde se vnitřní vrstvy toku dostávají do vnějších vrstev toku. Materiál, který je ve vnějších vrstvách toku, se usazuje na stěnách kanálu a následující materiál poté protéká mezi tímto usazeným materiálem. [10]



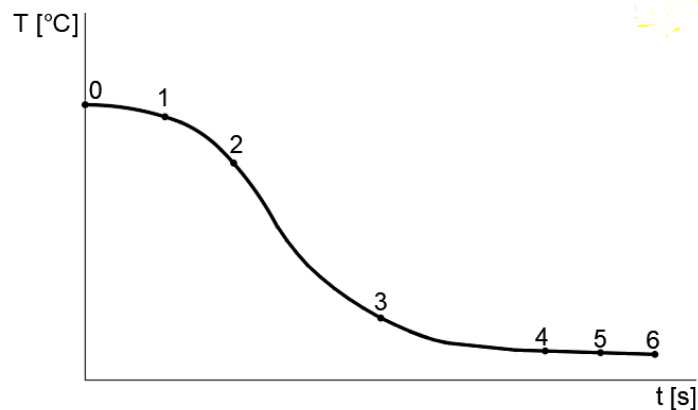
Obrázek 5 Ukázka fontánového toku polymerní taveniny [10]

Fontánový tok je názorně vyobrazen na obrázku 5, kde lze vyzorovat, že rychleji proudící vrstvy ve středu toku taveniny postupují směrem ke stěně kanálu, kde se usazují a vytváří tak jakýsi „tunel“, ve kterém proudí další a další materiál. Tato „fontána“ je způsobena vlivem odporu na stěnách kanálů, což způsobuje rychlejší tok materiálu uprostřed a vzniká tak parabolický rychlostní profil. Nutno podotknout, že k fontánovému toku dochází pouze na čele toku. Proto se například u kanálů horkých vtokových systémů objevuje fontánový tok pouze u prvních výrobků, kdy jsou kanály ještě prázdné. [10]

2.4 Průběh tlaku a teploty ve formě během vstřikovacího cyklu



Obrázek 6 Závislost tlaku působícího ve formě na čase [9]



Obrázek 7 Závislost teploty polymeru na čase [9]

Na obrázku 6 je zobrazená závislost tlaku působícího v dutině formy na čase a na obrázku 7 je zobrazená závislost teploty polymeru na čase. Obě tyto závislosti probíhají během jednoho pracovního cyklu.

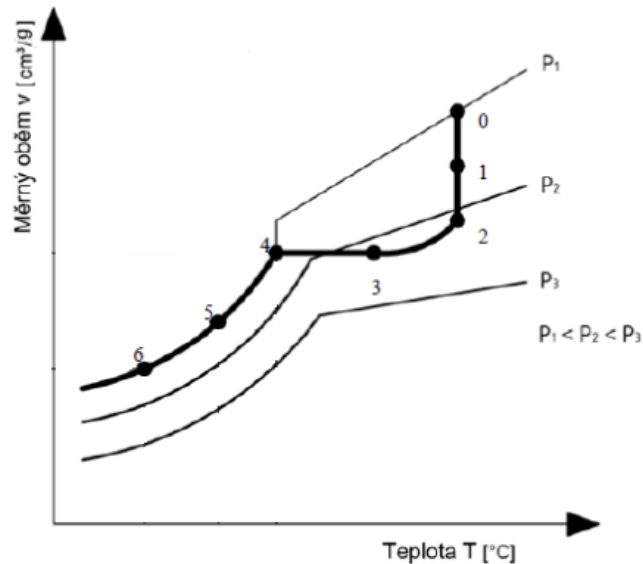
- Úsek 0 – 1: Probíhá plnicí fáze dutiny formy, tlak v tomto úseku začíná pomalu růst. Teplota polymeru naopak začne klesat.
- Úsek 1 – 2: Dochází ke stlačování taveniny v dutině formy. Tlak zde prudce naroste až do svého maxima.
- Úsek 2 – 3: V bodě 2 se přepne na dotlakovou fázi, která působí až do „zamrznutí“ vtokového ústí, kdy už na dutinu formy nemá tryska žádný vliv. V této fázi také dojde k největšímu poklesu teploty polymeru v dutině formy.
- Úsek 3 – 4: V tomto úseku tlak v dutině formy klesne až na hodnotu atmosférického tlaku.

Úsek 4 – 5: Zde již výrobek pouze chladne na teplotu vhodnou k jeho vyhození za konstantního tlaku.

Úsek 5 – 6: V bodě 5 se forma otevře, výrobek se vyhodí z formy ven a zchladne mimo formu na teplotu vhodnou k manipulaci. [9]

2.5 Diagram pvT

Popsat vstřikovací cyklus lze také pomocí pvT diagramu. Jedná se o diagram tří stavových veličin, a to tlak taveniny „p“, měrný objem taveniny „v“ a teplota taveniny „T“. Diagram se využívá k optimalizaci vstřikovacího procesu. [9]



Obrázek 8 Vstřikovací cyklus – pvT diagramu [12]

Jednotlivé úseky pvT diagramu lze popsat stejně jako v kapitole 2.4.

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉ SOUČÁSTI

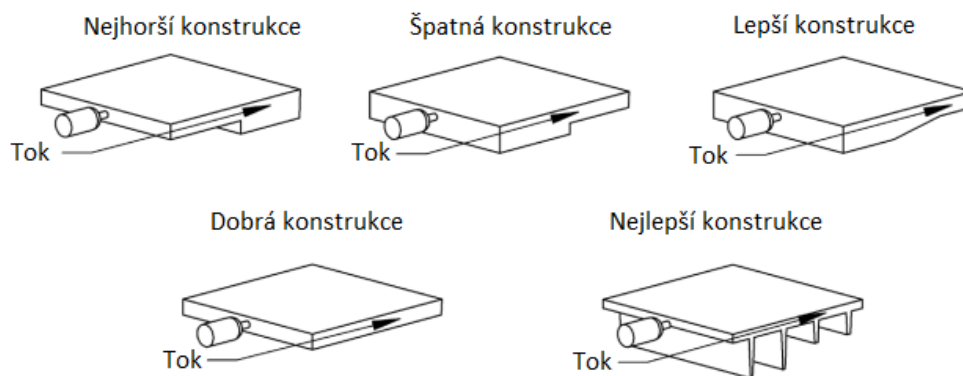
Při návrhu vstřikovací formy je důležité znát situaci ohledně budoucího výrobku – jeho aplikaci, funkci, požadavky, prostředí umístění atd. Od těchto dat se bude odvíjet materiál výrobku, určení dělicí roviny, zvolený vtokový systém, umístění ústí vtoku, umístění vyhazovačů, navrhnutí temperačního systému atd. Vstřikovací forma musí být navržena tak, aby součást měla požadované vlastnosti, jako je rozměrová přesnost, tuhost, pevnost nebo houževnatost. Souběžně se všemi těmito aspekty musí forma vyhovovat i z ekonomického hlediska. [13, 14]

3.1 Zaformování výrobku

Jedním z nejdůležitějších bodů je zaformovatelnost výrobku, tedy správné určení dělicích rovin. Odformování výrobku by mělo být co nejjednodušší. K tomu se využívají například boční posuvné čelisti, vytáčet trny nebo jádra ovládaná hydraulickým či pneumatickým válcem. [14]

3.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn by v neoptimálnějším případě měla být všude stejná z důvodu rozdílné doby chlazení. Tenké stěny se budou ochlazovat kratší čas než stěny tlusté, to bude mít za následek rozdílné smršťování, což může vést až k poškození či zdeformování výrobku, případně mohou uvnitř výrobku vznikat dutiny. Pokud je nutné mít rozdílnou tloušťku na výrobku, mělo by být vtokové ústí umístěno v tlusté části výrobku a přechody mezi tlustou a tenkou částí by měly být plynulé bez ostrých rohů a hran, viz obrázek 9. [13]



Obrázek 9 Ukázka konstrukce výrobku [13]

3.3 Žebra

Žebra na výrobku mohou být dvojího druhu, konstrukční, která zvyšují pevnost a tuhost, a technologická, která zajišťují lepší plnění dutiny formy. Konstrukční žebra mohou významně ovlivnit dobu chlazení, jelikož mohou být navrženy tenčí stěny výrobku, zároveň však pevnostní podmínky zůstanou zachovány. Nižší tloušťky výrobků vedou k nižším chladicím časům a forma se tak stává ekonomicky výhodnější. Tloušťka žeber by měla být 70 % jmenovité tloušťky stěny výrobku a jejich úkosovitost 1° . [13, 14]

3.4 Konstrukce rohů

U vstřikovaných výrobků je třeba se vyvarovat ostrých hran, rohů a koutů. Ostré hrany vedou ke koncentraci napětí, které může způsobit zhroucení výrobku při jeho zatížení. Proto se u ostrých hran rohů a koutů vytváří zaoblení nebo zkosení. Tím se předejde problémům souvisejícím s pevností dílu a tokem taveniny. Vytvoření zaoblení nebo zkosení je i z výrobního hlediska mnohem výhodnější. [13]

3.5 Úkosy a podkosy

Úkosy se vztahují na svisle orientované plochy vůči dělicí rovině. Jsou využívány zejména pro snadnější odformování výrobku. Minimální úhel sklonu by měl být $0,5^\circ$, běžně jsou používány úhly sklonu od 1° po 2° . Někdy je zapotřebí vytvořit podkos, který zajistí, že výrobek zůstane na vyhazovací straně formy. Podkosy se musí navrhnout tak, aby je bylo možné odformovat, aniž by se poškodil výrobek. [13, 14]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

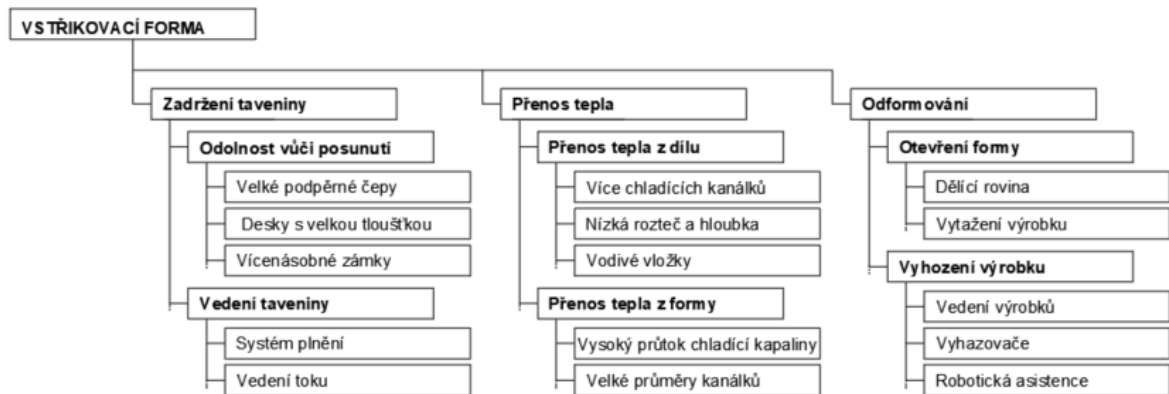
Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách vstřikování je jednou z nejběžnějších technologií zpracování plastů, převážně z důvodu hospodárného vyrábění složitých dílů. Před zahájením samotné výroby je však zapotřebí navrhnut, vyrobit a uvést do provozu vhodný vstřikovací nástroj neboli vstřikovací formu. Vstřikovací forma má přímý vliv na kvalitu výrobků a produktivitu. Jedná se o velmi složitý systém zahrnující mnoho součástí, kde řada z nich je opakovaně vystavena teplotnímu a tlakovému namáhání. Při navrhování vstřikovacích forem je třeba brát zřetel na požadovanou kvalitu výrobku. Během její životnosti by na její provoz měly být vynaloženy minimální finanční náklady a co možná nejmenší úsilí. Zároveň by její vývoj měl zahrnovat co nejmenší množství financí, času a rizik. [13, 15]



Obrázek 10 Vstřikovací forma [16]

4.1 Funkce vstřikovací formy

Vstřikovací forma je složitý systém, který musí splňovat tři primární funkce. Tou první funkcí je zadržet taveninu v dutině formy, dokud není celá dutina vyplněna. Druhou funkcí je schopnost převádět teplo taveniny do protékající chladicí kapaliny tak, aby výrobek rovnoměrně a rychle ztuhl. Třetí primární funkcí vstřikovací formy je účinné odformování výrobku z dutiny formy, přičemž nesmí být výrobek poškozen. [13]



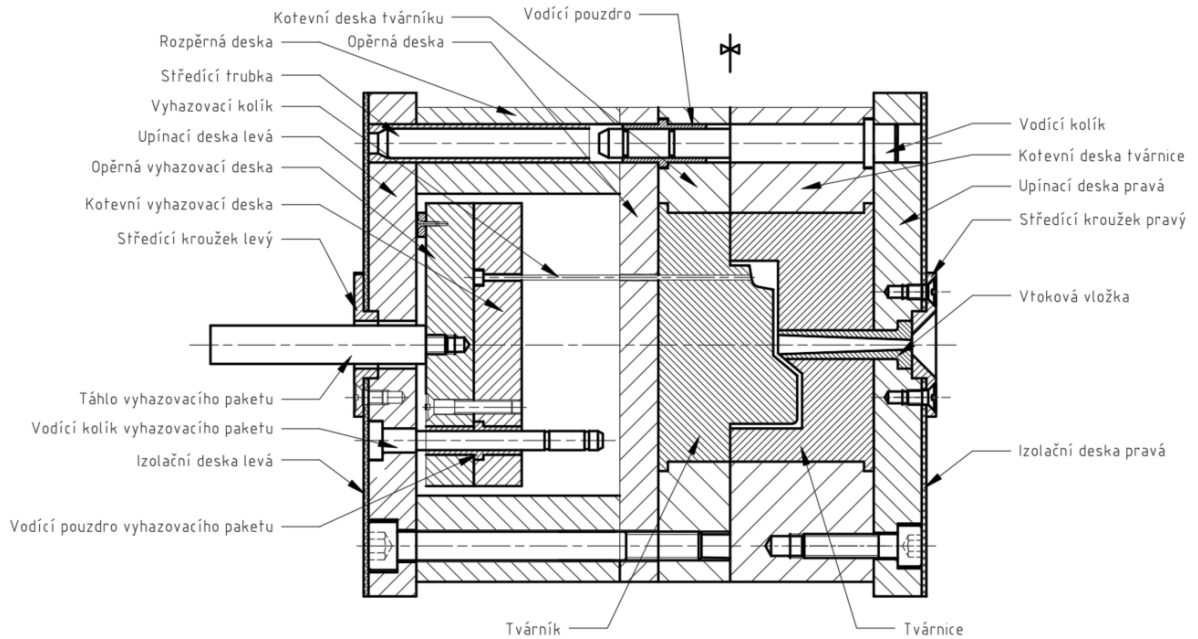
Obrázek 11 Funkce vstřikovací formy [13]

Na obrázku 11 jsou uvedeny základní primární a sekundární funkce vstřikovací formy. Není zde uveden celý seznam funkcí vstřikovací formy, ale pouze několik základních, které je při návrhu vstřikovací formy třeba zohlednit. [13]

Při konstrukci formy může dojít k mnoha problémům. Teoreticky lze navrhovat jednodušší formy, kde je nižší spotřeba materiálu, jednodušší obsluha a údržba formy. Nicméně takové formy jsou náchylnější na selhání a mohou se dříve opotřebit. Následné náklady na opravu potenciálního selhání jsou častokrát vyšší než náklady spojené s robustnější konstrukcí formy. Proto se v praxi vyrábějí spíše formy robustnějšího charakteru. Avšak vysokému předimenzování je třeba se vyvarovat, jelikož by se forma stala velmi nákladnou a ztratila by tím svoji efektivitu. [13]

4.2 Konstrukce vstřikovací formy

Konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od vstřikovaného dílu, jeho zaformování, zvolené dělicí roviny, počtu vstřikovaných dílů na jeden cyklus a od zvoleného vtokového systému. Nejběžnějším typem vstřikovacích forem je dvoudesková konstrukce formy. Tento typ konstrukce se využívá pro její jednoduchou a ekonomickou výrobu. Přibližně 50 % všech forem odpovídá této konstrukci. Avšak využívá se spíše na jednodušší výrobky, jelikož má mnoho omezení. Z toho důvodu se často využívají složitější konstrukce, jako je například třídesková konstrukce formy, formy s horkým vtokem, formy s bočními dělicími rovinami nebo formy s vytáčecím trnem pro výrobu závitů. [13, 17]



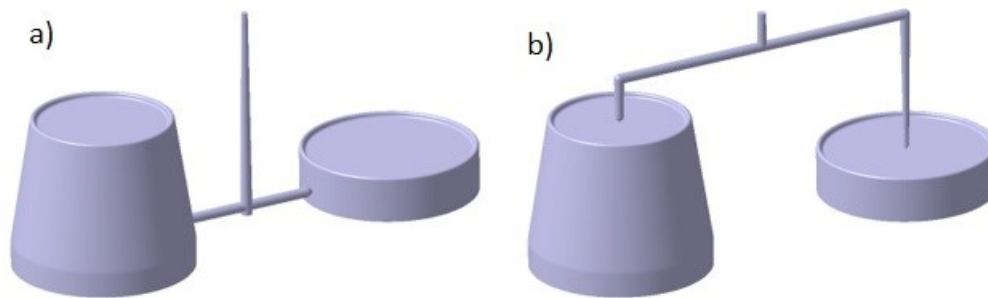
Obrázek 12 Řez formou dvoudeskové konstrukce

4.3 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k dopravení polymerní taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny nebo dutin formy. Je to systém skládající se z kanálů a vtokových ústí. Musí zajistit správné plnění dutiny formy, oddělení vtokového zbytku a jeho snadné vyhození. Vtokový systém nejvíce ovlivňuje kvalitu a jakost výrobku a také produktivitu výroby. [6, 15]

Návrh systému se řídí podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění ve formě a podle typu vtokového systému, tedy jestli se jedná o studený nebo horký vtokový systém. Důležité je, aby byla dutina formy zaplněna v co nejkratším čase, pokud možno co nejkratší cestou a s co nejmenšími teplotními ztrátami. Jedná-li se o vícenásobné formy, je třeba navrhnout vtokový systém tak, aby byly všechny dutiny formy zaplněny současně při stejných technologických podmínkách. [6, 15]

Pokud se jedná o jednonásobnou vstřikovací formu, je tavenina většinou vedena do dutiny formy pouze pomocí vtokové vložky. Jedná-li se však o vícenásobné vstřikovací formy, je vtokový systém poněkud složitější. Než je polymerní tavenina dopravena do jednotlivých dutin formy, musí ve formě překonat určitou vzdálenost. Podle typu formy a podle požadavků na daný výrobek lze využít dva různé způsoby uspořádání vtokového systému, viz obrázek 13. [13]



Obrázek 13 Způsoby dopravy taveniny do dutiny formy [13]

Na obrázku 13a) je znázorněné uspořádání vtokového systému odpovídající dvoudeskovému studenému vtokovému systému. Na obrázku 13b) je uveden druhý způsob rozvedení taveniny do tvarových dutin formy, který se využívá u třídeskového studeného vtokového systému nebo u horkého vtokového systému. [13]

4.3.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém je takový systém, kde nedochází k zahřívání vtokového systému. Během plnění materiál uvnitř vtokového systému chladne a tuhne. Ztuhlý vtokový zbytek je vyhozen spolu s výrobkem nebo výrobky během každého vstřikovacího cyklu. [10]

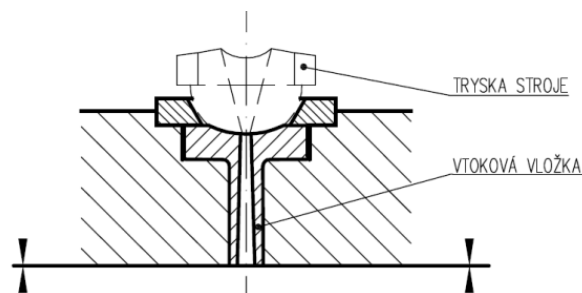
Forma se studeným vtokovým systémem je nejzákladnějším a nejběžnějším typem vstřikovací formy. Přibližně 70 % všech forem tvoří právě formy se studeným vtokem. V porovnání s formami s horkým vtokovým systémem jsou formy se studeným vtokem levnější a jednodušší jak na konstrukci, tak i na obsluhu, údržbu a provoz. Hlavním důvodem je, že odpadá starost o údržbu topných těles, regulátorů, termočlánků a dalších součástí horkých vtokových systémů. Dále se nemusí řešit potencionální problémy, jako je zamrzání, ucpávání nebo degradace materiálu. [10]

Studený vtokový systém se většinou skládá z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a vtokového ústí.

Vtokový kanál

Vtokový kanál má za úkol dopravit polymerní taveninu do dutiny formy, jedná-li se o jednonásobnou formu, nebo do rozváděcích kanálů v případě vícenásobných forem. Vtokový kanál je většinou tvořen vtokovou vložkou. Jedná se o normalizované díly, které jsou obvykle z horní strany opatřeny rádiusem 15,5 nebo 40 mm, což poskytuje dokonalé dosednutí trysky vstřikovacího stroje na hlavu vtokové vložky. Pro snadnější odformování je kanál vtokových vložek leštěný a jeho úkosovitost je od 0,5 po 4°. Vzhledem k tomu, že je

pouzdro vystaveno největším tlakům a průtokům taveniny, je vyráběno z kalené oceli. [10, 18]

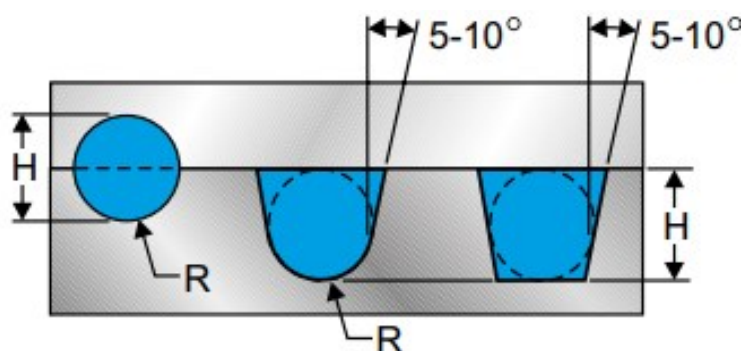


Obrázek 14 Vtoková vložka [19]

Špatné navržení vtokového kanálu může mít negativní vliv na proces vstřikování. Pokud bude vtokový kanál příliš malý, může dojít ke zvýšení smykového napětí polymeru, to může vést ke zvýšení vstřikovacího tlaku, ke vzhledovým vadám nebo až k degradaci materiálu. Rozměry vtokového kanálu se volí převážně podle vlastností daného materiálu a podle technologických podmínek vstřikování. [18]

Rozváděcí kanály

Rozváděcí kanály mají za úkol dopravit taveninu od středu formy, tedy od vtokové vložky, buď do vtokového ústí v případě dvoudeskového studeného vtokového systému, nebo do dalšího vtokového kanálu v případě třídeskového studeného vtokového systému. Rozváděcí kanály se nacházejí v dělicí rovině formy ať už v hlavní nebo vedlejší. Jedná se o velmi důležitou část vtokového systému, která ovlivňuje kvalitu a efektivitu procesu vstřikování. Při navrhování se musí dbát na vhodnou velikost průřezu kanálů. Pokud by byly navrženy příliš velké, může dojít k navýšení času vstřikovacího cyklu, zvýší se odpadový materiál a tím i celkové náklady. Při navržení příliš malých kanálů může zase dojít k vysokému navýšení vstřikovacího tlaku. Je tedy žádoucí, aby navržené kanály byly kompromisem mezi snadným plněním dutiny a objemem vtokového zbytku. [18]

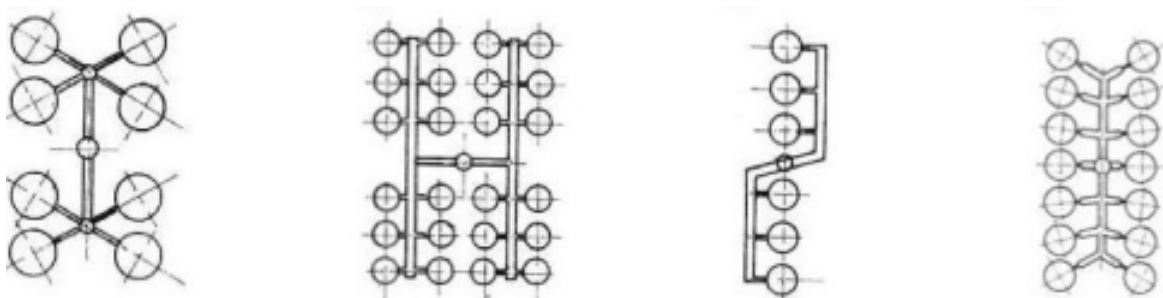


Obrázek 15 Průřezy rozvodného kanálu [10]

Ideální průřez rozváděcího kanálu je kruhový tvar, viz obrázek 15 (první tvar zleva). Nevýhodou kruhového průřezu je, že musí být vytvořen do obou polovin formy, které musí k sobě přesně přiléhat, aby vytvořily plný kruhový tvar. Vzhledem k možné nesouososti a možným výrobním nepřesnostem se využívají alternativní průřezy. Mezi tyto alternativy patří lichoběžníkový, parabolický a půlkulatý průřez, viz obrázek 15. Tyto tvary se vyrábějí mnohem snadněji, jelikož jsou vyráběny pouze do jedné strany formy a odpadá tak práce se sladěním polovin formy. Nevýhodou těchto průřezů jsou vyšší tlakové ztráty v porovnání s kruhovým průřezem. Správná konstrukce lichoběžníkového a parabolického průřezu by měla vycházet z plného kruhového průřezu, přičemž stěny kanálu by měly mít zkosení 5 až 10° pro lepší odformování, viz obrázek 15. [10, 18]

Při navrhování rozváděcích kanálů by se mělo dbát na určité zásady:

- polymerní tavenina by do všech dutin měla dojít ve stejný čas,
- dráha od vtokové vložky po dutinu formy by měla být co nejkratší,
- rozváděcí kanály musí být dostatečně velké, aby byly dutiny formy zcela zaplněny – nesmí dojít k zamrznutí vtokového systému ještě před dutinou nebo před jejím úplným zaplněním,
- rozváděcí kanály by neměly obsahovat žádné ostré hrany,
- povrch kanálů by měl být vyleštěný – menší odpor taveniny při toku,
- nejedná-li se o kruhový průřez, měli by být stěny kanálů zkoseny (5 až 10°),
- v žádném místě vtokového systému nesmí docházet k hromadění materiálu. [20]



Obrázek 16 Řešení rozváděcích kanálů vícenásobné formy [21]

Vtokové ústí

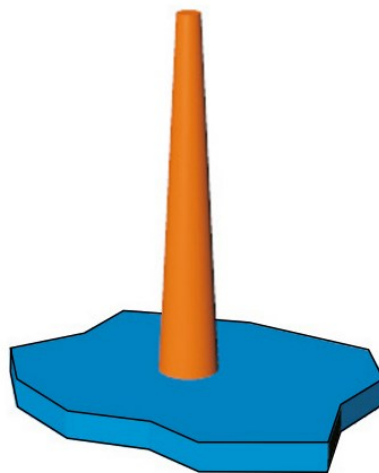
Vtokové ústí je část vtokového systému spojující rozváděcí kanál s dutinou formy. Obvykle se jedná o oblast, která usnadňuje oddělení výrobku od vtokového zbytku. Velikost,

tvár a umístění vtokového ústí může podstatně ovlivnit proces vstřikování. Vtokové ústí má dvě klíčové vlastnosti. V první řadě musí vtokové ústí umožnit plnění formy a následně izolovat výrobek od vtokového zbytku, aby po fázi dotlaku nedošlo k zpětnému úniku materiálu z dutiny. Druhou vlastností je umožnit snadné nebo automatické oddělení výrobku od vtokového systému. [5, 10]

Při návrhu vtokového ústí je třeba správně navrhnout velikost průřezu. Příliš malý průřez bude omezovat plnění dutiny. Naopak pokud bude průřez příliš velký, může dojít k horšímu oddělení dílu od vtokového zbytku. Obecně se doporučuje tloušťka nebo průměr vtokového ústí 30 až 70 % tloušťky stěny dílu, ke které je ústí připojeno. Ideální délka vtokového ústí je od 0,5 do 1 mm. Pozice vtokového ústí by se měla nacházet v nejtlustší části výrobku v místě, kde není třeba brát ohled na vzhledové vlastnosti. [10]

Jednoduché vtokové ústí pro jednonásobnou formu

Jedná se o nejjednodušší vtokové ústí využívající se pro jednonásobné formy. Není zde žádný zúžený prostor, vtokový kanál je veden přímo do dutiny formy. Materiál je veden do středu výrobku, proto je ideální pro symetrické součásti, jako jsou kbelíky, kelímky, helmy atd. Po odformování se vtok od výrobku odstraňuje manuálně. [10]

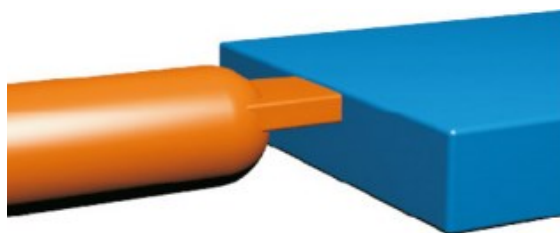


Obrázek 17 Jednoduché vtokové ústí [10]

Boční vtokové ústí

Boční vtokové ústí je jedním z nejzákladnějších vtokových ústí. Obvykle mají obdélníkový tvar a jsou připevněné na obvodu výrobku v dělicí rovině formy. Využívají se u vícenásobných forem, kde je automatické oddělování nepraktické nebo nežádoucí. Pokud zůstanou výrobky součástí vtokového zbytku, dává jim tento vtokový zbytek přesnou polohu a orientaci, což po odformování umožňuje jejich snadnější manipulaci a lze tak urychlit

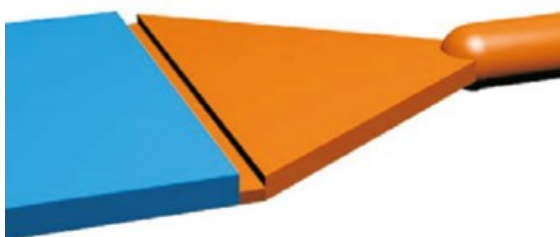
montáž nebo kontrolu. Pokud není vyžadováno, aby zůstal vtokový zbytek s výrobkem spojený, musí být jejich oddělení provedeno manuálně. [5, 10]



Obrázek 18 Boční vtokové ústí [10]

Vějířové vtokové ústí

Tento typ vtokového ústí je podobný bočnímu vtokovému ústí. Stejně jako boční vtokové ústí je i tento typ připojen k obvodu výrobku v dělicí rovině formy. Rozdílem je, že se vtokové ústí rozšiřuje směrem k dutině. Tato konstrukce vtokového ústí zpomaluje tok taveniny, čímž snižuje šance na vznik volného toku v dutině formy, tzv. jetting. Další výhodou je lepší orientace taveniny, snížení napětí v oblasti vtokového ústí a snížení smykové rychlosti v ústí vtoku. Hlavní nevýhodou je oddělování vtokového zbytku od součásti, kvůli šířce „vějíře“ je obvykle zapotřebí ručních nástrojů, přípravků nebo i samotného obrábění. Oproti předchozí variantě se zde používá o něco větší tloušťka, kvůli možnému „zamrznutí“ vtoku ještě před úplným zaplněním dutiny. Délka vtokového ústí může být až několik desítek centimetrů. [10, 13]



Obrázek 19 Vějířové vtokové ústí [10]

Filmové vtokové ústí

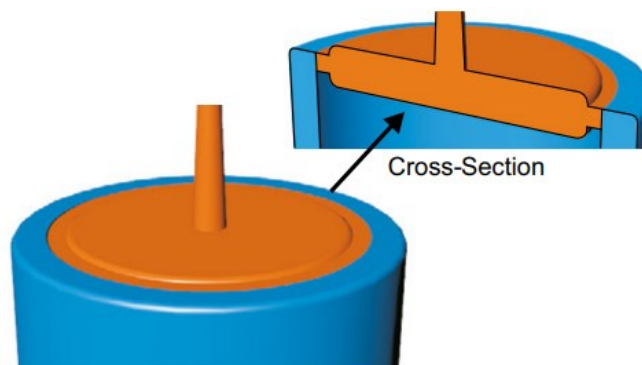
Filmové vtokové ústí přináší výhody vějířového vtokového ústí, přičemž spotřebovává méně prostoru a materiálu. Polymerní tavenina se dopravuje do dutiny formy pomocí širokého tenkého vtokového ústí, které vede podél rozváděcího kanálu. Nevýhodou je, že doprava a průtok taveniny přes toto vtokové ústí je méně předvídatelné než u vějířového vtokového ústí. Nejlépe tento typ ústí funguje při vysokých rychlostech plnění dutiny. Tvar vtokového ústí může mít i tvar klínu, jak je uvedeno na obrázku 20. [5, 10]



Obrázek 20 Filmové vtokové ústí [10]

Talířové vtokové ústí

Jedná se o vtokové ústí využívající se pro součásti válcového průřezu, které jsou normálně na obou koncích otevřené, jako je například trubka. Díky tomuto vtokovému ústí se eliminují spojovací čáry, minimalizuje se možnost vychýlení jádra a vytváří se ideální rovnoměrné tokové pole s předvídatelným smrštěním a minimálními nežádoucími deformacemi. Hlavní nevýhodou je obtížnější odstranění vtokového ústí. [10]



Obrázek 21 Talířové vtokové ústí [10]

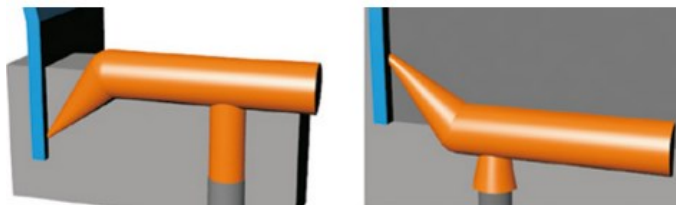
Na obrázku 22 je modifikace talířového vtokového ústí známé jako pavouk, vícebodové ústí nebo křížové ústí. Výhodou je snadnější oddělení výrobku od vtokového ústí. Nevýhodou je možný vznik spojovacích čar. [10]



Obrázek 22 Modifikace talířového vtokového ústí [10]

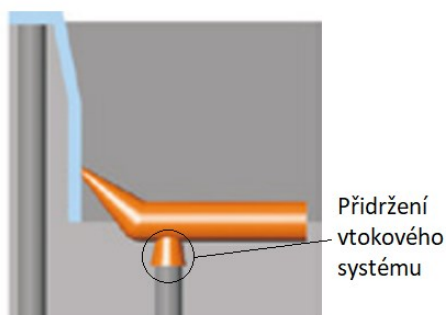
Tunelové vtokové ústí

Tunelové vtokové ústí umožňuje plnění dutiny mimo dělicí rovinu formy. Má kuželovitý tvar, kde menší strana je spojena s výrobkem. Při odformování je ústí automaticky odříznuto nebo odtrženo od výrobku, což je hlavní výhodou tohoto typu vtokového ústí. Na obrázku 23 jsou znázorněny dva běžné typy tunelového vtokového ústí. [10, 18]

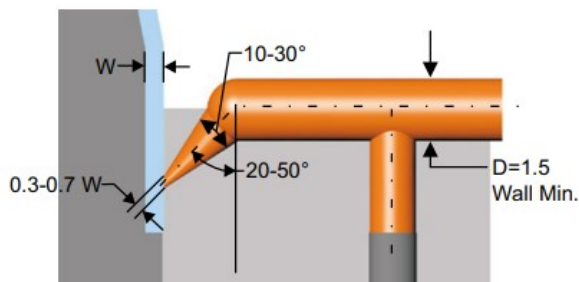


Obrázek 23 Tunelové vtokové ústí [4]

Pro správné oddělení vtokového ústí od výrobku je třeba navrhnout co nejmenší otvor, avšak nesmí být příliš malý, aby nedošlo k předčasnému „zamrznutí“ vtoku. Tunelové vtokové ústí není vhodné pro křehké materiály, neboť při odformování musí být materiál dostatečně deformovatelný. Při odformování je třeba zajistit vytažení materiálu z vtokové vložky. K tomu se většinou využívají přidržovače vtoku nebo kuželové vybrání v otvoru pro vyhazovač, viz obrázek 24. To zároveň zajistí, aby vtokový zbytek zůstal na vyhazovací straně formy. [10, 18]



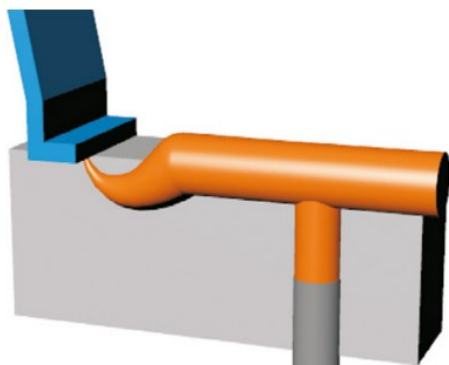
Obrázek 24 Ukázka přidržení vtokového systému na vyhazovací straně formy [10]



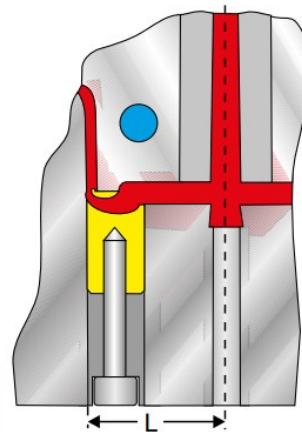
Obrázek 25 Základní hodnoty tunelového vtokového ústí [10]

Banánové vtokové ústí

Banánové ústí je variantou tunelového ústí s tím rozdílem, že může přivést taveninu na místa, kam se tunelové ústí nedostane. Primárním omezením je tvar vtokového ústí, který vyžaduje značnou deformaci materiálu při odformování. Pokud není materiál dostatečně tažný, lze zvýšit jeho tažnost zvětšením těla průřezu vtokového ústí, čímž se zajistí, že v době vyhazování bude materiál teplejší, a tedy i pružnější. Vzhledem ke složité geometrii banánového ústí dávají některé firmy přednost speciálním normalizovaným vložkám, viz obrázek 27. Vložky napomáhají izolovat vtokové ústí od chladnější formy a tím zajišťují větší flexibilitu materiálu. [10]



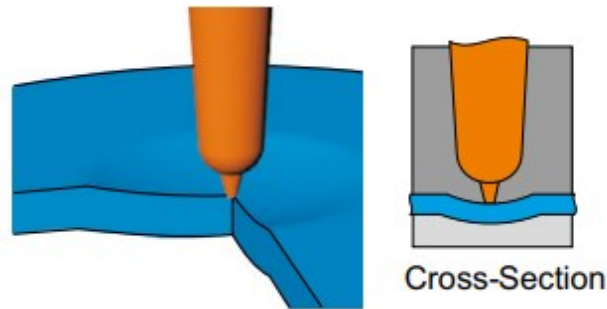
Obrázek 26 Banánové vtokové ústí [10]



Obrázek 27 Speciální vložka banánového vtokového ústí [10]

Bodové vtokové ústí

Toto vtokové ústí se využívá u třídeskového studeného vtokového systému, kde vtokový systém je umístěn na vedlejší dělicí rovině a dutina dílu na hlavní dělicí rovině. Tento typ vtokového ústí musí mít poměrně malý průměr (0,8 až 1,2 mm) a malou délku (0,5 až 1 mm), aby došlo k automatickému odtržení vtokového ústí od stěny výrobku při jeho odformování. Při odtržení vtokového ústí nesmí dojít k žádnému poškození výrobku. V důsledku malého průměru vtoku je zde poměrně vysoký tlak a smyková rychlost. Proto se využívají nízko viskózní polymery nebo vyšší vstříkovací tlaky. Bodové ústí může být použito i u dvoudeskového vtokového systému, kde je vtokové ústí spojeno s obvodem výrobku. Jak jde vidět na obrázku 28, výrobek může mít ve stěně, kde je vtokové ústí napojeno, zahloubení, je to z důvodu zapuštění případného vtokového zbytku do stěny výrobku. [5, 10, 13]

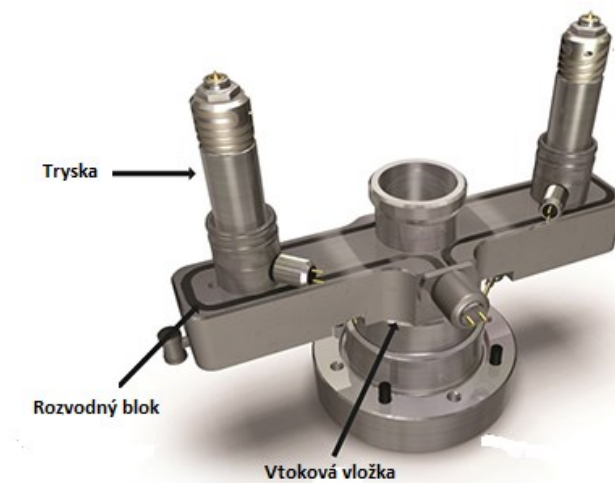


Obrázek 28 Bodové vtokové ústí s čočkovitým zahloubením [10]

4.3.2 Vyhřívaný vtokový systém

Vyhřívaný vtokový systém je takový systém, kde dochází k zahřívání vtokového systému a materiál tak zůstává během výroby v kanálech stále tekutý. Není zde tedy třeba vyplňovat kanál taveninou při každém cyklu ani čekat až tavenina ve vtokovém systému vychladne, tím se snižuje čas vstřikovacího cyklu. Největší výhodou vyhřívaných systémů oproti studeným vtokovým systémům je téměř nulový odpadový materiál. [10, 13]

Konstrukce horkých vtokových soustav je v porovnání se studenými poměrně složitější. Součástí vyhřívaného vtokového systému je vyhřívaná vtoková vložka, rozvodný blok a tryska. Nutností je také kabeláž vedoucí od vyhřívaných součástí systému. Tavenina je přivedena vtokovou vložkou do rozvodného bloku, který rozvede taveninu do určených míst. Trysky poté zajišťují průchod taveniny buď přímo do tvarové dutiny, nebo nepřímo napojením na studený kanál, který poté může zásobovat více tvarových dutin. Trysky jsou obvykle pod úhlem 90° k rozvodnému bloku, není to však podmínkou. [10]

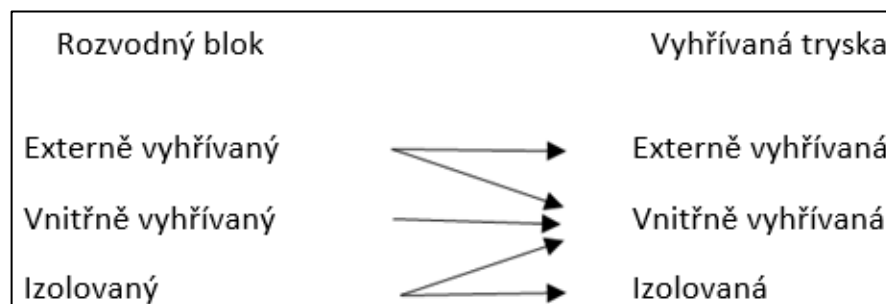


Obrázek 29 Vyhřívaný vtokový systém [22]

Vzhledem ke složitosti vyhřívaného vtokového systému jsou většinou vyráběny specializovanými firmami. Výrobci forem obvykle nakupují buď celý systém, nebo jednotlivé součásti, které poté instalují do formy. Na trhu je spousta konkurenčních společností zabývajících se vyhřívanými vtokovými systémy, proto existuje mnoho variant nabízených systémů. [10]

Rozvodný blok je vyhříváný zevnitř, zvenčí nebo je izolovaný. Trysky jsou vyhříváné vnitřně, externě nebo jsou tepelně vodivé či izolované. Každá vyhříváná součást celého vtokového systému má vlastní zdroj ohřívání a regulátor teploty. Tepelně vodivá tryška je vyrobena z vysoce vodivého materiálu a čerpá teplo z rozvodného bloku. Tepelný zdroj izolovaného rozvodného bloku je samotná tavenina, která jím protéká. [10]

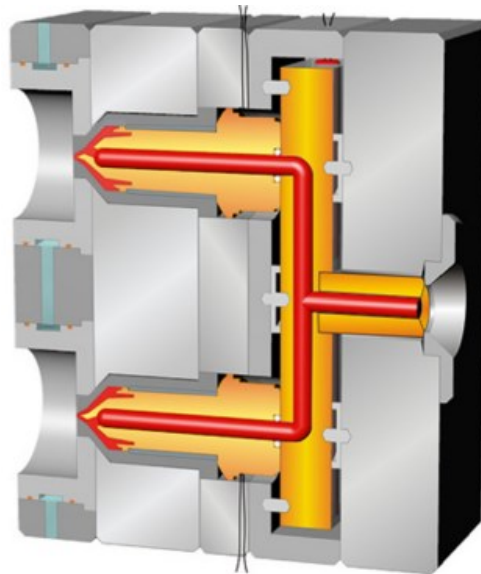
V praxi se využívá několik kombinací rozvodných kanálů a vyhříváných trysek. Na obrázku 30 jsou zobrazeny některé z nich.



Obrázek 30 Kombinace rozvodných bloků a vyhříváných trysek [10]

Externě vyhříváné rozvodné bloky s externě vyhřívánými tryskami

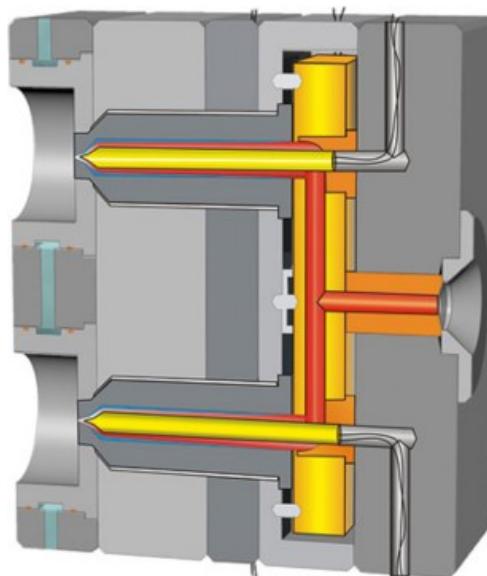
Externě vyhříváné bloky s externě vyhřívánými tryskami jsou nejběžnějším typem vyhříváných vtokových systémů. Mimo izolované systémy jsou externě vyhříváné systémy schopny zajistit nejnižší tlakové ztráty. Systém je vhodný pro citlivé materiály a pro výroby, kde se předpokládá změna barvy. Nevýhodou je možnost úniku polymeru ze systému a horší izolace od studené formy. Vzhledem k tomu, že externí vyhřívání je v rozporu s chlazením formy, je třeba vtokový systém izolovat od formy vzduchovou mezerou, což si žádá prostor navíc. [5, 10]



Obrázek 31 Externě vyhříváný rozvodný blok s externě vyhřívánými tryskami [10]

Externě vyhříváné rozvodné bloky s vnitřně vyhřívánými tryskami

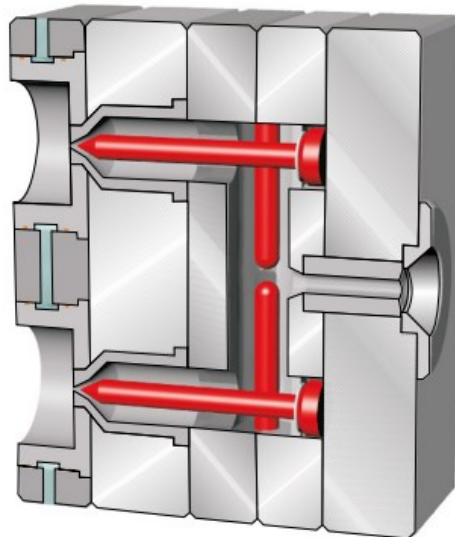
Tento systém má relativně malý zdroj ve středu trysky. Jelikož je tento zdroj obklopen polymerem, dochází zde k přirozenější izolaci od formy. Po obvodu trysky vzniká ztuhlá vrstva polymeru, ta izoluje trysku od studené formy a zároveň slouží jako prevence úniku materiálu ze systému. Nevýhodou je, že díky této ztuhlé vrstvě vznikají větší tlakové ztráty v důsledku zmenšení průtočného prostoru. To může vést až ke stagnaci taveniny nebo k degradaci materiálu. Dalším problémem jsou teplotní výkyvy taveniny a horší přecházení na jinou barvu polymeru. Vnitřně vyhříváná tryska se obecně moc nepoužívá pro tepelně citlivé, čiré nebo světlé materiály [5, 10]



Obrázek 32 Externě vyhříváný rozvodný blok s vnitřně vyhřívanou tryskou [10]

Vnitřně vyhřívané rozvodné bloky s vnitřně vyhřívanými tryskami

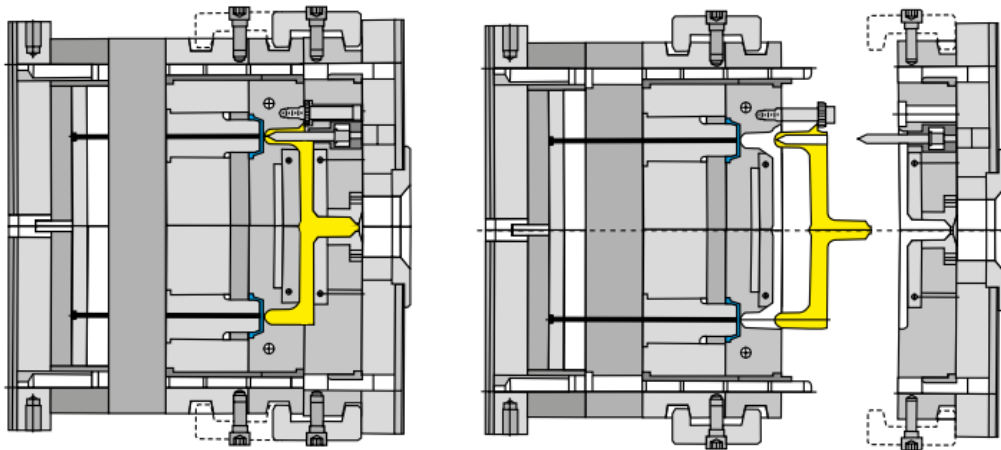
Tato kombinace rozvodného bloku a trysky eliminuje většinu problémů s netěsnostmi, zajišťuje dobrou izolaci od studené formy díky ztuhlé vrstvě na obvodu kanálů a není zde třeba mít vzduchovou mezeru jako u externě vyhřívaných částí vtokového systému. Nevýhodou je křížení ohřívacích těles, viz obrázek 33, které způsobuje větší počet oblastí, kde dochází ke stagnaci proudění materiálu, což může vést až k jeho degradaci. Systém se nedoporučuje pro tepelně citlivé materiály, pro výrobky, kde má dojít ke změně barvy, nebo pro materiály s vysokou viskozitou. Další nevýhodou systému s vnitřně vyhřívanými částmi je největší tlaková ztráta. [10]



Obrázek 33 Vnitřně vyhřívaný rozvodný blok s vnitřně vyhřívanými tryskami [10]

Izolované rozvodné bloky s izolovanými tryskami

Tato soustava vtokového systému čerpá teplo z protékající polymerní taveniny. První dávka polymeru vytvoří na obvodu kanálů ztuhlou vrstvu, která poté izoluje systém od okolní formy. Z toho důvodu mohou mít kanály až průměr 30 mm. Aby se udržela tavenina v neustále tekutém stavu, je třeba relativně rychlý vstříkovací cyklus. Oproti ostatním systémům je izolovaný vtokový systém levnější, je zde možnost bezproblémové změny barvy materiálu a jsou zde nízké tlakové ztráty. Konstrukce formy si žádá, aby se podél průtokových kanálů vytvořila další dělicí rovina, díky které se „zamrzlý“ vtok vytáhne, viz obrázek 34 (pravý). I přes své výhody je tento systém jen zřídka používán. Kolísání teploty, různé změny v průtoku taveniny a minimální kontrola nad teplotou v oblasti ústí vtoku dělají tyto systémy nekomfortní pro většinu společností. [10]



Obrázek 34 Izolovaný rozvodný blok s izolovanými tryskami [10]

Výhody vyhřívaných vtokových systémů:

- odpadá nutnost zabývat se vtokovými zbytky – menší spotřeba materiálu,
- kratší doba vstřikovacího cyklu – nemusí se chladit vtokový zbytek, nedochází k plnění vtokového systému během každého cyklu, což vede ke kratší době plastikace, nemusí se vyhazovat vtokový zbytek, to může snížit čas spojený s odformováním,
- menší otevření stroje – to platí hlavně v porovnání s třideskovým studeným vtokovým systémem,
- zlepšení automatizace výroby – odpadají problémy s vtokovým zbytkem,
- čistější pracovní prostředí – opět spojeno s vtokovým zbytkem, kdy se musí řešit jeho granulace nebo recyklace. [10, 23]

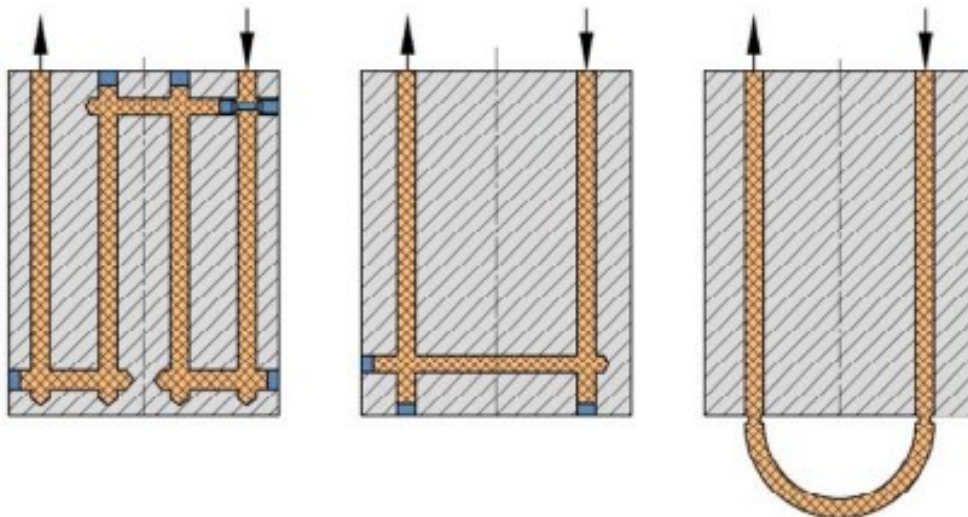
Nevýhody vyhřívaných vtokových systémů:

- vyšší nároky na obsluhu, procesní techniky, procesní inženýry a údržbáře,
- vyšší pořizovací náklady,
- vyšší nároky na přesnost výroby a montáž formy,
- náklady na údržbu horkých kanálů a řídicích systémů,
- přerušení cyklu způsobené ucpanými šoupátky, poškozením elektrických částí nebo netěsností,
- potenciální prodloužení doby odstávky způsobené netěsností systému,

- potenciální nebezpečí poruchy systému v důsledku chybného napětí vyhřívaných součástí,
- vyšší čas při změně barvy materiálu,
- materiály citlivé na teplotu je obtížné nebo nemožné v horkých systémech používat,
- horký vtokový systém je třeba odizolovat od ostatních částí formy,
- drahá změna průměrů kanálů – při nevhodných technologických podmínkách. [10, 23]

4.4 Temperační systém

Temperační systém je nedílnou součástí každé vstřikovací formy. Jedná se o systém skládající se z kanálů a dutin, zajišťující přestup a prostup tepla z polymerní taveniny do formy. Odvod tepla z formy je uskutečněn pomocí temperačního média proudícího v kanálech temperačního systému. Hlavní funkcí temperačního systému je snížit teplotu dutiny formy na požadovanou teplotu v co možná nejkratším časovém úseku tak, aby mohl být výrobek co nejrychleji vyjmut z formy. Proces ochlazování je nejdelším úsekem vstřikovacího cyklu, viz obrázek 3, proto čím je ochlazování kratší, tím je forma výdělečnější. [6, 24]

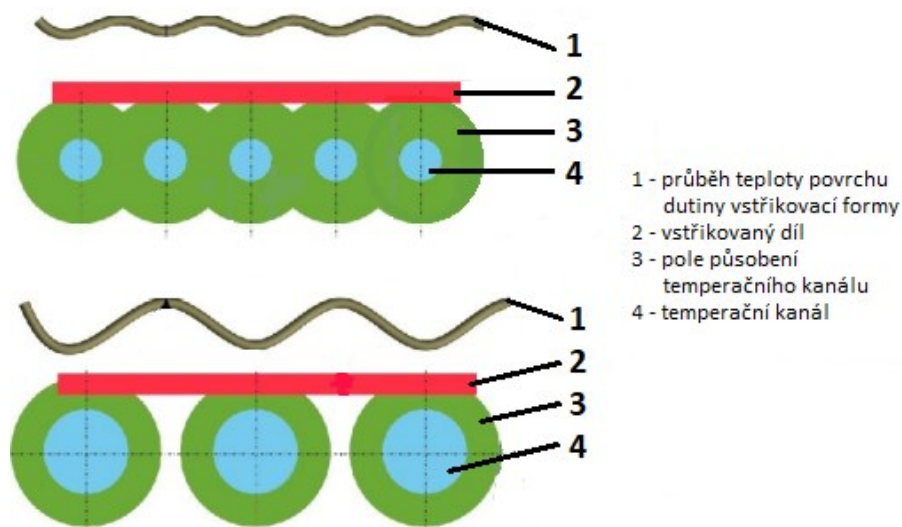


Obrázek 35 Ukázka jednoduchých temperačních systémů [25]

Temperační systém má přímý vliv na kvalitu výrobku, na jeho jednotkové náklady a na velikost výrobního i dodatečného smrštění. Proto je třeba při jeho návrhu dbát na rovnoměrné ochlazování výrobku. V opačném případě by mohlo docházet například k vnitřnímu pnutí, k deformacím nebo k trhlinám. Správně navržený systém přispívá

k požadované kvalitě výrobku, jako je rozměrová přesnost, kvalitní povrch, minimální deformace, požadované fyzikální a mechanické vlastnosti. [6, 18]

Temparační kanály se nejčastěji vyrábí vrtáním, jedná-li se o kruhové průřezy, anebo frézováním v případě obdélníkových průřezů. Jak je ukázáno na obrázku 36, teplotní rozložení je rovnoměrnější, jedná-li se o větší počet kanálů s menším průměrem než o menší počet kanálů s větším průměrem. Velikost a rozmístění kanálů by se měly také volit s ohledem na konečnou pevnost a tuhost formy. Dále je důležité vyhnout se kolísání teploty v temperačním okruhu. [24, 25]



Obrázek 36 Rozložení teplotního pole dle velikosti a počtu kanálů [33]

Temparační systém by měl splňovat několik dalších zásad:

- neměla by se v temperačním okruhu nacházet tzv. mrtvá místa,
- průměr kanálu by se měl pohybovat mezi hodnotou 6 až 20 mm,
- teplotní rozdíl na vstupu kanálu a na výstupu kanálu by měl činit 3 až 5 °C,
- temperační kanály by neměly být umístěny příliš blízko hrany dutiny formy – může dojít k prasknutí,
- měla by být zajištěna větší intenzita chlazení v oblasti vtokové vložky a v oblasti trysek,
- pokud mají kanály menší průměr než 6 mm, měla by se použít upravená voda, aby nedocházelo k zanášení a ucpávání kanálů vodním kamenem,
- v temperačních kanálech by temperační medium mělo mít turbulentní proudění. [2, 17]

4.4.1 Přivedení temperačního média do formy

Temperační médium je nutné do temperačního okruhu formy přivést, zajistit, aby ve formě neunikalo, a pak jej dopravit zpět do temperační jednotky. Pro tyto účely obsahuje temperační systém řadu příslušenství. Většinou se jedná o normalizované součásti vyráběné různými společnostmi. [25]

K přívodu média z temperační jednotky do formy se využívá hadic, volených dle typu média, jeho teploty a pracovního tlaku. Na obrázcích níže jsou uvedeny příklady některých z používaných hadic.



Obrázek 37 Hadice PTFE [26]



Obrázek 38 Hadice EPDM [26]



Obrázek 39 Hadice PVC s textilní výztuží [27]

Dalším důležitým příslušenstvím temperačního okruhu jsou různé spojovací prvky sloužící k napojení hadice k formě, spojení hadice s hadicí atd. Jedná se například o rychlospojky, přípojky, nátrubky, spojky nebo třeba hadicové spony. Tyto normálie jsou vyráběny v mnoha rozměrových a typových variantách. Na obrázcích níže jsou ukázány některé spojovací prvky. [11]



Obrázek 40 Přípojka [26]



Obrázek 41 Rychlospojka s nátrubkem [26]



Obrázek 42 Hadicová spona [26]



Obrázek 43 Rychlospojka s nátrubkem 45° [26]

4.4.2 Vedení temperačního média ve formě

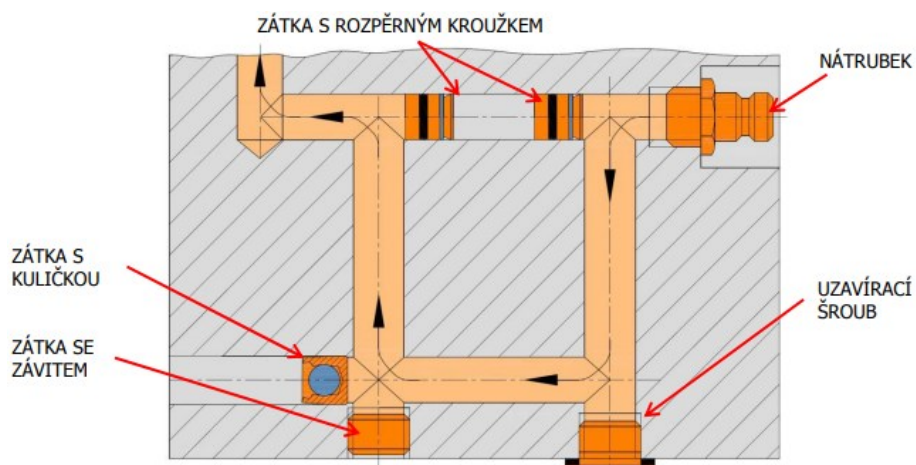
Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, temperační kanály se nejčastěji vyrábí vrtáním. Při výrobě se kanály různě protínají a okruh má několik výstupů. Z toho důvodu se využívají různé druhy zásepek a uzavíracích šroubů pro usměrnění toku temperačního média. [25]



Obrázek 44 Záslepka do otvoru [26]

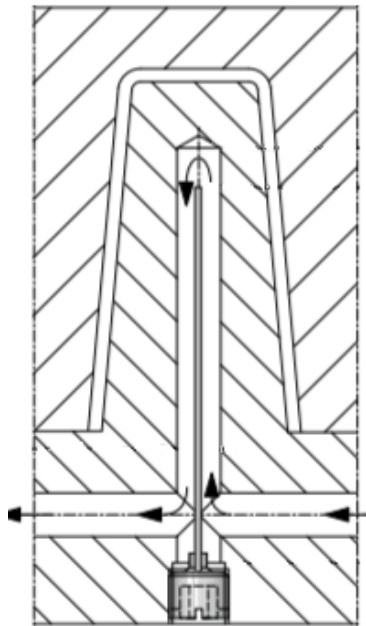


Obrázek 45 Uzavírací šroub [26]

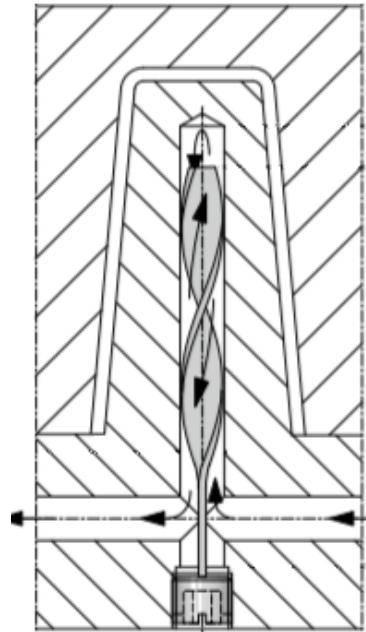


Obrázek 46 Možné využití zaslepovacích prvků v temperačním obvodu [25]

Dalšími důležitými prvky pro usměrnění temperačního média jsou přepážky, fontány nebo spirálové trny. Tyto prvky se využívají tam, kde by nebylo možné klasické temperační kanály vytvořit nebo by jejich vytvoření bylo příliš nákladné. Těmito systémy je možné temperovat zejména vnitřní plochy dutých výrobků, jako jsou například misky nebo kelímky [18, 25]

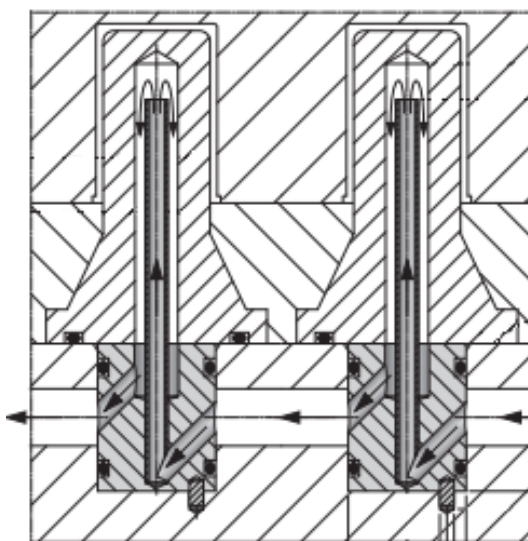


Obrázek 47 Rovná přepážka [26]

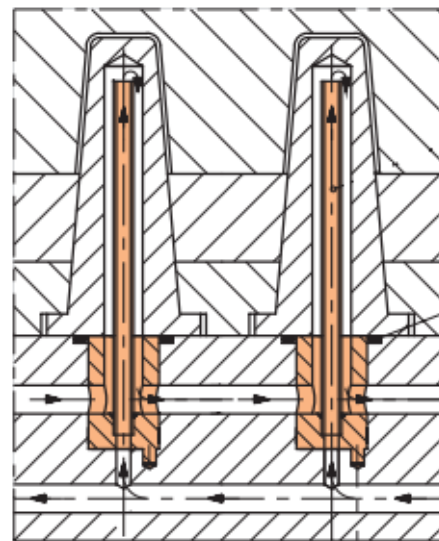


Obrázek 48 Spirálová přepážka [26]

Na obrázku 47 a 48 je ukázán systém přepážek. Přepážky jsou umístěny ve vedlejším kanálu kolmým na hlavní kanál. Přepážky tento vedlejší kanál rozdělují na dvě části a hlavní kanál přepažují. Temperační médium proudí v hlavním kanálu, poté je vlivem přepážky vedeno do vedlejšího kanálu, kde na konci přepážky změni směr a proudí zpět do hlavního kanálu. Vzhledem k jednoduchosti systému se jedná o často využívané řešení. Jsou využívány dva druhy přepážek – rovná přepážka, viz obrázek 47 a spirálová přepážka, viz obrázek 48. [18]

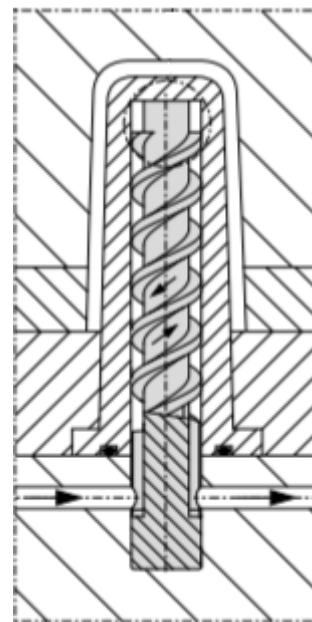
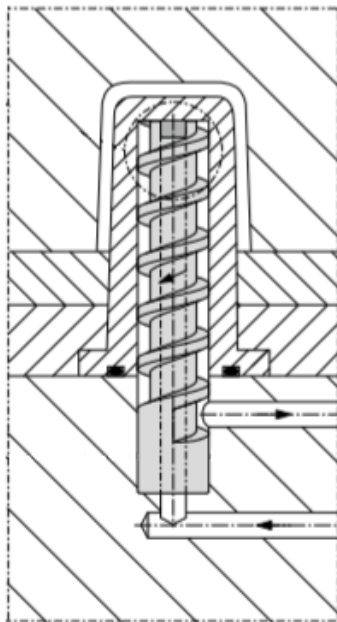


Obrázek 49 Sériová tryska [28]



Obrázek 50 Paralelní tryska [28]

Na obrázku 49 a 50 je uveden fontánový způsob temperace. Jedná se v podstatě o stejný princip jako u přepážkového systému. V případě sériových trysek je temperační médium vedeno z hlavního kanálu do vedlejšího, po překonání vrcholu trysky „stéká“ médium po stěnách vedlejšího kanálu zpět do hlavního kanálu. V případě paralelních trysek je potřeba dvou hlavních kanálů, kdy z jednoho kanálu je médium do trysek přiváděno a druhým, po překonání vedlejšího kanálu, odváděno. U těchto typů trysek je dosaženo lepší účinnosti, jelikož temperační médium je do všech trysek přiváděno současně, kdežto u sériových trysek je médium přiváděno postupně. [25]

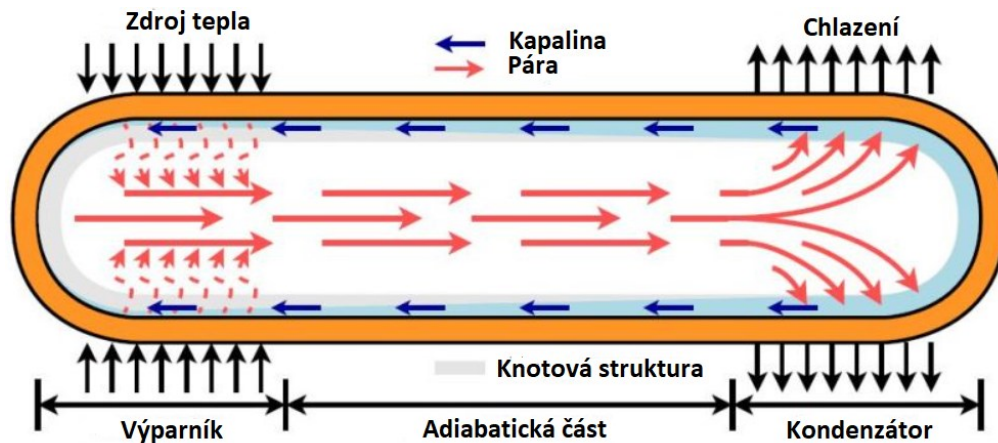


Obrázek 51 Spirálový trn jednochodý [28] Obrázek 52 Spirálový trn dvouchodý [28]

Jako poslední zde jsou uvedeny spirálové trny. Princip chlazení je stejný jako v přechodících dvou případech. Spirálové trny jsou jednochodé, viz obrázek 51, či dvouchodé, viz obrázek 52. [25]

4.4.3 Tepelná trubice

Dalším způsobem temperace formy je temperace pomocí tepelných trubec. Jedná se o pasivní temperaci formy založené na principu výparného tepla. Tepelná trubice je vyrobena jako trubka, která je na obou koncích uzavřená. Skládá se ze tří částí: z výparníku, z adiabatické části a z kondenzátoru. Její plášť je vyrobený z hliníku, mědi nebo z oceli. Uvnitř trubice se může nacházet čpavek, freon, metylalkohol nebo voda. [20, 29]



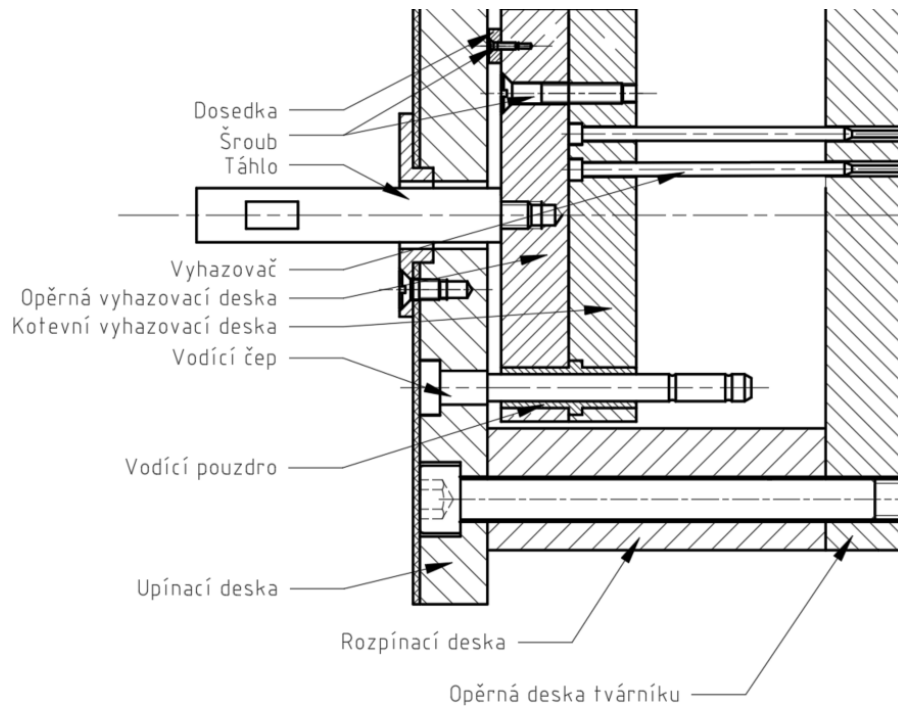
Obrázek 53 Princip tepelné trubice [29]

Na obrázku 53 je zobrazen princip funkce tepelné trubice. Kapalina se v místě zdroje tepla odpaří, čímž absorbuje velké množství tepla. Pára poté, díky rozdílu tlaku, putuje přes adiabatickou část do kondenzátoru. Zde pára zkondenzuje a uvolní tak teplo, které se následně odvede pryč z trubice. Zkondenzovaná kapalina je díky kapilárnímu tlaku přiváděna zpět k místu zdroje tepla, kde se opět vypaří a cyklus se opakuje. Pro snadnější přesun kapaliny se mohou využívat knotové nebo kapilární struktury. [20, 29]

4.5 Vyhazovací systém

Jedná se o další velmi důležitý systém ve vstřikovací formě. Vyhazovací systém zajišťuje vyhození výrobku z formy po jejím otevření. Výrobek zůstává většinou na levé straně formy, kde je vlivem smrštění výrobku „uchycen“ na tvárníku. Vyhazovací systém má velký vliv na konečnou kvalitu a vzhled výrobku. Největší vliv na vyhození výrobku má smrštění materiálu, tvar a tuhost výrobku, kvalita povrchu dutiny formy a technologické podmínky procesu vstřikování. Vyhazovací systém je třeba navrhnout tak, aby nedocházelo k deformacím, prasklinám nebo k poškrábání vstřikovaného výrobku. [5]

Součástí vyhazovacího systému nejčastěji bývá kotevní vyhazovací deska, opěrná vyhazovací deska, vyhazovače, vodící elementy, spojovací elementy, táhlo a dosedky. Celý vyhazovací paket je umístěn mezi upínací deskou a opěrnou deskou tvárníku, viz obrázek 54. [30]



Obrázek 54 Ukázka vyhozovacího systému

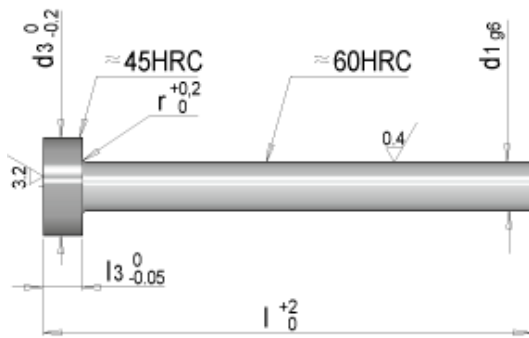
Aby bylo možné výrobky bezpečně a bez problémů z formy vyhodit je třeba povrchy dutiny formy, zejména ty, které jsou v kontaktu s taveninou, pečlivě vyleštit. Dutina nesmí obsahovat žádné škrábance nebo vrypy, jelikož při plnění dutiny taveninou do těchto nedokonalostí zatéká tavenina a může po zchlazení bránit hladkému průběhu procesu vyhozování. [31]

Pro různé aplikace se využívají různé typy vyhozování, například vyhozovací kolíky, trubkové vyhozovače, stírací deska nebo pneumatické vyhozování.

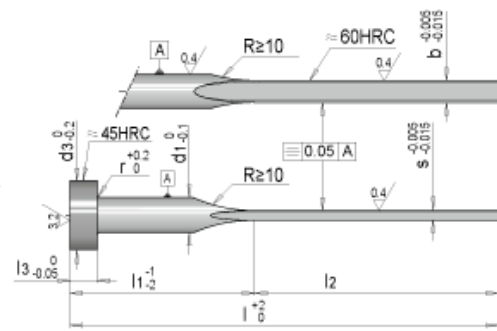
4.5.1 Vyhozovací kolíky

Vyhozování výrobků pomocí vyhozovacích kolíků je nejběžnější a nejlevnější způsob vyhozování. Nevýhodou tohoto způsobu vyhozování je velké jednobodové zatížení na výrobek. To může způsobit praskliny, deformace nebo i „protrhnutí“ výrobku. Vzhledem k tomu, že jsou kolíky v přímém kontaktu s taveninou zanechávají na výrobku svůj otisk, proto je vhodné umisťovat je na nepohledové plochy nebo žebra. Aby mohl výrobek co nejrychleji opustit formu, měly by se kolíky umisťovat na místa, kde dochází k nejrychlejšímu zchlazení. [5,31]

Kolíky jsou prodávány jako normalizované součásti o různých velikostech. Nejčastěji jsou vyhozovací kolíky válcové, avšak pro potřeby zákazníků se vyrábějí i tzv. prizmatické vyhozovače, které mohou mít například obdélníkový nebo čtvercový průřez. [13]

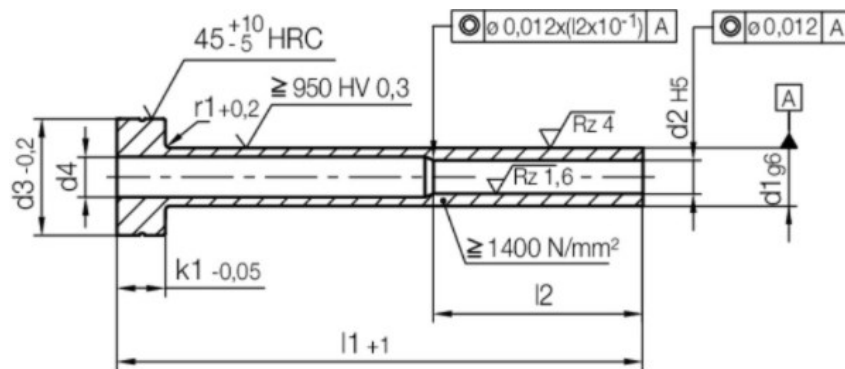


Obrázek 55 Válcový vyhazovač [28]



Obrázek 56 Prizmatický vyhazovač [28]

U válcových výrobků se často používají trubkové vyhazovače. Jedná se o vyhazovač skládající se ze dvou částí, z trubky a z jádra. Výhodou je rovnoměrnější rozložení síly a nedochází tak k prasklinám nebo deformacím. Nevýhodou je vyšší cena než v případě válcových kolíků. [14]



Obrázek 57 Trubkový vyhazovač [26]

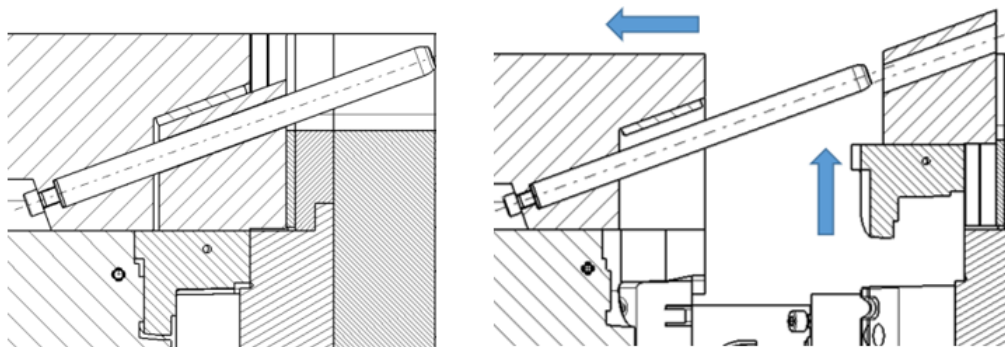
4.5.2 Pneumatické vyhazování

Jedná se o způsob vyhazování využívající stlačený vzduch, který se přivádí mezi výrobek a tvárník. V tomto místě se vytvoří vzduchový polštář a dojde odlepení výrobku od formy. Tento způsob vyhazování se uplatňuje u tvarově složitých, rozměrných, hlubokých nebo tenkostěnných výrobků nebo u výrobků na niž nesmí být vidět stopa po vyhazovačích. Vyhazovací síla je rozložena po celé ploše výrobku a nedochází tak k deformaci výrobků. Mezi nevýhody lze zařadit vyšší výrobní náklady, menší zdvih a nutnost zavedení vzduchotechniky do formy. Často se využívá v kombinaci s mechanickými vyhazovači. [32]

4.5.3 Boční posuvné čelisti

Boční odformování pomocí posuvných čelistí se využívá u výrobků, kde je zapotřebí vytvořit zápichy, otvory nebo tvarové plochy, které jsou ze strany výrobku. Ovládání posuvných čelistí může být realizováno pomocí několika mechanismů. [13]

Otevírání boční čelisti je nejčastěji realizováno šikmými kolíky. Kolík je ve vstřikovací formě uložen pod určitým úhlem, díky tomu dochází při otevírání a zavírání formy k pohybu bočních čelistí, viz obrázek 58. V otevřené poloze je třeba boční čelist zajistit, aby nedošlo vlivem gravitace k vratnému pohybu. Tyto jisticí prvky jsou normalizované součásti, jako je například kulička s pružinkou. [32]



Obrázek 58 Ukázka uzavřené a otevřené posuvné čelisti

Dalším využívaným způsobem otevírání bočních čelistí je otevírání pomocí pneumatických nebo hydraulických válců. Využívají se u jader s velkou hloubkou, při odformování velkých úhlů nebo pokud je požadováno odsunutí čelistí nezávisle na otevírání vstřikovací formy. [32]

4.6 Odvzdušnění dutiny formy

Při plnění dutiny formy musí být zajištěn odvod vzduchu, který se v dutině nachází. Pokud by neměl vzduch možnost uniknout, mohl by zapříčinit defekty na výrobku. Jedním z takových defektů je například Dieselův efekt, kde vlivem rychlého plnění dutiny taveninou se vzduch stlačuje, čímž roste jeho teplota a může tak dojít ke spálení výrobku. Dalším problémem spojeným s nedostatečným odvzdušněním dutiny je nedotečení taveniny do všech tvarových míst. Tento problém vzniká při pomalém plnění, kdy vzduchový polštář brání tavenině v postupu. [14]

Odvod vzduchu z dutiny formy je většinou zajištěn dělicími rovinami nebo vůlemi mezi vyhazovacími kolíky a jejich otvory. V případě nedostatečného odvzdušnění pomocí

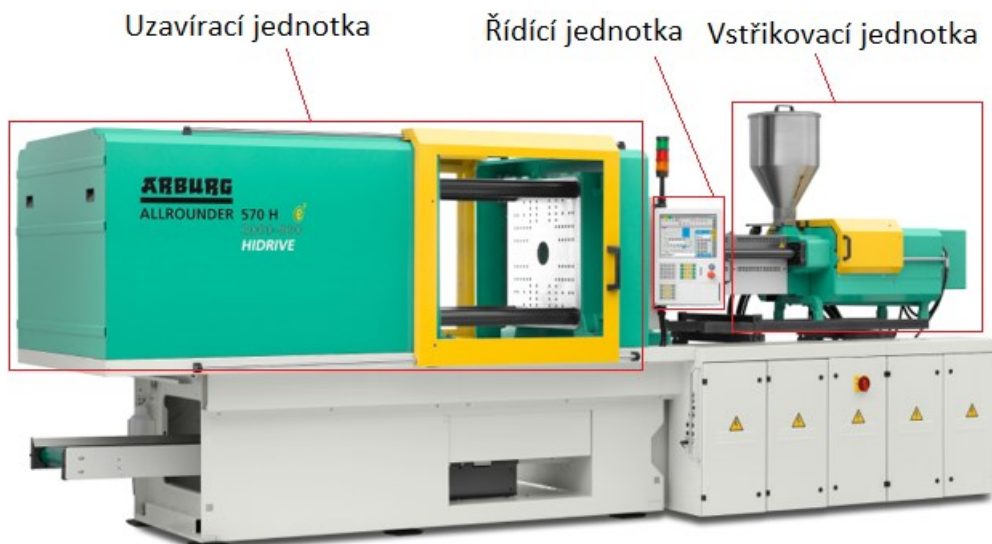
dělicích rovin se mohou vytvořit odvzdušňovací kanálky, zpravidla v místech, kam tavenina zatéká nejpozději. Odvzdušňovací kanálky musí být navrženy tak, aby jimi vzduch mohl uniknout a zároveň tak, aby do nich nezatékala tavenina. Často se odvzdušnění řeší až v praxi po několika vystříknutých dílech. [20]

5 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Účelem vstřikovacího stroje je do dutiny formy dodat přesnou a kontrolovanou dávku polymerní taveniny. Úkolem vstřikovacího stroje je převedení tuhého polymerního materiálu na homogenní taveninu a její vstříknutí při dostatečném vstřikovacím tlaku a rychlosti. Stroj musí zároveň vyvinout dostatečně vysokou uzavírací sílu, aby nedošlo k pootvěžení formy při jejím plnění. [24]

Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních částí, a to vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. Důležitými parametry vstřikovacího stroje jsou:

- uzavírací síla,
- vstřikovací tlak,
- plastikační výkon,
- světlost pracovního prostoru,
- vzdálenost mezi vodícími sloupy,
- objem vstřikované dávky polymerní taveniny. [24]



Obrázek 59 Vstřikovací stroj od firmy ARGURG [35]

5.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má za úkol připravit a vstříknout vysokou rychlostí přesnou dávku polymerní taveniny do formy pod vysokým tlakem. Jednotka se skládá z násypky, podávacího hrdla, šneku a vstřikovací trysky. Pro správnou funkci je třeba nastavit několik

parametrů, jako je teplota, objem vstřikovací dávky, vstřikovací rychlost nebo rychlost míchání. [24]

5.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje uzavírání a otevírání vstřikovací formy. Dále musí zajistit setrvání v uzavřené poloze během vstřikování, aniž by došlo vlivem vstřikovacího tlaku k pootevření formy. Vstřikovací jednotky jsou voleny i podle velikosti upínací síly. Na rozdíl od jiných technologií je při procesu vstřikování zapotřebí vysokých uzavíracích sil, proto jsou uzavírací jednotky vstřikovacích strojů poměrně robustního charakteru. [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny následující zásady:

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti.
3. Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.
4. Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v softwaru MoldFlow.
5. Nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

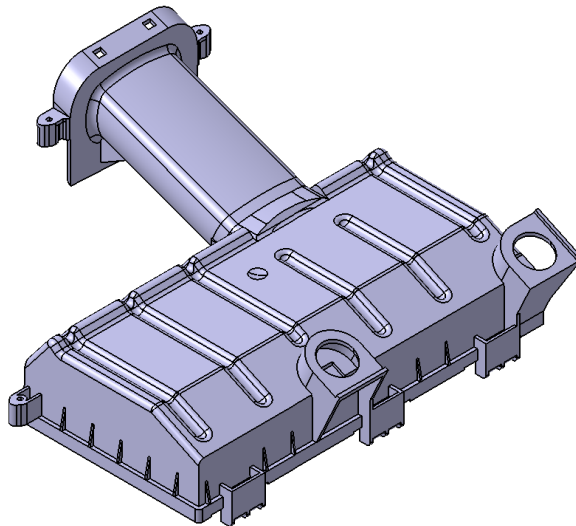
Teoretická část této diplomové práce obsahuje literární rešerši na dané téma. Obsahuje základní informace o vstříkovaných materiálech, dále popis samotné technologie vstříkování, zásady konstrukce vstříkovaného dílu, popis vstříkovací formy, a nakonec základní informace o vstříkovacím stroji. Těchto pět kapitol je dále rozděleno na několik podkapitol, kde je stručně popsána daná problematika.

V praktické části je cílem vytvořit 3D model vstříkované součásti a pro tuto součást navrhnout konstrukci vstříkovací formy. Celý 3D model vstříkovací formy i vstříkované součásti bude proveden v programu CATIA V5R19. K návrhu vstříkovací formy budou využity normalizované součásti firmy HASCO a Meusburger. Po návrhu 3D modelu bude provedeno ověření funkčnosti vstříkovací formy pomocí tokových analýz provedených v programu Autodesk MoldFlow Synergy. Posledním úkolem bude vytvořit výkresovou dokumentaci, která bude zahrnovat řez vstříkovací formy a kusovník.

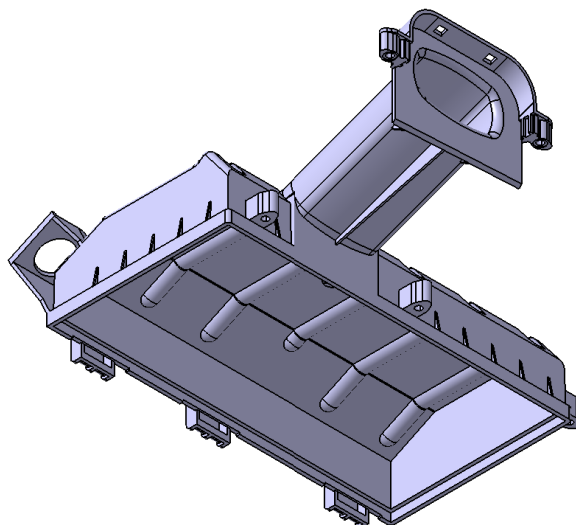
7 VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST

Vstřikovací forma je navržena pro díl, který je součástí sacího ústrojí osobního automobilu, konkrétně díl slouží k uložení sacího filtru. Součást je poměrně velká s rozměry 300 x 300 x 128 mm a hmotnost výrobku je 456 g.

Součást je vymodelována ve třech variantách, přičemž první varianta se co nejvíce podobá reálnému modelu. Druhá varianta je zvětšena o smrštění a použita k vytvoření tvarových dutin formy. A poslední třetí varianta je použita na simulaci. Stejně jako druhá varianta je zvětšena o smrštění, ale zároveň se bral ohled na zásady programu Moldflow a jsou odstraněny rádiusy a sražení menší než 2 mm. Tímto opatřením se docílí lepší a snadnější vytvoření sítě, avšak na konečné analýze se to nijak zvlášť neprojeví. Model součásti je zobrazen na obrázku 60 a obrázku 61.



Obrázek 60 Izometrický pohled vstřikované součásti z přední strany



Obrázek 61 Izometrický pohled vstřikované součásti ze zadní strany

7.1 Materiál součásti

Pro danou součást je zvolen materiál polypropylen s 30% vyztužujícími vlákny (PP – GF30). Obchodní název tohoto materiálu je Hostacom G3 R11 od výrobce LyondellBassel.

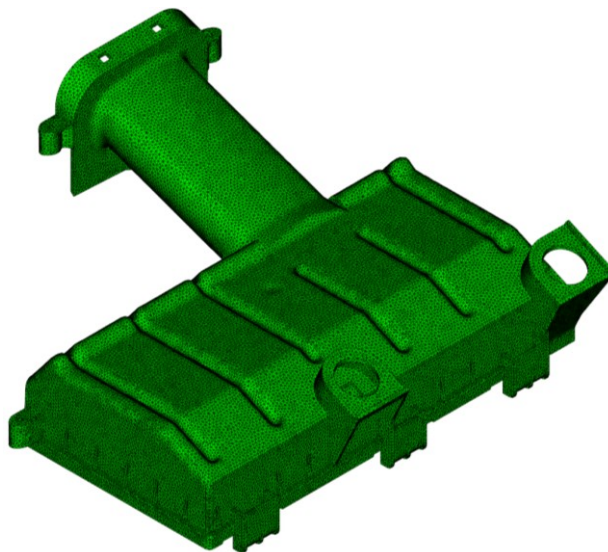
Tabulka 1 Doporučené zpracovatelské hodnoty polypropylenu Hostacom G3 R11

Teplota povrchu formy	45 °C
Teplota tavení	245 °C
Minimální teplota tavení	230 °C
Maximální teplota tavení	260 °C
Maximální smykové napětí	0,25 MPa
Minimální teplota formy	20 °C
Maximální teplota formy	70 °C
Teplota vyhození	110 °C
Maximální rychlost smykové deformace	100 000 1/s

V tabulce 1 jsou uvedeny doporučené zpracovatelské hodnoty materiálu Hostacom G3 R11. Jedná se o homopolymer polypropylenu vyztužený 30 % skelných vláken. Materiál se vyznačuje vysokou tekutostí, vysokou tuhostí, nízkým koeficientem lineární tepelné roztažnosti, tvarovou stálostí při zatížení za zvýšených teplot a dobrým uvolňováním z formy. Doporučuje se pro zpracování vstřikováním. Další informace o materiálu jsou uvedeny v materiálovém listu, který je přiložen jako příloha P I. Hodnoty v tabulce 1 jsou vypsány dle databáze programu MoldFlow. [36]

7.2 Vytvoření sítě

Po vymodelování součásti, byla provedena tvorba sítě v programu MoldFlow. Na tvorbu sítě byla použita zvětšená varianta výrobku o smrštění bez malých rádiusů a zkosených hran. Konkrétně byla vytvořena 2,5D síť, která je velmi často používaná z důvodu velké přesnosti a v porovnání s 3D sítí také menší zátěží na hardware počítače a jeho výpočetní výkon. Síť je tvořena trojúhelníky, přičemž délka hrany byla zvolena 2,5 mm.



Obrázek 62 Vysířovaná součást

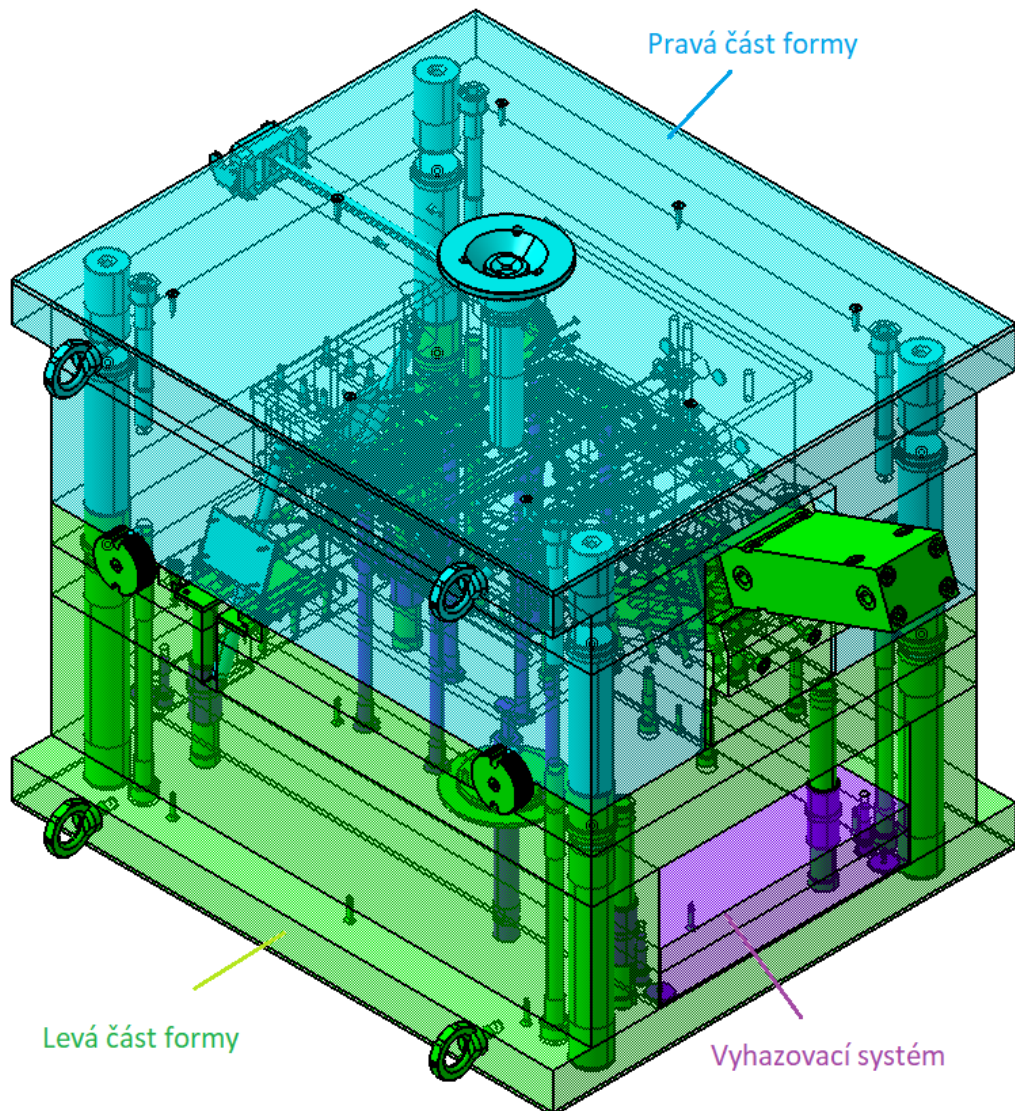
Na obrázku 63 je uvedena statistika vytvořené sítě. Prvním důležitým parametrem je *Aspect Ratio: Maximum* (poměr stran: maximální), kde nesmí být větší hodnota než 20, v optimálním případě by zde měla být hodnota menší než 15. Kdyby byl parametr větší než 20, mohlo by dojít ke zkresleným výsledkům. V tomto konkrétním případě je požadavek splněn s hodnotou 14,15. Dále pak *Free edges* (volné hrany), *Non-manifold edges* (nepropojené hrany), *Elements not oriented* (špatně orientované elementy), *Elements intersections* (protínající se elementy) a *Fully overlapping elements* (překrývající se elementy) musí mít hodnotu 0. I toho bylo u dané součásti docíleno. Posledními důležitými hodnotami sítě jsou *Match percentage* a *Reciprocal percentage*, tyto hodnoty udávají pokrytí, kvalitu a přesnost sítě. Musí být v nejhorším případě alespoň na 50 %, v optimálním případě na více než 80 %, jinak by nemuselo dojít ke spočítání analýzy. U zvolené součásti obě hodnoty překročily 90 %, jak je patrné z obrázku níže.

Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
14.15	1.57	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		205680
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		93.4%
Reciprocal percentage		92.7%

Obrázek 63 Výsledné hodnoty vytvořené sítě

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Na obrázku 64 je představena navržená vstřikovací forma pro danou součást. Vzhledem k velikosti výrobku byla zvolena jednonásobná forma. Byl zvolen horký vtokový systém, díky kterému se nemusí řešit odstranění vtokového zbytku od součásti, čímž se zároveň zvýší stupeň automatizace výroby. Pro zrychlení výroby a snížení celkových nákladů formy je v konstrukci zahrnuto co nejvíce normalizovaných součástí. Normálně byly využity od společnosti Meusburger a HASCO. Vstřikovací forma se skládá ze tří základních částí – pravá strana formy (vstřikovací strana), levá strana formy (vyhazovací strana) a vyhazovací systém. Jednotlivé části budou popsány v následujících podkapitolách.

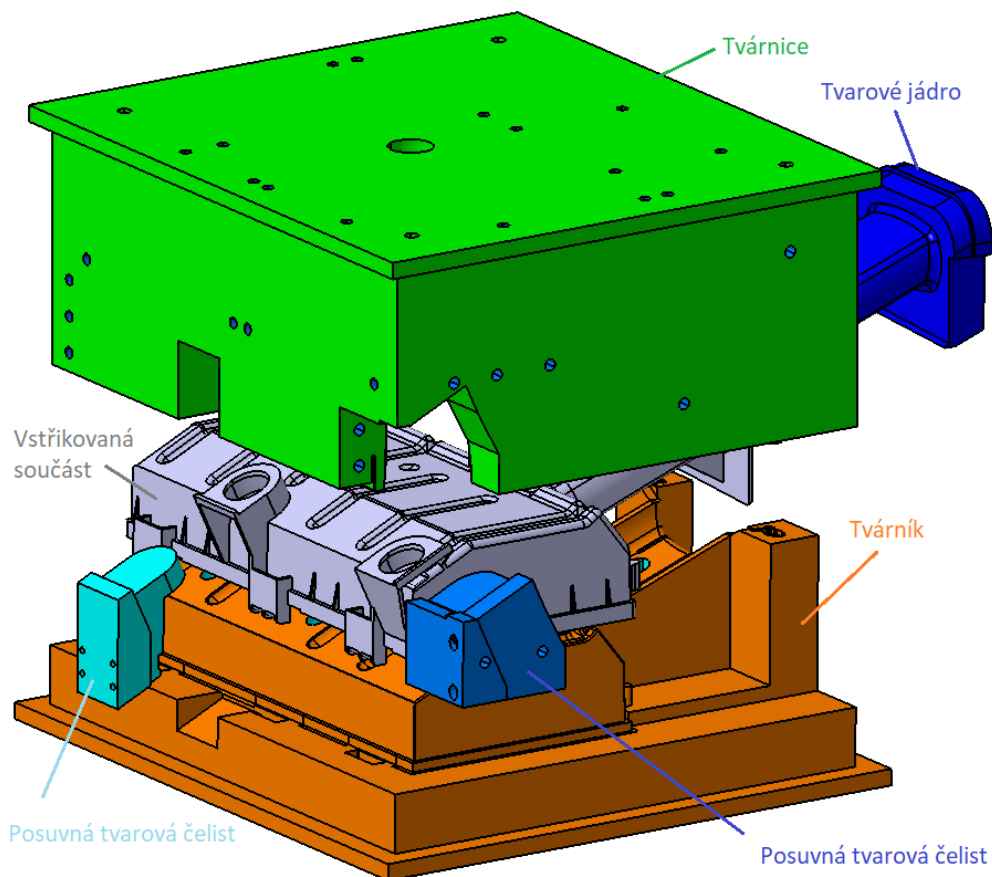


Obrázek 64 Navržená vstřikovací forma pro daný díl

8.1 Návrh dutiny formy

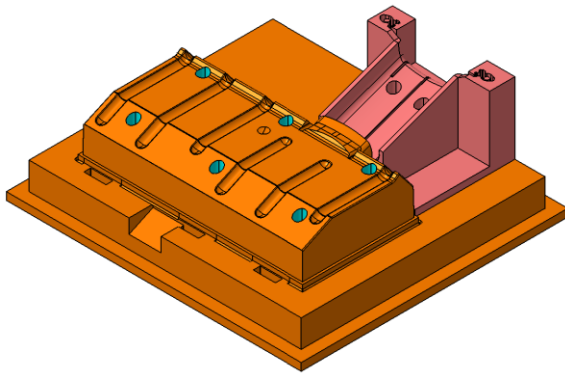
Konstrukce celé formy vychází ze vstřikovaného dílu. V první řadě se tedy navrhla tvarová dutina formy. Důležité bylo správně určit hlavní a vedlejší dělicí roviny tak, aby bylo možné výrobek odformovat. Pro konstrukci formy je lepší navrhnout co nejmenší počet dělicích rovin, což usnadňuje samotnou konstrukci, výrobu a celkovou cenu formy. Tvarová dutina je zvětšena o smrštění materiálu Hostacom G3 R11.

Pro danou součást byly zvoleny čtyři dělicí roviny – hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny. Dutina formy se skládá z pěti částí – tvárníku, tvárnice, dvou posuvných tvarových čelistí a jednoho tvarového jádra. Všechny zmíněné části tvarové dutiny formy jsou vyrobeny z materiálu 1.2343 a jsou kaleny na hodnotu 55 HRC.

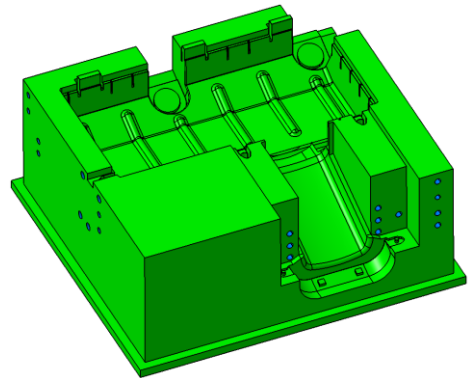


Obrázek 65 Tvarové části dutiny formy

Hlavní dělicí rovina je vedena mezi tvárníkem a tvárnící. Vlivem smrštění materiálu zůstane vstřikovaná součást „přichycena“ na tvárníku, jelikož je z velké části tvořen jako jádro. S přihlédnutím k vyrobiteľnosti jednotlivých částí dutiny, byl tvárník rozdělen na dvě části, které jsou navzájem vystředěny středícími kolíky a přišroubovány k sobě zápusťnými šrouby. Ze spodní strany tvárníku je vybrání pro vložení temperačního jádra.

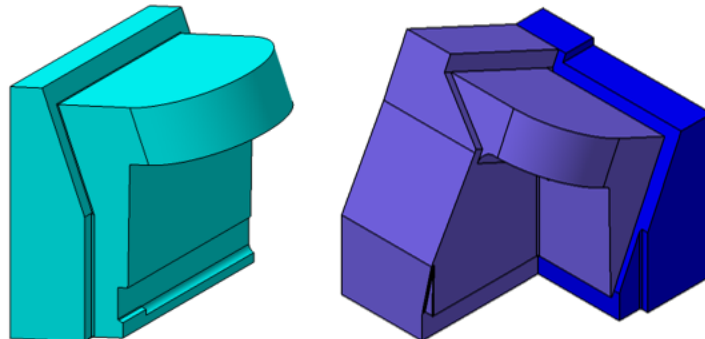


Obrázek 66 Tvárník

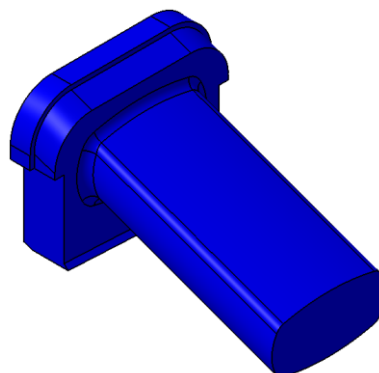


Obrázek 67 Tvárnice

Vedlejší dělicí roviny tvoří tvarové posuvné čelisti a tvarové jádro. Jedna posuvná čelist je umístěna z přední strany, druhá z boční strany, viz obrázek 65. Obě čelisti vytvářejí část výrobku, kde budou umístěny a zacvaknuty pryžové nástrčné dorazy. Jedna z posuvných čelistí (na obrázku 68 vpravo) je stejně jako tvárník rozdělena na dvě části, které jsou k sobě přišroubovány zápusnými šrouby. Důvodem je opět jednodušší vyrobiteľnosť. Tvarové jádro slouží pro vytvoření otvoru, ve kterém, až bude díl namontovaný v automobilu, bude proudit vzduch.



Obrázek 68 Posuvné tvarové čelisti

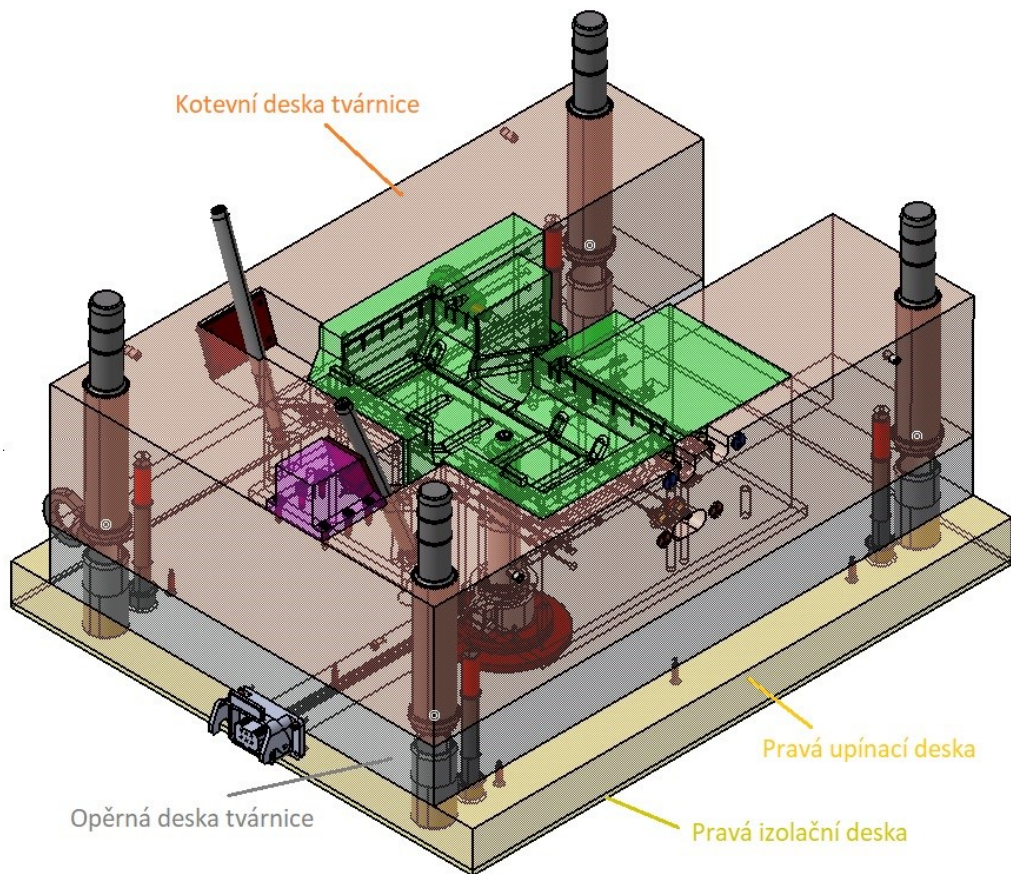


Obrázek 69 Tvarové jádro

8.2 Rám vstřikovací formy

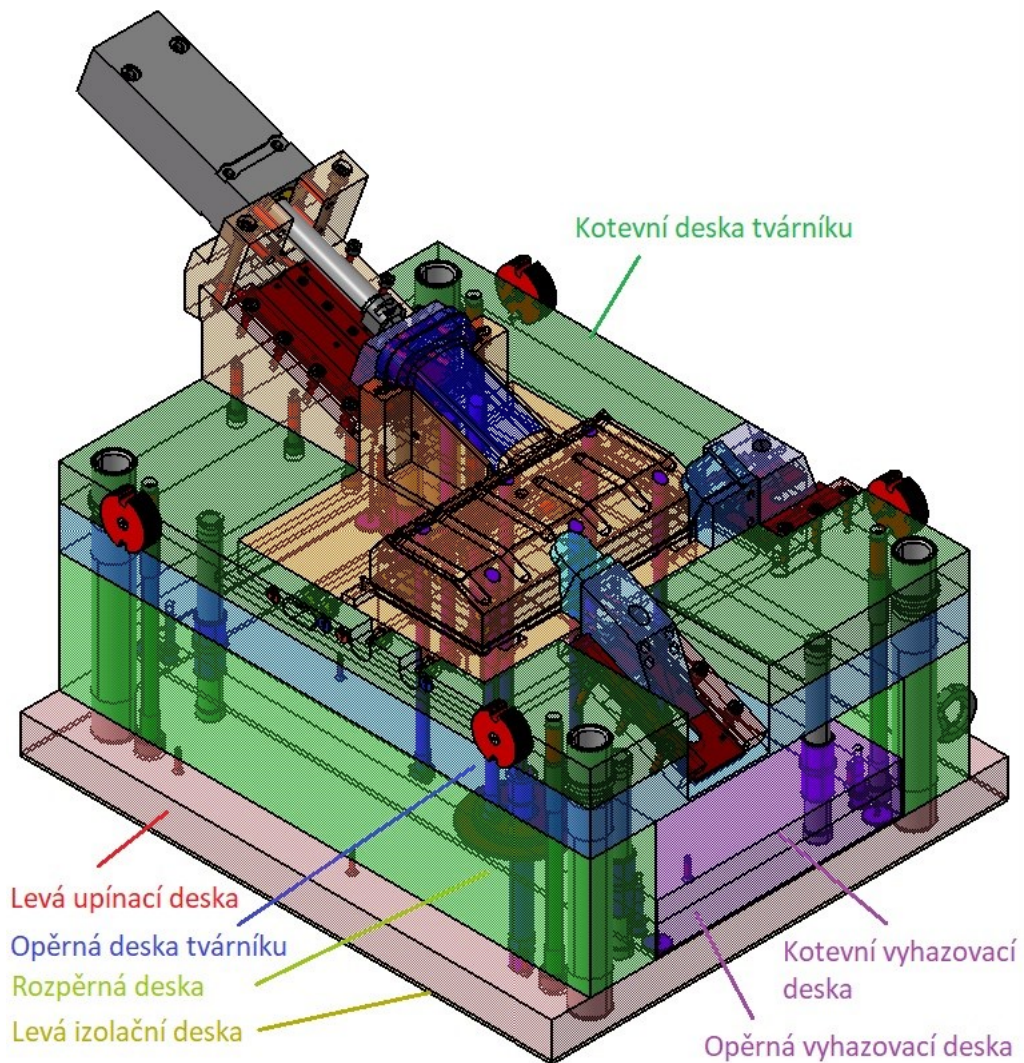
Jak už bylo zmíněno výše vstřikovací forma se skládá ze tří základních částí, a to levé (pohyblivé) strany formy, pravé (nepohyblivé) strany formy a z vyhazovacího systému. Celková velikost formy je 696 x 496 x 582 mm (délka x šířka x výška). Každá část se skládá z několika navzájem spojených desek od firmy HASCO.

Pravou stranu formy tvoří pravá izolační deska, pravá upínací deska, opěrná deska tvárnice a kotevní deska tvárnice. Všechny tyto desky jsou spojeny zápustnými šrouby.



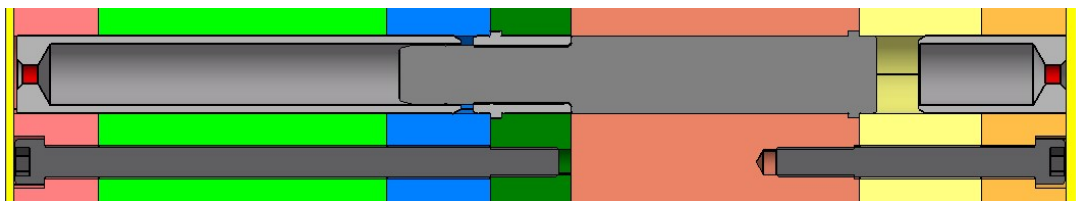
Obrázek 70 Pravá strana vstřikovací formy

Levou stranu formy tvoří levá izolační deska, levá upínací deska, rozpěrné desky, opěrná deska tvárnice a kotevní deska tvárnice. Všechny tyto desky jsou opět spojeny zápustnými šrouby.



Obrázek 71 Levá strana vstřikovací formy

Základ vyhazovacího systému tvoří opěrná vyhazovací deska a kotevní vyhazovací deska. Celý vyhazovací systém je umístěn na levé straně formy, viz obrázek 71. V kapitole 8.6 bude vyhazovací systém popsán podrobněji.

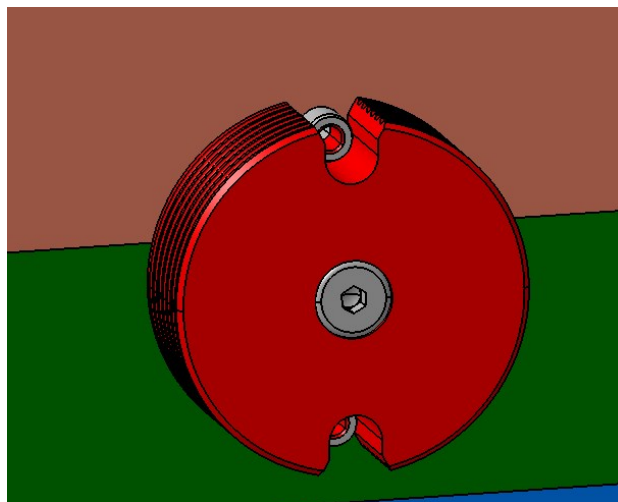


Obrázek 72 Středící systém vstřikovací formy

Obě strany formy jsou navzájem vystředěny pomocí vodícího sloupu na pravé straně formy a vodícího pouzdra na levé straně formy. Jednotlivé desky obou stran formy jsou navzájem také vystředěny, a to buď pomocí již zmiňovaných vodících sloupů a vodících pouzder nebo pomocí centrovacích pouzder, které na pravé straně formy centrují upínací

desku tvárnice s pravou středící deskou. Na levé straně formy vystředí levou upínací desku s rozpěrnými deskami, viz obrázek 72. Středění formy vůči vstřikovacímu stroji je uskutečněno pomocí středících kroužků, jenž jsou součástí obou stran formy. Oba středící kroužky mají stejný vnější průměr. Vodící a středící elementy byly použity od firmy Meusburger. Konkrétní označení a velikosti normalizovaných součástí jsou v kusovníku ve výkresové dokumentaci, viz příloha III.

Vstřikovací forma je poměrně velká a těžká, proto byla navržena čtyři nosná oka E 1271 zašroubovaná v upínacích deskách. Tento počet nosných ok zajistí, že se forma nebude při manipulaci nikterak naklánět nebo přepadat na jednu stranu. Aby při manipulaci s formou nedošlo k jejímu otevření, je zabezpečena čtyřmi transportními zámky E 1936. Oba komponenty jsou opět od firmy Meusburger.

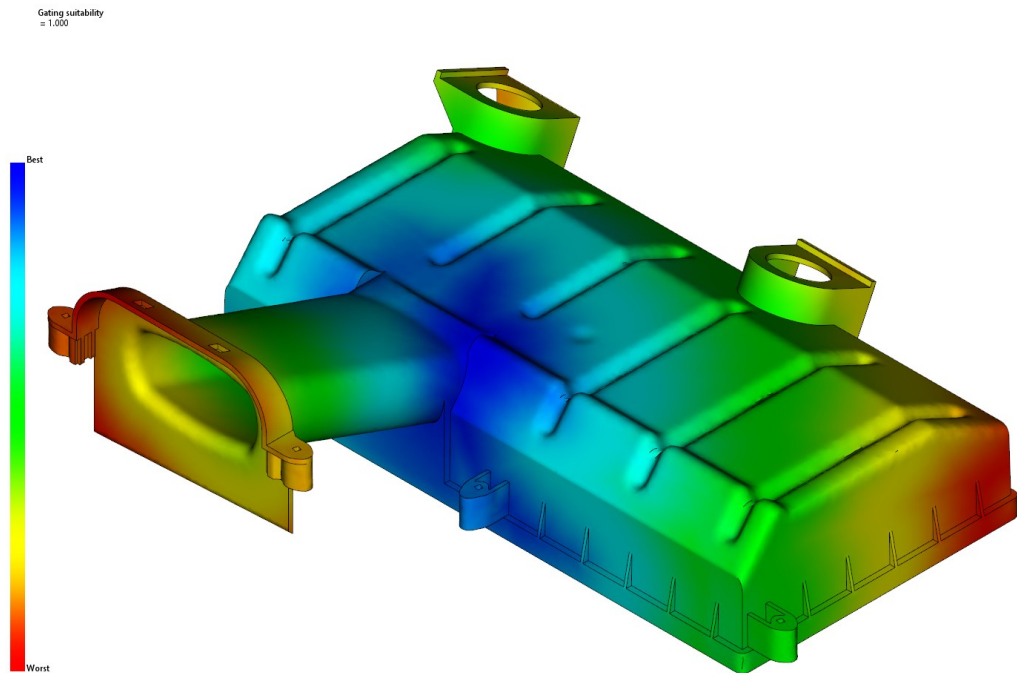


Obrázek 73 Detail transportního zámku

8.3 Vtokový systém

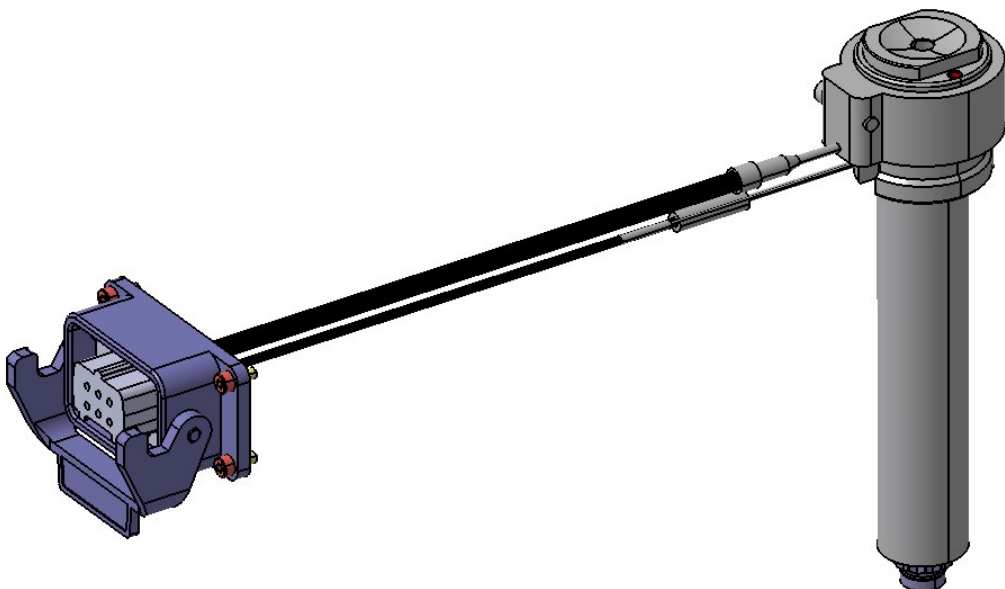
Navržená vstřikovací forma obsahuje horký vtokový systém. Při jeho konstrukci se nejprve zanalyzoval daný výrobek a podle analýzy *Gate Location* v programu MoldFlow se určilo neoptimálnější umístění vtokového ústí.

Na obrázku 74 je zobrazen výsledek *Gate Location* analýzy. Výsledkem je barevné spektrum na součásti, kde tmavě modrá barva ukazuje, kde by mělo být vtokové ústí umístěno, aby došlo k optimálnímu zaplnění dutiny formy. Červená barva naopak ukazuje, kam by se vtok umísťovat neměl.



Obrázek 74 Výsledek analýzy Gate Location

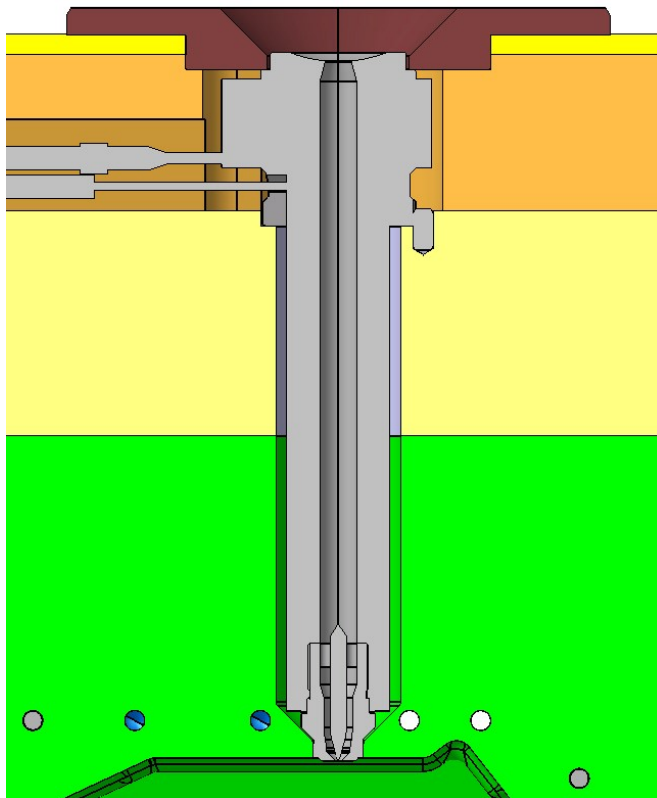
Jelikož se jedná o nevzhledovou součást, mohlo se vtokové ústí umístit takřka kamkoliv. S přihlédnutím na reálný výrobek a *Gate Location* analýzu bylo vtokové ústí umístěno zhruba do středu součásti. Na obrázku 72 lze vidět čočkovité zahloubení, do nějž je vtokové ústí navedeno.



Obrázek 75 Horký vtokový systém

Vtokový systém vstříkovací formy se skládá z jedné trysky E 4000 a ze sestavy vtokového ústí E 400 RC od firmy Meusburger. Vnitřní průměr horké trysky je 11 mm vtokového ústí 2 mm. Horká tryska je z jedné strany opřena v opěrné desce tvárnice

a z druhé strany zajištěna středícím kroužkem. O správné natočení trysky se stará válcový kolík. V upínací desce je vyfrézovaný kanál, ve kterém je vedena kabeláž vedoucí od horké vtokové trysky. Konce kabelů jsou upnuty v konektoru.



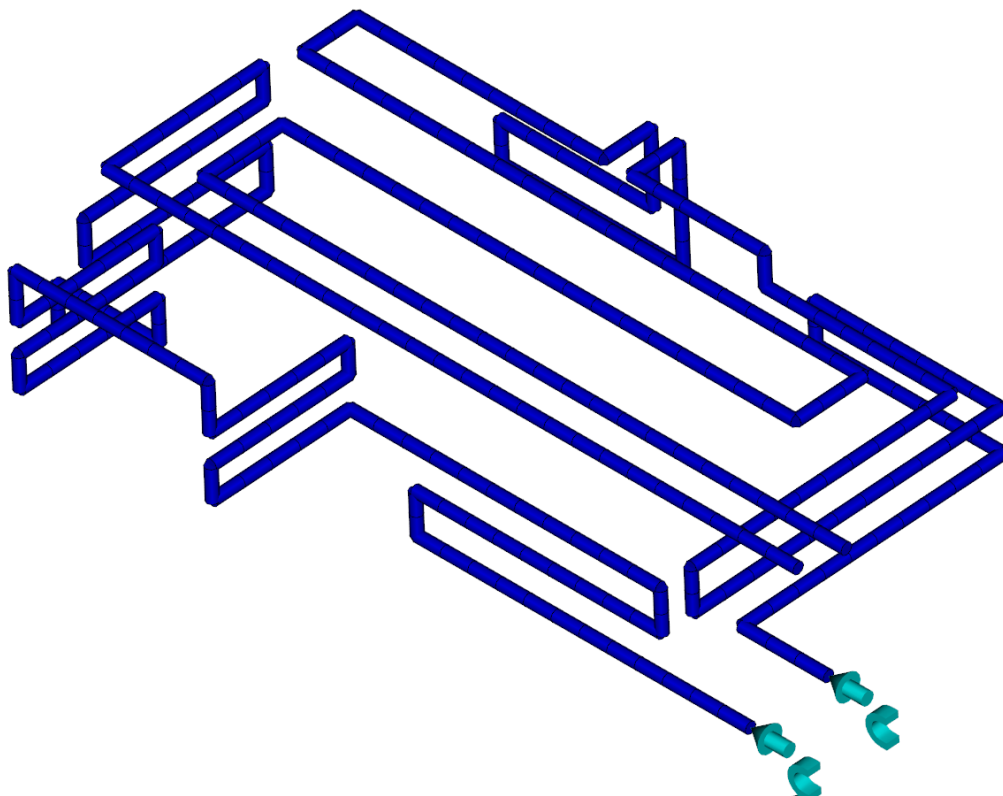
Obrázek 76 Uložení vtokového ústí ve formě

8.4 Temperační systém

Pro danou součást byly navrženy dva temperační systémy. Oba temperační systémy se dále rozdělují na temperační okruhy tvárnice a temperační okruhy tvárníku. V podkapitolách níže budou uvedeny oba navržené systémy.

8.4.1 První temperační systém

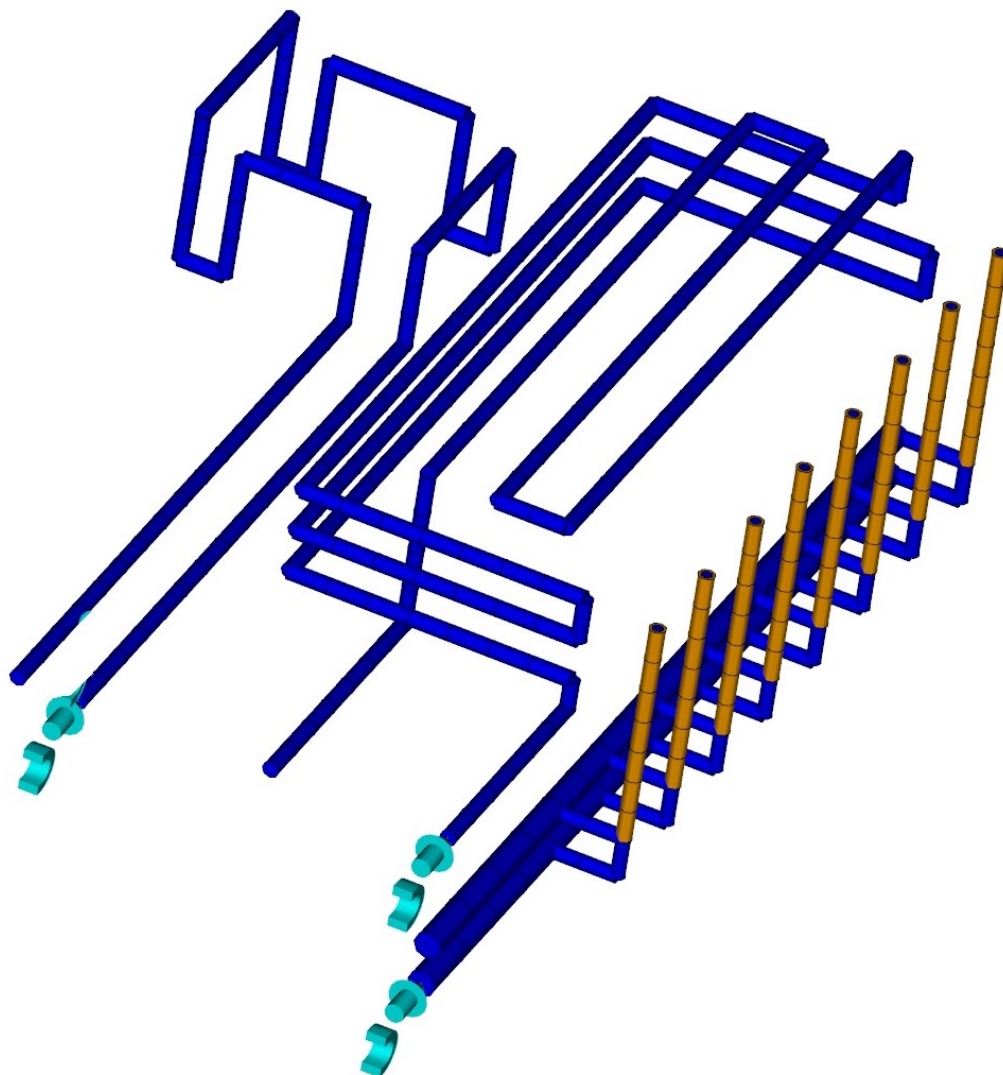
Na obrázku 77 jsou uvedeny temperační okruhy tvárnice. Temperační okruhy ochlazují vnější strany součásti. První okruh (zprava na obrázku 77) se vine kolem boční strany, přední strany a horní strany součásti. Druhý okruh je veden po zadní straně, kolem jádra na druhou boční stranu součásti, a poté se vrací zpět přes horní stranu.



Obrázek 77 Temperační okruhy tvárnice

Temperace tvárníku se skládá ze tří temperačních okruhů, viz obrázek 78, a zchlazují převážně vnitřní části výrobku. První okruh (zleva na obrázku 78) temperuje pouze spodní část jádra. Druhý okruh je veden do vnitřních prostorů výrobku, kde se táhne kolem bočních stran, zadní strany a horní strany výrobku. Součástí posledního třetího okruhu je osm paralelních chladících trysek E 2112 od firmy Meusburger, které temperují přední stranu z vnitřní části výrobku.

Temperační trysky byly voleny z důvodu malého prostoru mezi stěnou dutiny formy a vyhazovacími kolíky, kde by nebylo možné vést kanál. Třetí okruh se dále skládá ze dvou hlavních kanálů vstupního a výstupního o průměru 10 mm a několika vedlejších kanálů o průměru 5,5 mm. Vedlejší kanály se starají o navedení temperačního média ze vstupního kanálu do trysek, a poté z trysek do výstupního kanálu.



Obrázek 78 Temperační okruhy tvárníku prvního temperačního systému

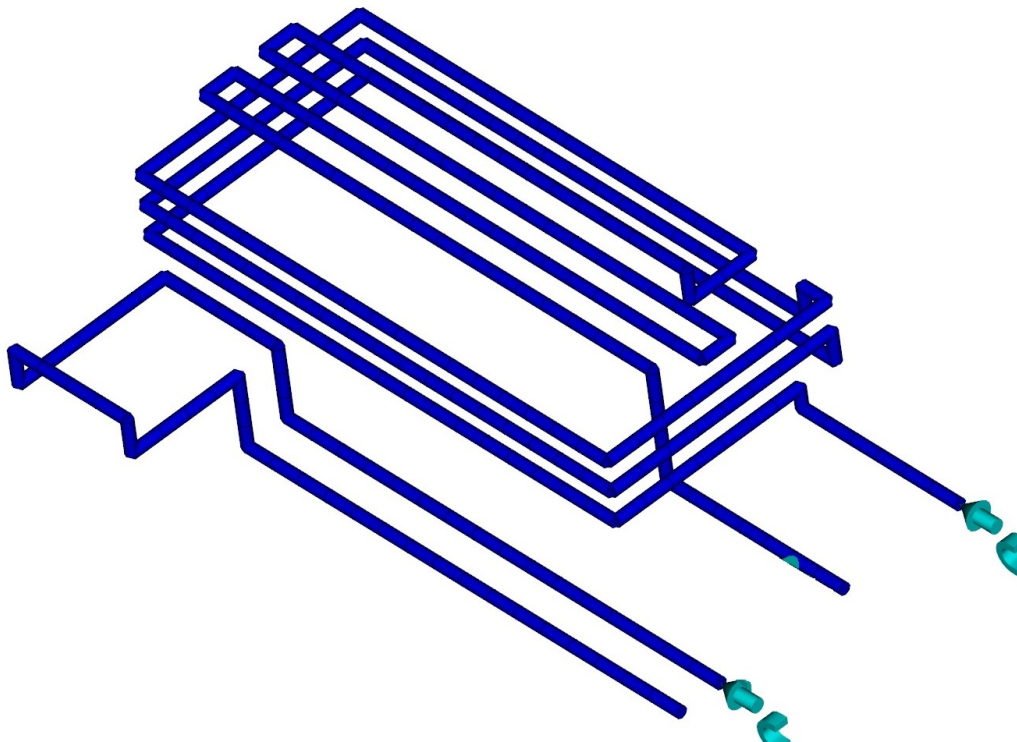
Tabulka 2 Parametry prvního navrženého temperačního systému

Okruh temperačního systému		Průměr kanálu [mm]
První okruh tvárnice		6
Druhý okruh tvárnice		6
První okruh tvárníku		6
Druhý okruh tvárníku		6
Třetí okruh tvárníku	Hlavní kanál	10
	Vedlejší kanál	5,5

8.4.2 Druhý temperační systém

Druhý navržený temperační systém vychází z prvního systému, avšak je poněkud zjednodušený. Temperační okruhy tvárnice tohoto temperačního systému jsou totožné s okruhy prvního temperačního systému, viz obrázek 77.

Stejně jako v předchozím případě, i zde temperační okruhy tvárníku z velké části temperují vnitřní dutinu součásti. Oproti prvnímu systému je zde odebrán třetí temperační okruh – okruh s paralelními tryskami, viz obrázek 78. Je to z důvodu zjednodušení výroby, kdy by musely být vytvořené speciální vložky s otvory, které by napojovaly trysky na hlavní kanály. Problém by nastal i s uložením samotných trysek vzhledem k nedostatku místa mezi dutinou formy a vyhazovacími kolíky. První temperační okruh (zleva na obrázku 79) opět temperuje spodní část jádra, avšak v porovnání s první temperací, viz obrázek 78, je trajektorie zjednodušená. Druhý temperační okruh je veden do vnitřních prostor součásti stejně jako v předchozím případě. Rozdílem je, že okruh temperuje všech pět vnitřních stran součásti a nahrazuje tak třetí temperační okruh. Kvůli takto vedenému temperačnímu okruhu bylo zapotřebí, oproti původnímu návrhu, posunout vyhazovací kolíky o 10 mm dále od přední strany výrobku, aby se kanály vešly do prostoru mezi dutinou formy a vyhazovacími kolíky.



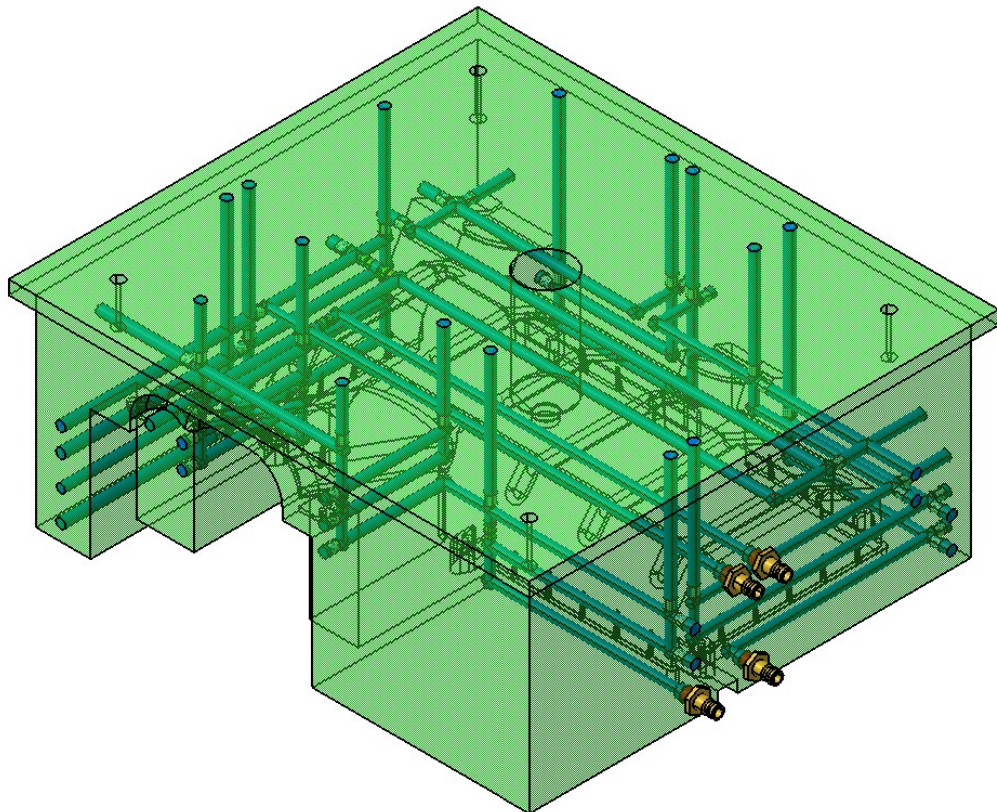
Obrázek 79 Temperační okruhy tvárníku druhého temperačního systému

Tabulka 3 Parametry druhého navrženého temperačního systému

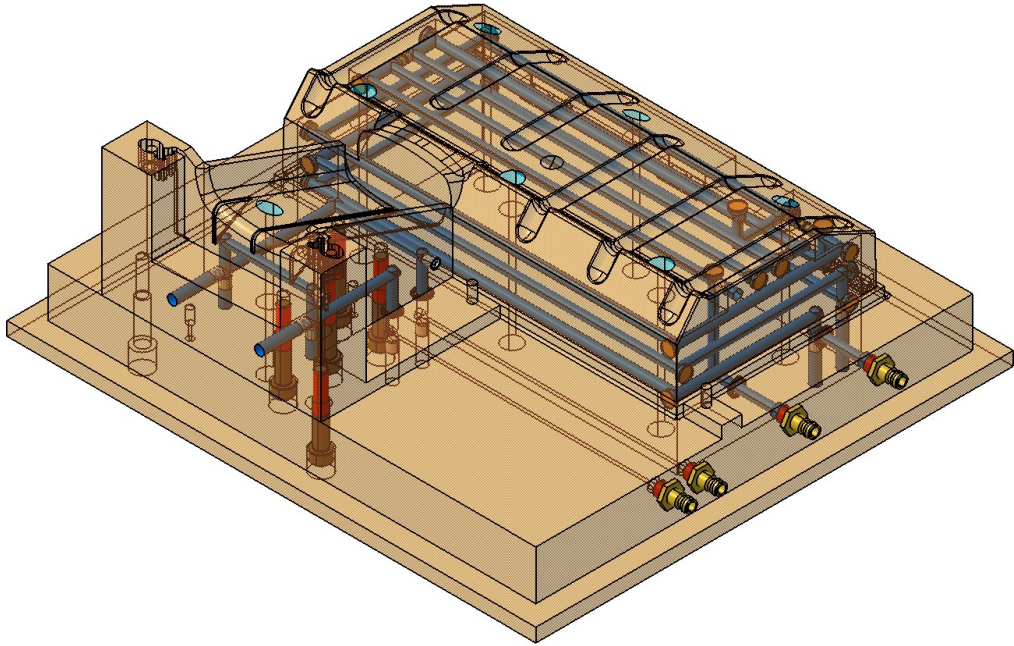
Okruh temperačního systému	Průměr kanálu [mm]
První okruh tvárnice	6
Druhý okruh tvárnice	6
První okruh tvárníku	6
Druhý okruh tvárníku	6

8.4.3 Zvolený temperační systém

Oba temperační systémy byly podrobeny analýze v programu MoldFlow. Pro oba systémy bylo zvoleno temperační médium ve formě 80 % voda a 20 % glykol o teplotě 30 °C a pracovním tlaku 3 bary, tedy 300 kPa. Výsledné hodnoty obou temperačních systémů jsou velmi podobné, viz kapitola 10.3. Vzhledem k tomuto faktu byl použit druhý navržený systém kvůli jeho snazší výrobě. Jelikož odpadne výroba poměrně složitého třetího temperačního okruhu tvárníku, nebude výroba jen jednodušší, ale také se tím docílí nižších finančních nákladů, a to i z důvodu vynechání paralelních trysek.

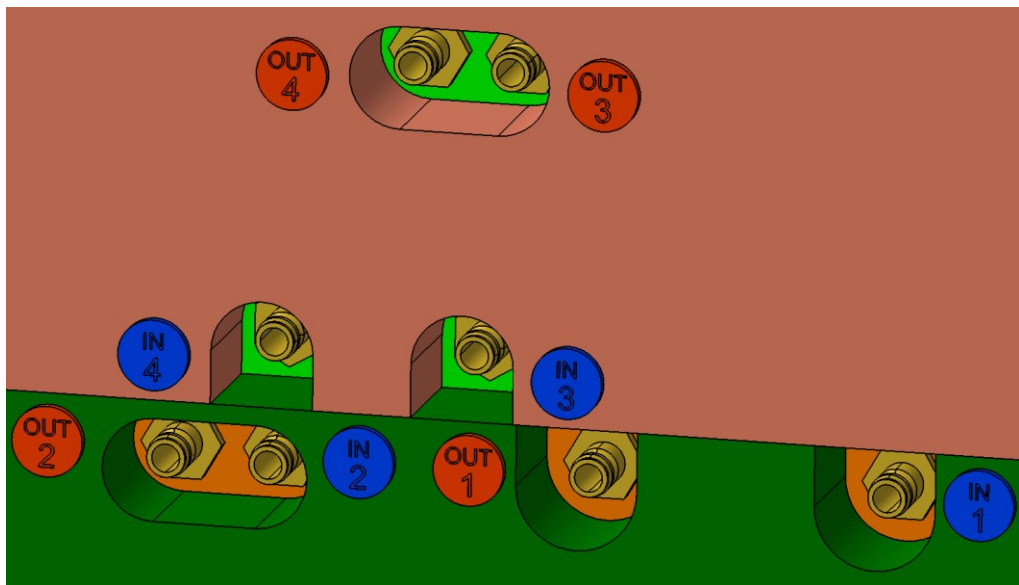


Obrázek 80 Temperační systém tvárnice



Obrázek 81 Temperační systém tvárníku

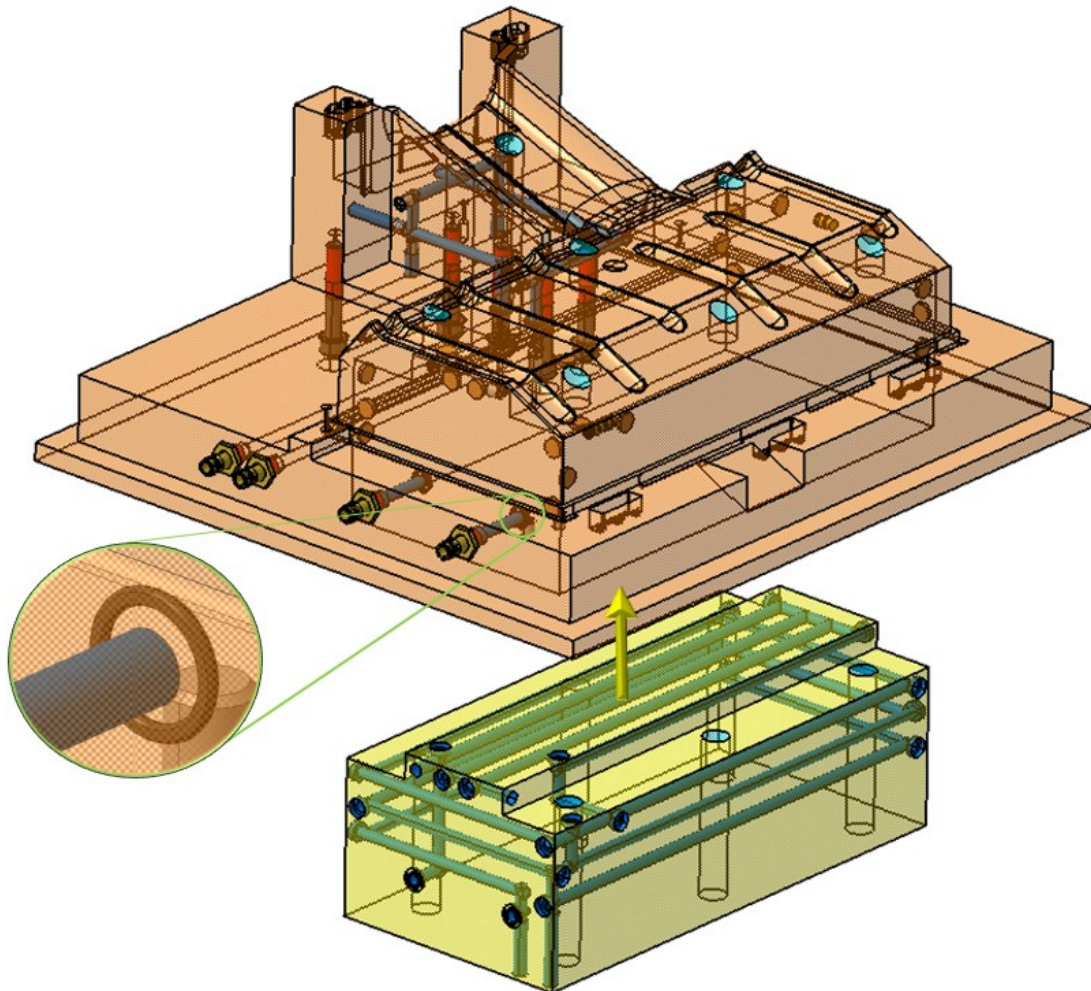
Na obrázcích 80 a 81 jsou vyobrazeny temperační kanály v jednotlivých částech formy. Všechny kanály celého temperačního systému jsou vrtány. Trajektorii proudícího temperačního média ve vyvrtaných kanálech udávají vložené záslepky E 20719, E 2079, popřípadě E 2112 od firmy Meusburger. Na vstupu a výstupu se nacházejí přípojky E 20004, opět od firmy Meusburger. Vstup a výstup temperačního média je u každého okruhu označen štítkem, viz obrázek 82.



Obrázek 82 Ukázka označení vstupu a výstupu temperačního média

Součástí tvárníku je tzv. temperační jádro, viz obrázek 83, ve kterém jsou vyvrtány kanály temperující vnitřní dutinu součásti. Celé jádro je vloženo do tvárníku a zajištěno proti

vysunutí opěrnou deskou tvárníku, stejně jako tvárník samotný. Mezi jednotlivými částmi tvárníku musí být O – kroužek E 2130, který zajišťuje, aby temperační kapalina neunikla vůlemi mezi těmito částmi.



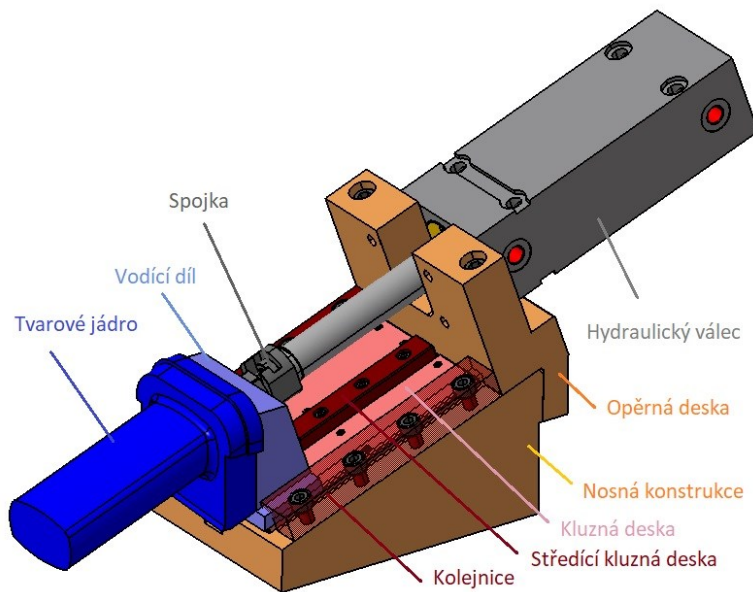
Obrázek 83 Ukázka temperačního jádra

8.5 Odformování vstříkované součásti

Odformování vstříknuté součásti začne v okamžiku, kdy je součást zchlazena na vyhazovací teplotu. V tento moment dojde k otevření hlavní dělicí roviny odjezdem levé strany formy od pravé strany. Současně s otevřením hlavní dělicí roviny se začnou otevírat i vedlejší dělicí roviny tvořené bočními posuvnými čelistmi. O malý časový interval později dojde k otevření i poslední vedlejší dělicí roviny tvořené tvarovým jádrem. Tvarové jádro je ovládáno hydraulickým válcem E 7000/40/130 od firmy Meusburger.

Hydraulický válec byl zvolen ze dvou důvodů. Prvním důvodem je poměrně velká délka tvarového jádra. V případě ovládání šikmým kolíkem by se musela výrazně zvětšit forma a došlo by tak k jejímu prodražení. Zdvih zvoleného hydraulického válce je 130 mm,

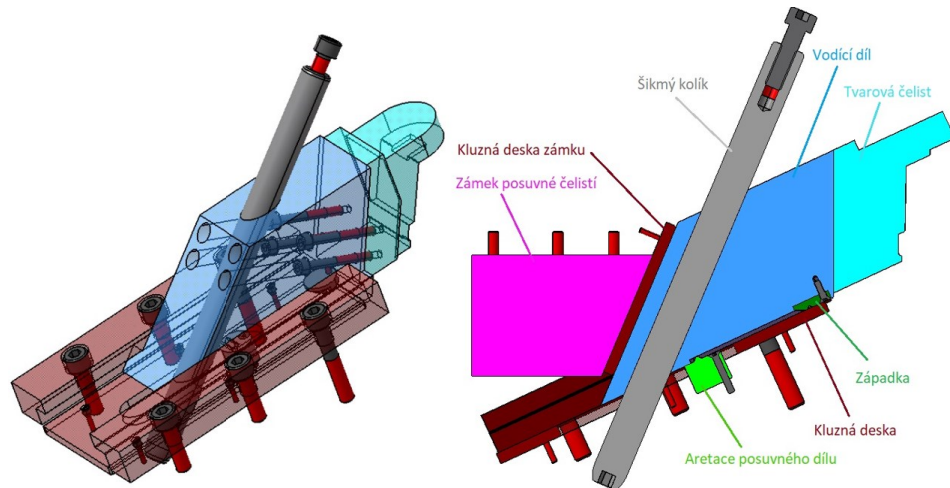
což zajistí dostatečný zdvih při odformování tvarového jádra. Druhým důvodem je potřeba mírného zpoždění vysouvání tvarového jádra vůči otevírání hlavní dělicí roviny. Kdyby se jádro začalo vysouvat bez zpoždění došlo by k poškození výrobku, tvárnice i jádra. Při zavírání formy je naopak potřeba, aby jádro bylo zasunuto jako první. Při použití hydraulického válce není problém zpoždění nastavit.



Obrázek 84 Ukázka systému bočního odformování pomocí hydraulického válce

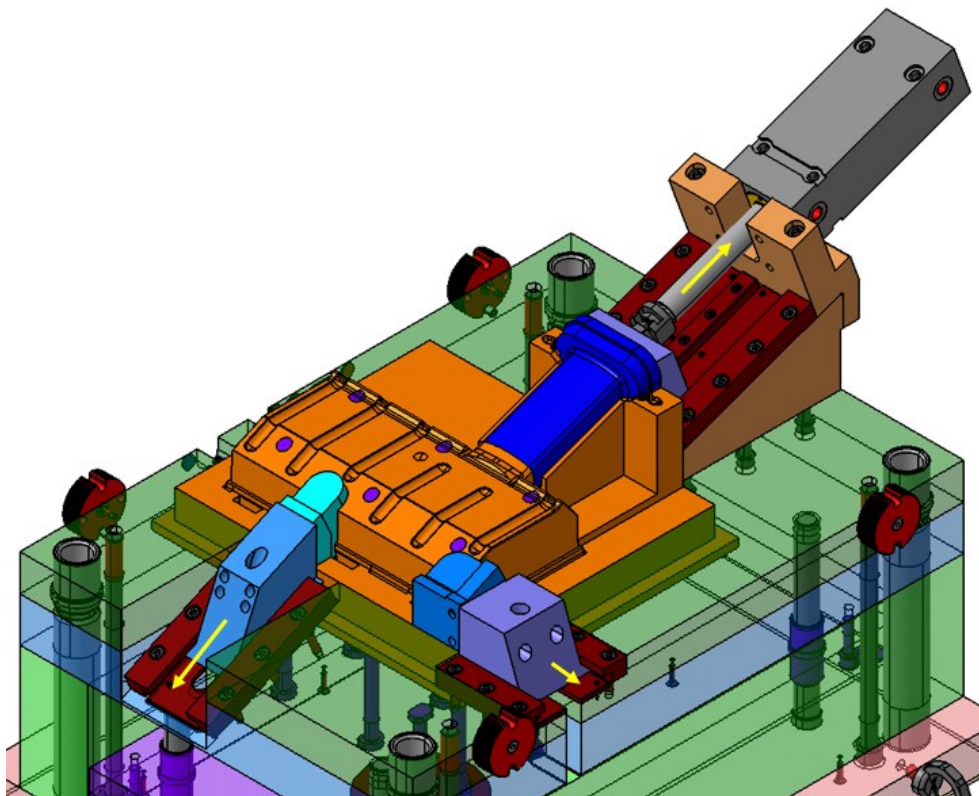
System odformování tvarového jádra se skládá z několika komponent. Na obrázku 84 je zobrazen celý systém bočního odformování. K tvarovému jádru je přišroubován vodící díl, který je ukotven kolejnici a vystředěn středící kluznou deskou. Těmito komponentami je zajištěna pohyblivost pouze v jednom směru. Pro minimální tření je vodící díl usazen na kluzných deskách vyrobených, stejně jako středící kluzná deska, z uhlíkové oceli. Spojení válce zajišťuje spojka skládající se ze dvou částí, a to čepu a hlavy. Válec je přišroubován čtyřmi šrouby k opěrné desce.

Boční posuvné čelisti jsou ovládány mechanickým způsobem pomocí šikmých kolíků. Jsou ukotveny na levé straně formy, přičemž se mohou pohybovat pouze v jedné ose. Šikmé kolíky jsou pod určitým úhlem pevně ukotveny na pravé straně formy. Při otevírání formy se vlivem sklonu šikmého kolíku boční posuvné čelisti pohybují. Vzdálenost vysunutí je dána délkou a úhlem šikmých kolíků.



Obrázek 85 Ukázka systému bočního odformování mechanickým způsobem

System bočního odformování mechanickým způsobem je poměrně složitý systém skládající se z několika komponent, viz obrázek 85. Důležitou součástí je vodící díl, ke kterému je přišroubována tvarová čelist. Tento vodící díl je ukotven tak, aby se opět pohyboval pouze v jedné ose. V tomto případě je vedení vodícího dílu zajištěno pouze kolejnicemi přišroubovanými k rámu levé strany formy. I zde je vodící díl posazen na kluzné desce vyrobené z uhlíkové oceli. Aby tvarová čelist zůstala ve vysunutě poloze přesně tam kde má, zajistí se aretací posuvného dílu tak, že se její pohyblivá část zasune do západky.



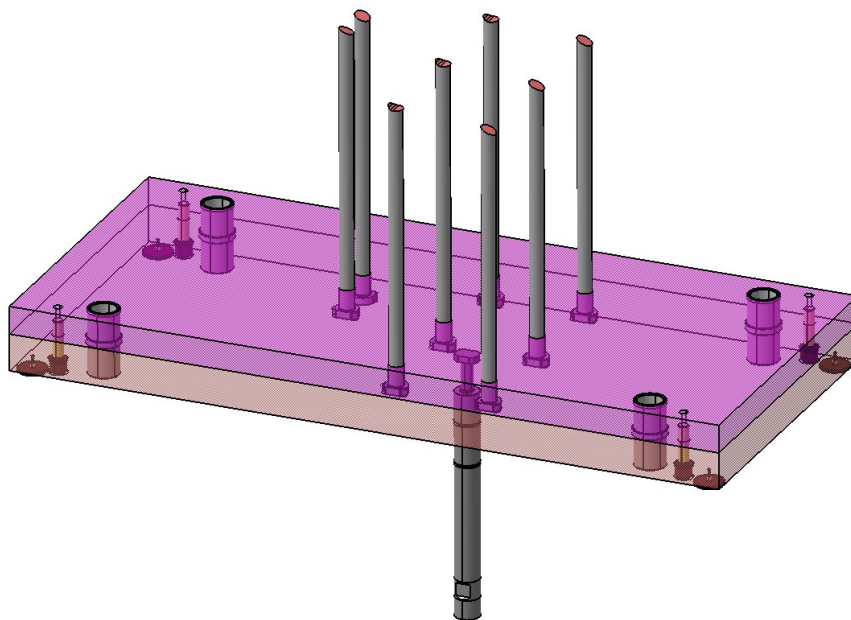
Obrázek 86 Pohled na systém odformování tvarových částí dutiny

8.6 Vyhazovací systém

Navržený vyhazovací systém pro danou součást se skládá z kotevní vyhazovací desky, opěrné vyhazovací desky, táhla, vyhazovacích kolíků, dosedek, spojovacích elementů a vodících elementů, viz obrázek 87. Rozměr obou vyhazovacích desek je 696 x 320 mm, tloušťka kotevní desky je pak 27 mm a opěrné desky 36 mm.

Vyhazovací systém obsahuje osm vyhazovacích kolíků o průměru 14 mm. Kolíky kopírují povrch dutiny formy, jsou tedy tvarově zajištěny proti pootočení. Jedná se o vyhazovací kolíky s označením E 1711 od firmy Meusburger. Z obrázku 87 je patrné, že kolíky jsou obrobena se čtyřmi různými tvarovými plochami.

Uchycení kolíků ve vyhazovacím paketu obstarává kotevní vyhazovací deska spolu s opěrnou vyhazovací deskou, která zajišťuje kolíky proti vysunutí. Obě desky jsou pak pevně spojeny čtyřmi šrouby. Celý vyhazovací systém je ovládán táhlem upevněným ve vstřikovacím stroji. Ve vyhazovacím paketu je táhlo upevněno pomocí šroubu s tvarovou hlavou, který je ukotven, stejně jako vyhazovací kolíky, v kotevní vyhazovací desce a zajištěn opěrnou vyhazovací deskou. Počáteční polohu celého vyhazovacího paketu zabezpečují čtyři dosedky přišroubované k opěrné vyhazovací desce.



Obrázek 87 Vyhazovací systém

Vedení a středění temperačního systému je zabezpečeno vodícími elementy. Systém obsahuje čtyři vodící kolíky E 1030 a čtyři vodící pouzdra E 11202 od firmy Meusburger. Vodící kolíky jsou ukotveny v levé upínací desce a proti vysunutí zabezpečeny izolační deskou a následně deskou vstřikovacího stroje.

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 820 S 400 tons (70 mm). Jedná se o vstřikovací stroj společnosti ARBURG. Stroj byl volen na základě parametrů vstřikovací formy, viz tabulka 4.

Tabulka 4 Porovnání parametrů stroje a formy [34]

Parametr	Hodnoty formy	Hodnoty stroje
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	696 x 596 mm	820 x 820 mm
Potřebný prostor pro formu	1 200 x 680 mm	1 228 x 1 228 mm
Výška formy	582 mm	350 – 850 mm
Uzavírací síla	1 387 kN	4 000 kN
Vstřikovací tlak	25,4 MPa	200 MPa
Objem vstřiknuté dávky	407,1 cm ³	1 078 cm ³
Průměr šneku	–	70 mm
Průměr středícího kroužku	160 mm	160 mm

Při vkládání formy na upínací desku bude zapotřebí nejprve vytáhnout jeden vodící sloup, aby nedošlo k poškození hydraulického válce. Vzhledem k tomu, že středící kroužek není v ose vstřikovací formy, je potřeba větší vzdálenosti mezi vodícími sloupy stroje, proto byl navržen stroj se vzdáleností mezi vodícími sloupy 820 mm. Dále bylo nutné zkontrolovat, zda se forma vleze do pracovního prostoru vstřikovacího stroje, jelikož poměrně velký prostor využívá hydraulický válec. V tabulce 4 je udána pouze velikost upínací desky (1 228 x 1 228 mm), pracovní prostor stroje je ještě o něco větší, forma se tedy do stroje bez problémů vleze.



Obrázek 88 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 820 S od firmy ARBURG [35]

10 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI POMOCÍ ANALÝZY V MOLDFLOW

Tato část diplomové práce se bude zabývat nastavením analýzy pro navrženou vstřikovací formu. Následně zde budou ukázány a popsány její výsledky. Analýza se dělí na tři kapitoly – analýza plnění a dotlaku, analýza chlazení a analýza smrštění a deformace. V kapitole 10.3 a v kapitole 10.4 budou uvedeny výsledky obou navržených temperačních systémů.

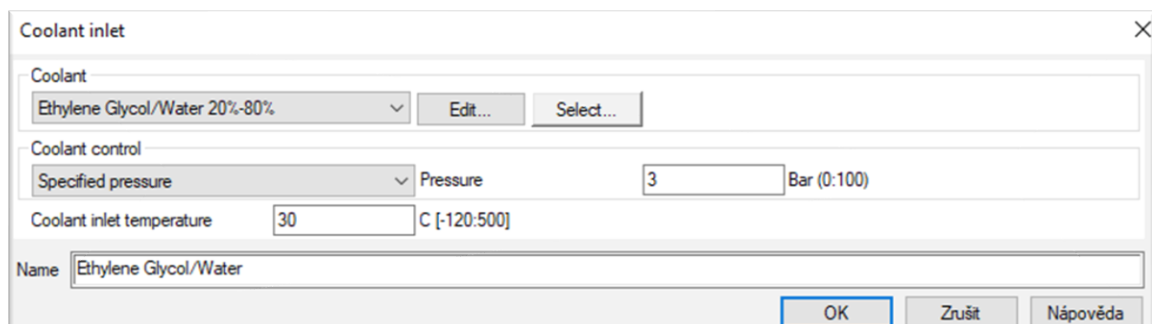
Tato analytická část byla provedena v programu Autodesk MoldFlow Synergy.

10.1 Nastavení analýzy

Nejprve se po nahrání modelu do programu MoldFlow vytvořila jeho síť, která se následně zkontrolovala. Tato část je již popsána v kapitole 7.2 (vytvoření sítě). Následně byly do programu vloženy trajektorie vtokového systému a temperačního systému ve formátu *.igs. Trajektorie obou systémů byly vytvořeny v programu CATIA V5R19. Dále bylo třeba zadat trajektoriím jejich vlastnosti a provést vysít'ování.

Po vysít'ování trajektorií se zadal typ analýzy – *Cool + Fill + Pack + Warp*. Nastavil se již zvolený materiál Hostacom G3 R11 od výrobce LyondellBassel. Informace o materiálu jsou uvedeny v kapitole 7.1 (materiál součásti) a podrobnější údaje v materiálovém listu, viz příloha I.

Na začátek vtokového systému byl umístěn ukazatel znázorňující místo vstřiku. U temperačního systému je to podobné, jen se zde ještě musely nastavit vlastnosti temperačního média. Vlastnosti temperačního média byly už zmiňovány v kapitole 8.4.3. Pro lepší přehlednost jsou nastavené vlastnosti temperačního média uvedeny na obrázku 89.



Obrázek 89 Vlastnosti temperačního média

Dalším krokem bylo vytvoření fiktivního bloku vstřikovací formy, který velikostně odpovídá hodnotám navržené vstřikovací formy, viz kapitola 8.2.

Posledním krokem před samotným spuštěním analýzy bylo třeba nastavit procesní podmínky. Velká část procesních podmínek byla určena dle materiálového listu. V tabulce 5 jsou uvedeny nastavené procesní parametry.

Tabulka 5 Nastavené procesní parametry

Parametr	Nastavená hodnota
Teplota taveniny (<i>Melt temperature</i>)	245 °C
Čas otevření formy (<i>Mold – open time</i>)	5 s
Teplota povrchu formy (<i>Mold surface temperature</i>)	45 °C
Teplota vyhození výrobku (<i>Ejection temperature</i>)	110 °C
Minimální procento zamrzlých vrstev při vyhození (<i>Minimum part frozen percentage at ejection</i>)	90 %
Čas vstřikování (<i>Injection time</i>)	1 s
Přepnutí na dotlak po procentuálním zaplnění dutiny (<i>By % volume filled</i>)	98 %

Dále byla v procesních podmínkách zaškrtnuta analýza orientace vláken (*Fiber orientation analysis if fiber materiál*), jelikož materiál je plněný skelnými vlákny. Zvolil se vstřikovací stroj. Materiál vstřikovací formy byl ponechán P-20. A v posledním kroku se nastavilo, aby se uvažovala teplotní roztažnost formy (*Consider mold thermal expansion*) a aby se izolovaly příčiny deformací (*Isolate cause of warpage*).

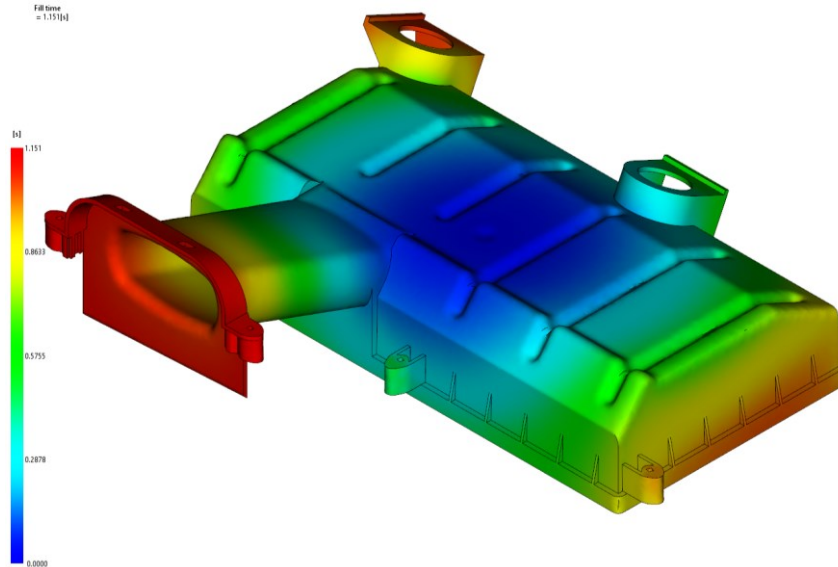
10.2 Vyhodnocení výsledků analýzy plnění a dotlaku

Tato kapitola se bude zabývat analýzami týkajícími se plnění a dotlaku. Bude zde uvedena analýza času plnění dutiny formy, analýza působení tlaku v dutině formy během vstřikování, analýza potenciálního výskytu vzduchových kapes, analýza potenciálního výskytu studených spojů a také zde bude ukázán průběh velikosti uzavírací síly.

10.2.1 Čas plnění (*Fill time*)

Na obrázku 90 je ukázán výsledek analýzy plnění dutiny formy. Barevné spektrum ukazuje, v jaké části je dutina zaplněna nejrychleji a kde nejpozději. Pokud by nastala situace, že by někde místo bylo šedé, znamenalo by to nedotečení materiálu v tomto místě

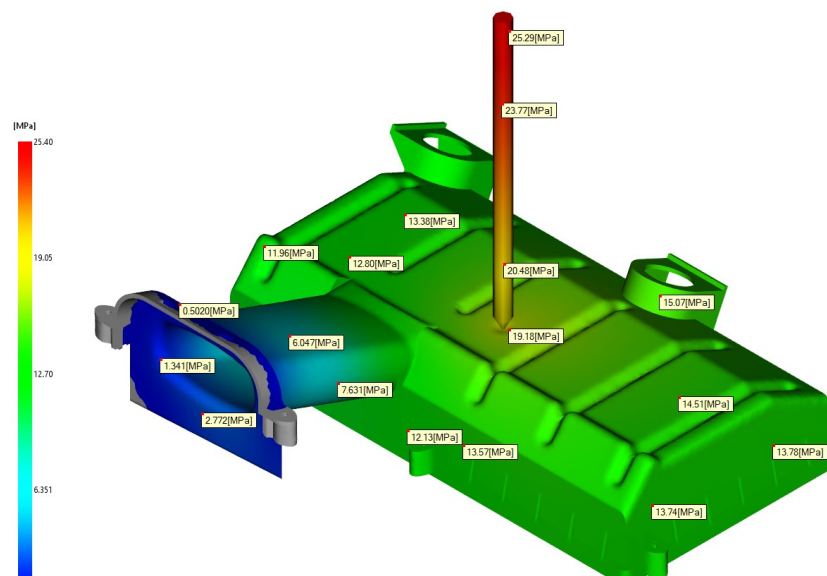
a musely by se měnit procesní podmínky případně celý vtokový systém. Tato situace nenastala a celá dutina formy se zaplní přibližně za 1,151 s, což téměř odpovídá i nastavenému času v procesních podmínkách.



Obrázek 90 Čas plnění dutiny formy

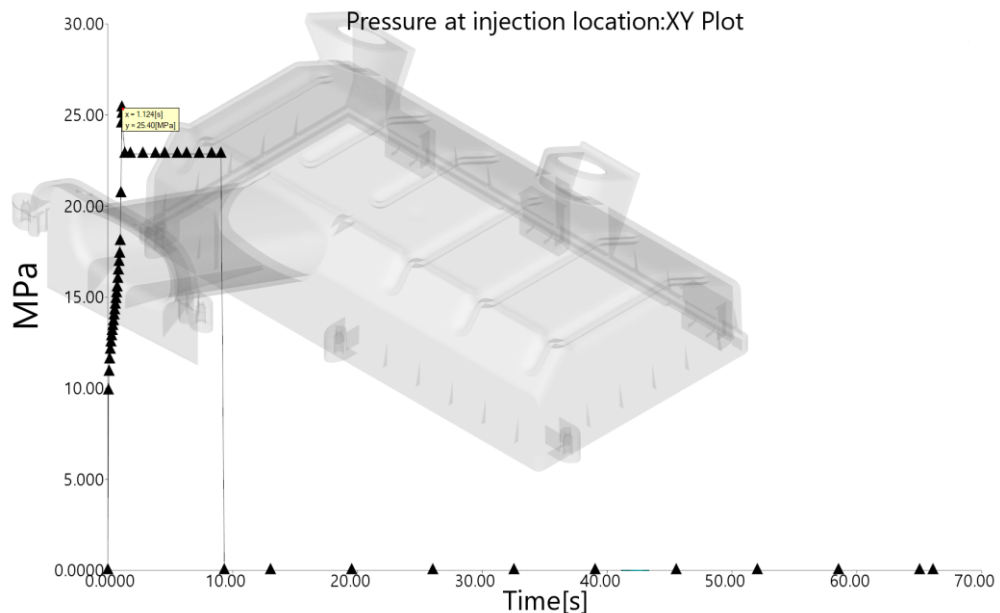
10.2.2 Působení tlaku během vstřikovacího procesu (*Pressure at V/P switchover*)

Tato analýza ukazuje tlak působící v dutině formy během vstřikovacího procesu. V dutině formy působí největší tlak v oblasti vtoku materiálu. Směrem od této oblasti se tlak postupně snižuje. Stupnice vlevo na obrázku 91 ukazuje nejvyšší hodnotu tlaku 25,4 MPa. Tento tlak působí na začátku vtokového systému.



Obrázek 91 Tlak působící v dutině formy během vstřikování

Na obrázku 92 je zobrazen graf závislosti tlaku na čase. Během vstřikování tlak prudce vzroste a dle nastavených procesních podmínek, kde je nastaveno přepnutí na dotlak po zaplnění 98 % dutiny formy, se v čase 1,124 s proces přepne na dotlakovou fázi. Tlak mírně poklesne a po ukončení dotlakové fáze klesne na nulovou hodnotu.

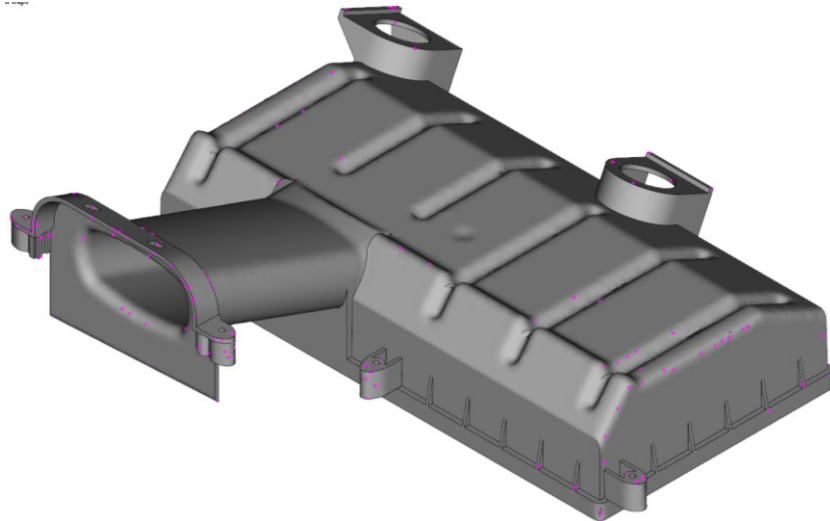


Obrázek 92 Závislost tlaku na čase během vstřikovacího procesu ve vtokovém ústí

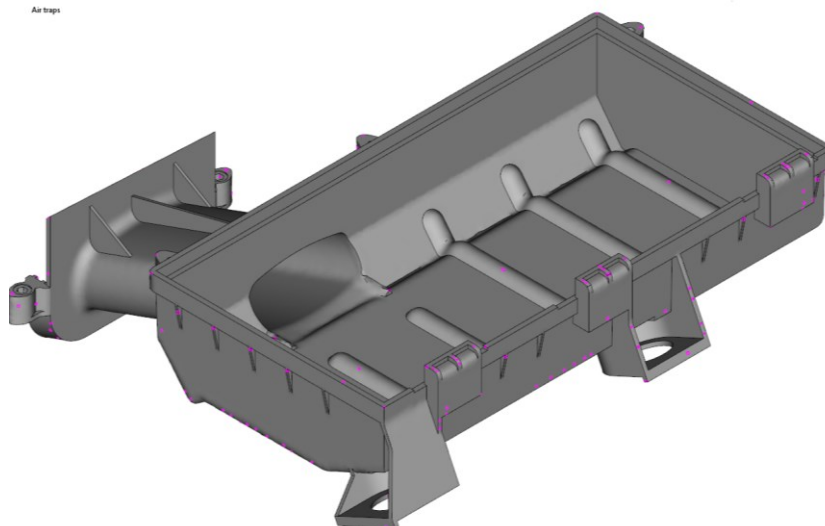
10.2.3 Vzduchové kapsy (*Air traps*)

Na obrázku 93 a obrázku 94 je zobrazen potenciální výskyt vzduchových kapes, které jsou vyznačeny růžovými hranicemi. Vzduchové kapsy mohou vzniknout v důsledku špatného odvzdušnění dutiny formy nebo z důvodu spojení čel proudu taveniny. Do těchto míst se poté nedostane materiál z důvodu „vzduchového polštáře“. Uzavřený vzduch negativně ovlivňuje vzhled a kvalitu součásti. V nejhorším případě může dojít až ke spálení výrobku, jedná se o tzv. *Dieselův efekt*.

Nejvíce potencionálních vzduchových míst může vzniknout z přední a zadní strany součásti. Zde je ovšem předpoklad, že vzduch unikne dělicími rovinami. V případě, že by dělicí roviny na odvod vzduchu nestačily, musely by se vytvořit odvzdušňovací kanálky v místech, kde by vznikaly nedokonalosti. Tato operace by případně probíhala až při zkoušení formy.



Obrázek 93 Výskyt potenciálních vzduchových kapes z vnější strany součásti



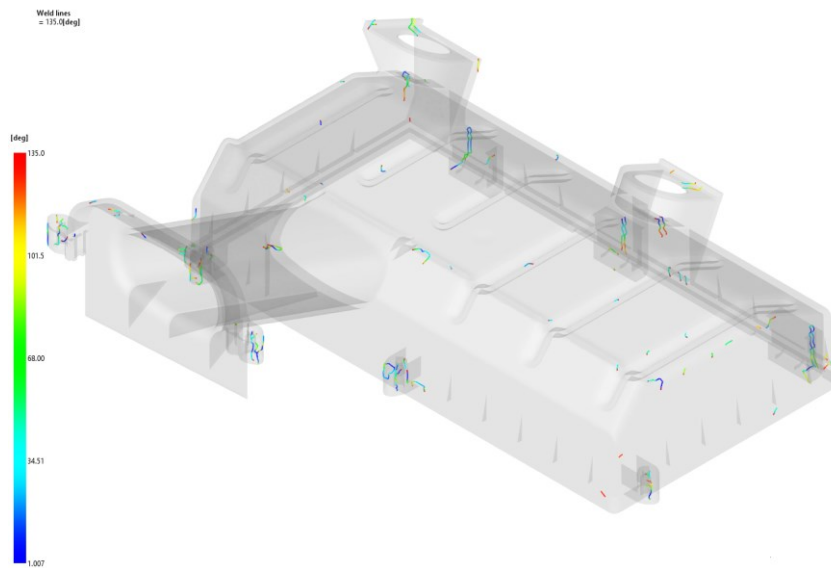
Obrázek 94 Potenciální výskyt vzduchových kapes z vnitřní strany součásti

10.2.4 Studené spoje (*Weld lines*)

Dalším negativním jevem vznikajícím při plnění dutiny může být výskyt studených spojů. Jedná se o místa, kde dochází ke spojení dvou „chladných“ čel taveniny. Pokud se studené spoje nachází v mechanicky namáhané oblasti, mohou zapříčinit zborcení součásti. Zároveň se mohou projevit i na vzhledu.

Výskyt potencionálních studených spojů na dané součásti je zobrazen na obrázku 95. Jedná se zejména o úchyty s průchozím otvorem. Tato místa obsahují menší objem materiálu a mají poměrně velkou vzdálenost od vtokového ústí. Výsledkem může být chladnější tavenina. Vzhledem k tomu, že otvory v úchytech budou pravděpodobně obtékány

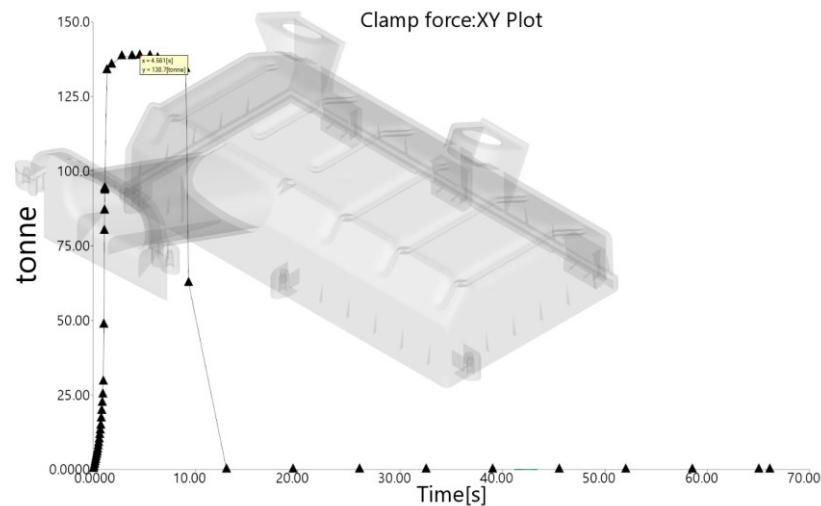
z obou stran, je výskyt studeného spoje v těchto místech více pravděpodobný než v jiných místech součásti.



Obrázek 95 Potenciální výskyt studených spojů

10.2.5 Velikost uzavírací síly (*Clamp force*)

Velikost uzavírací síly vstřikovacího stroje nesmí být překročena, jinak by mohlo dojít k pootevření vstřikovací formy, což je nepřijatelné. Tento parametr je jedním z nejdůležitějších při volbě vstřikovacího stroje. V tabulce 4 je uvedena velikost uzavírací síly zvoleného vstřikovacího stroje, tato hodnota nesmí být při vstřikování překročena. Na obrázku 96 lze vyzorovat, že uzavírací síla nepřekročí hodnotu 140 tun, tedy 1 400 kN. Tato hodnota ani zdaleka uzavírací sílu vstřikovacího stroje nepřekračuje. Lze tedy říci, že zvolený vstřikovací stroj požadavek potřebné uzavírací síly splňuje.



Obrázek 96 Průběh velikosti uzavírací síly

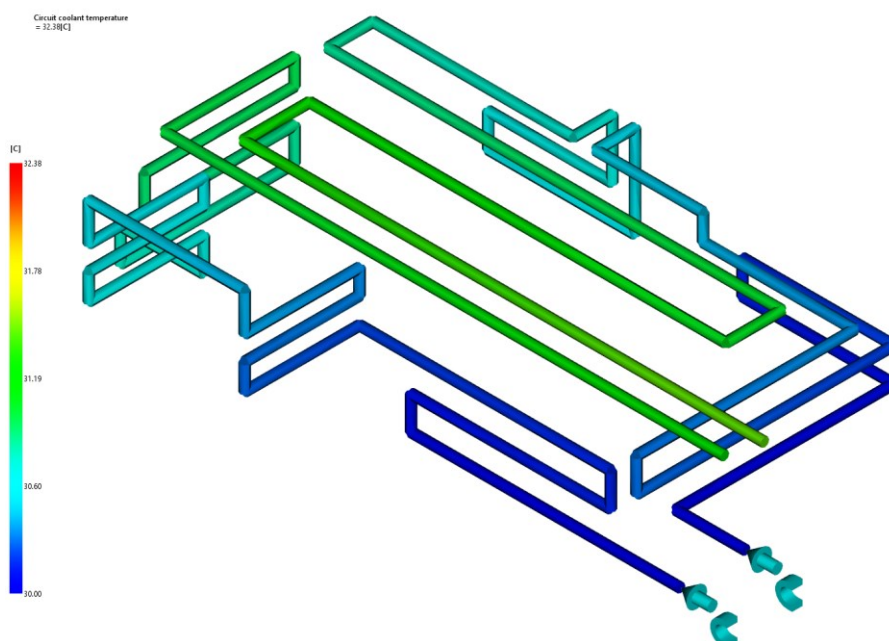
10.3 Vyhodnocení výsledků analýzy chlazení

Tato kapitola se bude zabývat analýzami týkajícími se teploty formy a teplotního média. Výsledné hodnoty analýz budou uvedeny pro oba navržené teplotní systémy. Jak už bylo zmiňováno, pro oba teplotní systémy bylo zvoleno stejné teplotní médium se stejnými pracovními podmínkami.

V následujících podkapitolách budou uvedeny analýzy týkající se teploty a tlaku teplotního média, čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty, velikost Reynoldsova čísla a účinnost odvodu tepla teplotním systémem.

10.3.1 Teplota teplotního média v teplotním systému (*Circuit coolant temperature*)

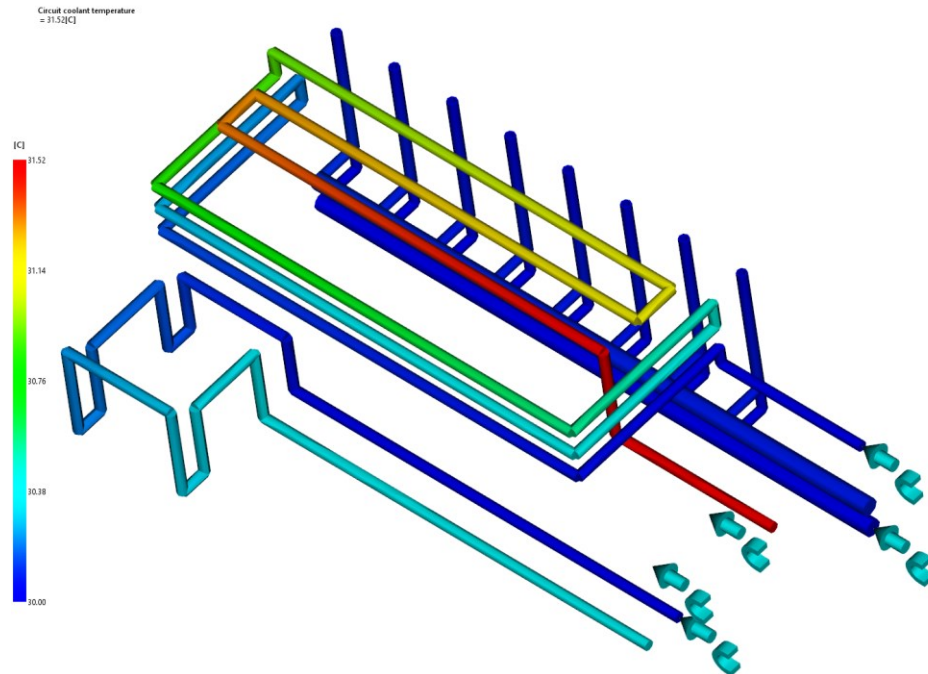
Tato analýza ukazuje teplotu teplotního média v teplotních kanálech. Na prvním obrázku (obrázek 97) je zobrazen průběh teploty v teplotním systému tvárnice. Vstupující teplotní médium zde má teplotu 30 °C, viz obrázek 89. Vystupující teplotní médium má teplotu kolem hodnoty 31,2 °C. Teplotní spád tohoto teplotního systému není větší než 1,5 °C, což je zcela v pořádku vzhledem k tomu, že doporučeně by se měl teplotní spád pohybovat do 3 °C.



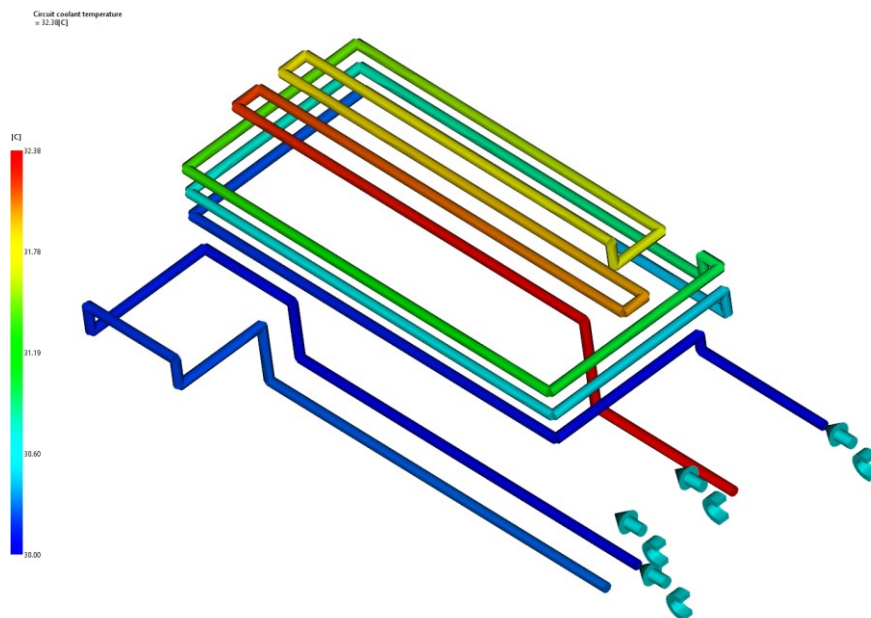
Obrázek 97 Teplota teplotního média v teplotním systému tvárnice

Na obrázku 98 je uvedena teplota teplotního média proudícího v prvním navrženém teplotním systému tvárnice a na obrázku 99 v druhém navrženém teplotním systému tvárnice. Stejně jako v předchozím případě je vstupující teplota média stanovena na 30 °C.

Jak je z obrázků zřejmé, ani u jednoho temperačního systému nepřesáhne teplotní spád hodnotu 3 °C. V případě prvního systému je tlakový spád přibližně 1,5 °C a v druhém systému přibližně 2,4 °C.



Obrázek 98 Teplota temperačního média v prvním temperačním systému tvárníku

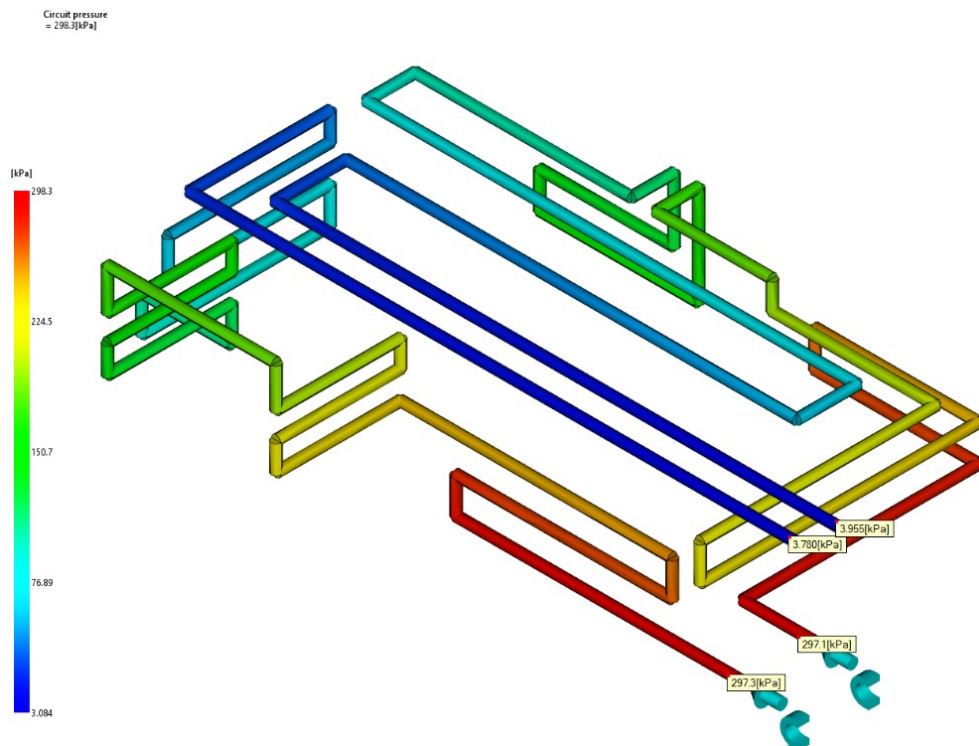


Obrázek 99 Teplota temperačního média v druhém temperačním systému tvárníku

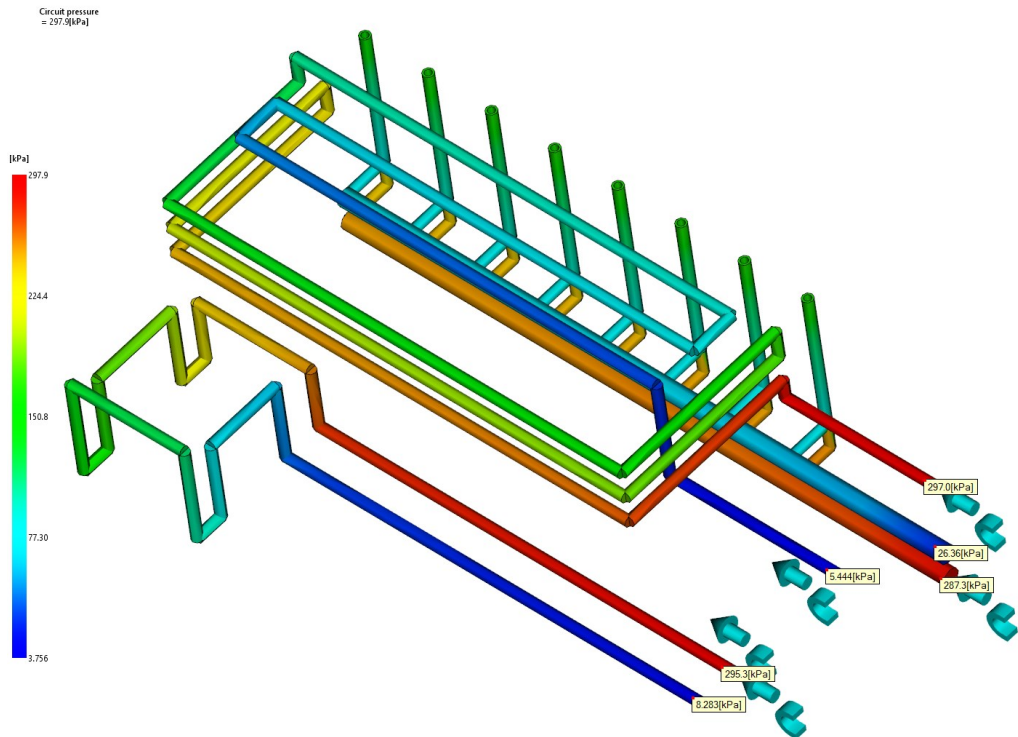
10.3.2 Tlak působící v temperačním systému (*Circuit pressure*)

V temperačním systému musí po celé dráze působit tlak. Nesmí dojít k tomu, že by v některém místě byla nulová hodnota. Znamenalo by to, že temperační médium v tomto místě neproudí, jednalo by se o tzv. mrtvé místo.

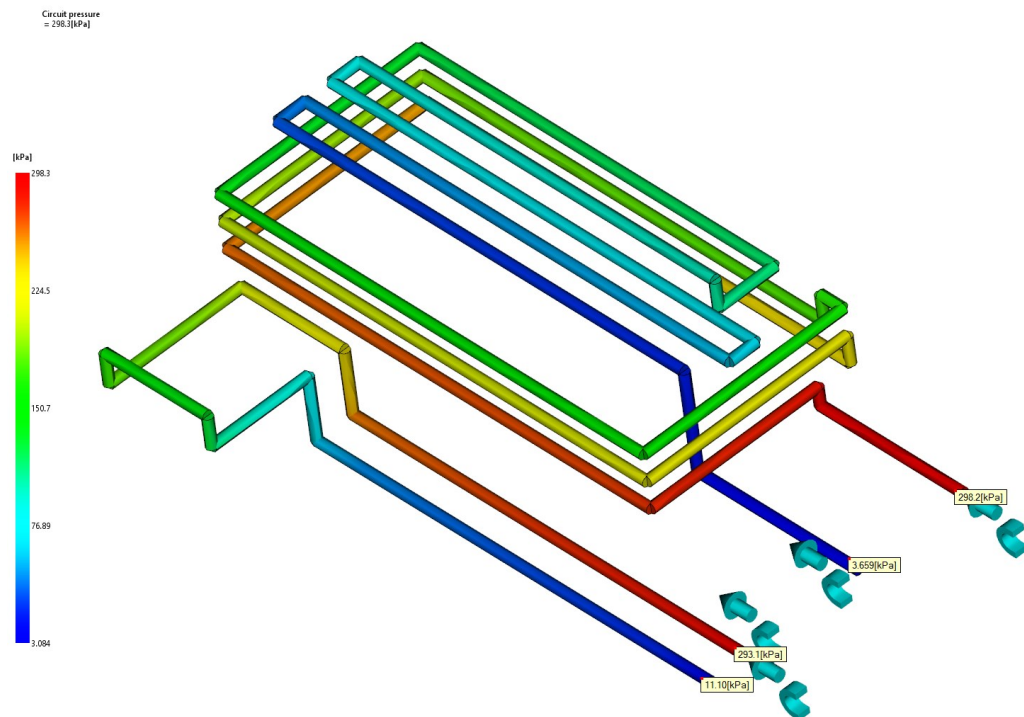
Tato analýza ukazuje průběh tlaku temperačního média v jednotlivých okruzích temperačního systému. Z obrázků níže (obrázek 100, obrázek 101 a obrázek 102) je očividné, že na vstupu je hodnota tlaku média nejvyšší a postupně se spotřebovává. Rozdíl hodnot na vstupu a na výstupu je podstatný, avšak ani jeden ze systémů nevykazuje žádná „mrtvá místa“, čímž je podmínka působení tlaku po celé délce okruhů splněna.



Obrázek 100 Tlak temperačního média působící v temperačním systému tvárnice



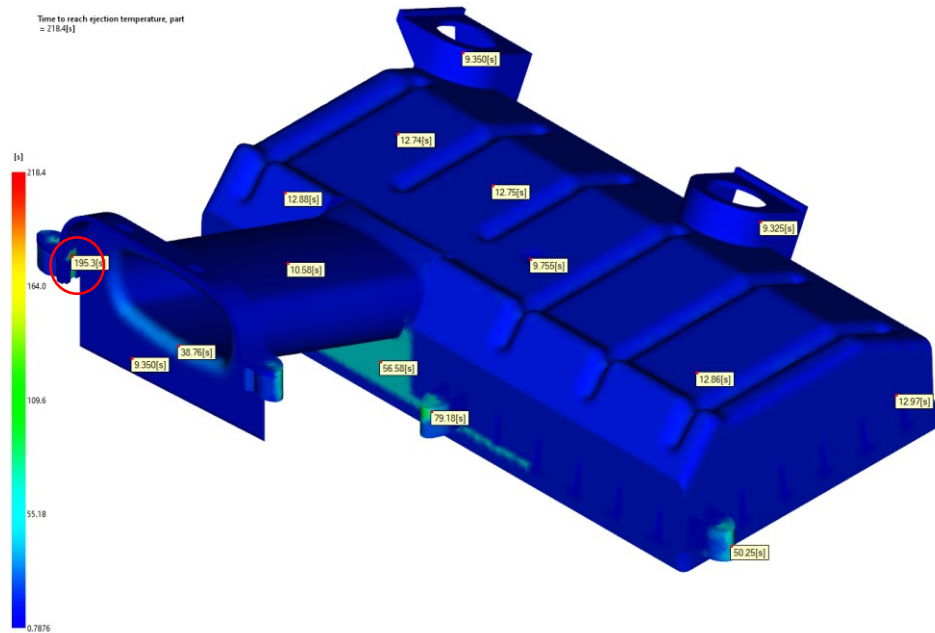
Obrázek 101 Tlak temperačního média působící v prvním temperačním systému tvárníku



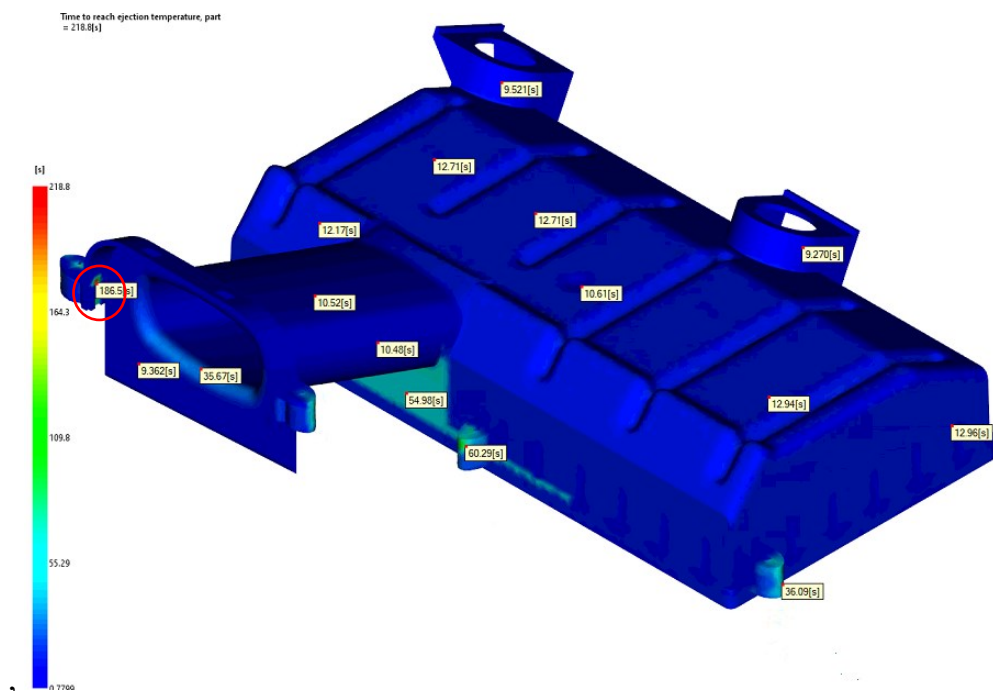
Obrázek 102 Tlak temperačního média působící v druhém temperačním systému tvárníku

10.3.3 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (*Time to reach ejection temperature*)

Z ekonomického hlediska se jedná o jednu z nejdůležitějších analýz. Analýza ukazuje, kdy je možné výrobek z formy vytáhnout, aniž by došlo k jeho poškození. V procesních podmínkách byla zadána teplota vyhození na 110 °C, viz tabulka 5. Této teploty se v různých oblastech dosáhne v různé časy, viz obrázek 103 a obrázek 104.



Obrázek 103 Čas vyhození výrobku při použití první teploty

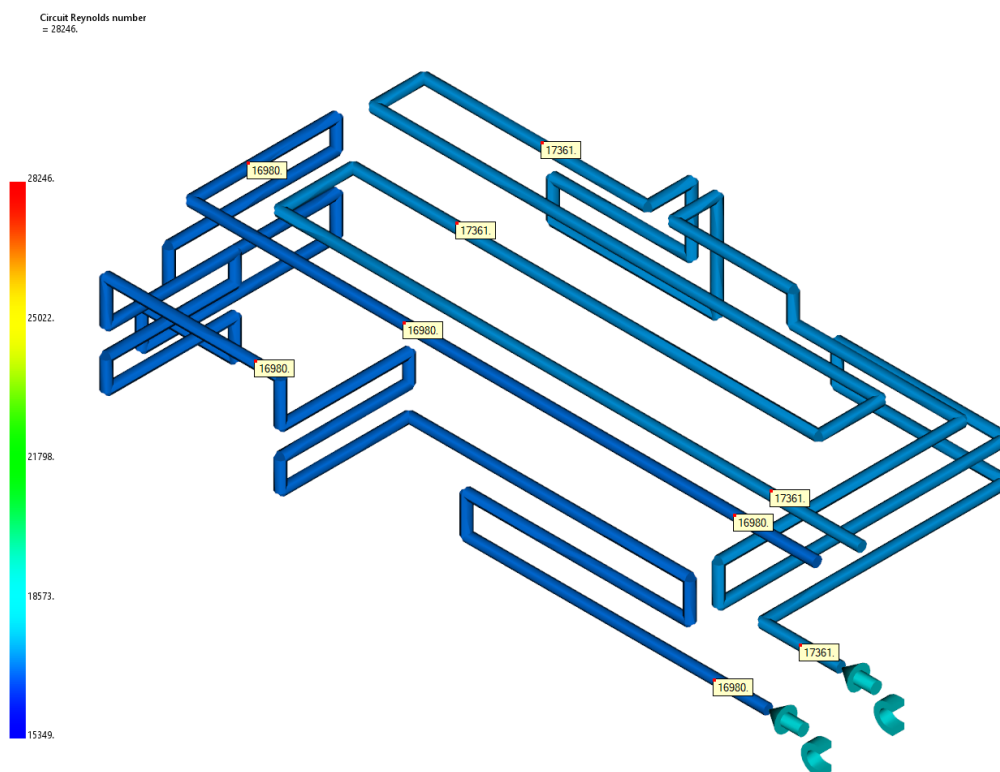


Obrázek 104 Čas vyhození výrobku při použití druhé teploty

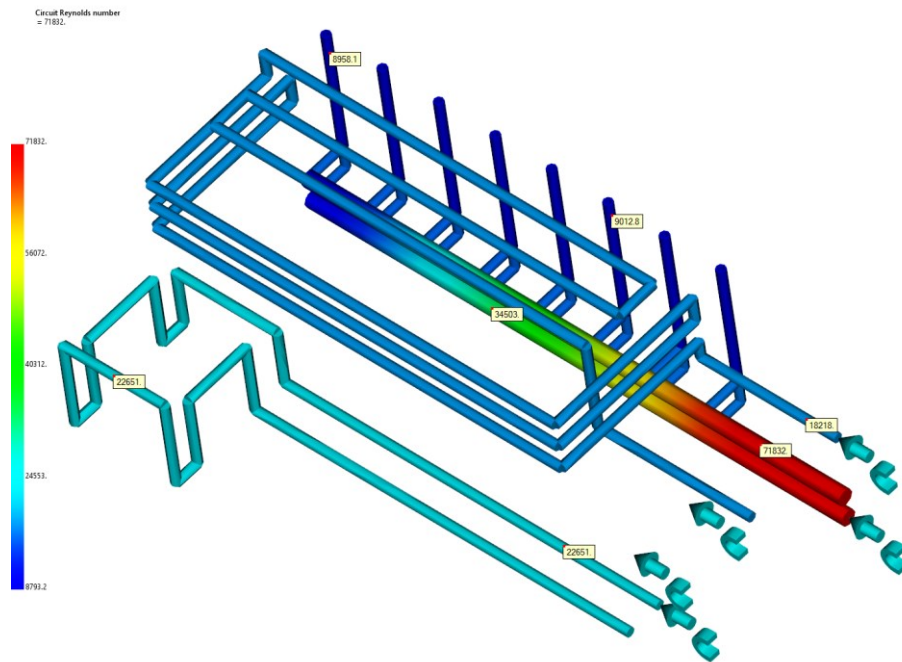
Nejvyšší čas je pro obě teploty téměř totožný, první teplota má hodnotu 208,4 s a druhá 208,8 s. Oblast s tímto vysokým časem je na obrázcích zvýrazněna červeným kruhem. Jedná se o velmi malou část na výrobku, kde nepůsobí vyhazovací kolíky ani jiná síla. Z toho důvodu se při zadávání vyhazovacího času do vstřikovacího stroje na tuto oblast nemusí brát ohled. V obou případech je v místech, kde jsou vyhazovací kolíky, čas kolem 13 s, což by se mohlo považovat jako vyhazovací čas. Avšak v oblasti, kde začíná jádro výrobku, je čas kolem 55 s. Tato oblast by se mohla při dřívějším vyhození poškodit, proto se čas vyhození bude odvíjet od času v této oblasti.

10.3.4 Reynoldsovo číslo (*Circuit Reynolds number*)

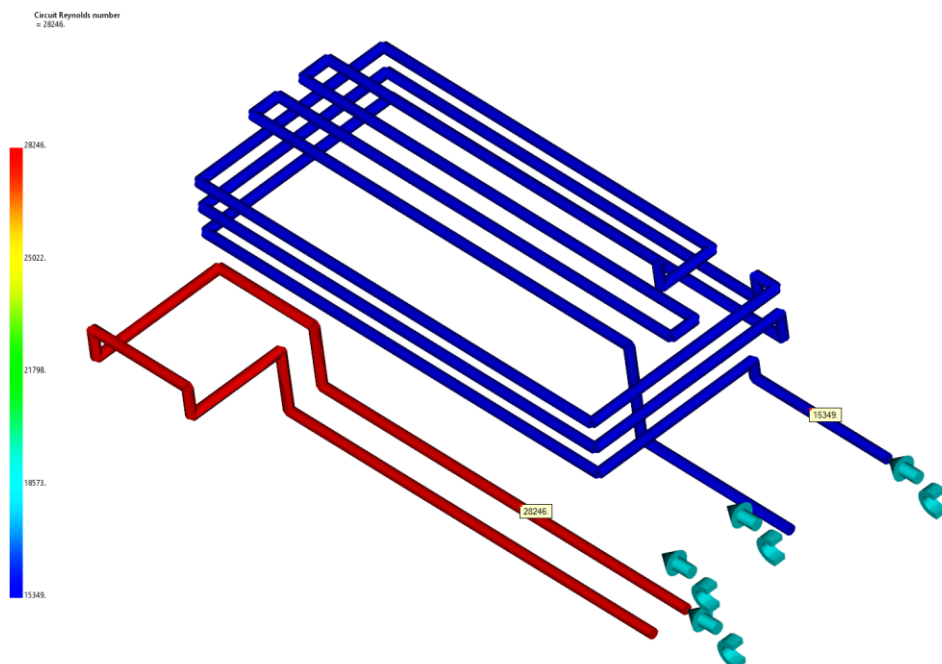
Reynoldsovo číslo říká, zda se jedná o laminární proudění nebo o turbulentní proudění. V temperačních okruzích by mělo mít temperační médium turbulentní proudění kolem hodnoty Reynoldsova čísla 10 000, aby se docílilo co nejlepší účinnosti odvodu tepla z dutiny formy. Z obrázků níže (obrázek 105, obrázek 106 a obrázek 107) je patrné, že turbulentní proudění nevzniká pouze u paralelních trysek v první teplotě tvárníku. Ve všech ostatních okruzích je hodnota Reynoldsova čísla větší než 10 000.



Obrázek 105 Reynoldsovo číslo teploty tvárnice



Obrázek 106 Reynoldsovo číslo první temperace tvárníku

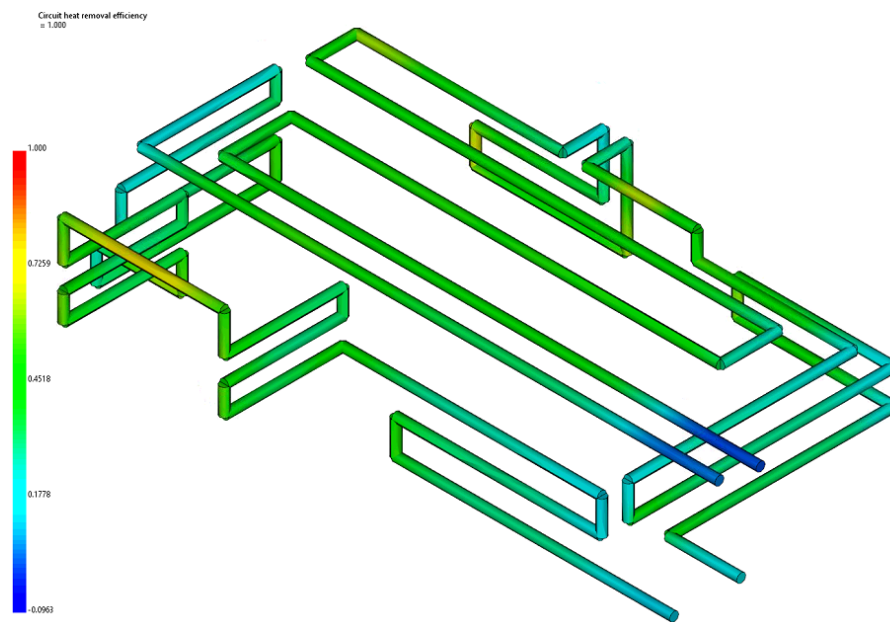


Obrázek 107 Reynoldsovo číslo druhé temperace tvárníku

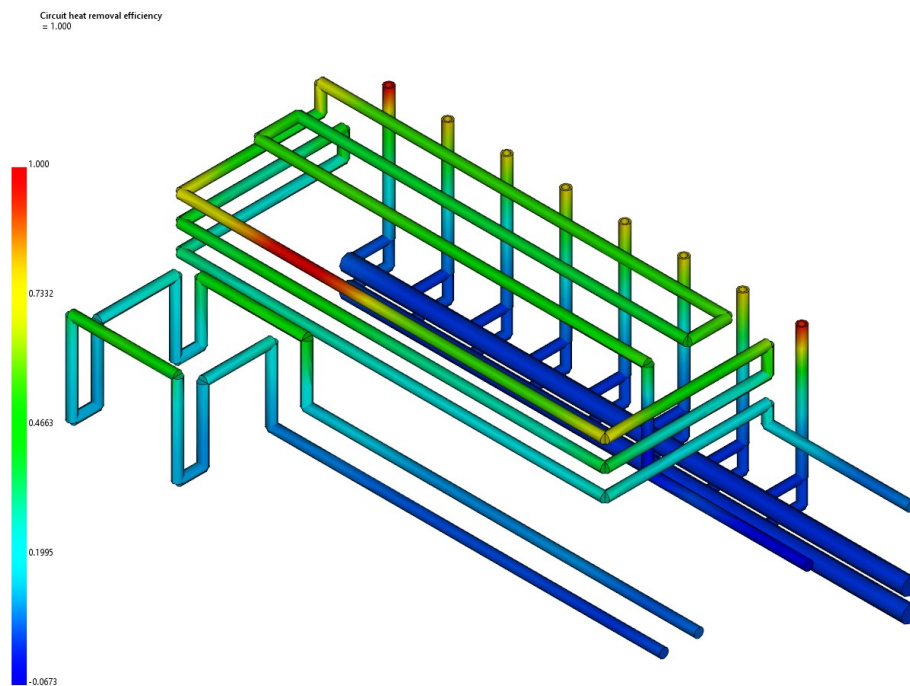
10.3.5 Účinnost odvodu tepla temperačního systému (*Circuit heat removal efficiency*)

Tato analýza vyhodnocuje, kde temperační systém odvádí teplo nejvíce a kde naopak vůbec. Výsledek analýzy je vyjádřen v procentech, přičemž v místech, které jsou vykresleny červeně, je odvod tepla nejúčinnější. Na stupnici nacházející se na levé straně obrázků (obrázek 108, obrázek 109 a obrázek 110) obsahuje hodnotu se záporným znaménkem. Znamená to, že v této části temperace teplo neodvádí, ale naopak přivádí.

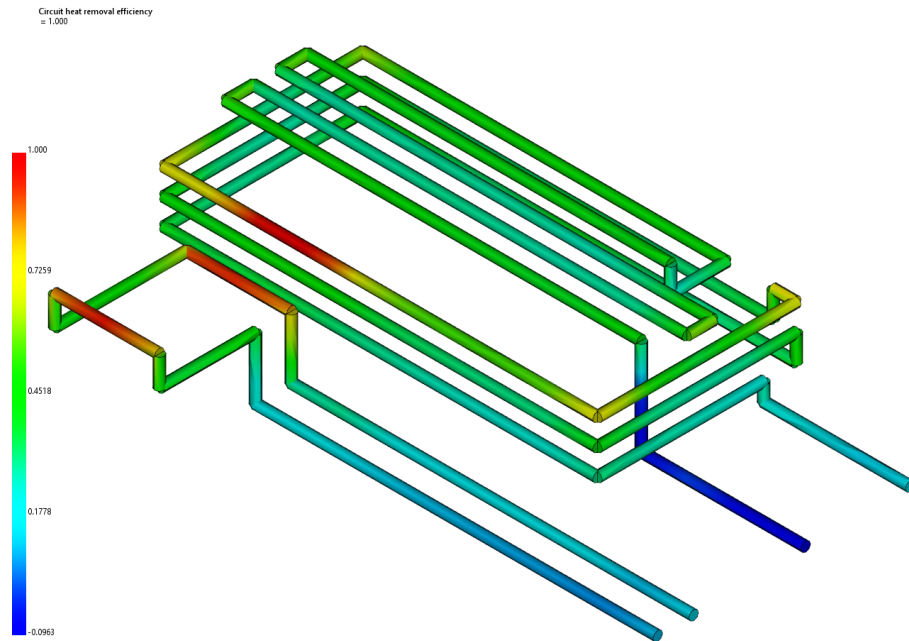
Temperační systém tvárnice má účinnost odvodu tepla z dutiny formy kolem 40 až 50 %. Nejvyšší účinnost je v oblasti jádra. První temperační systém tvárníku má nejvyšší efektivitu odvodu tepla v oblasti rohů a v oblasti, kde se napojuje jádro. Druhý temperační systém tvárníku odvádí nejvíce tepla v oblasti jádra součásti. Ve výsledku mají všechny tři temperace podobnou účinnost odvodu tepla z dutiny formy.



Obrázek 108 Účinnost odvodu tepla temperačním systémem tvárnice



Obrázek 109 Účinnost odvodu tepla prvním temperačním systémem tvárníku



Obrázek 110 Účinnost odvodu tepla druhým temperačním systémem tvárníku

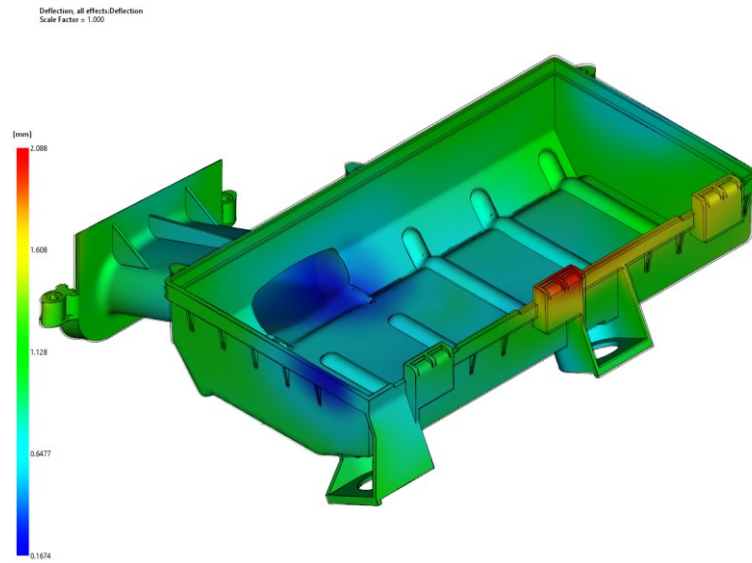
10.4 Vyhodnocení výsledků analýzy smrštění a deformace

V této kapitole bude uvedena analýza týkající se smrštění a deformace. Bude se jednat o analýzu celkové deformace od všech efektů. Budou zde uvedeny výsledky obou navržených temperačních systémů.

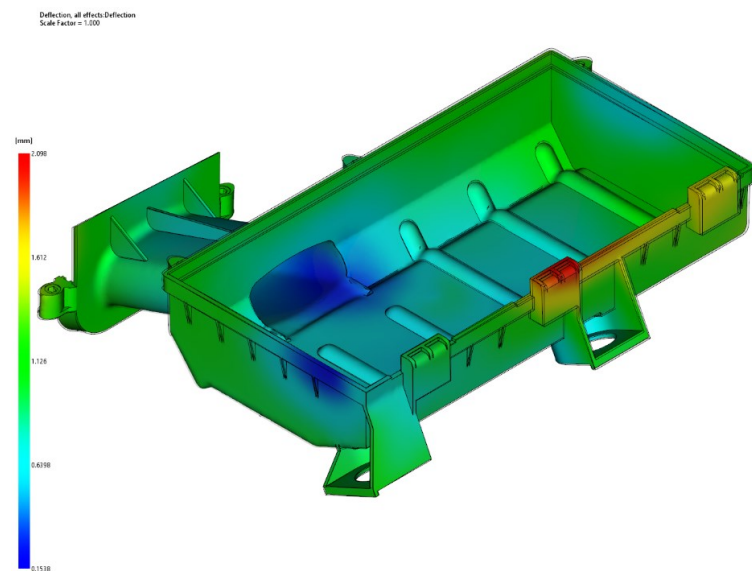
Celková deformace od všech efektů (*Deflection, all effects*)

Na obrázku 111 je zobrazena analýza zabývající se celkovou deformací výrobku. Jedná se o analýzu zahrnující deformace vlivem smrštění materiálu a vlivem chlazení. Ze stupnice nalevo je zřejmé, že deformace jsou poměrně vysoké, dosahují hodnoty až 2,088 mm. Při použití druhé temperace je deformace ještě o 2 setiny milimetru větší, viz obrázek 112, ve výsledku je však tato hodnota zcela zanedbatelná. Tato vysoká hodnota deformace je pouze na přední straně součásti na středním úchyty. Ostatní oblasti na výrobku se nacházejí ve světle modré až zelené oblasti barevného spektra. Při návrhu dutiny formy by velikosti celkové deformace měly být zohledněny a dutina by měla být o tyto hodnoty zvětšena.

Pokud by vystříknutá součást nebyla v souladu s hodnotami na výkrese, bylo by zapotřebí upravit procesní podmínky, temperační systém, případně dutinu formy.



Obrázek 111 Celková deformace od všech efektů při použití první teploty



Obrázek 112 Celková deformace od všech efektů při použití druhé teploty

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro navrženou vstřikovací formu byly vytvořeny dva temperační systémy. Geometrie obou temperačních systémů jsou popsány v kapitole 8.4. První návrh je nazván jako „První temperační systém“ a druhý jako „Druhý temperační systém“. Dále jsou oba systémy rozděleny na temperační okruhy tvárnice a temperační okruhy tvárníku, přičemž temperační okruhy tvárnice jsou pro oba návrhy stejné.

Pokud se vezme v potaz fakt, že temperační okruhy tvárnice jsou pro oba systémy stejné, bude se nadále věnovat pozornost pouze temperačním okruhům tvárníku.

Z hlediska výroby a ekonomické zátěže z obou návrhů vychází hůře první temperační systém, převážně proto, že je v něm, oproti druhému temperačnímu systému, zahrnutý třetí temperační okruh. Součástí tohoto okruhu je osm paralelních trysek. Při použití těchto trysek je třeba vytvořit dva druhy kanálů – hlavní kanály a vedlejší kanály. Hlavní kanály jsou dva, přičemž jeden zásobuje trysky temperačním médiem a druhý temperační médium odvádí. Vedlejší kanály slouží k napojení trysek na hlavní kanály. Při konstrukci tohoto okruhu se zjistilo, že tyto vedlejší kanály by se musely vytvořit jako vložky vkládající se mezi hlavní kanály a trysky, což by dodalo na složitosti formy.

Vzhledem k náročnější výrobě třetího okruhu tvárníku byl navržen druhý temperační systém, kde byl třetí okruh vynechán a nahrazen. Bylo zapotřebí upravit polohu vyhazovacích kolíků, aby se vytvořilo více prostoru mezi vyhazovacími kolíky a přední tvarovou plochou dutiny formy. Zároveň bylo upraveno temperační jádro tak, aby temperovalo nejen zadní a boční strany, ale také přední stranu, a tím nahradilo třetí temperační okruh. Úpravou prošel i temperační okruh ochlazující jádro součásti, kde byla upravena trajektorie pro snazší a jednodušší vyrobiteľnost.

Oba systémy byly analyticky porovnány v programu MoldFlow. Pracovní parametry a druh temperačního média byly pro oba systémy nastaveny stejně. Výsledné analýzy jsou uvedeny v kapitole 10.3. Teplotní spád prvního systému vychází o něco lépe (1,5 °C) proti druhému systému (2,4 °C), avšak oba jsou pod hodnotou 3 °C, což je z hlediska zásad temperačního systému optimální. Zároveň žádný z okruhů nevykazuje tzv. mrtvé místo. Dalším porovnávacím parametrem bylo Reynoldsovo číslo (Re), které by se mělo pohybovat nad hodnotou 10 000, aby vzniklo turbulentní proudění. Tohoto požadavku bylo docíleno u druhého navrženého temperačního systému. U prvního systému se na koncích trysek objevuje menší hodnota Reynoldsova čísla než 10 000. Poslední dvě analýzy byly

určeny pro účinnost odvodu tepla temperačním systémem a čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty. Oba temperační systémy mají v těchto analýzách velmi podobné výsledky, liší se jen minimálně. Podle analýzy by čas potřebný k zchlazení formy na vyhazovací teplotu byl kolem 55 s, avšak přesnou hodnotu času vyhození by bylo třeba určit podle reálných výsledků při zkoušení formy.

Vzhledem, k tomu, že výsledky analýz jsou si velmi podobné, viz tabulka 7, byl temperační systém zvolen na základě složitosti konstrukce, jednodušší výroby a nižších finančních nákladů. Z toho lépe vychází druhý navržený temperační systém, který byl zároveň i pro tuto navrženou vstříkovací formu použit.

Tabulka 6 Výsledky analýzy plnění

Čas plnění dutiny formy	1,151 s
Nejvyšší hodnota tlaku při plnění dutiny formy	25,4 MPa
Uzavírací síla	1 387 kN

Tabulka 7 Porovnání výsledků temperačních systémů

	První temperační systém	Druhý temperační systém
Tlakový spád	1,52 °C	2,38 °C
Vstupní tlak temperačního média	297,9 kPa	298,3 kPa
Výstupní tlak temperačního média	3,756 kPa	3,084 kPa
Nejvyšší čas vyhození výrobku	218,4 °C	218,8 °C
Nejnižší Reynoldsovo číslo	8 793	15 349
Nejvyšší Reynoldsovo číslo	71 832	28 246
Deformace výrobku všemi efekty	2,088 mm	2,098 mm

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat literární rešerši na dané téma, provést 3D konstrukci modelu dané součásti, poté pro tuto součást navrhnout a vytvořit 3D model vstřikovací formy. Dalším úkolem bylo po návrhu vstřikovací formy ověřit její funkčnost pomocí simulace v programu Autodesk MoldFlow Synergy. Posledním úkolem bylo vytvořit výkresovou dokumentaci zahrnující řez vstřikovací formou a kusovník.

Diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části – teoretickou část a praktickou část. V teoretické části je vypracována literární rešerše na problematiku technologie vstřikování. Jsou zde stručně popsány polymerní materiály využívající se pro proces vstřikování, samotná technologie vstřikování a také základní zásady při návrhu vstřikované součásti. Dále je v teoretické části probrána konstrukce vstřikovacích forem, její kritéria, zásady a podmínky. A jako poslední tato část uvádí vstřikovací stroje.

Praktická část zahrnuje 3D konstrukci vstřikovaného dílu a vstřikovací formy. Pro vstřikovanou součást byl zvolen materiál Hostacom G3 R11 od výrobce LyondellBassel. Jedná se o polymer, který je vyztužen 30 % skelnými vlákny. Návrh se odvíjel od samotné vstřikovací součásti. Vzhledem k její velikosti byla zvolena jednonásobná forma. Jelikož se jedná o součást využívanou v automobilovém průmyslu, kde jsou finance důležitým faktorem, byla zvolená vyhřívaná vtoková soustava, čímž odpadá další práce s vtokovým zbytkem a zvýší se tak stupeň automatizace. Tvarová dutina formy byla vytvořena dle 3D modelu vstřikované součásti zvětšené o smrštění zvoleného materiálu. Dutina formy obsahuje jednu hlavní a tři vedlejší dělicí roviny. Hlavní dělicí rovinu vytváří tvárník s tvárnicí, vedlejší dělicí roviny jsou tvořeny dvěma bočními posuvnými čelistmi ovládanými mechanicky a jedním tvarovým jádrem ovládaným hydraulickým válcem. Temperační systém formy se skládá ze čtyř temperačních okruhů, přičemž dva okruhy temperují tvárnici a dva tvárník. Ve všech okruzích proudí voda s 20 % glykolu o teplotě 30 °C a pracovním tlaku 300 kPa. Jako poslední byl navržen vyhazovací systém, jehož součástí je osm vyhazovacích kolíků.

Součástí praktické části je také uvedení výsledků tokových analýz. Ty vycházely z navržené vstřikovací formy, nastavených procesních podmínek a zvoleného vstřikovacího stroje, konkrétně se jedná o stroj ARBUGR Allrounder 820 S. Analýzy byly využívány k ověření funkčnosti vstřikovací formy a k porovnání temperačních systémů. Dále ukazují informace o navržené vstřikovací formě jako je například rychlost zaplnění dutiny formy,

velikost vstřikovacího tlaku, velikost uzavírací síly při plnění dutiny, potenciální výskyt vzduchových kapes nebo čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty.

Konstrukce výrobku i vstřikovací formy byla navržena a vymodelována v programu CATIA V5R19. Tento program byl použit i pro tvorbu výkresové dokumentace, která zahrnuje výkres vstřikované součásti a výkres celkové sestavy včetně kusovníku a řezů. Při tvorbě 3D modelu byly také použity normalizované součásti stažené z katalogu firmy Meusburger a HASCO.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2005 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [2] OLMSTED, Bernie A. a Martin E. DAVIS. *Practical Injection Molding*. 1 ed. New York: Marcel Dekker, 2001. ISBN 0-8247-0529-7.
- [3] LIPTÁKOVÁ, Tatiana, Povol ALEXY, Ernest GONDÁR a Viera KHUNOVÁ. *Polymérne konštrukčné materiály*. Žilina, 2012. Odborná publikace. Žilinská univerzita v Žilíně.
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006 [cit. 2022-05-04]. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/001.html
- [5] KAMAL, Musa R, Avraam ISAYEV a Shih-Jung LIU, ed. *Injection molding: Technology and Fundamentals*. Hanser Publications, 2009. ISBN 978-3-446-41685-7.
- [6] *Vstřikování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2005 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [7] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. *Injection Molding Process Control, Monitoring, and Optimization*. 1 ed. Cincinnati: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-592-0.
- [8] *Vstřikování plastů* [online]. Ostrava [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.vyrobaplastu.eu/kontakt-vyrobce-plastovych-dilu/>
- [9] STANĚK, Michal. *Formy (přednáška)*. Zlín: UTB ve Zlíně
- [10] BEAUMONT, John P, *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding*. 3 ed. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [11] *Aerodynamicafl: Flujo laminar y turbulento* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.aerodinamicafl.com/2019/10/flujo-laminar-y-turbulento/>

- [12] KALENDA, Jan. *Konstrukce formy pro výrobu krytu motoru*. Zlín, 2017. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [13] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering*. 2 ed. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [14] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2013. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [15] Unger, Peter. (2006). *Gastrow Injection Molds - 130 Proven Designs*. 4 ed. Hanser Publishers. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGIMPDE15/gastrow-injectionmolds/gastrow-injection-molds>
- [16] Injectoin Molding [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://tsquality.ch/injection-molding-design-validation-medical-device/>
- [17] HYNEK, M. a kol. Horké vtoky, *Rámy vstřikovacích forem* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf
- [18] MALLOY, Robert. *Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction*. Munich: Hanser, 2011, ISBN 3446404686.
- [19] JURÁŇ, Michal. *Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu ventilu topení*. Zlín, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [20] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1
- [21] *Vstřikování plastických hmot* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [22] *Hot runners in injection mold* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.rydtooling.com/hot-runners-in-injection-mold/>
- [23] HYNEK, M. a kol. Horké vtoky, *Plastové díly* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z:

- http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [24] GOODSHIP, Vanessa, Bethany MIDDLETON a Ruth CHERRINGTON. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality: Structural Composites, Injection Molding, and 3D Printing*. Oxford: William Andrew is an Imprint of Elsevier, 2016. ISBN 978-0-323-34061-8.
- [25] HYNEK, M. a kol. Horké vtoky, *Temperace vstřikovacích forem* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [26] *Hasco katalog* [online]. [cit. 2022-05-04] Dostupné z: <https://www.hasco.com/>
- [27] *GMS katalog* [online]. [cit.2022-05-04] Dostupné z: <https://www.gms.cz/aquatec-pvc-cristal>
- [28] *Meusburger katalog* [online]. [cit.2022-05-04] Dostupné z: https://ecom.meusburger.com/e_menu_gruppen/index.asp?reset_gruppe=1
- [29] *Heat pipe .nl: Dutch knowledge center for heat pipe technology* [online]. 010 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://www.heatpipe.nl/index.php?page=heatpipe&lang=EN>
- [30] HYNEK, M. a kol. Horké vtoky, *Vyhazovací sestava a vyhazovače* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
- [31] *Plastic Mould Ejection* [online]. Huangian district, 2016 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.plasticmoulds.net>
- [32] CAMPO, Alfredo. *The Complete Part Design Handbook: For Injection Molding of Thermoplastics*. Mnichov: Hanser Gardner Publications, 2006, ISBN 1569903751
- [33] *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit.2022-05-04] Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/08.html>
- [34] *Arburg* [online]. [cit.2022-05-04] Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/>

- [35] Deller plastics: Neue Maschine: ARBURG ALLROUNDER 820S 4000 – 1300 [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.dellerplastics.de/neue-maschine-arburg-allrounder-820s-4000-1300/>
- [36] *CAMPUS: Hostacom G3 R11 105290* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Hostacom+G3+R11+105290/LyondellBasell/103/4f202ccf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_m	teplota tání
p	tlak
T	teplota
t	čas
v	měrný objem
R, r	rádus
D, d	průměr
W	tloušťka
l	délka
R_z	drsnost
PP	polypropylen
GF	skelná vlákna
HRC	tvrdost dle Rockwella
MPa	megapascal
°C	stupeň Celsia
s	sekunda
cm^3	centimetr krychlový
g	gram
%	procenta
°	stupeň
mm	milimetr
s^{-1}	reciproká sekunda
kPa	kilopascal
kN	kilonewton

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [4].....	12
Obrázek 2 Postup vstřikovacího procesu [8].....	14
Obrázek 3 Vstřikovací cyklus znázorněný v kruhovém diagramu [9].....	15
Obrázek 4 Laminární a turbulentní proudění [11].....	16
Obrázek 5 Ukázka fontánového toku polymerní taveniny [10].....	17
Obrázek 6 Závislost tlaku působícího ve formě na čase [9].....	18
Obrázek 7 Závislost teploty polymeru na čase [9].....	18
Obrázek 8 Vstřikovací cyklus – pvT diagramu [12].....	19
Obrázek 9 Ukázka konstrukce výrobku [13].....	20
Obrázek 10 Vstřikovací forma [16].....	22
Obrázek 11 Funkce vstřikovací formy [13].....	23
Obrázek 12 Řez formou dvoudeskové konstrukce.....	24
Obrázek 13 Způsoby dopravy taveniny do dutiny formy [13].....	25
Obrázek 14 Vtoková vložka [19].....	26
Obrázek 15 Průřezy rozvodného kanálu [10].....	26
Obrázek 16 Řešení rozváděcích kanálů vícenásobné formy [21].....	27
Obrázek 17 Jednoduché vtokové ústí [10].....	28
Obrázek 18 Boční vtokové ústí [10].....	29
Obrázek 19 Vějířové vtokové ústí [10].....	29
Obrázek 20 Filmové vtokové ústí [10].....	30
Obrázek 21 Talířové vtokové ústí [10].....	30
Obrázek 22 Modifikace talířového vtokového ústí [10].....	30
Obrázek 23 Tunelové vtokové ústí [4].....	31
Obrázek 24 Ukázka přidržení vtokového systému na vyhazovací straně formy [10].....	31
Obrázek 25 Základní hodnoty tunelového vtokového ústí [10].....	31
Obrázek 26 Banánové vtokové ústí [10].....	32
Obrázek 27 Speciální vložka banánového vtokového ústí [10].....	32
Obrázek 28 Bodové vtokové ústí s čočkovitým zahloubením [10].....	33
Obrázek 29 Vyhřívaný vtokový systém [22].....	33
Obrázek 30 Kombinace rozvodných bloků a vyhřívaných trysek [10].....	34
Obrázek 31 Externě vyhřívaný rozvodný blok s externě vyhřívanými tryskami [10].....	35
Obrázek 32 Externě vyhřívaný rozvodný blok s vnitřně vyhřívanou tryskou [10].....	35
Obrázek 33 Vnitřně vyhřívaný rozvodný blok s vnitřně vyhřívanými tryskami [10].....	36
Obrázek 34 Izolovaný rozvodný blok s izolovanými tryskami [10].....	37

Obrázek 35 Ukázka jednoduchých temperačních systémů [25].....	38
Obrázek 36 Rozložení teplotního pole dle velikosti a počtu kanálů [33].....	39
Obrázek 37 Hadice PTFE [26].....	40
Obrázek 38 Hadice EPDM [26].....	40
Obrázek 39 Hadice PVC s textilní výztuží [27]	40
Obrázek 40 Přípojka [26].....	40
Obrázek 41 Rychlospojka s nátrubkem [26].....	40
Obrázek 42 Hadicová spona [26].....	41
Obrázek 43 Rychlospojka s nátrubkem 45° [26]	41
Obrázek 44 Záslepka do otvoru [26]	41
Obrázek 45 Uzavírací šroub [26].....	41
Obrázek 46 Možné využití zaslepovacích prvků v temperačním obvodu [25]	41
Obrázek 47 Rovná přepážka [26]	42
Obrázek 48 Spirálová přepážka [26]	42
Obrázek 49 Sériová tryska [28]	42
Obrázek 50 Paralelní tryska [28]	42
Obrázek 51 Spirálový trn jednochodý [28].....	43
Obrázek 52 Spirálový trn dvouchodý [28]	43
Obrázek 53 Princip tepelné trubice [29]	44
Obrázek 54 Ukázka vyhazovacího systému	45
Obrázek 55 Válcový vyhazovač [28].....	46
Obrázek 56 Prizmatický vyhazovač [28].....	46
Obrázek 57 Trubkový vyhazovač [26]	46
Obrázek 58 Ukázka uzavřené a otevřené posuvné čelisti.....	47
Obrázek 59 Vstřikovací stroj od firmy ARGURG [35].....	49
Obrázek 60 Izometrický pohled vstřikované součásti z přední strany	53
Obrázek 61 Izometrický pohled vstřikované součásti ze zadní strany	53
Obrázek 62 Vysíťovaná součást	55
Obrázek 63 Výsledné hodnoty vytvořené sítě	55
Obrázek 64 Navržená vstřikovací forma pro daný díl.....	56
Obrázek 65 Tvarové části dutiny formy	57
Obrázek 66 Tvárník	58
Obrázek 67 Tvárnice.....	58
Obrázek 68 Posuvné tvarové čelisti.....	58
Obrázek 69 Tvarové jádro	58

Obrázek 70 Pravá strana vstřikovací formy.....	59
Obrázek 71 Levá strana vstřikovací formy.....	60
Obrázek 72 Středící systém vstřikovací formy.....	60
Obrázek 73 Detail transportního zámku.....	61
Obrázek 74 Výsledek analýzy Gate Location.....	62
Obrázek 75 Horký vtokový systém.....	62
Obrázek 76 Uložení vtokového ústí ve formě.....	63
Obrázek 77 Temperační okruhy tvárnice.....	64
Obrázek 78 Temperační okruhy tvárníku prvního temperačního systému.....	65
Obrázek 79 Temperační okruhy tvárníku druhého temperačního systému.....	66
Obrázek 80 Temperační systém tvárnice.....	67
Obrázek 81 Temperační systém tvárníku.....	68
Obrázek 82 Ukázka označení vstupu a výstupu temperačního média.....	68
Obrázek 83 Ukázka temperačního jádra.....	69
Obrázek 84 Ukázka systému bočního odformování pomocí hydraulického válce.....	70
Obrázek 85 Ukázka systému bočního odformování mechanickým způsobem.....	71
Obrázek 86 Pohled na systém odformování tvarových částí dutiny.....	71
Obrázek 87 Vyhazovací systém.....	72
Obrázek 88 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 820 S od firmy ARBURG [35].....	74
Obrázek 89 Vlastnosti temperačního média.....	75
Obrázek 90 Čas plnění dutiny formy.....	77
Obrázek 91 Tlak působící v dutině formy během vstřikování.....	77
Obrázek 92 Závislost tlaku na čase během vstřikovacího procesu ve vtokovém ústí.....	78
Obrázek 93 Výskyt potenciálních vzduchových kapes z vnější strany součástí.....	79
Obrázek 94 Potenciální výskyt vzduchových kapes z vnitřní strany součástí.....	79
Obrázek 95 Potenciální výskyt studených spojů.....	80
Obrázek 96 Průběh velikosti uzavírací síly.....	80
Obrázek 97 Teplota temperačního média v temperačním systému tvárnice.....	81
Obrázek 98 Teplota temperačního média v prvním temperačním systému tvárníku.....	82
Obrázek 99 Teplota temperačního média v druhém temperačním systému tvárníku.....	82
Obrázek 100 Tlak temperačního média působící v temperačním systému tvárnice.....	83
Obrázek 101 Tlak temperačního média působící v prvním temperačním systému tvárníku.....	84
Obrázek 102 Tlak temperačního média působící v druhém temperačním systému tvárníku.....	84
Obrázek 103 Čas vyhození výrobku při použití první temperace.....	85

Obrázek 104 Čas vyhození výrobku při použití druhé temperace	85
Obrázek 105 Reynoldsovo číslo temperace tvárnice	86
Obrázek 106 Reynoldsovo číslo první temperace tvárníku	87
Obrázek 107 Reynoldsovo číslo druhé temperace tvárníku	87
Obrázek 108 Účinnost odvodu tepla temperačním systémem tvárnice	88
Obrázek 109 Účinnost odvodu tepla prvním temperačním systémem tvárníku	88
Obrázek 110 Účinnost odvodu tepla druhým temperačním systémem tvárníku	89
Obrázek 111 Celková deformace od všech efektů při použití první temperace	90
Obrázek 112 Celková deformace od všech efektů při použití druhé temperace	90

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené zpracovatelské hodnoty polypropylenu Hostacom G3 R11.....	54
Tabulka 2 Parametry prvního navrženého temperačního systému	65
Tabulka 3 Parametry druhého navrženého temperačního systému	67
Tabulka 4 Porovnání parametrů stroje a formy [34].....	73
Tabulka 5 Nastavené procesní parametry	76
Tabulka 6 Výsledky analýzy plnění.....	92
Tabulka 7 Porovnání výsledků temperačních systémů.....	92

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I Materiálový list

Příloha P II Technické údaje zvoleného vstřikovacího stroje

Příloha P III Výkresová dokumentace:

Vstřikovací forma (č. v. DP-2022-S00-000)

Vstřikovaná součást (č. v. DP-2022-S00-001)

Příloha P IV CD obsahující:

3D data modelu

Data analýzy

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

Technical Data Sheet

Hostacom G3 R11 105290

Polypropylene Compounds



Product Description

Hostacom G3 R11 105290 is a 30% glass fiber reinforced PP homopolymer, with high flowability, superior stiffness, low CLTE (Coefficient of Linear Thermal Expansion), and low creep under load at elevated temperatures and good mould release. Product is available as a customized color matched, pellet form. This grade is delivered in 105290 color version.

Regulatory Status

For regulatory compliance information, see Hostacom G3 R11 105290 [Product Stewardship Bulletin \(PSB\)](#) and [Safety Data Sheet \(SDS\)](#).

This grade is not intended for medical, pharmaceutical, food and drinking water applications.

Status	Commercial: Active
Availability	Europe
Application	Automotive Parts
Market	Automotive
Processing Method	Injection Molding
Attribute	High Stiffness

Typical Properties	Nominal Value	Units	Test Method
Physical			
Melt Flow Rate, (230 °C/5.0 kg)	12	g/10 min	ISO 1133-1
Melt Volume Flow Rate, (230 °C/5.0 kg)	13	cm ³ /10 min	ISO 1133-1
Density, (23 °C)	1.14	g/cm ³	ISO 1183-1/A
Mechanical			
Tensile Modulus, (23 °C)	6200	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Stress at Break, (23 °C)	88	MPa	ISO 527-1, -2
Impact			
Charpy Impact Strength - Unnotched, (23 °C)	45	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU
Thermal			
Vicat Softening Temperature, (B50)	130	°C	ISO 306
Deflection Temperature Under Load, (0.45 MPa, Unannealed)	155	°C	ISO 75B-1, -2

Notes

These are typical property values not to be construed as specification limits.

Availability indicates the region where the material is produced. For importation or demand of a local equivalent grade, please contact our Sales Representatives.

Processing Techniques

Specific recommendations for resin type and processing conditions can only be made when the end use, required properties and fabrication equipment are known.

Product Storage and Handling

- Product should be stored in dry conditions at temperatures below 50°C and protected from UV-light
- Improper storage may bring damage to the packaging and can negatively affect the quality of this product
- Keep material completely dry for good processing

Company Information

For further information regarding the LyondellBasell company, please visit <http://www.lyb.com/>.

© LyondellBasell Industries Holdings, B.V. 2018

Disclaimer

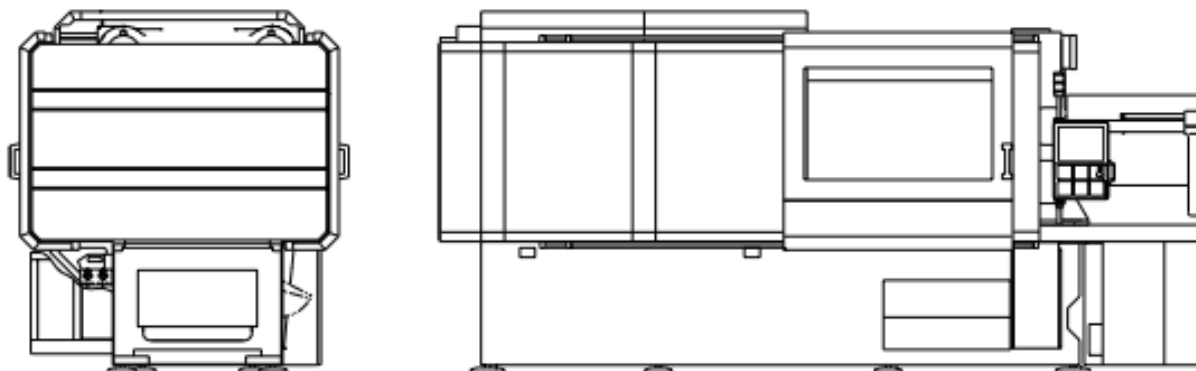
Information in this document is accurate to the best of our knowledge at the date of publication. The document is designed to provide users general information for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and release and does not constitute any warranty or quality specification, either express or implied, including any warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Users shall determine whether the product is suitable for their use and can be used safely and legally.

In addition to any prohibitions of use specifically noted in this document, LyondellBasell may further prohibit or restrict the sale of its products into certain applications. For further information, please contact a LyondellBasell representative.

Trademarks

The Trademark referenced within the product name is owned or used by the LyondellBasell family of companies.

**PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ ÚDAJE ZVOLENÉHO
VSTŘIKOVACÍHO STROJE**



ALLROUNDER 820 S

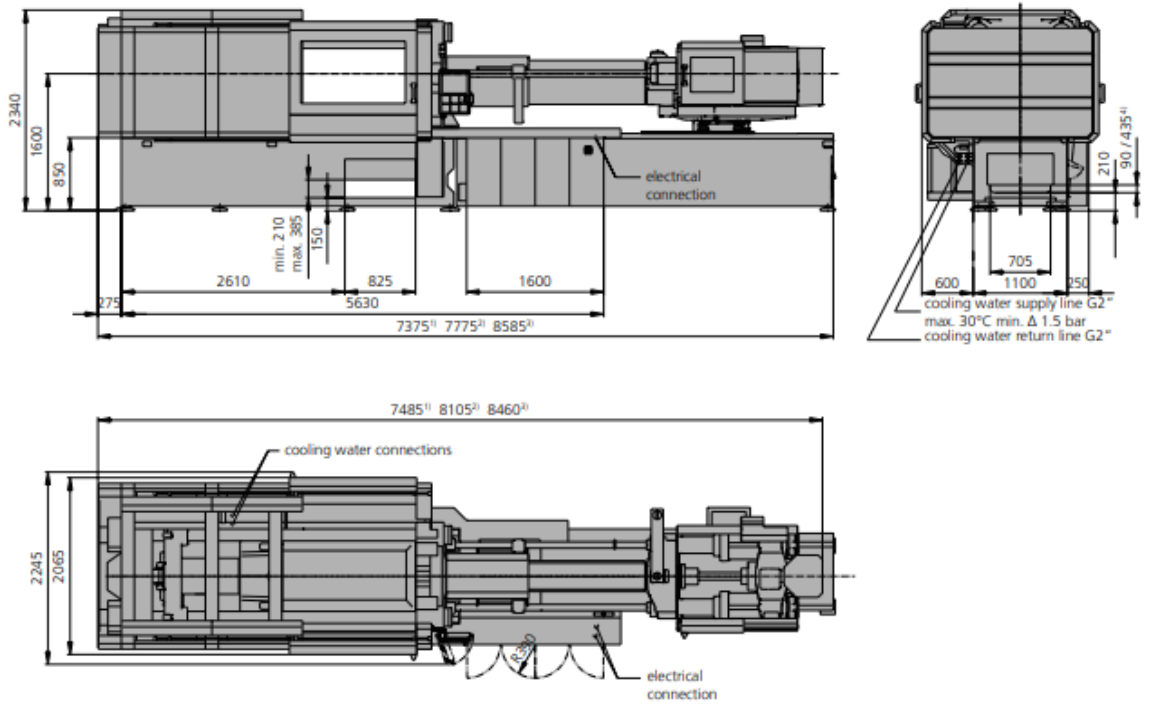
Technical data

Tie bar distance: 820 x 820 mm

Clamping force: 4000 kN

Injection units (according to EUROMAP): 2100, 3200, 4600

ARBURG



1) Dimension applies to injection unit 2100
 2) Dimension applies to injection unit 3200
 3) Dimension applies to injection unit 4600
 4) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		820 S	820 S	820 S
EUROMAP size indication ¹⁾		4000-2100	4000-3200	4000-4600
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	4000	4000	4000
Closing force	max. kN	150	150	150
Opening force / increased	max. kN	100 / 800	100 / 800	100 / 800
Opening stroke	max. mm	700	700	700
Mould height	min. mm	350-850	350-850	350-850
Daylight	max. mm	1050-1550	1050-1550	1050-1550
Distance between tie bars	mm	820 x 820	820 x 820	820 x 820
Platen size (hor. x vert.)	mm	1171 x 1171	1171 x 1171	1171 x 1171
Weight of mov. mould half	max. kg	5000	5000	5000
Ejector force	max. kN	100	100	100
Ejector stroke	max. mm	250	250	250
Hydraulics, drive, general				
Drive power of the hydraulic pump	kW	55	55	75
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s/mm	3,7-574 (2,3-574)	3,7-574 (2,3-574)	3,7-574 (2,3-574)
Total connected load ³⁾	kW	89	96	129
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit				
Screw diameter	mm	60 / 70 / 80	70 / 80 / 90	80 / 90 / 100
Effective screw length	L/D	23 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18	22,5 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	280	320	360
Calculated injection volume	max. cm ³	792 / 1078 / 1407	1232 / 1608 / 2036	1810 / 2290 / 2827
Shot weight	max. g PS	723 / 984 / 1286	1125 / 1469 / 1860	1653 / 2092 / 2583
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS max. kg/h PA 6.6	125 / 145 / 175 62 / 74 / 88	185 / 215 / 250 93 / 110 / 125	255 / 295 / 330 130 / 150 / 170
Injection pressure ⁵⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580	2500 / 2000 / 1620
Injection flow ⁶⁾	max. cm ³ /s	290 / 394 / 514	290 / 380 / 482	310 / 392 / 484
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	1132 / 1540 / 2012	1188 / 1552 / 1964	1264 / 1600 / 1976
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	51 / 60 / 69	47 / 54 / 61	38 / 43 / 48
Screw torque	max. Nm	2140 / 2500 / 2550	3140 / 3510 / 3510	4400 / 4950 / 5000
Nozzle contact force	max. kN	110	110	110
Nozzle retraction stroke	max. mm	600	600	700
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	30,3 / 7	37,3 / 7	49,8 / 8
Installed nozzle heating power	kW	1,1	1,1	1,1
Horizontal injection position	max. mm	---	---	---
Machine dimensions and weights of the basic machine				
Oil capacity	l	490	590	790
Net weight	kg	21000	22500	24600
Electrical connection (pre-fused) ⁷⁾	motor + heating A	200	200	---
Electrical connection (pre-fused) ⁷⁾	motor A	125	125	160
Electrical connection (pre-fused) ⁷⁾	heating A	50	63	80

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine.

3) One or two separate supply lines can be connected as an option (motor + controller/heating). Through options the connection value can be higher.

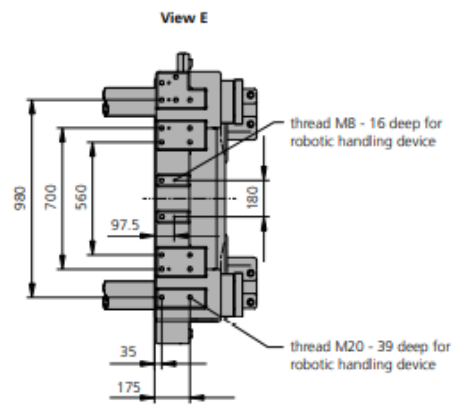
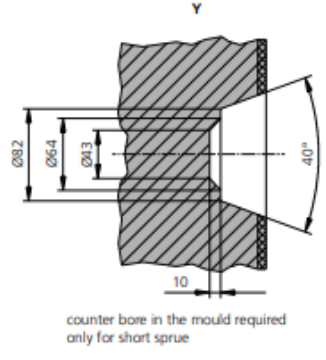
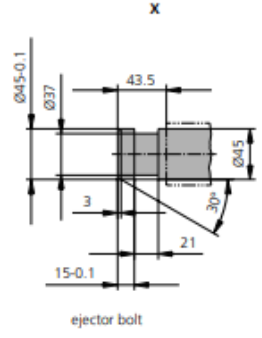
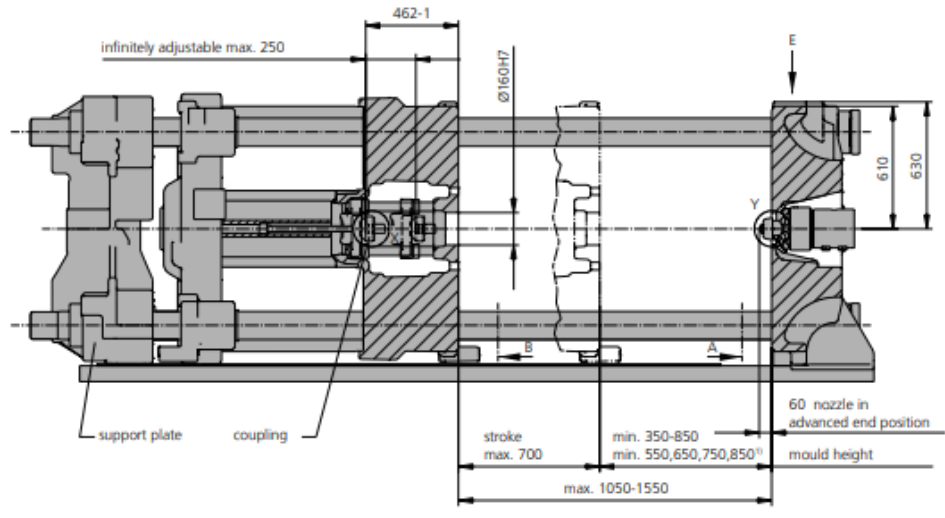
4) Certain combinations of additional machine equipment can make two separate supply lines absolutely necessary.

5) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output.

6) According to EUROMAP for the basic machines (values shown in brackets apply for hydraulic accumulator technology). Values do not apply in combination with MULTILIFT robotic systems.

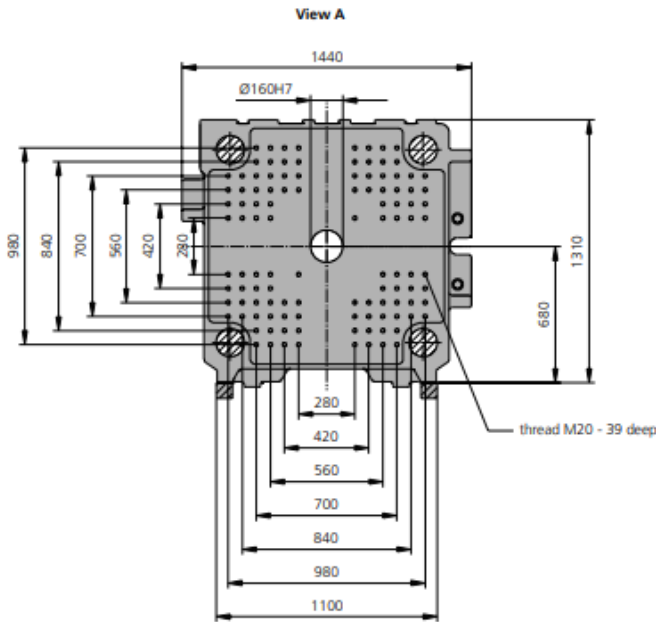
7) Deviations are possible depending upon process settings and material type.

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.

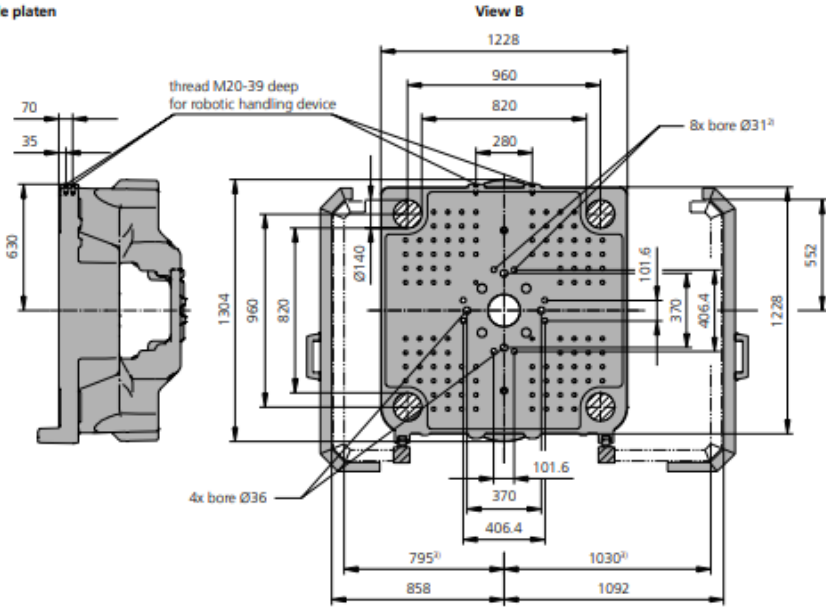


1) Manually adjustable (optional)
Dimensions for injection units 2100 and 3200 in thermoset version on request

Fixed platen



Movable platen



2) Prepared for guidance $\text{Ø}27$
3) Dimensions are valid for a distance between the mounting platens of 1300 mm or more

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)

Injection units according to EUROMAP		2100			3200			4600		
Screw diameter	mm	60	70	80	70	80	90	80	90	100
Polystyrene	PS	723	984	1286	1125	1469	1860	1653	2092	2583
Styrene heteropolymerizates	SB	707	962	1256	1099	1436	1817	1615	2044	2523
	SAN, ABS ¹⁾	693	943	1231	1077	1407	1781	1583	2003	2473
Cellulose acetate	CA ¹⁾	814	1108	1447	1266	1654	2093	1860	2354	2907
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	757	1030	1346	1177	1538	1946	1730	2189	2703
Polymethyl methacrylate	PMMA	747	1017	1329	1163	1518	1922	1708	2162	2669
Polyphenylene ether, mod.	PPE	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polycarbonate	PC	760	1034	1351	1182	1544	1954	1737	2199	2714
Polysulphone	PSU	785	1069	1396	1222	1596	2019	1795	2272	2805
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	719	978	1278	1118	1461	1848	1643	2080	2568
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	893	1215	1588	1389	1814	2296	2041	2583	3189
Polyethylene terephthalate	PET	861	1172	1531	1340	1750	2215	1969	2492	3076
Polyethylene	PE-LD	546	744	971	850	1110	1405	1249	1580	1951
	PE-HD	564	768	1003	877	1146	1450	1289	1632	2015
Polypropylene	PP	576	784	1025	897	1171	1482	1317	1667	2058
Fluoropolymerides	FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	1157	1575	2058	1800	2352	2976	2646	3348	4134
	ETFE	1015	1382	1805	1579	2063	2611	2321	2937	3626
Polyvinyl chloride	PVC-U	874	1190	1554	1360	1776	2247	1998	2528	3121
	PVC-P ¹⁾	808	1099	1436	1256	1641	2076	1846	2336	2884

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia,Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USAFor more information, please go to www.arburg.com.

© 2011 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.

**ARBURG GmbH + Co KG Quality:**

DIN EN ISO 9001 + 14001 certified