

Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování

Bc. Michal Machálek

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Machálek**
Osobní číslo: **T21796**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování.**

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
- Vytvořit simulace procesu vstřikování v software MoldFlow.
- Navrhnout optimalizace vstřikování a vyhodnocení jednotlivých variant.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.

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

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3

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: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

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

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

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, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

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:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování. Práce se skládá z teoretické a praktické části. Obsahem teoretické části práce je literární rešerše témat týkajících se polymerních materiálů, technologie vstřikování, vstřikovacích strojů, konstrukce vstřikovacích forem a simulací vstřikování. Praktická část práce se poté zaměřuje na 3D konstrukci modelu vstřikované součásti, vytvoření simulací procesu vstřikování v programu Moldflow a navrnutí optimalizací vstřikování a vyhodnocení jednotlivých variant. Výstupem celé práce je navrnutí 3D konstrukce vstřikovací formy pro zadanou součást v programu Catia.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, Catia, Moldflow

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a tool to produce a plastic part by injection technology. Thesis consists of a theoretical and practical part. The content of the theoretical part of the thesis is a literary search of topics regarding to polymer materials, injection technology, injection molding machines, injection mold design and injection simulations. The practical part of the thesis then focuses on the 3D design of the model of the injected component, creation of simulations of the injection process in the Moldflow program and suggest optimizations of injection molding and evaluation of used variants. The output of the entire thesis is suggestion of the 3D design of the injection mold for the specified component in the program Catia.

Keywords: injection molding, injection mold, Catia, Moldflow

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., za rychlé a užitečné rady, ochotu a flexibilitu při konzultacích s ohledem na pracovní vytížení. Dále samozřejmě děkuji za všechnen věnovaný čas a vždy dobrou komunikaci. V další řadě bych rád poděkoval též mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vaňkovi, za ochotu a užitečné rady v případě jakýchkoliv dotazů. A v neposlední řadě bych rád poděkoval především mojí rodině, kamarádům a přítelkyni Verunce za projevenou podporu po celou dobu studia.

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY | 13 |
| 1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ | 14 |
| 1.1.1 Termoplasty..... | 14 |
| 1.1.2 Reaktoplasty | 15 |
| 1.1.3 Elastomery..... | 15 |
| 1.1.4 Polymery amorfnní a semikrystalické..... | 16 |
| 1.2 PŘÍSAKY POLYMERŮ..... | 17 |
| 1.3 VLASTNOSTI POLYMERŮ..... | 19 |
| 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ | 21 |
| 2.1 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ | 21 |
| 2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS | 22 |
| 2.2.1 Plastikace..... | 23 |
| 2.2.2 Vstřikování | 23 |
| 2.2.3 Dotlak..... | 23 |
| 2.2.4 Chlazení..... | 24 |
| 2.3 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH DÍLŮ | 25 |
| 2.4 VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ | 27 |
| 2.5 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ..... | 29 |
| 3 VSTŘIKOVACÍ STROJE | 31 |
| 3.1 ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ..... | 32 |
| 3.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA | 33 |
| 3.3 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA..... | 34 |
| 3.4 ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA | 35 |
| 4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY | 36 |
| 4.1 KONSTRUKCE, ROZVRŽENÍ A NÁSOBNOST FORMY | 37 |
| 4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM | 39 |
| 4.2.1 Studený vtokový systém | 40 |
| 4.2.2 Vyhříváný vtokový systém | 41 |
| 4.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉM..... | 42 |
| 4.3.1 Temperační prostředky..... | 43 |
| 4.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM..... | 45 |
| 4.4.1 Mechanický vyhazovací systém..... | 46 |
| 4.4.2 Pneumatický vyhazovací systém..... | 46 |
| 4.4.3 Hydraulický vyhazovací systém | 46 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.5 | BOČNÍ ČELISTI FORMY | 46 |
| 4.6 | ODVZDUŠNĚNÍ FORMY | 47 |
| 4.7 | MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM | 49 |
| 5 | SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ – MOLDFLOW ANALÝZY | 50 |
| 5.1 | EKONOMICKÉ HLEDISKO | 51 |
| 5.2 | PRACOVNÍ POSTUP SIMULACE | 51 |
| 5.3 | SOFTWARE AUTODESK MOLDFLOW | 52 |
| 5.3.1 | Simulace a optimalizace vtokového systému | 52 |
| 5.3.2 | Simulace a optimalizace temperačního systému | 52 |
| 5.3.3 | Simulace a optimalizace plnění a dotlaku | 52 |
| 5.3.4 | Simulace a optimalizace deformace a smrštění | 53 |
| 5.4 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE | 53 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 54 |
| 6 | CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE | 55 |
| 7 | POUŽITÉ PROGRAMY | 56 |
| 7.1 | CATIA V5R19 | 56 |
| 7.2 | AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2023 | 56 |
| 8 | VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST | 57 |
| 9 | VOLBA VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU | 58 |
| 10 | OPTIMALIZACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ | 59 |
| 10.1 | TVORBA A ANALÝZA SÍTĚ | 59 |
| 10.2 | ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATE LOCATION) | 61 |
| 10.3 | NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK | 61 |
| 10.4 | POROVNÁVANÉ VÝSLEDKY ANALÝZ | 65 |
| 10.5 | ANALÝZA Č.1 JEDNODUCHÁ TEMPERACE + KOMBINOVANÝ VTOK | 65 |
| 10.5.1 | Čas plnění (fill time) | 66 |
| 10.5.2 | Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot) | 66 |
| 10.5.3 | Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 67 |
| 10.5.4 | Uzavírací síla (clamp force: XY plot) | 67 |
| 10.5.5 | Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 68 |
| 10.6 | ANALÝZA Č.2 SLOŽITĚJŠÍ TEMPERACE + STUDENÝ VTOK | 68 |
| 10.6.1 | Čas plnění (fill time) | 69 |
| 10.6.2 | Tlak v místě vstřiku (Pressure at injection location: XY plot) | 69 |
| 10.6.3 | Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 70 |
| 10.6.4 | Uzavírací síla (Clamp force: XY plot) | 70 |
| 10.6.5 | Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 71 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 10.7 | ANALÝZA Č.3 SLOŽITĚJŠÍ TEMPERACE + KOMBINOVANÝ VTOK + ABS S PA..... | 71 |
| 10.7.1 | Čas plnění (fill time) | 72 |
| 10.7.2 | Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot)..... | 73 |
| 10.7.3 | Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 73 |
| 10.7.4 | Uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 74 |
| 10.7.5 | Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 74 |
| 10.8 | ANALÝZA Č.4 SLOŽITĚJŠÍ TEMPERACE + KOMBINOVANÝ VTOK + PA6 | 75 |
| 10.8.1 | Čas plnění (fill time) | 75 |
| 10.8.2 | Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot)..... | 75 |
| 10.8.3 | Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 76 |
| 10.8.4 | Uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 76 |
| 10.8.5 | Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 77 |
| 10.9 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZ | 77 |
| 11 | VÝSLEDNÁ ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ | 78 |
| 11.1 | VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU (FLOW) | 78 |
| 11.1.1 | Čas plnění (fill time) | 78 |
| 11.1.2 | Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot)..... | 79 |
| 11.1.3 | Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 80 |
| 11.1.4 | Uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 80 |
| 11.1.5 | Vzduchové kapsy (air traps)..... | 81 |
| 11.1.6 | Studené spoje (weld lines) | 81 |
| 11.2 | VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE (COOL) | 82 |
| 11.2.1 | Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 82 |
| 11.2.2 | Teplota temperačního média (circuit coolant temperature) | 83 |
| 11.3 | VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE (WARP)..... | 84 |
| 11.3.1 | Celková deformace od všech efektů (deflection, all effects: deflection) | 84 |
| 11.3.2 | Deformace vlivem smrštění (deflection, differential shrinkage: deflection) | 85 |
| 12 | KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY..... | 86 |
| 12.1 | RÁM FORMY | 87 |
| 12.2 | NÁSOBNOST FORMY | 88 |
| 12.3 | ZAFORMOVÁNÍ – DUTINA FORMY | 89 |
| 12.4 | LEVÁ POHYBLIVÁ ČÁST FORMY | 90 |
| 12.5 | PRAVÁ PEVNÁ ČÁST FORMY | 91 |
| 12.6 | VTOKOVÝ SYSTÉM | 92 |
| 12.7 | TEMPERAČNÍ SYSTÉM..... | 93 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 12.8 | VYHAZOVACÍ SYSTÉM..... | 94 |
| 12.9 | BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ..... | 95 |
| 12.10 | ODVZDUŠNĚNÍ FORMY..... | 96 |
| 12.11 | TRANSPORTNÍ SYSTÉM FORMY | 96 |
| 13 | VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE | 97 |
| 14 | DISKUZE VÝSLEDKŮ | 98 |
| | ZÁVĚR | 99 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 100 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 104 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 106 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 109 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 110 |

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí plastového dílu vyrobeného pomocí technologie vstřikování. Vyráběným plastovým dílem je nástavec na holící strojek.

Polymerní materiály, do kterých spadají také plasty, jsou využívány ve spoustě průmyslových odvětví. K jejich expanzi došlo zejména v posledních desítkách let, a to především z důvodu jejich vlastností, díky kterým postupně začaly nahrazovat standardně používané materiály.

Zpracování plastů je prováděno nejrůznějšími typy technologií, mezi kterými vyniká právě v této diplomové práci řešená technologie vstřikování plastů, která může být označena za nejpoužívanější metodu výroby plastových výrobků. Proces vstřikování spočívá ve vstříknutí roztaveného polymeru do dutiny formy, která má negativní tvar výrobku a po ztuhnutí a vyhození výrobku mu udává jeho konečný tvar. Celý proces vstřikování vykonává vstřikovací stroj.

Hlavní téma této diplomové práce je volba vstřikované součásti včetně materiálu a její následné vymodelování a sestavení konstrukce vstřikovací formy pro výrobu tohoto plastového dílu. Všechny tyto konstrukční operace jsou provedeny pomocí softwaru CATIA V5 R19. Závěrečným úkolem je upravit parametry celého procesu pomocí softwaru pro simulaci vstřikování nazvaným Moldflow.

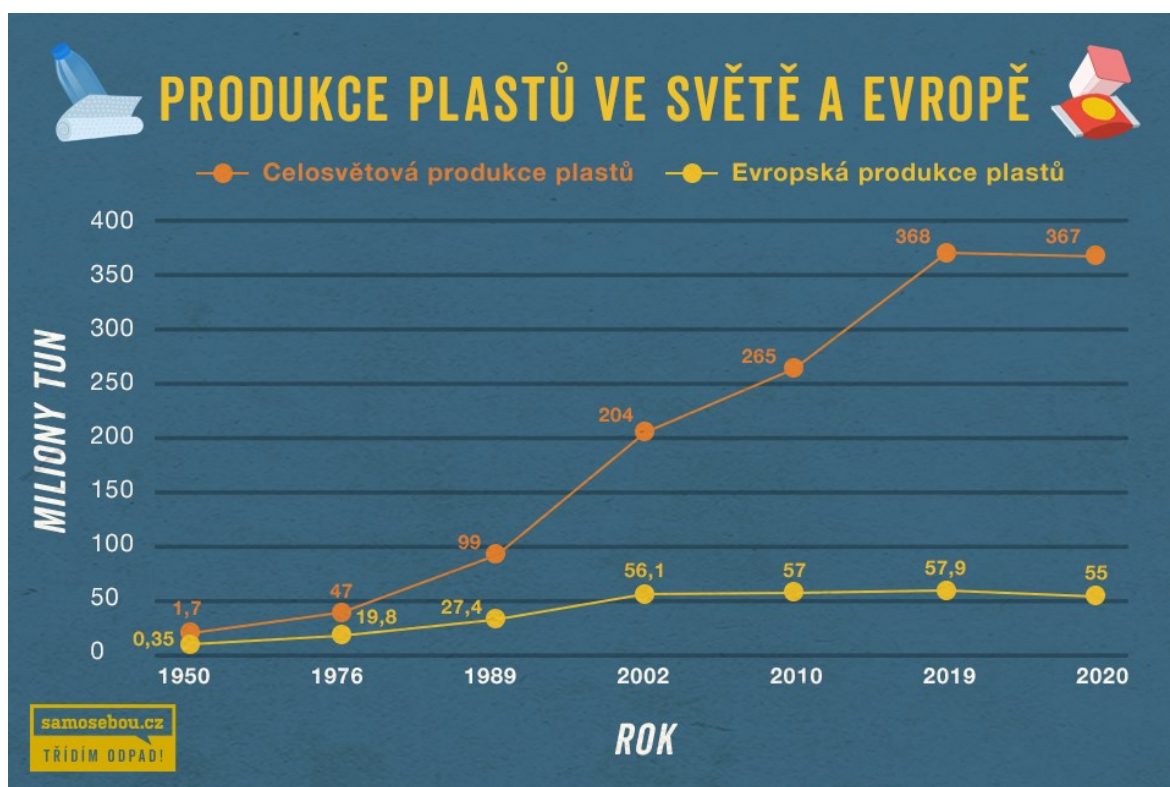
Celkovým cílem této diplomové práce je konstrukce daného plastového dílu včetně nástroje pro jeho výrobu, tedy vstřikovací formy a jejich následná analýza pomocí softwaru pro simulaci, který se používá k optimalizaci celého procesu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Přírodní polymerní materiály existují historicky už od nepaměti. Postupem času člověk přišel na to, jak tyto materiály zpracovávat a dále využívat. K další evoluci ve zpracování materiálů došlo rozšířením lidských schopností, což umožnilo tyto materiály dokonce vyrábět. Tím dochází ke vzniku syntetických polymerů. Pokud je přihlédnuto ke skutečnosti, že je zvykem označovat jednotlivé období lidstva podle charakteristického materiálu, tak s trochou nadsázky můžeme dnešní dobu označit za dobu polymerní. [1]

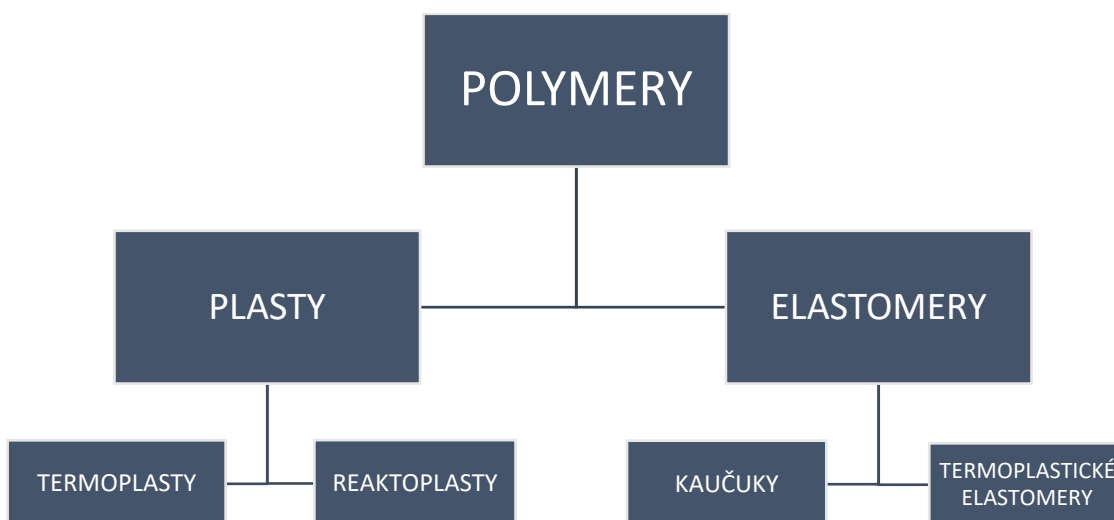
Polymery jsou chemické látky s velkou variabilitou vlastností a dělíme je na elastomery a plasty. Dále mají polymery velmi dobrý poměr hmotnosti k mechanickým vlastnostem, umožňují použití velmi široké palety zpracovatelských technologií a v neposlední řadě jsou recyklovatelné. [2]



Obrázek 1 Produkce plastů ve světě a Evropě [3]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymerní materiály se dělí do několika různých skupin podle různých kritérií. Nejzákladnější dělení polymerů je podle chování při zvýšené teplotě a při působení vnějších sil. Podle těchto kritérií se polymery rozdělují do dvou základních skupin plastů a elastomerů. Plasty se následně dělí na termoplasty a reaktoplasty. Druhá skupina elastomerů je dále rozdělena na kaučuky a termoplastické elastomery. [2]



Obrázek 2 Rozdělení polymerů

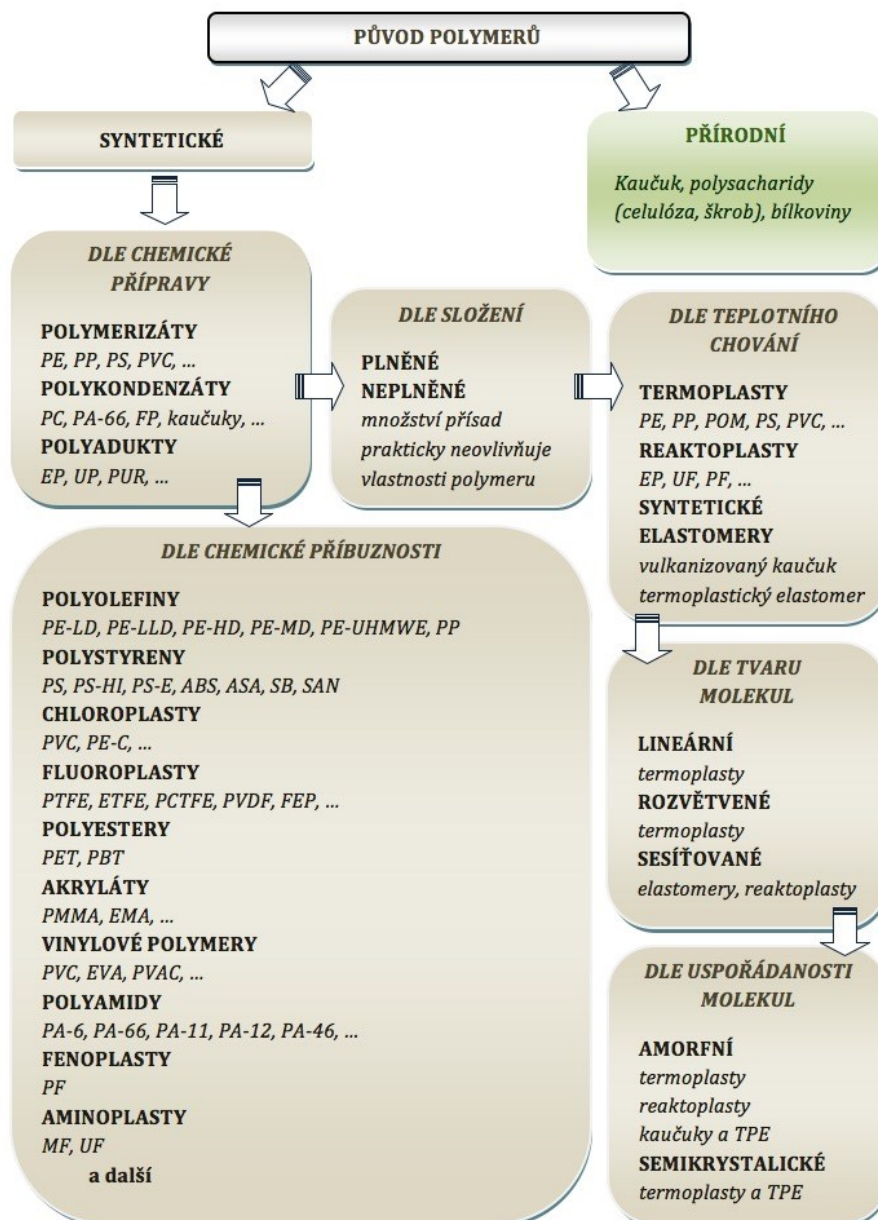
1.1.1 Termoplasty

Ze všech skupin polymerů se tato práce zabývá převážně termoplasty, které jsou zároveň nejrozšířenější skupinou polymerních materiálů. Jsou to materiály, které lze opakovaně jejich zahříváním nad teplotu tání převést do stavu taveniny a následně nechat ochlazením pod tuto teplotu ztuhnout. Celý tento proces musí probíhat při teplotách, které jsou charakteristické pro daný typ materiálu. Při zahřívání materiálu neprobíhají žádné chemické reakce a během dalšího zpracování se nemění ani chemická struktura materiálu. Lze tedy říct, že změny, kterými termoplasty procházejí, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí lze opakovat. Z možnosti opakování uvedeného procesu vyplývá jedna z variant recyklace termoplastů. [2,4]

směru, ve kterém jsou taženy. Po uvolnění se molekuly vrací do svého standardního náhodného uspořádání. Dominantní skupinou elastomerů jsou syntetické kaučuky, z nichž se vyrábí pryže. [1,2,6]

1.1.4 Polymery amorfni a semikrystalické

Jedním z hlavních rozdělení polymerů je dělení podle uspořádání stavebních prvků. Tímto kritériem jsou rozděleny do dvou skupin pod názvem amorfni a semikrystalické. Amorfni polymery mají sklovitý a neuspořádaný stav, naproti tomu semikrystalické polymery mají amorfni a uspořádaný stav. [2]



Obrázek 4 Schéma rozdělení polymerů [4]

- **Amorfní polymery**

Jsou to polymery, kde makromolekuly mají zcela nahodilou pozici. Jejich charakteristické vlastnosti jsou tvrdost, křehkost a vysoká pevnost, tedy modul pružnosti. Vzhledem k nízkému indexu lomu jsou tyto polymery zpravidla průhledné, nebo transparentní. Součinitel teplotní roztažnosti je menší než u semikrystalických polymerů. Amorfní polymery se v praxi používají do teploty skelného přechodu T_g . Mezi amorfní polymery pak můžeme zařadit např.: PC, PMMA, PS a ABS. [7]

- **Semikrystalické polymery**

Semikrystalické polymery utváří oblasti uspořádaných makromolekul, které jsou obklopeny makromolekulami v neuspořádaném amorfním stavu. Tímto stavem vykazují tyto polymery určitý stupeň uspořádanosti, který se označuje jako stupeň krystalinity a pohybuje se od 40 do 90 %. Krystalinita nikdy nemůže dosáhnout hodnoty 100 %, proto se tato skupina polymerů nazývá semikrystalické, nikoliv krystalické polymery. Tyto polymery jsou obvykle mléčně zakalené z důvodu většího indexu lomu. Mezi jejich vlastnostmi vyniká zejména houževnatost a pevnost materiálu. Semikrystalické polymery se používají pouze do teploty tání T_m a řadí se mezi ně například PP, PE, PA, POM a PTFE. [4,7]

1.2 Přísady polymerů

Polymery se zpravidla nezpracovávají samotné, ale vždy jsou zpracovávány společně s přísadami, které příznivě upravují jejich vlastnosti. Mezi přísady se řadí stabilizátory, změkčovadla, maziva, barviva, antistatické přísady, plniva, nadouvadla, síťovací činidla a další. [8]

- **Stabilizátory**

Jsou to v podstatě přísady, které zvyšují odolnost polymerů vůči účinkům tepla, nebo účinkům světla a zmírňují tím jejich stárnutí. S ohledem na tyto vlastnosti dělíme stabilizátory na dvě skupiny a tím jsou tepelné stabilizátory a světelné stabilizátory.

- **Změkčovadla**

Plastifikátory neboli změkčovadla, jsou do polymerů přidávány za účelem jejich změkčení. Tento pojem představuje především snížení tuhosti a tvrdosti polymerů. S tím jsou samozřejmě úzce vázány další vlastnosti polymerů, které se naopak zvyšují. Jsou to

například ohebnost, tažnost a houževnatost. Změkčovadla jsou nejčastěji používána u PVC, čímž získáme materiál s modifikovanými vlastnostmi zvaný měkčené PVC.

- Maziva

Jsou to látky, které usnadňují zpracovatelnost polymerů. Mají kladný vliv na tokové vlastnosti taveniny, jinými slovy snižují viskozitu taveniny. Dále poté zlepšují odformování polymerů a zvyšují jejich lesk.

- Barviva

Barviva, jak již vyplývá z názvu, dávají polymerním materiálům barevný odstín a také kryvost. Tyto látky jsou tedy v polymerech nerozpustné. Podle původu jsou buď anorganická, nebo organická.

- Antistatické přísady

Jsou přidávány do polymerů za účelem snížení povrchového izolačního odporu výrobků. Mohou to být například vodivé přísady (grafit, saze), vodivé povlaky, nebo látky hydrofilního charakteru. Všechny tyto přísady snižují statický náboj, což usnadňuje manipulaci a snižuje riziko znečištění povrchu materiálů usazováním prachu.

- Plniva

Polymerní materiály obsahující plniva se nazývají kompozitními materiály. Jsou definovány jako materiálové struktury, které vznikají ze dvou zcela odlišných materiálů, které mají naprosto rozdílné vlastnosti. Plniva jsou rozdělena podle tvaru na prášková, vláknitá a útržková.

- Nadouvadla

Přísady zvané nadouvadla jsou látky, které se používají při výrobě lehčených hmot. Jako nadouvadla se používají například nitrosloučeniny, azosloučeniny, amidy, hydridy a další.

- Síťovací činidla

Jsou přidávány do polymerních směsí za účelem jejich zesíťování. Obvykle se používají látky zvané peroxidy a například u kaučuků mohou být použity také vulkanizační činidla. Ostatní přísady se volí s ohledem na požadované dosažené vlastnosti. [8,9]

1.3 Vlastnosti polymerů

Polymerní materiály mají velmi široké spektrum vlastností, které je možno dále modifikovat použitím různých přísad, jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole. Použití daného polymeru v konkrétním odvětví je voleno právě s ohledem na jeho vlastnosti, které určují vhodnost daného použití. Pro polymery je charakteristické, že se chovají při mechanickém namáhání viskoelasticky. Jednotlivé vlastnosti polymerů jsou odrazem jejich chemického složení, tvaru a velikosti makromolekul, nadmolekulární struktury, dalších faktorů a jsou závislé na teplotě a času. Všechny vlastnosti polymerů je možné zjistit z materiálového listu určeného pro daný materiál. [2,4]

Vlastnosti polymerů se rozdělují do několika kategorií podle toho, z jakého hlediska je polymer hodnocen. Zpravidla jsou to vlastnosti:


- fyzikální,
- chemické,
- mechanické,
- tepelné,
- elektrické a jiné.

Všechny tyto informace jsou dostupné v daném materiálovém listu, který je výrobce povinen na vyžádání zákazníka dodat společně s dodaným materiálem. Důležitou součástí materiálového listu jsou dále podmínky přípravy a zpracování polymeru, které mají zásadní vliv na kvalitu daného polotovaru či výrobku. Materiálové listy polymerů lze nalézt v jejich databázích, které bývají dostupné online. Celkově je kvalita polymerních dílů ovlivněna materiálem, technologickými parametry zpracování, úrovní stroje, kvalitou nástroje a jeho konstrukčních prvků, kvalitou používaných periférií během zpracování i konstrukčním řešením výrobku. [4]

S ohledem na kvalitu materiálu a jeho případnou reklamaci, je životně důležité od dodavatele získat takzvaný atest kvality neboli inspekční certifikát, v němž jsou naměřeny hodnoty jednotlivých vlastností podle platných mezinárodních předpisů, včetně jejich dohodnutých tolerancí. Vlastnosti polymerů nejsou nikdy absolutní hodnotou zejména s ohledem na rozdílnou délku řetězců makromolekul ve struktuře polymeru. Atest potvrzený dodavatelem se používá jako záruční list pro zpracovatele polymeru. Naproti tomu materiálový list má pouze informativní charakter a jako dokument pro případnou reklamaci se nepoužívá. [4]

| LINEÁRNÍ | ROZVĚTVENÉ | SESÍŤOVANÉ |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ vyšší hustota materiálu ▪ vyšší pevnost ▪ vyšší modul pružnosti ▪ nižší tažnost ▪ vyšší teplotní odolnost ▪ dobrá tekutost taveniny ▪ snadná krystalizace | <ul style="list-style-type: none"> ▪ nižší hustota materiálu ▪ nižší pevnost ▪ nižší modul pružnosti ▪ vyšší tažnost ▪ nižší teplotní odolnost ▪ nižší tekutost taveniny ▪ nižší schopnost krystalizace | <p><i>Vlastnosti závisí na hustotě sítě. S vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje zpravidla:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ vysokou pevností ▪ vysokým modulem pružnosti ▪ vysokou teplotní odolnosti ▪ velmi nízkou tažností |

Obrázek 5 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [4]

|  | | Sekce kontroly jakosti - Technický odbor Quality Control Department Die Section Qualitätskontrolle | | |
|---|--|--|--------------------------|--|
| INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT CERTIFICATE OF INSPECTION / ABNAHMEPRÜFZEUGNIS | | | | |
| Adresa / Address / Adresse: TU v Liberci, Studentská 2, Liberec | | | | |
| Č. obchodní smlouvy / Contract No. / Kontrakt Nr.: | | 0030072014 | | |
| Výrobek / Product / Produkt: | | Polypropylen MOSTEN GB 005 | | |
| Dopravní prostředek / Means of Transport / Partie Nr.: | | | | |
| Množství / Quantity / Menge: | | 0,050 t | | |
| Várka č. / Batch No. / Versandart: | | P2014-0994 | | |
| Č. kontrol. dávky / Inspection Lot / Pruflos Nr.: | | 50000005768 | | |
| Datum expedice / Date of Expedition / Expediert am: | | 04.07.2011 | | |
| Potvrzujeme, že při zkouškách provedených na dané dodávce materiálu byly nalezeny následující hodnoty parametrů / For above mentioned supply, the following values have been measured / Zur o.a. Lieferung wurden folgende Werte ermittelt: | | | | |
| Parametr Parameter Eigenschaft | Zkušební norma Test method Prüfmethode | Jednotka Unit Einheit | Hodnota Value Wert | Naměřená hodnota Real content Iswert |
| Index toku taveniny (230/2,16) MIN Melt flow rate (230/2,16) MIN Schmelzindex (230/2,16) MIN | ČSN EN ISO 1133 | g/10 min | 4,00 + 6,00 | 5,90 |
| Index toku taveniny (230/2,16) MAX Melt flow rate (230/2,16) MAX Schmelzindex (230/2,16) MAX | ČSN EN ISO 1133 | g/10 min | 4,00 + 6,00 | 6,00 |

Obrázek 6 Inspekční certifikát neboli atest kvality určený pro reklamaci [4]

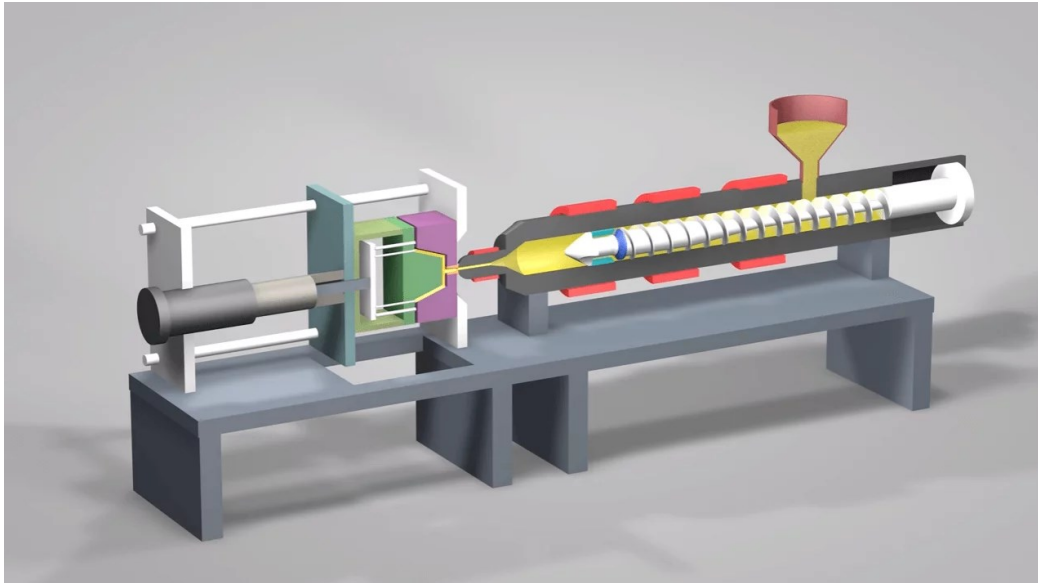
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování plastů je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření a je jedním z hlavních způsobů zpracovávání plastů. Je to jeden z nejuniverzálnějších a nejdůležitějších výrobních procesů, který je schopen sériově vyrábět komplikované plastové díly s vysokou rozměrovou přesností. V současné době se zpracovává vstřikováním velké množství polymerů různých druhů a význam této technologie dále roste. Technologie vstřikování je tvářecí proces, který je specifický svojí komplexností. Tato technologie vyniká především tím, že jsme schopni zhotovit výrobek neboli výstřik za relativně krátký čas. V rámci technologického procesu vstřikování probíhají v materiálech složité fyzikální procesy. Vstřikování se řadí k cyklickým tvářecím procesům a probíhá za podmínek, které vyjadřuje teplota, doba procesu, velikost napětí a další. Při technologii vstřikování je materiál nejprve připraven v plastikační jednotce, následně je pak dopravován pomocí tlaku do dutiny vstřikovací formy, kde je vstřikovaný materiál postupně ochlazován až do stavu, kdy je možné otevření formy a vyhození hotového výrobku. Z hlediska finanční výhodnosti při velkosériové výrobě a schopnosti vyrábět díly nejrůznějších rozměrů a tvarů, má před sebou technologie vstřikování velkou budoucnost. [1,2,10,11]

2.1 Proces vstřikování

Vstřikování je nejběžněji používaný výrobní proces pro výrobu plastových dílů. Pomocí vstřikování se vyrábí široká škála produktů, které se mohou velmi lišit velikostí, složitostí a druhem jejich použití. K jeho správné funkci vyžaduje proces vstřikování použití vstřikovacího stroje, surového plastového materiálu a samozřejmě vstřikovací formy. Jak je již zmiňováno v úvodu do technologie vstřikování. Polymer se nejprve roztaví v plastikační jednotce, následně se vstříkne do formy, kde se postupně ochladí a ztuhne do tvaru finálního dílu, který určuje dutina vstřikovací formy. [12]

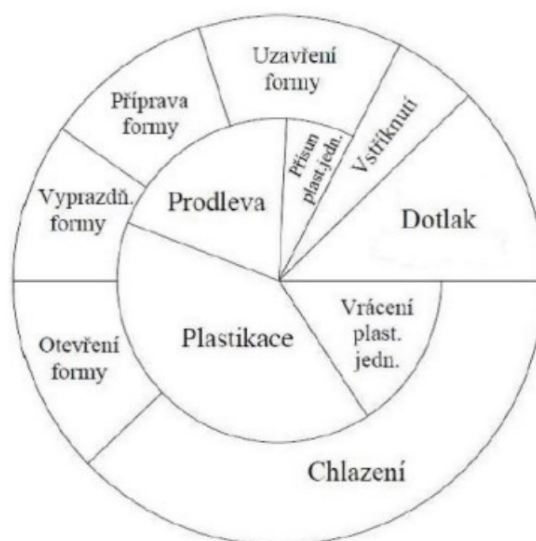
Vstřikování je velmi všestranný proces, který umožňuje použití široké škály různých materiálů a také povrchových úprav. To z něj dělá oblíbenou volbu v mnoha průmyslových odvětvích se zcela odlišnými cíli a požadavky. Jedním z těchto odvětví je spotřební průmysl, kam se řadí výroba předmětů každodenní potřeby, pro které je velkosériová výroba metodou vstřikování charakteristická. Mezi další oblasti uplatnění vstřikovaných výrobků se řadí například farmacie, automobilový průmysl a také letectví. [12,13]



Obrázek 7 Grafické schéma procesu vstřikování [13]

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus lze rozdělit na čtyři hlavní fáze, které ovlivňují aktuální stav výstřiku a následně jeho kvalitu. Pracovní cyklus určuje rychlost funkce vstřikovacího a uzavíracího mechanismu a dobu uzavření a otevření formy. Většinou trvá v řádu sekund, což je dáno podle tloušťky stěny a samozřejmě podle celkové velikosti výrobku. Pro správný popis vstřikovacího cyklu a jeho znázornění v grafu, je nutné jednoznačně definovat začátek cyklu. Jako začátek vstřikovacího cyklu je určen impuls k uzavření vstřikovací formy. [1,14,15]



Obrázek 8 Časový graf vstřikovacího cyklu [16]

2.2.1 Plastikace

Hlavní předpoklad pro optimální zaplnění dutiny formy polymerní taveninou je zajištění teplotní a viskozitní homogenity taveniny před čelem šneku, což zajišťuje právě plastikační fáze. Správná plastikace musí probíhat za daných teplot v jednotlivých topných pásmech plastifikačního válce za přispění zpětného odporu a obvodové rychlosti šneku neboli jeho otáčkách. Případná teplotní i viskozitní nehomogenita taveniny se může negativně projevit na vzhledu výstřiku, kde dochází například ke vzniku tokových čar, studených spojů a dalších nepřipustných vad. Při plastifikaci polymerních materiálů je také nutné dbát na dobu výdrže polymerní taveniny na zpracovatelské teplotě. Při překročení této doby může dojít k tepelnému rozkladu materiálu. [15]

2.2.2 Vstřikování

Ke vstřikování taveniny do formy dojde po jejím uzavření a po přísunu vstřikovací jednotky. Hlavním úkolem vstřikovací fáze je naplnění tvarové dutiny formy taveninou, která je připravena v plastikační fázi. Rychlost čela proudu taveniny by měla být ve všech místech konstantní. U tvarově jednoduchých výrobků je možné tento předpoklad dodržet, naopak u tvarově členitých výrobků s rozdílnou tloušťkou stěny je to již velmi problematické, a to i při využití počítačových simulací pro plnicí fáze. Rychlost vstřikování neboli doba plnění dutiny formy taveninou má vliv především na povrchové defekty výrobku. Rychlost plnění, teplotu taveniny a teplotu formy je nutné optimalizovat tak, aby nedocházelo ke vzniku příliš vysokých smykových napětí na povrchu výrobku. Pro polymery s částicovým plnivem je nejvýhodnější varianta vyšší teploty taveniny a nižší vstřikovací rychlosti. Naproti tomu u polymerů s vláknitým plnivem je nejvhodnější použití vysoké rychlosti vstřikování i vyšší teploty taveniny. [10,15]

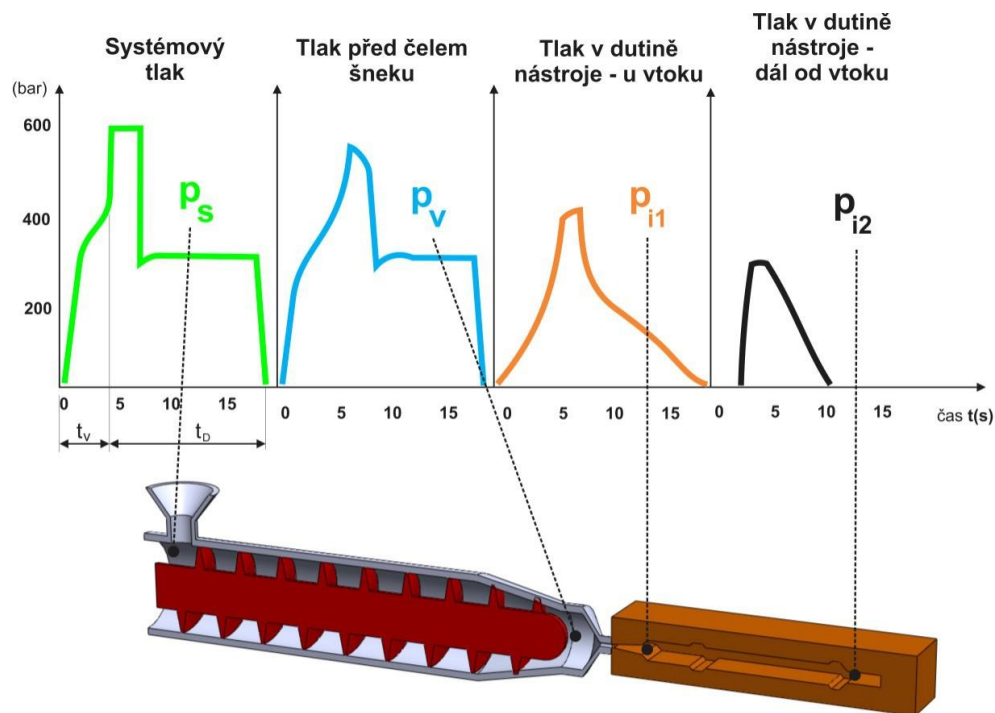
2.2.3 Dotlak

Po dokončení vstřikování taveniny do dutiny formy následuje fáze dotlaku. Dotlak nemusí být vždy součástí vstřikovacího cyklu, a to v závislosti na druhu materiálu, jeho zatékavosti a další důležitých aspektech. V některých případech lze tedy dotlak ze vstřikovacího cyklu úplně vynechat. Průběh dotlaku je charakterizován hodnotou tlakové odezvy v dutině formy a dobou působení. Musí se volit tak, aby bylo dosaženo požadovaného tvaru, hmotnosti a rozměru výstřiku. Dotlaková fáze se skládá z těchto parametrů: doba dotlaku, tlaková úroveň a profil dotlaku. Tyto parametry jsou klíčové k dosažení požadovaných rozměrů, vykopírování tvarů stěn dutiny vstřikovací formy a hmotnosti výstřiku. Při jiném, než

optimálním působení dotlaku dochází ke zvýšení vnitřního pnutí, čímž se zvyšuje možná tvorba přetoků v dělicích rovinách a v neposlední řadě je to i značně neekonomické. Dotlak je využíván ke korekci smrštění, k odstranění propadlin, lunek a bublin, včetně dokonalejšího kopírování tvarové dutiny formy. [2,15]

2.2.4 Chlazení

Chladicí čas je doba, po kterou je tavenina v dutině formy ochlazována bez působení vstřikovacího tlaku, a to až do ochlazení výrobku, následnému otevření formy a jeho vyhození. Závisí na teplotě zpracovávaného materiálu, tloušťce stěny výrobku a teplotě. Chlazení podstatně ovlivňuje celkovou dobu vstřikovacího cyklu. Parametry ochlazovací fáze jsou teplota formy a doba ochlazování. Minimální doba chlazení musí zaručit takovou tuhost výstřiku, aby bylo možné jeho bezpečné vyhození z dutiny formy bez deformací nebo vad způsobených vyhazovacím systémem. Optimalizace doby ochlazování má výrazný vliv na ekonomiku celého výrobního procesu, protože chlazení obvykle tvoří nejdelší část vstřikovacího cyklu. Z hlediska kvalitativních požadavků by doba ochlazování měla být co nejdelší, naopak z ekonomického hlediska pak co nejkratší. Vždy je tedy nutné volit kompromis vycházející z těchto požadavků. [10,15]



Obrázek 9 Tlakový průběh při vstřikování [14]

2.3 Konstrukce plastových dílů

Technologie konstrukce plastových dílů vyrobených vstřikováním je důležitým předpokladem nejen pro ekonomii jejich výroby a pro správnou funkci výrobků v provozních podmínkách, ale samozřejmě i pro dosažení optimální rozměrové přesnosti. Na rozměrovou přesnost mají vliv především tyto faktory:

- průběh dělicí roviny,
- tloušťka stěn,
- výztužná žebra,
- přechody hran a stěn neboli zaoblení,
- úkosy a podkosy. [17]

Průběh dělicí roviny

Správné zaformování výstřiku má usnadnit snadné vyhazování z dutiny formy. Vychází z konstrukčního řešení výrobku a je velmi důležité pro konstrukci vstřikovací formy a její rozdělení na pevné a pohyblivé části (tvárník, tvárnice, ...). V místě, kde se při uzavření formy navzájem dotýkají tvářecí části. Tedy v místě, kde se tvářecí dutina při otevření formy rozdělí, vzniká dělicí rovina. Dělí dutinu formy a vzniká po ní na výrobku viditelná stopa. V mezních případech mohou v dělicí rovině vznikat i přetoky. [17]

Dělicí roviny jsou většinou kolmé na směr uzavírání formy. Výrobky mají dva základní druhy rozměrových přesností. Rozměry nevázané formou a rozměry vázané formou, na které nemá vliv dělicí rovina a dosahuje se u nich tím pádem větší rozměrové přesnosti. Z uvedeného vyplývá, že poloha dělicí roviny má velký vliv na dosažitelnou přesnost, zejména u malých rozměrů nevázaných formou. [17]

Doporučuje se proto dodržovat při navrhování výrobků tyto zásady týkající se dělicích rovin:

- dělicí rovina pravidelná, jednoduchý geometrický tvar,
- dělicí rovina má probíhat v hranách výrobku,
- dělicí rovina má být umístěna tak, aby neměla vliv na funkční rozměry,
- průběh dělicí roviny by měl konstruktér výrobku konzultovat s konstruktérem formy,
- dělicí rovina by měla být na výkrese výrobku zakreslena. [17]

Tloušťka stěn

Při určování tloušťky stěn výrobku je třeba vedle funkčního hlediska přihlížet i k zatékavosti polymeru. Vyhovuje-li z konstrukčního a funkčního hlediska zvolit tenčí stěny, je nutné to zohlednit a provést úpravu technologických podmínek (polymer s větší tekutostí, větší teplota formy). Rozdílné tloušťky stěn výrobku mají za následek rozdíly ve smrštění. To přispívá ke tvorbě deformací, jako jsou například propadliny a lunkry. Ke stejným problémům dochází i v místech kde se hromadí větší množství materiálu, proto se v těchto místech doporučuje použít vybrání neboli odlehčení výrobku. Je-li v těchto místech potřeba větší tuhost výrobku, lze do konstrukce umístit výztužná žebra. [17]

Výztužná žebra

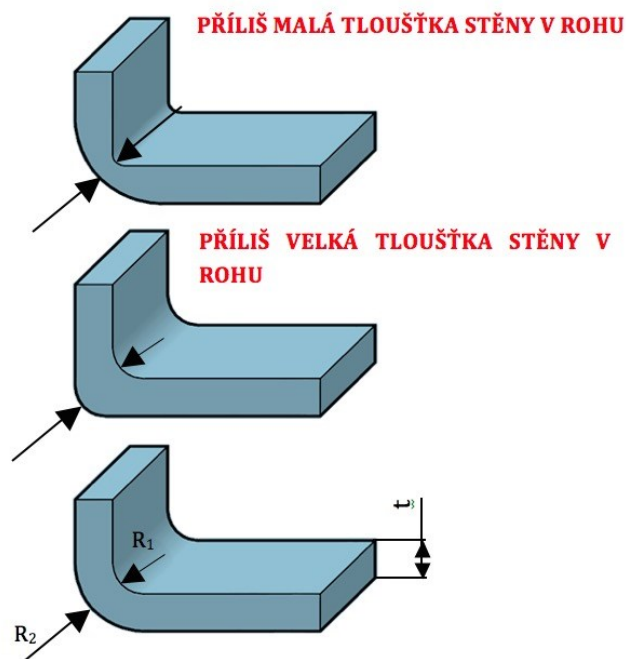
Žebra mají být konstruována ve směru toku taveniny a jejich rozměry, tedy výška a délka by měly být stanoveny tak, aby plnili jak funkci výztuže, tak funkci technologickou. Příliš tlustá žebra způsobují propady materiálu na protilehlém povrchu a rozdíly ve smrštění. Technologická žebra se používají většinou u tenkostěnných výrobků s velkou dráhou toku taveniny, kde se může stát, že by tavenina ztuhla dříve, než bude vyplněna celá dutina formy. Zlepšují tečení taveniny, avšak neměli by vytvářet prostor pro uzavření vzduchu v dutině formy a tím vznik nedotečení materiálu, případně jiných nepřipustných vad. [17]

Přechody hran a stěn neboli zaoblení

V problematických místech, kde dochází ke styku několika ploch nebo ke změně toku taveniny je nutno vzniklé hrany maximálně zaoblit, tak aby nedocházelo k nedotečení materiálu. Tímto krokem se podstatně zmenší odpory proti tečení materiálu. V praxi se zaoblením také nepřímo ovlivňuje smrštění výstřiku a v neposlední řadě je usnadněno vyhazování výrobku z formy. Tím se sníží také riziko deformací při vyhazování. [17]

Úkosy a podkosy

Pro správnou konstrukci dílu jsou důležité především úkosy stěn ve směru vyjímání výstřiku z formy. Je důležité, že se technologické úkosy dělají nejen u hlavních ploch, ale také u nálitků, žeber a v otvorech. Míra zkosení je závislá na druhu polymeru, velikosti a tvaru výrobku a na celkovém řešení konstrukce formy. Po konzultaci konstruktéra výrobku s konstruktérem formy je třeba s přihlédnutím ke všem důležitým aspektům určit všechny plochy formy, které budou obsahovat úkosy nebo podkosy a také stanovit jejich velikost. Na výkrese výrobku musí být poté jednoznačně definován směr úkosu ve vztahu ke kótě daného rozměru. [17]



Obrázek 10 Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstříkovaného dílu [18]

2.4 Vady při vstřikování

Při výrobě metodou vstřikování může při nesprávné konstrukci docházet ke vzniku různých typů vad. Odstraňování těchto vad při vstřikování je třeba systematicky řešit. Nejprve je třeba odhalit příčinu vzniku vad a následně zanalyzovat možnosti jejich odstranění. Existuje velké množství vad při vstřikování polymerů, ty nejběžnější typy vad si blíže popíšeme: [2]

- Rozdíly v lesku povrchu

Rozdíly v lesku povrchu výrobků jsou dány odlišným chováním neboli kopírováním povrchu tvarových dutin vlivem různých místních teplotních a tlakových podmínek ve vztahu ke vzdálenosti od ústní vtoky.

- Stopy po vyhazovačích

Příčiny vzniku příliš velkých stop po vyhazovačích přímo souvisejí se vstřikovacím procesem (velké zkrácení doby chlazení, nutnost použít vysokou vyhazovací sílu). Také to může být ovlivněno jinými příčinami jako jsou například geometrické, tedy použití nesprávné délky vyhazovačů. Pevnostní příčiny, do kterých se řadí špatně navržený vyhazovací systém, malá plocha vyhazovačů nebo jejich nevhodné umístění. Poslední příčinou můžou být velké teplotní rozdíly mezi vyhazovači a tvarovými díly formy.

- Bubliny

Bubliny mohou být nejčastěji vzhledové, ale v některých případech mohou i snižovat mechanické vlastnosti výrobku. Vznikají zachycením vzduchu, případně plynů vzniklých ve vstřikovacím procesu, který je dopraví do tvarové dutiny formy.

- Přetoky

Přetoky se definují jako přebytečný materiál, který se objevuje na okrajích výrobku. Aby přetoky nevznikali, je nutné splnit tři základní podmínky. Uzavírací síla v dělicí rovině musí být větší než tlak v tvarových dutinách. Forma musí být tak robustní a tuhá, aby se zabránilo jejímu pootvření. Všechny dělicí roviny na sebe musí dokonale dosedat.

- Stín na povrchu

Jedná se o vadu, při níž vidíme na vzhledovém povrchu některé tvarové detaily ze zadní strany výstřiku, a to působí jako bychom měli možnost se dívat skrz výrobek. Příčinou bývá obvykle rozdílné lokální smrštění výstřiku.

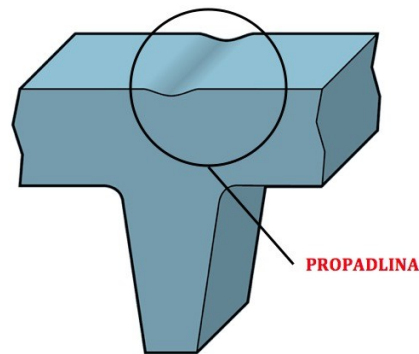
- Propadliny

Propadlé místo na výstřiku lze definovat jako místo na povrchu, které není v souladu s 3D modelem výrobku. Vzniku propadlin je možno předejít použitím rovnoměrné tloušťky stěn, využitím žeber a jejich napojením na základní stěnu výrobku.

- Deformace výstřiků

Je to vada u vstřikování plastů, která uvádí, jak moc je výstřik odlišný od zamýšleného tvaru, který nejčastěji udává 3D model. Tuto vadu není jednoduché odstranit. Nežádoucí tvarové deformace výrobku jsou dány podstatou tvářecího procesu, tedy tepelnou historií výstřiku, která se promítá do smrštění a obsahu vnitřního pnutí. Výrazným problémem tvarových změn je jejich rozdílnost v různých místech výstřiku a v důsledků těchto rozdílů vznikají na výsledném výrobku deformace. [2]

Požadavky na kvalitu výrobků vyrobených technologií vstřikování se neustále zvyšují, na čemž má největší podíl zejména automobilový průmysl. Růst těchto požadavků na jakost se tedy výrazně promítá do používaných systémů jakosti v našich výrobních procesech. [2]



Obrázek 11 Vznik propadliny na vstřikovaném dílu [18]

2.5 Speciální technologie vstřikování

Kromě standartní technologie vstřikování polymerních materiálů, existují i další technologie vstřikování, které se označují jako speciální technologie vstřikování. Tyto technologie využívají základního principu technologie vstřikování, ale jsou výrazně rozdílné z hlediska technologických parametrů i z hlediska konstrukce vstřikovací formy a stroje. Speciálními technologiemi vstřikování plastů se vyrábí plastové díly, které jsou nějakým způsobem neobvyklé. Například kombinace více plastů v rámci jednoho výrobku. [14]

- Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování

Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování je nejčastěji používaná speciální technologie vstřikování. Tato technologie spočívá v použití dvou nebo více polymerních materiálů na jednom vstřikovaném výrobku, případně použití dvou nebo více barev jednoho druhu polymeru. Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování je založena na vytvoření pevného spoje mezi použitými polymery v rámci jednoho výrobku. K tomuto spojení dochází buď pomocí adhezních sil, nebo zastříknutím tvarové geometrie polymerů. V současné době je tato technologie stále více používána, a to především u výrobků obsahující kombinaci termoplastů a termoplastických elastomerů. [14]



Obrázek 12 Plastový díl vyrobený technologií vícekomponentního vstřikování [19]

- Technologie sendvičového vstřikování

Technologie sendvičového vstřikování je založena na tom, že se vstřikovaný díl skládá ze dvou polymerů. Jeden druh materiálu je na vnějším povrchu dílu. Druhý materiál je poté uvnitř dílu a tvoří jeho jádro. Výhodou technologie je možnost použití recyklátu do jádra výrobků, nebo použití speciálních typů plastů na vnějším povrchu plastových dílů.

- Technologie vstřikování pryží a kaučuků

Kaučuky a pryže, stejně jako termoplasty a reaktoplasty, mohou být kromě jiných způsobů výroby zpracovávány technologií vstřikování. Plastikace probíhá za nízkých teplot a vstřikovací formy jsou vytápěny na teplotu, při které dochází k vytvoření slabé zesíťované struktury a k vulkanizaci.

- Technologie vstřikování plastů s podporou plynu

Technologie vstřikování plastů s podporou plynu (GIT, GID, GIM) je technologie založená na principu, kdy se do určitých míst plastového výstřiku přivádí inertní plyn za účelem vytvoření dutiny ve výrobku. Výhodou technologie vstřikování s podporou plynu je možnost vyrábět tlustostěnné plastové díly s uzavřenými dutinami bez propadlin a dlouhých časů chlazení.

- Technologie vstřikování plastů s podporou vody

Kromě technologie vstřikování plastů s podporou plynu se v dnešní době používá také technologie vstřikování plastů s podporou vody (WIT). Tato technologie se obdobně jako vstřikování s podporou plynu používá k výrobě dutých těles. Voda je stejně jako plyn vstřikována do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Voda by se při tomto procesu neměla odpařovat, což závisí nejenom na použitém plastu, ale i na tlaku, kterým bude voda vstřikována do taveniny plastu.

- Technologie vstřikování strukturních pěn

Technologie vstřikování strukturních pěn vede k výrobě plastových dílů s velmi nízkou hustotou a hmotností. Z hlediska technologie výroby rozeznáváme několik procesů, které využívají k vytvoření napěněné struktury buď fyzikální, anebo chemické nadouvadlo. Výrobky ze strukturních pěn mají kompaktní povrchovou vrstvu a napěněné jádro. Nacházejí své uplatnění nejenom jako izolační materiály ve stavebnictví a spotřebním průmyslu, ale také například v automobilovém průmyslu. [14]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Proces vstřikování probíhá na moderních strojích, které jsou většinou plně automatické, což umožňuje dosahovat vysoké produktivity práce. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, řídicí a kontrolní jednotky. Vstřikovací stroj má za úkol zajistit uzavření formy, vstřikování polymerní taveniny do dutiny formy, udržení formy v uzavřeném stavu až do ochlazení výrobku. Následuje otevření formy a vyhození výrobku z formy. Pro úspěšné zhotovení výrobku neboli naplnění dutiny formy musí být forma namontována ve vstřikovacím stroji, který zajišťuje bezproblémový průběh celého procesu vstřikování. [7,20]

Důležitým vybavením pro technologii vstřikování je kromě vstřikovacího stroje i vstřikovací forma a temperační jednotka. Vzájemná spolupráce těchto tří komponent je řízena prostřednictvím technologických parametrů, mezi které se řadí především teplota, tlak, čas, dráha a rychlost. Tyto základní komponenty mohou být rozšířeny o další příslušenství, které pomáhá optimalizovat proces vstřikování. Mezi pomocné komponenty vstřikovací linky se řadí například transportní a dopravníkové systémy, roboty, manipulátory a jiné. [21]

Pro zajištění základních funkcí je nezbytné, aby vstřikovací stroj, vstřikovací forma a temperační systém byly napojeny na zdroj elektrické energie, hydraulický pohon vodním okruhem, nebo na pneumatický pohon pomocí stlačeného vzduchu. Ve všech případech je daný zdroj napojen na centrální rozvod energie, který zajišťuje jeho regulaci a správné nasměrování k jednotlivým systémům. [21]

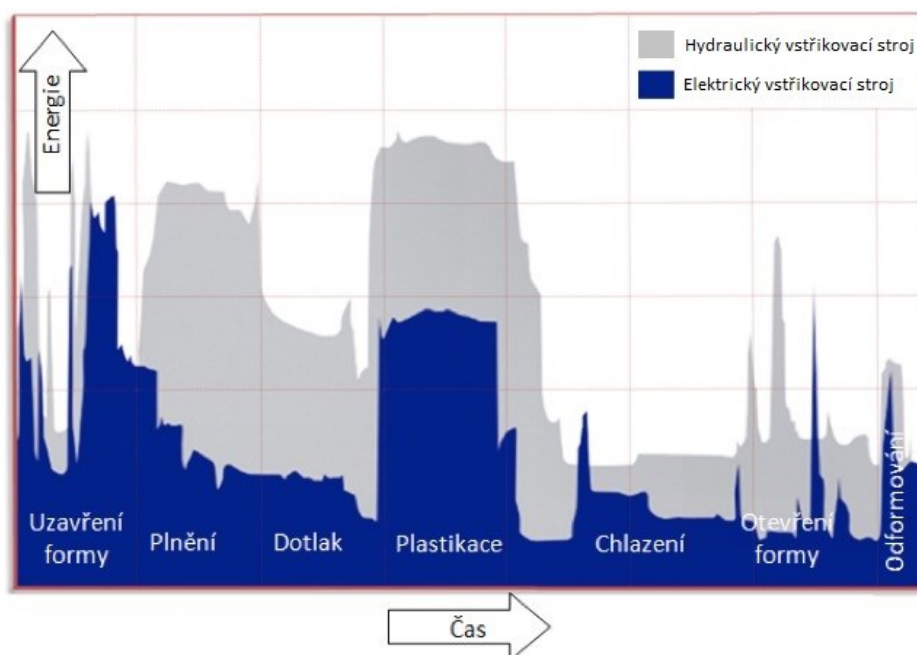


Obrázek 13 Vstřikovací stroj německé firmy Arburg vystavený na MSV v Brně

3.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

Vstřikovací stroje je možné dělit do mnoha skupin dle různých kritérií. Například podle konstrukce vstřikovacích jednotek rozdělujeme vstřikovací stroje na stroje bez předplastikace a s předplastikací. U strojů bez předplastikace se materiál plastikuje v tavném válci, naopak u vstřikovacího stroje s předplastikací dochází k plastikaci v oddělené plastikační jednotce. Dále je můžeme dělit dle členu vstřikovací jednotky, na pístové a šnekové. V dnešní době se ovšem za nejpřehlednější dělení vstřikovacích strojů považuje dělení dle pohonu. Dle pohonu dělíme vstřikovací stroje na elektrické, hydraulické a hybridní. [1,21]

V současnosti lze najít na trhu z hlediska pohonů tři základní typy vstřikovacích strojů. Pohyby uzavírací a vstřikovací jednotky jsou vyvozeny buďto elektromechanickým pohonem, elektrohydraulickým pohonem, nebo kombinací obou pohonů, tedy hybridním pohonem. U hybridních pohonů jsou kombinované výhody obou typů pohonů. Plně elektrické stroje jsou prosazovány především s ohledem na vysokou účinnost celého systému. Hybridní stroje se poté ve spotřebě energie pohybují mezi těmito dvěma skupinami. Nemůžeme však tvrdit, že díky elektrickým úsporám jsou plně elektrické stroje nejlepší. Při vzájemném porovnání se musí brát vždy v úvahu daný typ aplikace, s ohledem na velikost produkce, design výrobku, výrobní cyklus, potřebnou uzamykací sílu a velikost dávky taveniny. [21]



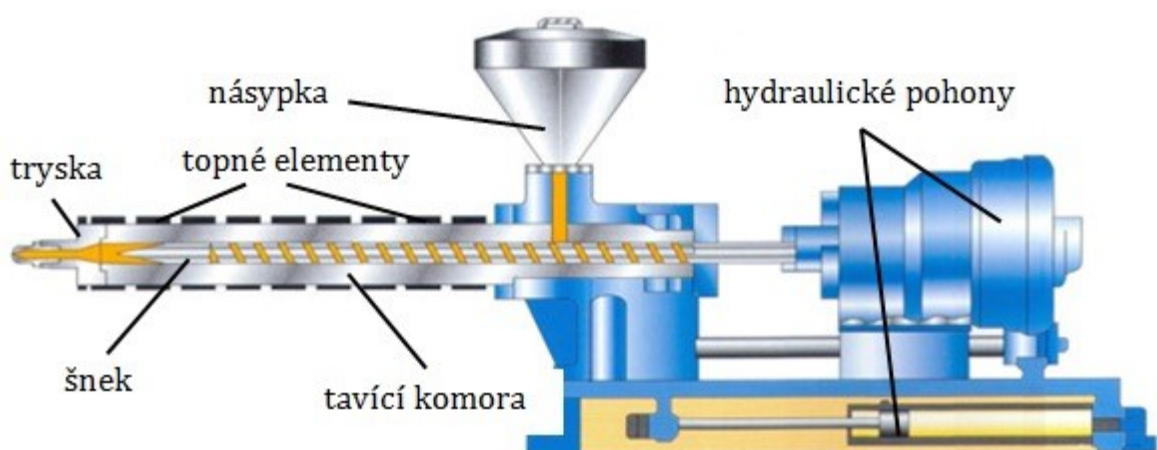
Obrázek 14 Srovnání spotřeby energie během vstřikovacího cyklu [21]

3.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly, přeměňuje granulát polymeru na taveninu o dané viskozitě a tuto taveninu poté vysokou rychlostí a velkým tlakem vstřikuje do dutiny formy. Existují dva základní typy vstřikovacích jednotek, pístové a šnekové. V současnosti je použití pístových vstřikovacích jednotek opravdu zanedbatelné. Nejrozšířenějším typem jsou vstřikovací jednotky se šnekem. [7,21]

Šnek vstřikovací jednotky rotuje kolem své osy a axiálně se pohybuje vpřed a vzad. Vstřikovací jednotka je připevněna k posuvné konzole, která zajišťuje přísun trysky ke vtokové vložce vstřikovací formy a udržení potřebné přitlačné síly. Hlavní pohony vstřikovací jednotky musí zajistit rotaci šneku při plastikaci taveniny a její přesun do tvarové dutiny formy dopředným pohybem šneku, který působí na taveninu i během fáze dotlaku. Celkový design vstřikovací jednotky musí zajistit snadnou a rychlou výměnu celé jednotky i samotného šneku. [21]

Vstřikovací jednotka se skládá z několika částí. Násypka tvoří vstupní část, na ní navazuje tavíci komora, která je obklopena topnými pásy. Tavíci komora je ukončena tryskou, která těsně dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy. Uvnitř tavíci komory je umístěn šnek. Konstrukční řešení vstřikovací jednotky vychází především z typu materiálu, pro jehož zpracování je určena. Výkonnost vstřikovací jednotky je charakterizována především dvěma parametry, vstřikovací kapacitou a plastikační kapacitou. [21]

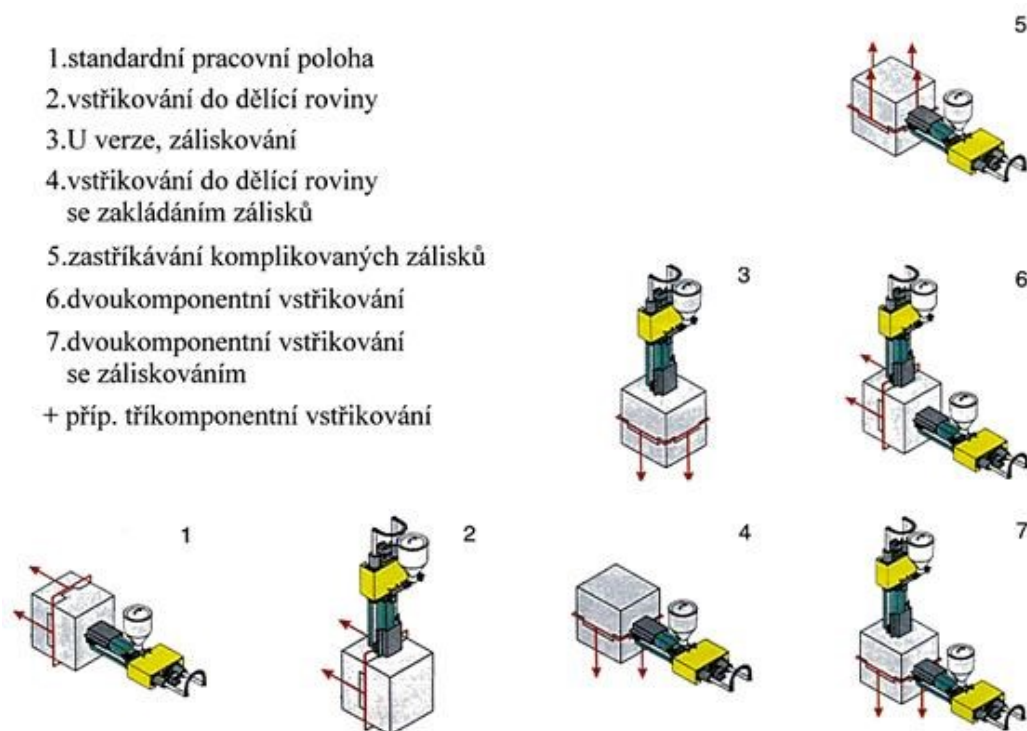


Obrázek 15 Vstřikovací jednotka [21]

3.3 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy. Uzavírací jednotka dále zajišťuje upnutí a plynulé pohyby celé vstřikovací formy. Stejně jako vstřikovací jednotka je tvořena několika samostatnými prvky a mechanismy. Skládá se z těchto hlavních částí, opěrné desky pevně spojené se strojem, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy. Další částí je upínací deska s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy a vodící sloupky. [7,21]

Uzavírací síla je vyvozena mechanicky, hydraulickým pístem, tedy hydraulicky, nebo kombinací obou systémů. Podle pohonu, který zajišťuje posuvy pohyblivé desky, se uzavírací jednotky dělí na elektrické nebo hydraulické. Hydraulický píst může být napojen přímo na pohyblivou upínací desku, nebo stejně jako u elektromotoru je síla přenášena přes další mechanický systém. Tyto systémy jsou potom nazývány hydraulicko-mechanické nebo elektro-mechanické. Vstřikovací a uzavírací jednotky mají vůči sobě určité umístění. Nejčastější uspořádání u vstřikovacích strojů je horizontální, tedy vstřikování kolmo na dělicí rovinu formy. V některých případech speciálních způsobů vstřikování však může dojít i k jiné vzájemné poloze vstřikovací a uzavírací jednotky. [7,21]



Obrázek 16 Speciální typy uspořádání mezi vstřikovací a uzavírací jednotkou [7]

3.4 Řídící a kontrolní jednotka

Hlavním členem kontrolní a řídicí jednotky je regulátor, který zpracovává aktuální hodnoty sledovaných parametrů, které získává přímo ze systémů stroje. Tyto parametry jsou poté porovnávány se zadanými hodnotami. Pokud regulátor zaregistruje nějakou odchylku, potom se snaží pomocí regulačních prvků dorovnávat tuto chybu na požadovanou úroveň. [21]

Celý systém je v současnosti standardně řízen mikroprocesory, což umožňuje i automatickou optimalizaci procesu v průběhu vstřikování. Součástí kontrolní a řídicí jednotky je komunikační rozhraní, prostřednictvím jehož lze nastavovat technologické parametry a kde je možné sledovat aktuální hodnoty, jako jsou například teplota, tlak a rychlost. Vstřikovací stroj se ovládá pomocí dotykového displeje, případně externí klávesnice nebo myši. [21]

Součástí komunikačního rozhraní jsou i porty pro připojení paměťových karet, na která se dají stahovat získaná data z průběhů jednotlivých výrobních cyklů. Tímto způsobem se také dají přenášet výrobní programy, které obsahují posloupnosti jednotlivých kroků výrobního procesu. Na dotykovém displeji jsou zobrazovány rovněž poruchy, ke kterým během jednotlivých operací dochází. Tyto poruchy jsou zobrazovány také pomocí signalizačního zařízení. [21]



Obrázek 17 Kontrolní a řídicí systém společnosti Arburg [22]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je velmi specializované zařízení, které se používá k výrobě plastových dílů. Téměř každá vstřikovací forma je jedinečná a unikátní a je navržena a vyrobena na zakázku, tak aby vyhovovala konkrétní aplikaci jejího použití. Vstřikovací forma musí splňovat následující základní požadavky:

- tvárník a tvárnice
 - svojí dutinou společně definují samotný tvar vstřikovaného dílu,
 - tvárník bývá zpravidla umístěn v levé části formy a tvárnice v pravé nepohyblivé části formy,
- násobnost formy
 - musí být určena správná násobnost formy s ohledem na konstrukci formy, velikost vstřikovacího stroje a také velikosti vyráběné série,
- vtokový systém
 - forma musí obsahovat vhodně zvolený vtokový systém s ohledem na vstřikovaný materiál, konstrukci dílu i formy,
- temperační systém
 - součástí je také temperační systém pro udržení správné a konstantní teploty formy,
- vyhazovací systém
 - další důležitou částí je vyhazovací systém, který zajišťuje správné vyhození výrobku z dutiny formy bez jeho poškození,
- Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy
 - v neposlední řadě je velmi důležitým prvkem odvzdušnění formy, s ohledem na vznik možných vad při vstřikování,
- materiál pro výrobu formy
 - důležitým faktorem je také volba správného materiálu pro všechny prvky vstřikovací formy, dle jejich určené funkce. [23]



Obrázek 18 Ilustrační ukázka vstřikovací formy [24]

Vstřikovací formy musí odolávat vysokým tlakům, musí zhotovovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyhození výrobků z formy a v neposlední řadě musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti a také na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti, na ceně a mnoha dalších kritériích. [7]

4.1 Konstrukce, rozvržení a násobnost formy

Celková konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od velikosti a provedení vstřikovaného dílu. Nejprve je nutné zjistit, zda je daný druh výrobku vhodný pro plně automatizovanou výrobu. Poté by měla být vyhodnocena násobnost formy neboli počet dutin, protože to přímo ovlivňuje velikost vstřikovacího stroje a hlavní rozměry formy. Následně se vytvoří základní rozvržení všech desek vstřikovací formy. Určí se jejich rozměry a tloušťka, čímž vznikne základní rám formy. Dalším krokem je stanovení druhu plastového materiálu, z kterého bude výrobek zhotoven. Na druhu materiálu závisí například zda je nutné formu chladit, nebo ji vyhřívat. Se všemi těmito znalostmi může konstruování vstřikovací formy začít. [25]

V rámci návrhu rozvržení formy musí konstruktér formy vybrat pro daný výrobek nejvhodnější typ formy, materiály jednotlivých dílů formy, jader, desek a dalších. Při návrhu se využívá rozmanitosti standardizovaných rozměrů, ve kterých jsou desky obvykle dodávány. To je v důsledku finančně výhodnější postup ve srovnání s návrhem desky mimo

standardizované rozměry, která by vyžadovala další rozměrové a povrchové úpravy tak, aby vyhovovala přísným konstrukčním požadavkům. [18]

Volba materiálů jednotlivých dílů je prováděna zejména s ohledem na požadovanou životnosti vstřikovací formy a povahu příslušného dílu. Je zřejmé, že vyhazovače, které se vysouvají a zasouvají v každém vstřikovacím cyklu budou vyrobeny z materiálu vyšších pevnostních vlastností než například upínací desky, které jsou využívány pouze k upínání vstřikovací formy na vstřikovací stroj. [18]

Výsledkem prvotní fáze návrhu rozvržení formy by měly být především tyto hlavní parametry:

- počet dutin,
- směr otevírání formy,
- způsob odformování vstřikovaných dílů,
- poloha dělicí roviny,
- délka, výška a šířka jader a vložek dutiny vstřikovací formy. [18]

Násobnost vstřikovací formy je se stále se zvyšující kapacitou výroby vstřikovaných dílů jednou z nejdiskutovanějších otázek. Je to především s ohledem na přímou vazbu na ekonomickou náročnost celého výrobního procesu. Z hlediska kvality a přesnosti výrobků je nejvýhodnější, aby byla násobnost formy co nejmenší, protože se tím zjednoduší celková konstrukce formy. S ohledem na finanční náročnost celého výrobního procesu je ovšem výhodnější, aby byla forma vícenásobná. Při více násobnosti formy je důležité brát důraz na to, aby dráha toku taveniny ve vtokové soustavě a v dutinách formy byla ke všem výrobkům stejně dlouhá. [17]

Rozhodování o optimální násobnosti vstřikovací formy ovlivňují zejména tyto faktory:

- rozměry a hmotnost výrobků,
- kvalita a přesnost výrobků,
- typ vstřikovacího stroje,
- rozsah výroby,
- dodací lhůty a finanční limit. [17]

Obecně stále platí pravidlo, že všechny části vstřikovací formy by měly být navrženy co nejjednodušeji a při splnění ostatních požadavků. Také je vhodné zmínit i důležitost kvalitního prověření a průběžné kontroly návrhu ještě před samotnou výrobou, jelikož následné konstrukční změny mohou být velmi nákladné či v krajních případech dokonce nemožné. [18]

4.2 Vtokový systém

Rozhodnutí o typu vtokového systému je velmi kritické a musí být učiněno v první fázi konstrukčního návrhu vstřikovací formy. Souvisí totiž zejména s použitými materiály jednotlivých dílů vstřikovací formy, montáží formy, požadovanou produktivitou procesu, plánovaným rozpočtem vstřikovací formy a také se vstřikovaným materiálem. [18]

Kvalitu a jakost výrobku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy. Vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozvodných kanálů a vtokového ústí. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin a jejich rozmístění, jinými slovy tedy podle násobnosti formy. Velmi důležitým kritériem je poté samozřejmě to, zda bude vtokový systém konstruován jako studený, nebo jako vyhřívaný. [7]

Vtok má být v zásadě řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou, co nejrychleji a bez velkých teplotních a tlakových ztrát. U vícenásobných vstřikovacích forem je nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly naplněny současně, při stejné teplotě taveniny a stejném vnitřním tlaku. [7]

| POROVNÁVACÍ HLEDISKO | TYP FORMY / VTOKOVÉHO SYSTÉMU | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------|
| | DVOU DESKOVÁ | S HORKÝM ROZVODEM |
| spotřeba materiálu | 3 | 1 |
| doba výrobního cyklu | 1 | 1 |
| počáteční investice | 1 | 3 |
| doba rozjezdu výroby | 1 | 4 |
| náklady na údržbu | 1 | 4 |
| umístění ústí vtoku | 4 | 1 |

Obrázek 19 Ukázka porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem; porovnávání známkou 1 až 5 (nejlepší až nejhorší) [18]

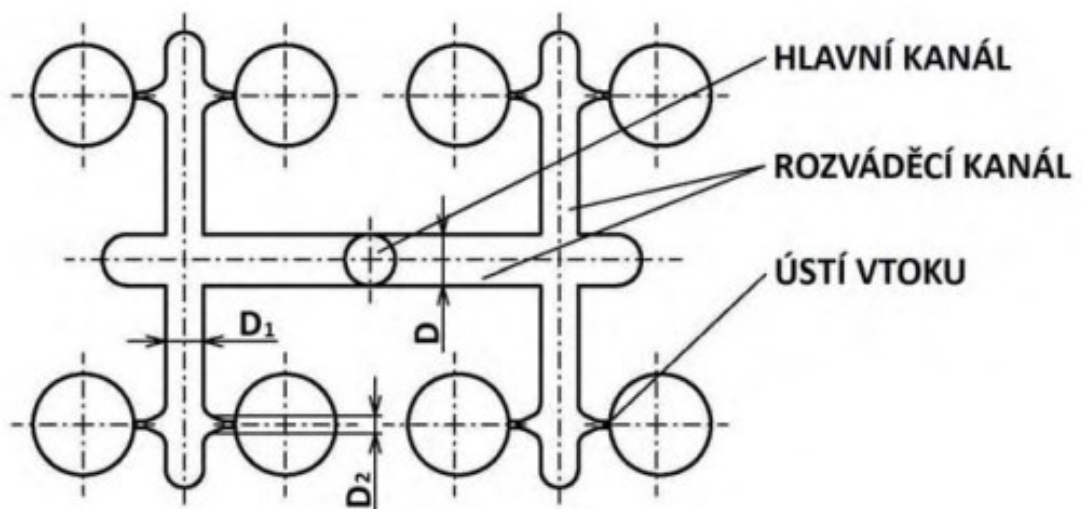
4.2.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém vstřikovací formy zajišťuje při vstřikování vedení roztaveného proudu taveniny od vstřikovacího stroje až po samotnou dutinu formy. Vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozváděcích kanálů a vtokového ústí daného typu. Naplnění dutiny musí proběhnout v co nejkratším možném čase a s minimálními odpory. [10]

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním vtokového ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výrobku,
- spotřebu vstřikovaného materiálu,
- náročnost začištění vtokových zbytků,
- energetickou náročnost výroby. [10]

Při volbě vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, a naopak nejnižší je uprostřed. Ztuhlá povrchová vrstva taveniny tedy vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny, který postupně zaplní celou dutinu formy. V okamžiku zaplnění celé dutiny formy pak prudce vzroste odpor a poklesne průtok taveniny. Nastává postupné tuhnutí taveniny v dutině formy i zatuhnutí celého vtokového systému. [10]



Obrázek 20 Schéma studeného vtokového systému [26]

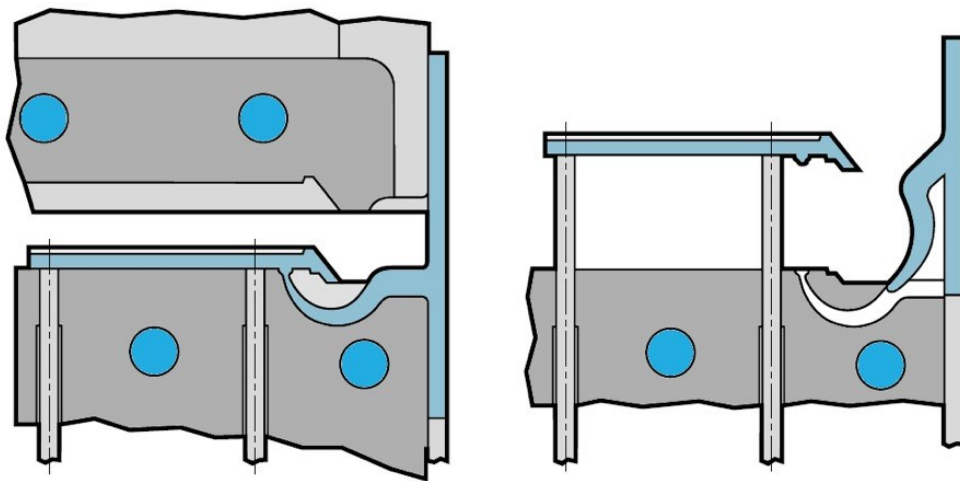
Základní obecné zásady studených vtokových systémů:

- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy by měla být co nejkratší,

- rovnovážné plnění všech dutin u vícenásobných forem,
- zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů,
- jímka pro zachycení chladnějšího čelo taveniny
- průřezy vtokových systémů pro krystalické polymery jsou větší než pro amorfni. [10]

Druhy vtokových ústí:

- plný kuželový vtok,
- bodový vtok,
- tunelový vtok,
- banánový vtok,
- filmový vtok. [27]



Obrázek 21 Schéma banánového ústí vtoku [18]

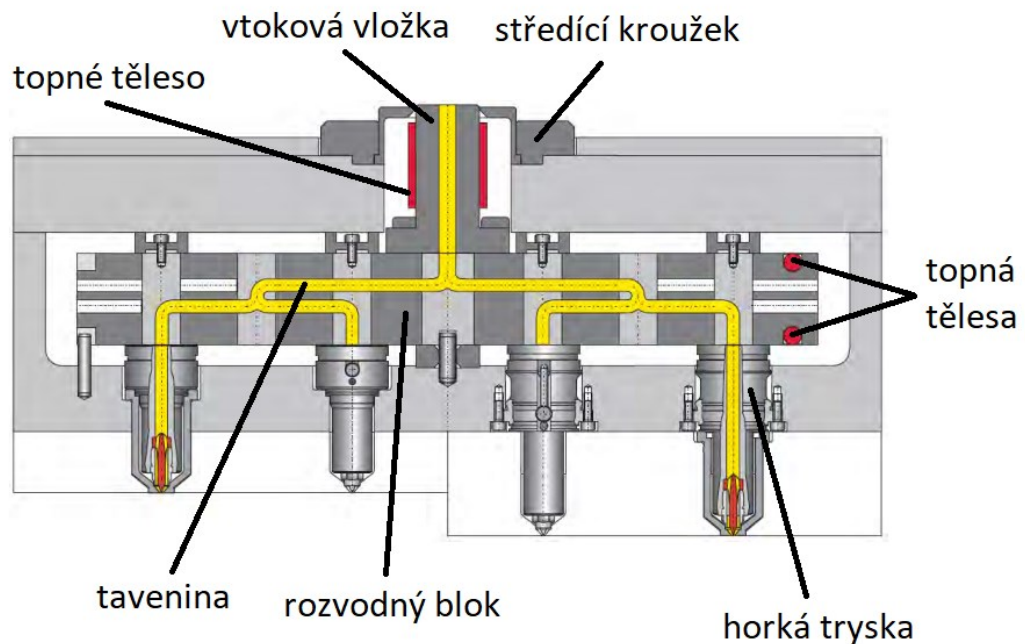
4.2.2 Vyhříváný vtokový systém

V posledních letech jsou vyhříváné vtokové systémy hojně využíváné a vytlačují tak klasické studené vtokové systémy. Hlavními důvody jsou větší úspora vstříkovaného materiálu a také možnost automatizace. Jedná se totiž o metodu vstříkovaní bez vtokového zbytku. Dnešní vyhříváné vtokové soustavy obsahují vyhříváné trysky, které se vyznačují minimálním úbytkem tlaku i teploty. [10]

Od forem s klasickými studenými soustavami se liší především tím, že se nakupují přímo od specializovaných výrobců, kteří dodávají kompletní vtokový systém. Jednotlivá konstrukční provedení i rozsah jejich použití jsou však velmi pestré. [10]

Technologie vyhřívané vtokové soustavy spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé délce vtoku až do ústí formy v plastickém stavu a nedochází k jejímu zatuhnutí. To umožňuje použití pouze bodového vtokového ústí malého průřezu. Součástí systému je pak regulace teploty vyhřívané soustavy i formy. Další výhodou je, že sestava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a nasazení zpět do provozu. [10]

Nevýhodou pak je, že vyhřívané soustavy vyžadují podstatně složitější a nákladnější vstřikovací formy, obslužný personál i strojní zařízení. Dále je třeba systém zajistit včetně regulátorů a snímačů, což zvyšuje energetickou náročnost výroby. Ekonomickou výhodnost forem s vyhřívanými systémy je tedy nutné posuzovat z hlediska celého výrobního procesu. [10]



Obrázek 22 Příklad vyhřívaného vtokového systému [26]

4.3 Temperační systém

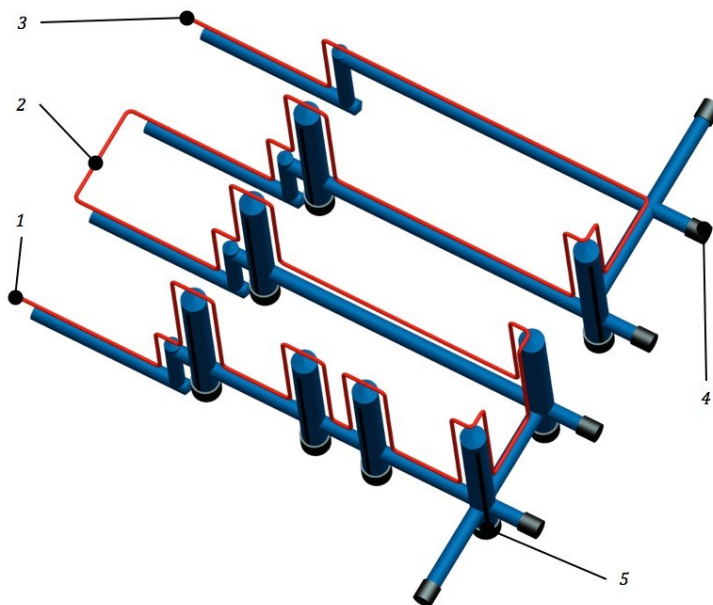
Forma funguje jako tepelný výměník. Většina energie, která byla potřebná pro roztavení polymeru na začátku vstřikovacího cyklu musí být odstraněna před samotným otevřením formy. To je nutné pro bezpečné vyhození vstřikovaného dílu, který musí být ochlazený na

správnou teplotu. K ochlazení na správnou teplotu a udržení se na této teplotě po celou dobu cyklu slouží právě temperační systém. [20]

Účelem temperace je udržet konstantní teplotní režim formy a dosáhnout tak optimálně krátkého vstřikovacího cyklu při dodržení všech technologických požadavků. Toho se dosahuje ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části, to vše s ohledem na typ vstřikovaného polymeru. [26]

Temperace ovlivňuje zaplnění formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Opakovaným vstřikováním taveniny do dutiny se forma stále více ohřívá. Proto je pro správné fungování vstřikovacího procesu nutné přebytečné teplo z dutiny formy odvést. Celý tento proces probíhá pomocí temperačního systému. [26]

Naopak je tomu při zpracování některých plastů, které vyžadují vyšší teplotu formy. V takových případech jsou tepelné ztráty vyšší, než je ohřátí formy vstřikovanou taveninou a forma se musí naopak ohřívat. K tomuto jevu dochází především při vstřikování reaktoplastů a elastomerů. Mimo to je samozřejmě třeba formu vytemperovat na požadovanou provozní teplotu před samotným zahájením výroby. [26]



Obrázek 23 Příklad temperačního okruhu vstřikovací formy; 1 – vstup temperačního média, 2 – propojovací větev, 3 – výstup temperačního média, 4 – ucpávky, 5 – přímá přepážka [18]

4.3.1 Temperační prostředky

Jsou to média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách a rozdělují se na:

- aktivní – působí přímo na vstřikovací formě, buď teplo přivádí, nebo ho odvádí,
- pasivní – ovlivňují tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi.

Volba temperačních prostředků je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby vstřikovaných dílů. Obě skupiny se obvykle používají současně. [28]

Aktivní temperační prostředky

Aktivními temperačními prostředky jsou především kapaliny, které proudí oběhem temperačních kanálů vytvořených uvnitř formy. Nejčastěji se používají voda, oleje a glykoly s ohledem na jejich vhodné vlastnosti. Ve výjimečných případech může docházet také k použití vzduchu. Ten se používá buď jako volné, nebo nucené proudění působením přetlaku či podtlaku. S ohledem na jeho nízkou účinnost se používá pouze v případech, kdy není použití kapaliny možné. Posledním zásadním využívaným prostředkem jsou pak topné elektrické články, které se využívají především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou než teplotou dodanou vstřikovanou taveninou. [28]

Pasivní temperační prostředky

Působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi a patří mezi ně především dvě skupiny materiálů. Tepelně izolační materiály, které se využívají především pro omezení přestupu tepla do izolačních desek v případech kdy požadujeme vysokou teplotu formy. A tepelně vodivé materiály, které se využívají k odvodu nebo přívodu tepla z míst, které jsou jinými způsoby obtížně temperovatelné. [28]

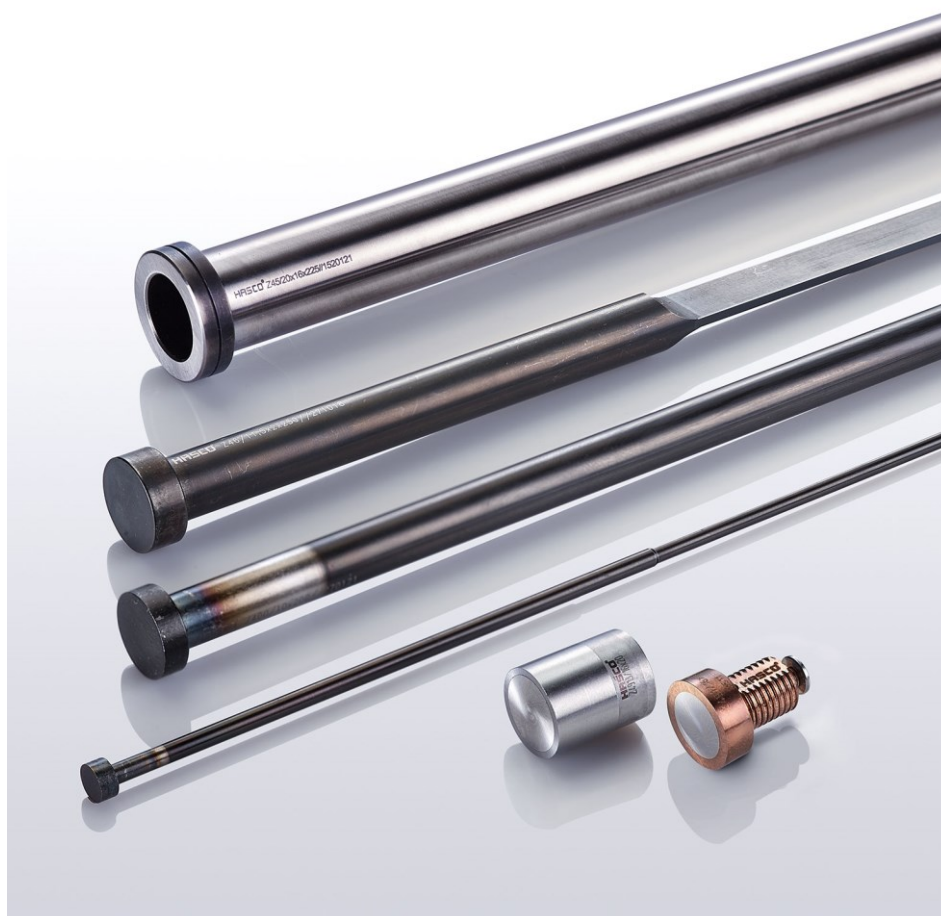
| TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [mm] | VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [mm] | VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [mm] | PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU ØD [mm] |
|---|---|---|--|
| 0 - 1 | 10 - 14 | 10 - 12 | 5 - 6 |
| 1 - 2 | 10 - 20 | 12 - 16 | 6 - 8 |
| 2 - 4 | 20 - 25 | 16 - 22 | 8 - 10 |
| 4 - 6 | 25 - 35 | 22 - 28 | 10 - 12 |
| 6 - 8 | 32 - 42 | 28 - 36 | 12 - 16 |
| 8 - 12 | 42 - 55 | 36 - 50 | 16 - 20 |

Obrázek 24 Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálů [18]

4.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k odstranění neboli vyhození vstříkovaného výrobku z tvárníku a tvárnice. Vyhazování probíhá nejčastěji prostřednictvím systémů vyhazovačů, které jsou většinou rozmístěny okolo obvodu součásti a na ostatních strategických místech daného dílu. Vyhazovače jsou ukotveny v přední vyhazovací desce, která je umístěna před deskou tvárnice a prochází samotnou tvárnicí nebo tvárníkem až k povrchu vstříkovaného dílu. [23]

Poté co dojde k otevření vstříkovací formy, vysune vstříkovací stroj svůj vyhazovací mechanismus do stanovené vzdálenosti a tím dojde i k vysunutí samotného vyhazovacího systému vstříkovací formy. Vstříkovaný díl je tímto pomocí příslušných vyhazovacích prvků odformován z dutiny vstříkovací formy. Mezi vstříkovaným dílem a formou neexistuje při dostatečně vysunutém vyhazovacím systému žádná mechanická vazba a vstříkovaný díl tedy padá vlivem působení gravitace do prostoru pod vstříkovací formou. [18]



Obrázek 25 Různé typy vyhazovačů od firmy Hasco [29]

4.4.1 Mechanický vyhazovací systém

Mechanické vyhazování je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem a používá se všude tam, kde je to konstrukčně možné. Konstrukce vyhazovacího systému má tyto různé podoby:

- vyhazovací kolíky,
- stírací deska,
- trubkové vyhazovače,
- šikmé, postupné nebo speciální vyhazování. [28]

4.4.2 Pneumatický vyhazovací systém

Je vhodným systémem pro vyhazování slabostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádob, které je potřeba při vyhazování zavzdušnit. Tento způsob není tak často využívaný, ovšem pro díly uvedeného tvaru je velmi výhodný. [28]

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výrobek a líc formy. Tím se umožní rovnoměrné oddělení vstříkovaného dílu od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výrobku žádné stopy po vyhazovačích. [28]

4.4.3 Hydraulický vyhazovací systém

Hydraulické vyhazování bývá součástí vstříkovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Se zabudovanými hydraulickými jednotkami, které pracují jako vyhazovače se setkáváme již méně. Více se používají především k ovládní bočních posuvných čelistí. [28]

Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa na vstříkovací formě. S její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky, stírací desky a další prvky systému. Hydraulické vyhazování se také vyznačuje velkou vyhazovací silou a kratším a pomalejším zdvihem. [28]

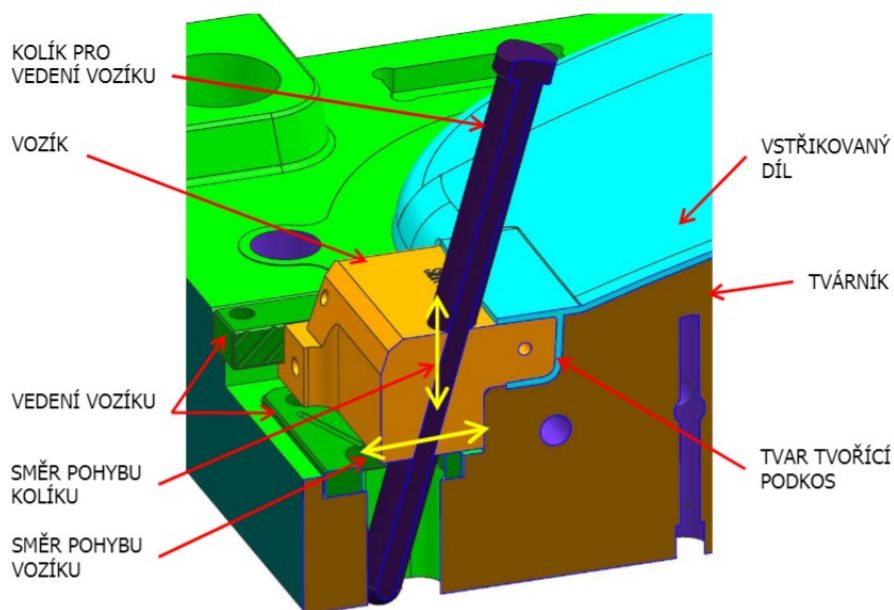
4.5 Boční čelisti formy

Výrobky s bočními otvory, nebo různými výstupky, které leží kolmo k ose formy se musí řešit pomocí bočních posuvných čelistí. K ovládní těchto částí formy, které někdy tvoří další vedlejší dělicí roviny se používají mechanické, pneumatické nebo hydraulické prvky. [28]

Tyto pohyblivé čelisti mohou ukotvit jádra, nebo formují ostatní tvarové části výrobku, které není možné zaformovat jinak. Pohyb čelistí bývá nejčastěji kolmý, nebo pod úhlem vzhledem k ose formy. [28]

Čelisti jsou většinou ukotveny na pohyblivé části formy a jejich pohyb je ovládán pomocí šikmých nebo lomených kolíků, případně pneumatickými nebo hydraulickými tahači. Mechanické šikmé, válcové nebo lomené kolíky využívají při své funkci otevíracího a uzavíracího pohybu vstřikovacího stroje spolu s formou. V sevřené poloze při vstřikování je třeba čelisti pevně uzamknout. Čelist se uzamkne tím, že je opřena svou vnější zkosnou částí o opěrnou lištu pevné desky formy. Zajištění otevřené polohy se pak provádí pomocí pružiny a kolíku, případně dalšími možnými způsoby. [28]

Počtem pohyblivých čelistí se zvětšuje i počet dělicích rovin a tím samozřejmě roste i počet rozměrů nevázaných formou. Tyto aspekty je třeba brát v úvahu jak při tolerování a lícování výrobku, tak také vstřikovací formy. Z těchto důvodů roste složitost formy a tím i náklady na její výrobu. [28]



Obrázek 26 Odformování pomocí bočních čelistí formy [30]

4.6 Odvzdušnění formy

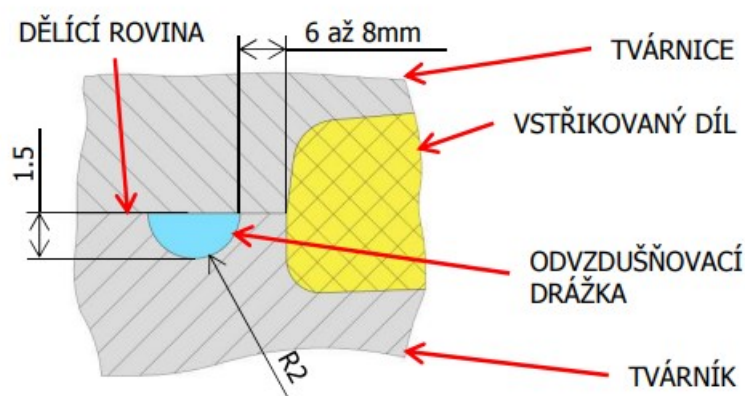
Odvzdušnění tvarové dutiny u vstřikovacích forem je velmi důležitý prvek. Doba vstřiku je velmi krátká a může docházet k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny formy taveninou. Je tedy nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z tvarové dutiny formy. Odvod vzduchu by měl probíhat nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, ale i pomocí konstrukcí odvzdušňovacích

kanálků. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv také umístění vtoku, způsob zaformování výrobku, umístění vyhazovačů a přítomnost tvarových vložek. [7]

Tvarová dutina je před vstříknutím taveniny plná vzduchu a při jejím plnění je tedy důležité zajistit dostatečně rychlý únik vzduchu. V opačném případě se vzduch stlačuje, narůstá tlak a teplota a může dojít k vznícení vstříkovaného plastu neboli dieselově efektu. Při nedostatečném odvzdušnění se také zvýrazňují studené spoje nebo vznikají vzduchové bubliny, které jsou následně zdrojem zhoršených mechanických vlastností nebo nekvalitního povrchu dílu. Pokud vzduch nemůže z dutiny unikat, tavenina do míst, kde je vzduch nezateče a vznikají nedotečení na vstříkovaném dílu. [31]

Odvzdušnění je často řešeno až po provedení prvních zkoušek formy. Nejdůležitější je odvzdušnit slepá místa, místa stékání taveniny, dělicí roviny a místa kam tavenina zatéká poslední. Kritická místa se ve fázi vývoje nejlépe odhalí Moldflow analýzou. Pokud pro odvzdušnění nestačí vůle mezi dělicími rovinami, vůle vyhazovačů a jader, projeví se nedostatečné odvzdušnění dutiny některým z výše uvedených způsobů. V takovém případě je nutné umožnit odvzdušnění další zásahem do konstrukce formy. [31]

Způsob zásahu závisí na tvaru a velikosti vstříkovaného dílu. Odvzdušnění může být tvořeno například jako drážka od kulové frézy v dělicí rovině. Tato drážka se umísťuje podle toku taveniny při vstříku. Drážky jsou vyvedeny mimo dělicí rovinu a jejich velikost závisí na použitém plastu, rychlosti vstříkování a dalších technologických podmínkách. [31]



Obrázek 27 Odvzdušňovací drážka s příkladem použitých rozměrů [31]

4.7 Materiály pro výrobu forem

Jako součást procesu pořizování jednotlivých desek formy máme možnost výběru z mnoha typů převážně ocelových materiálů, které jsou vhodné pro použití v oblasti vstřikovacích forem. V této části práce jsou uvedeny důležité základní vlastnosti a doporučená použití pro konkrétní materiály. [32]

Volba materiálů, z nichž mají být vyrobeny jednotlivé díly vstřikovací formy, je naprosto nedílnou součástí celkového návrhu vstřikovací formy. Stejně jako existuje mnoho typů plastových materiálů, existuje i řada kovových železných a neželezných materiálů použitelných ve výrobě vstřikovacích forem. [18]

| OZNAČENÍ MATERIÁLU | ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI | DOPORUČENÉ POUŽITÍ |
|--------------------|---|--|
| 1.0577 | ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ OCEL dobrá svařitelnost, nekalená | obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti |
| 1.1730 | NÁSTROJOVÁ OCEL desková ocel | netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěry |
| 1.2083 | PROKALITELNÁ OCEL částečná korozivzdornost, legovaná vhodná k leštění | vložky dutiny forem, tvarové desky |
| 1.2085 | NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná dobrá obrábitelnost, legovaná | korozně odolné díly forem - vložky apod. |
| 1.2162 | OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná | desky forem |
| 1.2210 | ZA STUDENA OBRÁBĚNÁ OCEL odolnost proti opotřebení | jádrové kolíky, malé soustružené díly |
| 1.2311 | NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená vhodná pro nitridování a leštění | desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly |
| 1.2312 | NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená dobrá obrábitelnost, legovaná | desky a díly vysoce mechanicky namáhané |
| 1.2316 | NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná vhodná pro leštění | díly forem pro korozivní polymery |
| 1.2738 | NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená ocel s rovnoměrnými mech. vlastnostmi | velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky či přístrojové desky |
| 1.7131 | OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná | vodící elementy a jádra |
| 1.2379 | OCEL K PROKALENÍ rozměrová stálost vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení dobrá obrábitelnost | desky forem, vložky |

Obrázek 28 Vybrané typy materiálů používané při konstrukci vstřikovacích forem [18]

5 SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ – MOLDFLOW ANALÝZY

Stejně jako využíváme pro administrativní činnosti textové editory, můžeme i pro oblast vstřikování využít různé počítačové aplikace. V mnoha případech se tyto aplikace zařazují do oblasti digitálního prototypování, což zjednodušeně řečeno znamená, že prozkoumáme svůj nápad či návrh dříve, než ho fyzicky vytvoříme. [2]

Hlavní rozdíl mezi již standardním 3D navrhováním výrobku a digitálním prototypováním je, že při 3D navrhování je hlavním předmětem zohlednit podobu výrobku a vhodnost 3D návrhu a vytvořit jeho přesný 3D model. Tento model je následně využit pro automatickou tvorbu výkresů. Digitální prototypování logicky zahrnuje i 3D navrhování výrobku, ale dále jej rozšiřuje. Návrháři a inženýři mají možnost ověřit, jak se v předchozím 3D navrhování navržené díly chovají, zda simulační výpočty nezjistí některá selhání a jak spolu jednotlivé části mechanismu fungují. [2]

Tento způsob přístupu k návrhu prototypu tak umožňuje zohlednit nejen podobu a vhodnost 3D návrhu modelu a jeho výkresu, ale navíc dává možnost ověřit funkci a chování v reálných simulovaných podmínkách výroby a zhodnotit použití výrobku. Všechny informace o návrzích jsou uloženy v digitálních úložištích a nutnost výroby fyzického prototypu se tak značně redukuje. [2]

Simulace procesu vstřikování a další typy výpočtů zapadají do konceptu digitálního prototypování, který umožňuje vstřikovaný díl před vlastní výrobou komplexně testovat a ověřovat. Digitální prototyp umožňuje díky sdílení informací napříč všemi odděleními společnosti virtuálně vytvořit a zdokonalit vstřikovaný díl ještě před tím, než je fyzicky vyroben. [2]

Simulační programy tedy umožňují prověřit prakticky všechny aspekty konstrukce a případných navrhovaných změn, bez nutnosti vynaložení zdrojů na jejich realizaci. Náklady na odstranění následků špatného rozhodnutí nebo úpravu již hotového řešení jsou v oboru vstřikování plastů většinou velmi vysoké a někdy je jejich realizace dokonce nemožná. Z těchto výše zmíněných důvodů jsou simulační programy velmi vítanou inovací a vedou k velkým finančním úsporám v průběhu celé výroby. [2]

Simulace také výrazně zkracují časovou náročnost vývoje a napomáhají k pochopení příčin vzniku problémů v reálném výrobním procesu. Dále zkoumají možnosti nápravy chyb vzniklých při návrhu vstřikovaného dílu a případně i umožňují opravu chyb zpětně po jejich vzniku. Určitou nevýhodou simulačních postupů je poté nutnost znalostí a vysoké odbornosti

jak pro zadání úkolů simulace, tak i pro vyhodnocení získaných výsledků. Pro simulační analýzy konstrukce vstřikovaného dílu a jeho vlastností, vstřikovací formy a vstřikovacího procesu je k dispozici řada softwarů, z nichž zřejmě nejznámější, a i v této práci následně použitý je program Autodesk Moldflow. [2]

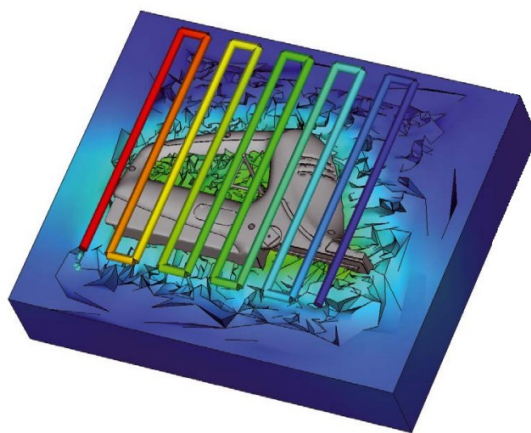
5.1 Ekonomické hledisko

Jak již bylo zmíněno výše, provedení optimalizace vstřikovacího procesu prostřednictvím specializovaných simulačních softwarů vede k významným úsporám výrobních nákladů vyplývajících zejména ze snížení hmotnosti dílu, spotřeby polymeru, zkrácení času vstřikovacího cyklu, zvýšení kvality dílu, snížení deformace a smršťení. [33]

Při standardním způsobu návrhu vstřikovaného dílu se uplatňují hlavně zkušenosti designéra a konstruktéra formy. Do jaké míry byl návrh dílu a formy úspěšný, se ukáže až po výrobě vstřikovací formy a po vstříknutí zkušebních vzorků. Totéž platí pro samotné nastavení parametrů vstřikovacího procesu, které je dáno hlavně zkušenostmi technologa. Velké možnosti a tím samozřejmě i úsporu času a finančních nákladů v tomto směru poskytuje analýza vstřikovacího procesu pomocí simulačního softwaru, jakým je právě zmiňovaný Autodesk Moldflow. [33]

5.2 Pracovní postup simulace

Pracovní postup celkové simulace pomocí simulačního softwaru Autodesk Moldflow se dělí do několika specializovaných kategorií, které se detailněji soustředí na konkrétní oblasti. Vybrané nejdůležitější oblasti simulací budou blíže popsány v následujících podkapitolách.



Obrázek 29 Ukázka analyzovaného dílu pomocí softwaru Autodesk Moldflow [34]

5.3 Software Autodesk Moldflow

Téměř v každém průmyslovém odvětví jsou díly původně vyrobené z jiných materiálů postupně nahrazovány plastovými díly. Potřeba simulačních programů umožňujících hluboké pochopení celého procesu vstřikování plastů tedy nikdy nebyla větší. Simulační software Autodesk Moldflow pro vstřikování plastů je součástí řešení pro digitální prototypování dílů. Tento program poskytuje nástroje, které pomáhají predikovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design plastových dílů, vstřikovacích forem a celého procesu vstřikování. Nástroje pro přenášení a optimalizaci modelů prostřednictvím Autodesk Moldflow podporují geometrii jak tenkostěnných, tak i silnostěnných dílů. Software snižuje potřebu nákladných fyzických prototypů, omezuje potenciální výrobní vady a umožňuje rychlejší uvedení vstřikovaného dílu na trh, s ohledem na zkrácení celého výrobního procesu. [34]

5.3.1 Simulace a optimalizace vtokového systému

Simulace vtokového systému umožňuje modelovat a optimalizovat systémy vyhřívaných nebo studených vtoků. Tento druh simulace také dále určuje možné vhodné místo pro vtokové ústí. Projektování vtokového systému je velmi rozmanitá disciplína. Je možné vytvořit vtokový systém přímo na základě konkrétně zadaných parametrů pro dané uspořádání, jako jsou například velikost a typ trysek, vtokových kanálů a dalších komponent. Tím se dosáhne kvalitnějšího povrchu dílu, minimalizuje se deformace a sníží se čas cyklu. [34]

5.3.2 Simulace a optimalizace temperačního systému

Pomocí simulací temperačního systému je možné optimalizovat kompletně celý navržený chladicí okruh. Dochází k analýze účinnosti chladicího systému formy, čímž je možné zvýšit jeho účinnost, dosáhnout rovnoměrného chlazení dílu a minimalizovat dobu vstřikovacího cyklu. Simulační systémy a následná optimalizace teploty také nepřímo pozitivně ovlivňuje kvalitu povrchu dílu a deformace dílu. Všechny tyto výše zmíněné faktory poté vedou ke snížení celkových výrobních nákladů. [34]

5.3.3 Simulace a optimalizace plnění a dotlaku

Simulace a následná optimalizace plnění předpovídá tok samotné taveniny vtokovým systémem, pomáhá rovnoměrně plnit dutinu formy a eliminuje zmetkovost výroby. Dále

přispívá k odstranění, minimalizování nebo přemístění studených spojů a také eliminuje vznik uzavřeného vzduchu neboli bublin. [34]

Simulací dotlaku při procesu vstřikování je možné efektivně optimalizovat vstřikovací cyklus. K optimalizaci cyklu dochází pomocí vizualizace velikosti a rozložení celkového objemového a lineárního smrštění výrobku, čímž také dochází ke snížení deformace vstřikovaných dílů a zmínění rizika vzniku vad. [34]

5.3.4 Simulace a optimalizace deformace a smrštění

Simulace a optimalizace vzniku deformací a smrštění na vstřikovaném dílu se zakládá na vyhodnocení celkového technologického designu dílu a formy. Dodržení rozměrových tolerancí dílu se zajistí správnou předpovědí smrštění vstřikovaného výrobku. Tato předpověď se zakládá především na procesních parametrech a specifických materiálových datech určených pro konkrétní typ vstřikovaného polymeru. [34]

Odhad deformace vstřikovaného dílu poté vyplývá z napětí, které vzniká při samotném vstřikovacím procesu. Simulační program identifikuje místa, kde se mohou deformace vyskytnout a konstruktér následně dle simulačních výsledků upraví design dílu, formy, zvolený materiál a případné procesní parametry tak, aby deformace byly co nejmenší. [34]

5.4 Vyhodnocení výsledků simulace

Celkové vyhodnocení a vizualizace simulačních výsledků využívá široké škály dostupných nástrojů. Tyto nástroje slouží především k vizualizaci modelů, vyhodnocení výsledků a celkové prezentaci. Pro správné vyhodnocení simulace je nutné využívat funkcí databáze materiálů a také doporučení pro další zvýšení produktivity výroby. Co nejpřesnější simulace se dosáhne s použitím přesných materiálových dat, které jsou k dispozici právě v interní databázi materiálů. Tato databáze obsahuje důležitá data popisující fyzikální a reologické vlastnosti daného polymeru. Nástroje pro zvýšení produktivity poté umožňují zjistit konkrétní faktory, které ovlivňují celkové náklady na výrobu vstřikovaného dílu a umožní navrhnout jejich snížení. [34]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí, teoretické části a praktické části. Hlavním cíle teoretické části je celková literární rešerše všech hlavních i vedlejších okruhů, které se týkají zadaného téma této diplomové práce. Teoretická část se skládá z celkem pěti hlavních kapitol, ve kterých jsou postupně probírané jednotlivé tematické okruhy. První kapitola se zabývá obecným seznámením s polymerními materiály. Druhá kapitola s názvem technologie vstřikování, se zabývá samotným procesem vstřikování a problematikou s tím spojenou. Následuje třetí kapitola, která přibližuje oblast vstřikovacích strojů. Stěžejní oblastí teoretické části práce je čtvrtá kapitola s názvem konstrukce vstřikovací formy, která řeší všechny důležité oblasti a problematiku spojenou s konstrukcí forem. Teoretickou část práce následně uzavírá kapitola týkající se simulace procesu vstřikování.

Cíle praktické části této diplomové práce jsou následující. Provést 3D model vstřikované součásti, která byla pro tuto práci zvolena. Model součásti je konstruován v programu Catia. Navrhnout samotnou konstrukci vstřikovací formy, která probíhá stejně jako u modelu součásti také v programu Catia. Vytvořit simulace celého procesu vstřikování v programu Moldflow a navrhnout případné optimalizace.

Diplomová práce se zabývá návrhem nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování a v zadání byly stanoveny tyto cíle:

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
3. Vytvořit simulace procesu vstřikování v softwaru Moldflow.
4. Navrhnout optimalizace vstřikování a vyhodnocení jednotlivých variant.
5. Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.

7 POUŽITÉ PROGRAMY

Ke tvorbě praktické části této diplomové práce byli použity výhradně programy Catia V5R19 a Autodesk Moldflow Synergy 2023.

7.1 Catia V5R19

Program Catia je software vyvinutý francouzskou firmou Dassault systemes a používá se pro tvorbu 3D modelů nejrůznějších součástí. V této práci byl program Catia použit jak pro tvorbu 3D modelu součásti, tak pro tvorbu celé 3D konstrukce vstřikovací formy. Catia obsahuje několik modelovacích prostředí, které jsou přizpůsobeny podle potřebného využití. Pro potřebu této diplomové práce se využívají výhradně prostředí Part Designu, Assembly Designu a Mold Tooling Designu.

7.2 Autodesk Moldflow Synergy 2023

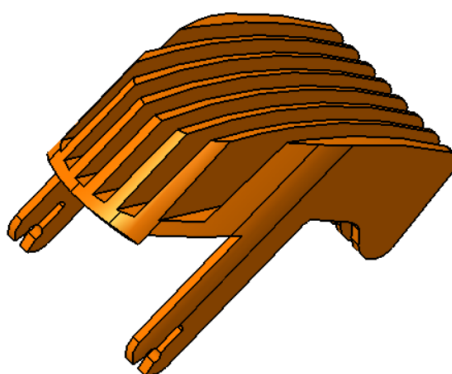
Program Moldflow Synergy se řadí do skupiny CAE softwarů a využívá se k tvorbám analýz, simulací a pro usnadnění optimalizace celého výrobního procesu před samotným vyrobením nástroje. Jak už z názvu vyplývá řadí se do širokého portfolia firmy Autodesk. Program Moldflow byl v této práci využit pro analýzu vhodnosti umístění vtoku, podle které bylo zvoleno místo na výrobku. Dále byl program použit k celkové analýze celého procesu vstřikování, která se nazývá Cool + Fill + Pack + Warp neboli analýza temperace + plnění + dotlaku + deformace.

8 VSTŘIKOVANÁ SOUČÁST

Jako předloha pro 3D model vstřikované součásti byl v této diplomové práci vybrán nástavec na holicí strojek, který byl vedoucím práce schválen jako vhodný díl pro výrobu právě metodou vstřikování. Dle vzhledu reálného dílu (otisky po vyhazovačích a vtoku) byl díl původně taktéž vyrobený technologií vstřikování. Tento díl byl za pomoci posuvného měřidla změřen tak, aby se výsledný 3D model co možná nejvíce podobal skutečnému dílu. Materiál vyobrazený na reálném dílu byl ABS, z této skutečnosti bylo vycházeno při následné volbě materiálu pro analýzy v programu Moldflow. Model vstřikované součásti byl vytvořen v programu Catia V5R19, konkrétně v prostředí Part Designu.



Obrázek 30 Reálná součást – nástavec na holicí strojek



Obrázek 31 3D model vstřikované součásti v programu Catia

9 VOLBA VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU

Volba materiálu vstřikované součásti je jedním z důležitých aspektů s ohledem na průběh celého procesu vstřikování. Při volbě materiálu je nutné zohlednit, kde bude daný výrobek používán a jaké by měl materiál splňovat vlastnosti. Na základě těchto faktorů byli do užšího výběru zvoleny dva typy materiálů. Polyamid PA6 (Hiloy 610) a materiál ABS s příměsí PA (Triax 1790). Tyto dvě varianty byly zanalyzovány v programu Moldflow a jako konečná varianta vhodná pro tuto vstřikovanou součást byl vybrán materiál s označením Triax 1790 od firmy INEOS. Jedním z rozhodujících faktorů při volbě materiálu byl mimo jiné skutečný materiál originálního výrobku, který byl na výrobku vyobrazen, tedy ABS. Materiál Triax 1790 se skládá z kombinace materiálů ABS a polyamidu PA. Vyniká vysokou odolností proti nárazu, je zdravotně nezávadný a má dobré elektroizolační vlastnosti. Tímto splňuje všechny požadavky nutné pro jeho použití při výrobě zvolené součásti.

Thermoplastics material ×

| Optical Properties | | Environmental Impact | | Material data completeness | | Crystallization Morphology | | Stress - Strain (Tension) | | Stress - Strain (Compression) | |
|--|------------------------|---|-----|----------------------------|--|----------------------------|--|---------------------------|--|-------------------------------|--|
| Description | Recommended Processing | Rheological Properties | | Thermal Properties | | pvT Properties | | Mechanical Properties | | Shrinkage Properties | |
| Mold surface temperature | | 90 | C | | | | | | | | |
| Melt temperature | | 280 | C | | | | | | | | |
| - Mold temperature range (recommended) | | | | | | | | | | | |
| Minimum | | 60 | C | | | | | | | | |
| Maximum | | 95 | C | | | | | | | | |
| - Melt temperature range (recommended) | | | | | | | | | | | |
| Minimum | | 250 | C | | | | | | | | |
| Maximum | | 290 | C | | | | | | | | |
| Absolute maximum melt temperature | | 340 | C | | | | | | | | |
| Ejection temperature | | 165 | C | | | | | | | | |
| | | View test information for ejection temperature... | | | | | | | | | |
| Maximum shear stress | | 0.5 | MPa | | | | | | | | |
| Maximum shear rate | | 100000 | 1/s | | | | | | | | |

Obrázek 32 Procesní parametry materiálu Triax 1790: INEOS ABS

10 OPTIMALIZACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Všechny potřebné analýzy a optimalizace byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2023. Před samotnou konstrukcí formy byla nejprve provedena analýza vhodnosti umístění vtoku na zadaném výrobku neboli gate location. Následně byly vytvořeny čtyři různé varianty procesu vstřikování, ze kterých byla po jejich porovnání zvolena nejvhodnější varianta s ohledem na všechny aspekty důležité pro efektivní výrobní proces. Pro každou z těchto čtyř variant byla v programu Moldflow provedena celková analýza, která je také jinými slovy označována jako Cool + Fill + Pack + Warp analýza. V následující tabulce jsou přehledně sepsány všechny varianty optimalizací s daným typem vtokového systému, temperačního systému a zvoleným materiálem.

Tabulka 1 Seznam provedených analýz v programu Moldflow

| Číslo analýzy | Typ analýzy | Typ vtokového systému | Typ temperačního systému | Materiál |
|---------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 0 | Gate location | - | - | Triax 1790: INEOS ABS |
| 1 | Cool + Fill + Pack + Warp | kombinovaný | jednoduchá | Triax 1790: INEOS ABS |
| 2 | Cool + Fill + Pack + Warp | studený | složitější | Triax 1790: INEOS ABS |
| 3 | Cool + Fill + Pack + Warp | kombinovaný | složitější | Triax 1790: INEOS ABS |
| 4 | Cool + Fill + Pack + Warp | kombinovaný | složitější | Hiloy 610: A Schulman |

10.1 Tvorba a analýza sítě

Pro tvorbu sítě a její následnou analýzu byl použit 3D model výrobku, který byl vytvořen v programu Catia a uložen ve formátu stp. Tento model byl následně importován do programu Moldflow. V programu Moldflow je možné použít tři druhy síťování:

- Midplane – 2D trojúhelníková síť, používá se pro jednoduché plošné díly
- Dual Domain - 2,5D trojúhelníková síť, jednoduchá a zároveň přesná
- Solid 3D – 3D síť složená z čtyřstěnů, nejpřesnější, ale časově náročná na výpočet

Pro naši aplikaci bylo zvoleno vysíťování dílu pomocí sítě Dual Domain. Tato síť se ideálně skládá z rovnostranných trojúhelníků. Síťování bylo provedeno s délkou strany jednoho elementu 1 mm. Pro analýzu vhodnosti umístění vtoku, tedy gate location byl importován samotný 3D model výrobku. Pro následné celkové analýzy s již určeným umístěním vtoku byl poté importován výrobek s již připraveným banánovým vtokem z programu Catia.

Po samotném vysíťování výrobku je třeba provést analýzu kvality sítě, tak aby byla dostatečná pro správný výpočet celkové analýzy. Tato kontrola byla provedena v programu Moldflow pomocí Mesh statistics, která zobrazuje potřebné hodnoty pro analýzu kvality sítě. Při analýze sítě je nutné kontrolovat těchto několik základních parametrů:

- Aspect ratio – poměr stran trojúhelníků → dle Moldflow maximálně 20.
- Free edges – volné hrany → musí být 0.
- Non-manifold edges – nespojené hrany → musí být 0.
- Elements not oriented – špatně orientované elementy → musí být 0.
- Fully overlapping elements – překrytí trojúhelníkových elementů → musí být 0.
- Match percentage – procentuální shoda s kvalitou sítě → měla by být nad 90%.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           50498
  Connected nodes    25251
  Connectivity regions 1

  Invisible triangles      0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
  Surface Area:      167.902 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:      14.8055 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    5.99     1.51     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges      75747
  Non-manifold edges  0

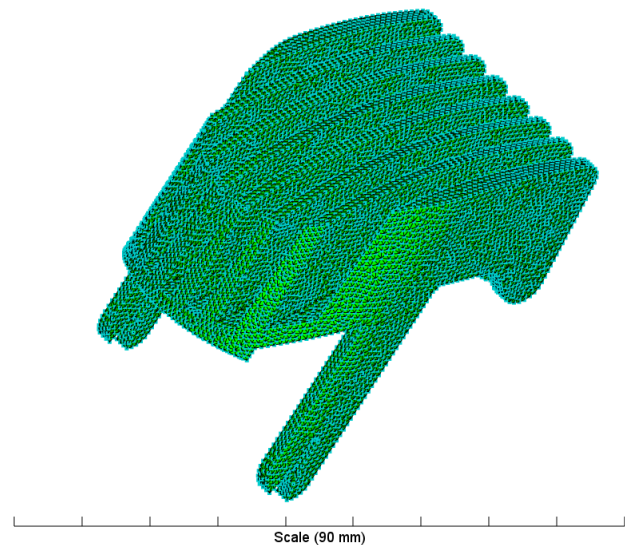
Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage      96.9%
  Reciprocal percentage 97.7%

Suitable for Dual Domain analysis.

```

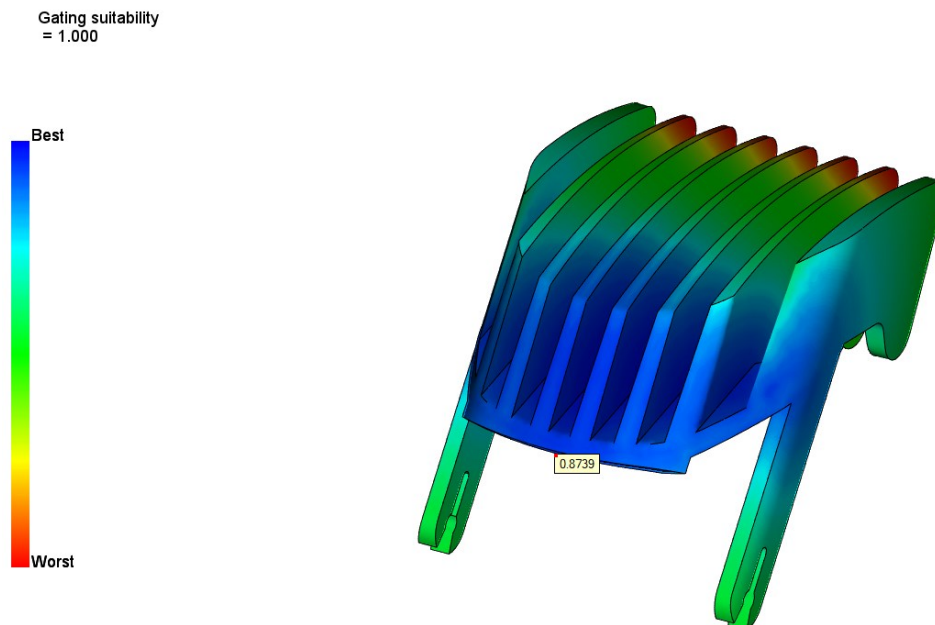


Obrázek 33 Statistika sítě pro vysíťovaný díl

Obdobně byla vytvořena síť při celkových analýzách Cool + Fill + Pack + Warp, s tím rozdílem, že byl importován 3D model dílu s připraveným banánovým vtokem z programu Catia, rovněž ve formátu stp.

10.2 Analýza umístění vtoku (gate location)

Pro zjištění vhodného umístění vtoku je jako první nutné provést analýzu gate location. Při této analýze je nutné pouze správně provést vysítování dílu a následně zvolit vstřikovaný materiál. Materiál byl zvolen ABS od dodavatele INEOS. Procesní podmínky nejsou pro tento typ analýzy tak stěžejní a z tohoto důvodu bylo ponecháno výchozí nastavení. Tato analýza není narozdíl od celkové analýzy tak časově náročná a probíhá pouze v řádu minut. Výsledkem analýzy gate location jsou následující dvě hodnoty. Gating suitability neboli vhodnost umístění vtokového ústí a flow resistance indicator, což v překladu znamená odpor toku taveniny v dutině formy. Důležitou hodnotou je především tzv. gating suitability, která je na obrázku níže vyznačena barevnou škálou od červené (nejhorší) po modrou (nejvhodnější). Pro vybrané umístění vtoku je tako hodnota na zhruba 0,87 neboli 87 %.

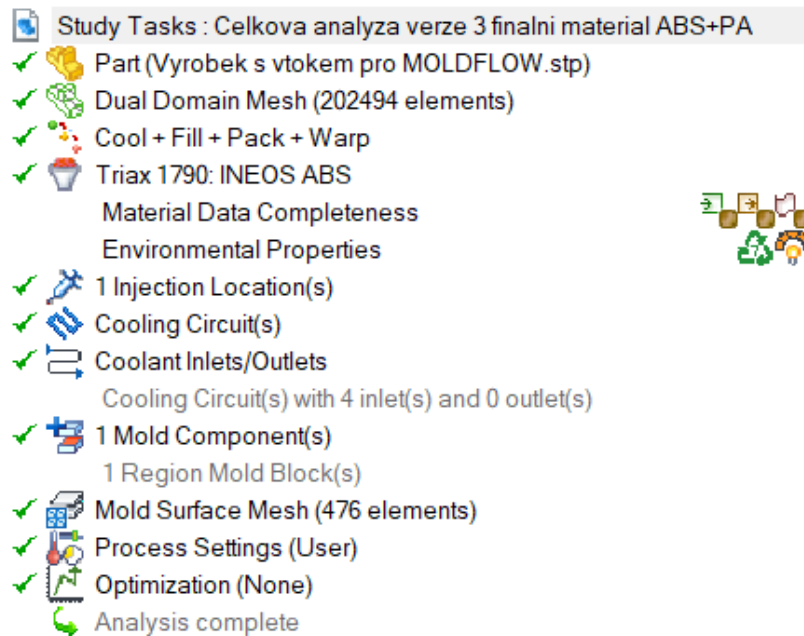


Obrázek 34 Analýza umístění vtoku (gate location)

10.3 Nastavení procesních podmínek

Po provedení analýzy gate location je možné přejít na celkovou analýzu procesu vstřikování, již zmiňovanou Cool + Fill + Pack +Warp. Tato analýza je mnohem časově náročnější (trvá v řádu hodin) a je nutné u ní důkladně projít celé nastavení. Oproti analýze gate location je také nutné definovat procesní podmínky. Nejprve je nutné importovat díl s banánovým vtokem ve formátu stp z programu Catia, následně musíme provést tvorbu a analýzu sítě, jak bylo popsáno v kapitole 10.1.

Dále je třeba postupovat krok po kroku dle dialogového okna viz obrázků níže, které v programu Moldflow informuje, co všechno musí být definováno.



Obrázek 35 Postup celkové analýzy v programu Moldflow

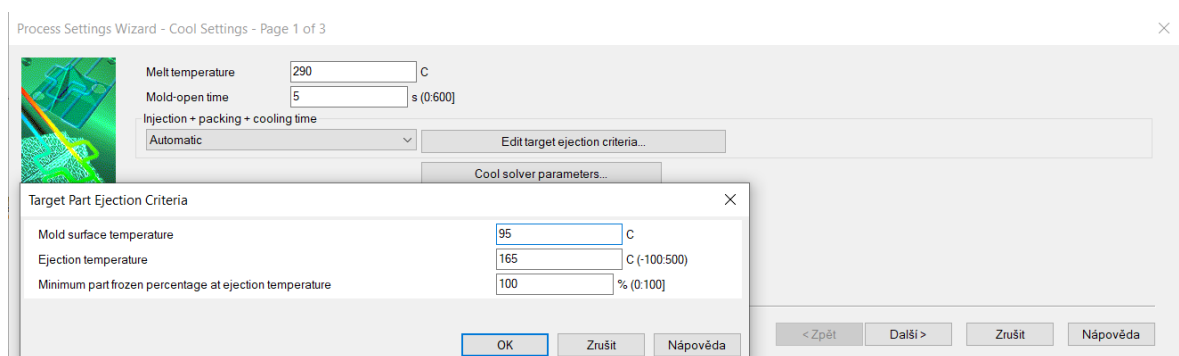
Je nutné definovat tyto parametry:

- Zvolit analýzu Cool + Fill + Pack + Warp.
- Nakreslit, vysítovat a provést kontrolu Beam L/D ratio vtokového systému.
- Nakreslit a vysítovat temperační systém.
- Vybrat materiál z katalogu dostupného v programu Moldflow.
- Určit injection location neboli místo odkud teče materiál.
- Nastavit vlastnosti temperačního média a zvolit místo vstupu (Coolant Inlets).
- Nastavit rozměry fiktivní formy (Mold block).
- Nastavit procesní podmínky celého procesu vstřikování (Process settings).

Pro všechny čtyři varianty bylo temperačním médium shodně nastaveno jako ethylenglykol 20%/voda 80%. Jako kritérium pro kontrolu chlazení (Coolant control) byl zvolen tlak, konkrétně pak hodnota 0,5 Bar.

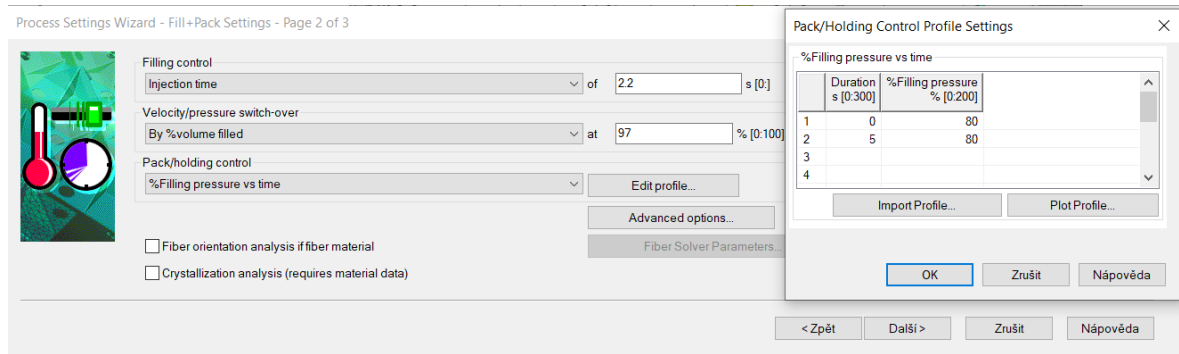
Nejdůležitější z celého nastavení celkové analýzy je nastavení procesních podmínek. Nastavení podmínek probíhá ve třech základních oknech.

V prvním z těchto oken bylo nastaveno chlazení formy (cool settings). Byli definovány jednotlivé hodnoty, které se odvíjejí od zvoleného materiálu a dalších faktorů. Tyto hodnoty je samozřejmě možné dále upravovat. Můžeme zde vidět hodnoty jako jsou například melt temperature (teplota taveniny), mold open time (čas otevření – zavření formy) a injection + packing + cooling time (čas cyklu). V podokně target part ejection criteria (kritéria pro vyhození z formy) jsou poté následující hodnoty. Mold surface temperature (teplota formy), ejection temperature (teplota vyhození z formy) a minimum part frozen percentage at ejection temperature (minimální procento zamrznutí vrstvy pro vyhození z formy).

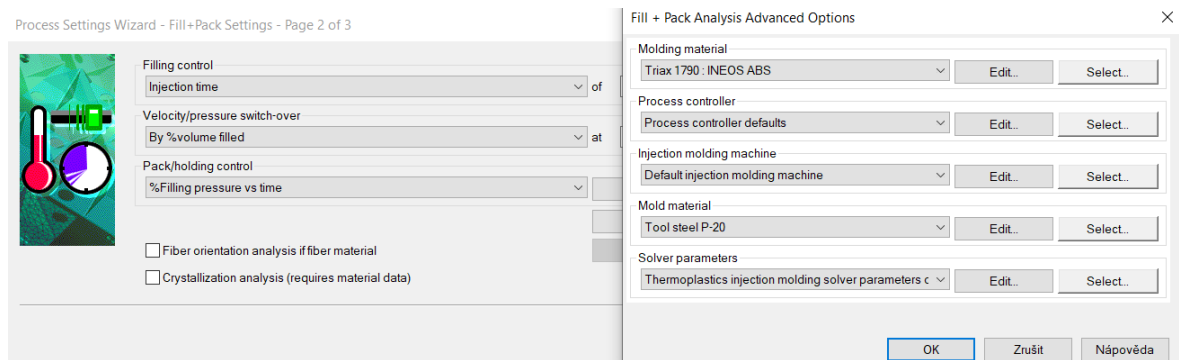


Obrázek 36 Procesní podmínky pro nastavení chlazení

Další část nastavení procesních podmínek poté představuje nastavení plnění a dotlaku formy (Fill + pack). Je zde také možné v jednotlivých podoknech zvolit konkrétní vstřikovací stroj či materiál vstřikovací formy. Zde je možno vidět hodnoty jako jsou injection time (čas vstřikování) a velocity/pressure switch over (bod přepnutí z plnění na dotlak), který je zde určen podle % zaplnění dutiny formy (by % volume filled) viz obrázek níže. Dotlaková fáze je pak podrobněji nastavena pod záložkou edit profile, kde jsou definovány jednotlivé časy od konce plnění a dané procento z plnicího tlaku (% filling pressure). V dalším podokně s názvem advanced options je poté nastaven například materiál formy (ponechána základní nástrojová ocel P-20) a typ vstřikovacího stroje, který byl z důvodu absence vybraného vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 520 A ponechán jako defaultní.

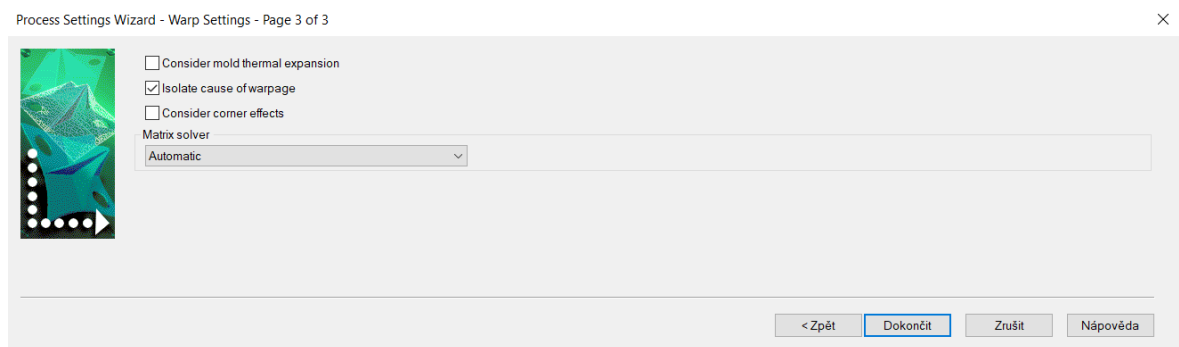


Obrázek 37 Procesní podmínky pro nastavení plnění a dotlaku



Obrázek 38 Pokročilé nastavení plnění a dotlaku

Třetí, tedy poslední část nastavení procesních podmínek je poté zaměřena na výpočet smrštění (warp). Zde byla zaškrtnuta pouze možnost isolate cause of warpage, která rozděluje složky deformace pro lepší identifikování vzniku deformací.



Obrázek 39 Procesní podmínky pro nastavení smrštění

Po definování všech potřebných prvků a nastavení všech procesních podmínek viz popsané obrázky je možné spustit celkovou analýzu procesu vstřikování (Cool + Fill + Pack + Warp). Jakmile je analýza kompletní, je možné nahlédnout jednotlivé výsledky a blíže je posoudit.

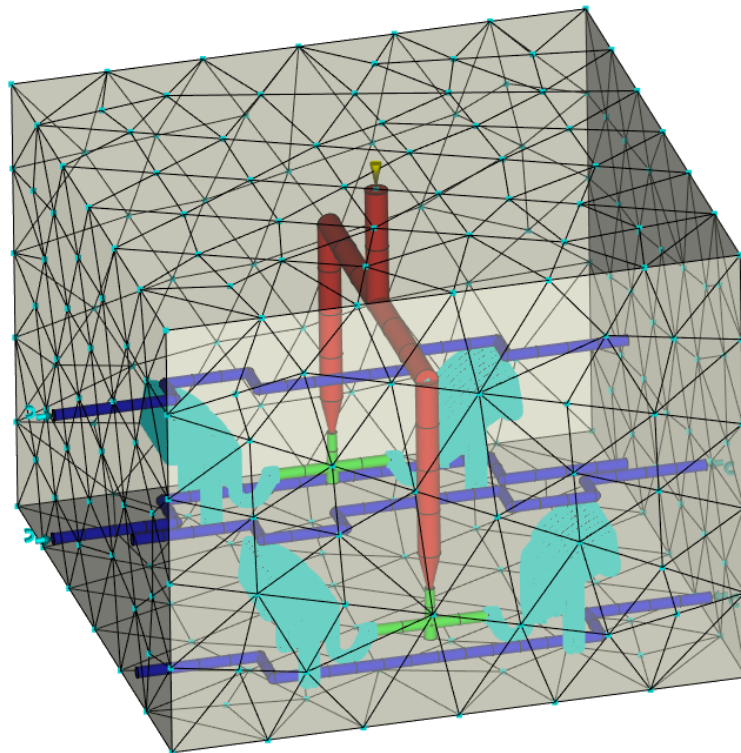
10.4 Porovnávané výsledky analýz

Po provedení celkové analýzy procesu vstřikování Cool + Fill + Pack + Warp je získáno velké množství nejrůznějších výsledků. U všech variant analýz bylo určeno těchto pět typů výsledků, které byly mezi sebou vzájemně porovnávány:

- Čas plnění – fill time.
- Tlak v místě vstřiku – pressure at injection location: XY plot.
- Čas k dosažení vyhazovací teploty – time to reach ejection temperature.
- Uzavírací síla – clamp force: XY plot.
- Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu – circuit heat removal efficiency.

10.5 Analýza č.1 jednoduchá temperace + kombinovaný vtok

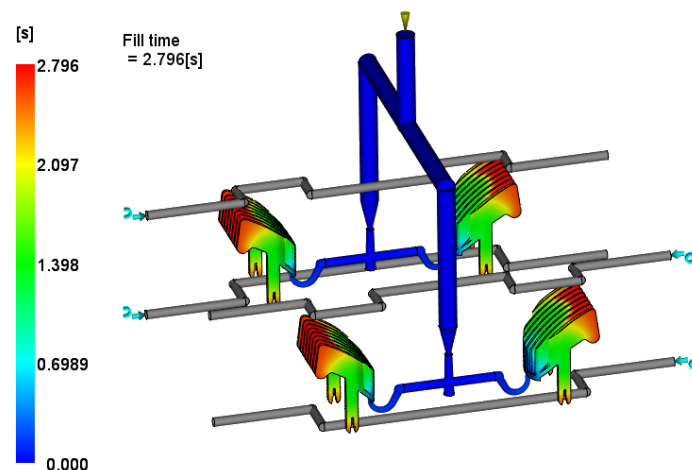
Pro tuto analýzu byl použit materiál Triax 1790: INEOS ABS. Temperace byla navržena co nejjednodušší s ohledem na tvar vstřikované součásti, průměr temperačních kanálků byl použit 6 mm. Vtokový systém byl nakreslen a vysíťován jako kombinovaný.



Obrázek 40 Schéma varianty č.1 jednoduchá temperace + kombinovaný vtok

10.5.1 Čas plnění (fill time)

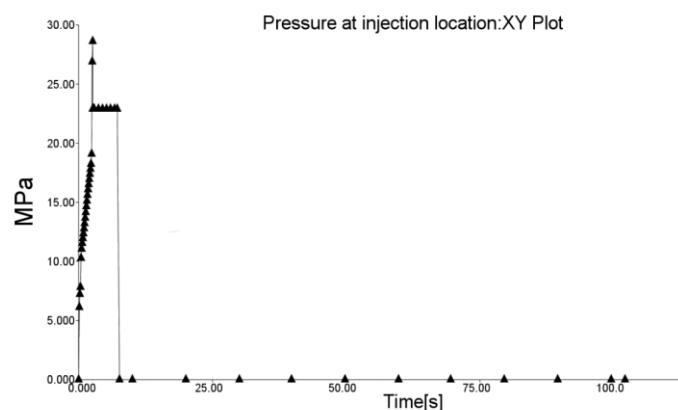
Výsledek analýzy času plnění udává čas potřebný pro naplnění dutiny formy taveninou a zároveň zobrazuje případné nedotečení materiálu. Na zobrazené barevné stupnici od světle modré po červenou je vidět zatečení materiálu do konkrétních míst dutiny formy. Jak je možno vidět, tak čas zatečení materiálu do nejvzdálenějšího místa v dutině formy je u této varianty 2,796 s. Čas plnění ovlivňuje především teplota taveniny a s ní spojená viskozita, dále pak typ vtokového systému a průměr vtokových kanálů.



Obrázek 41 Analýza č.1 čas plnění (fill time)

10.5.2 Tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

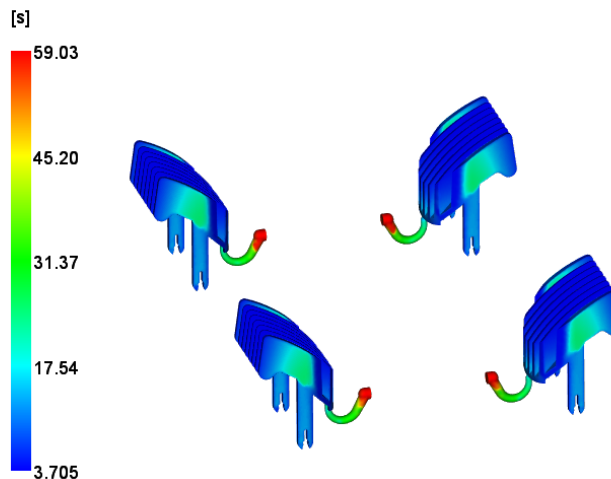
Průběh tlaku v místě vstříku v průběhu celého procesu vstříkování je znázorněn pomocí grafu, kde je zobrazen průběh tlaku [MPa] v závislosti na čase [s]. K nejvyšším hodnotám dochází ke konci samotného vstříkování, kde je u této varianty dosaženo hodnot blízcích se 30 MPa. Poté následuje snížení tlaku na dotlak dle nastavení procesních podmínek. Dotlak působí hodnotou 80% vstříkovací tlaku po dobu 5ti sekund.



Obrázek 42 Analýza č.1 tlak v místě vstříku (pressure at injection: XY plot)

10.5.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

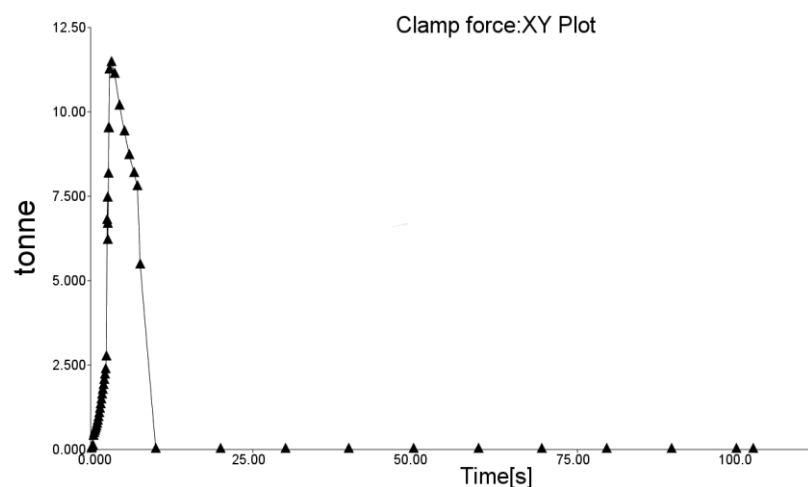
Tento výsledek analýzy určuje ideální čas potřebný pro bezpečné vyhození výrobku z formy. U této varianty se tato hodnota pohybuje okolo 25 s, z důvodu hůře chlazených bočních částí výrobku. Tato analýza je velmi důležitá pro správné umístění vyhazovačů, tak aby bylo vyhazovače možno umístit do dříve ochlazených míst a výrazně tak zkrátit vstřikovací cyklus.



Obrázek 43 Analýza č.1 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

10.5.4 Uzavírací síla (clamp force: XY plot)

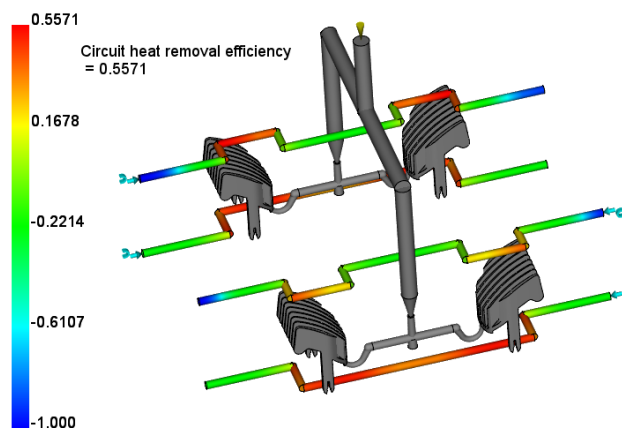
Výsledek analýzy s názvem clamp force: XY plot udává velikost potřebné uzavírací síly během vstřikovacího cyklu v závislosti na čase. Velikost uzavírací síly vstřikovacího stroje musí být větší než tato zjištěná potřebná uzavírací síla, tedy 12 tun.



Obrázek 44 Analýza č.1 uzavírací síla (clamp force: XY plot)

10.5.5 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

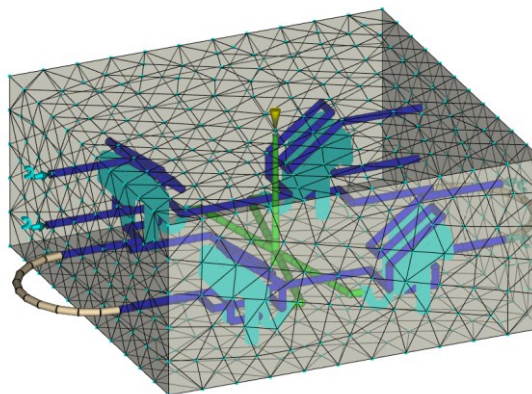
Výsledek analýzy účinnosti neboli efektivity odvodu tepla pomocí temperačních okruhů představuje hlavní ukazatel pro správnou volbu temperačního systému. Na barevné škále, která může dosahovat hodnot od -1 do 1 je zobrazena daná efektivita odvodu tepla. Nejvyšší ideální hodnota 1 znamená, že temperační okruh v tomto místě odvádí teplo z formy na 100%. Naopak nejnižší hodnota -1 udává, že je temperační okruh v tomto místě neefektivní, a naopak předává teplo do okolí formy. Maximální dosažená hodnota je v tomto případě 0,5571, tak jak je vidět na obrázku níže.



Obrázek 45 Analýza č.1 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

10.6 Analýza č.2 složitější temperace + studený vtok

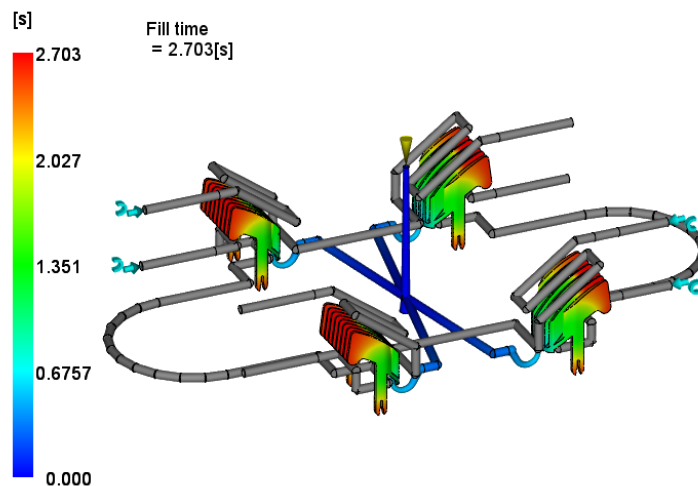
U druhé varianty analýzy v rámci optimalizací byl vytvořen složitější temperační okruh, který přesněji kopíruje tvar výrobku. Kanálky temperačního okruhu byli ponechány průměru 6 mm. Dále byla vyzkoušena změna vtokového systému na studený. Materiál byl ponechán stejně jako u předchozí varianty Triax 1790: INEOS ABS.



Obrázek 46 Schéma varianty č.2 složitější temperace + studený vtok

10.6.1 Čas plnění (fill time)

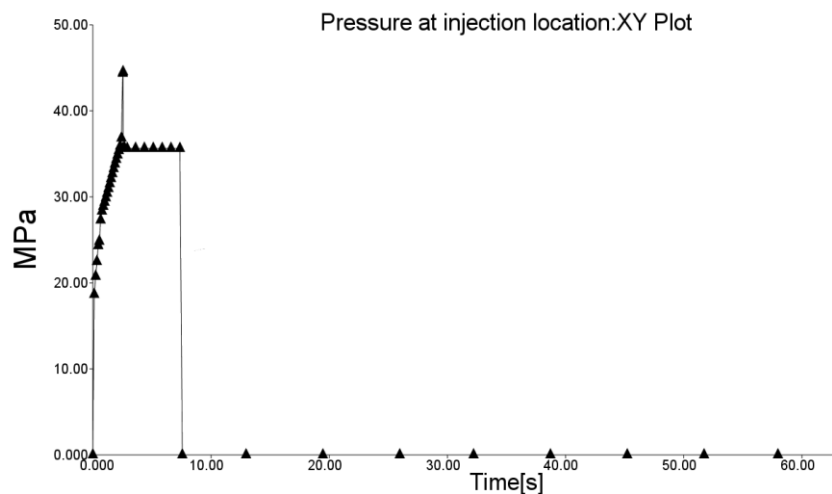
Jak bylo zmíněno u předcházející varianty, tak výsledek analýzy času plnění vyjadřuje za kolik sekund došlo k naplnění celé dutiny vstřikovací formy taveninou. Dle obrázku níže je vidět, že u této varianty se studeným vtokovým systémem došlo k zaplnění celé dutiny formy za 2,703 sekund, což je přibližně stejný čas jako u varianty s kombinovaným vtokovým systémem.



Obrázek 47 Analýza č. 2 čas plnění (fill time)

10.6.2 Tlak v místě vstřiku (Pressure at injection location: XY plot)

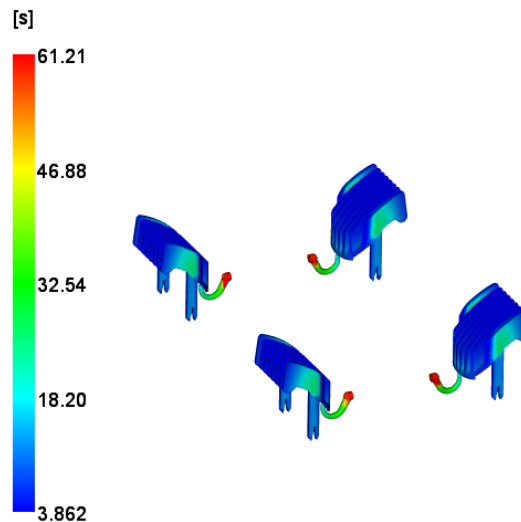
Výsledek analýzy pressure at injection location zobrazuje prostřednictvím grafu průběh tlaku v závislosti na čase. U této varianty se dosahuje hodnot dosahujících cca 45 MPa, což je výrazně vyšší hodnota, než která je pozorována u předchozí varianty.



Obrázek 48 Analýza č.2 tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot)

10.6.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

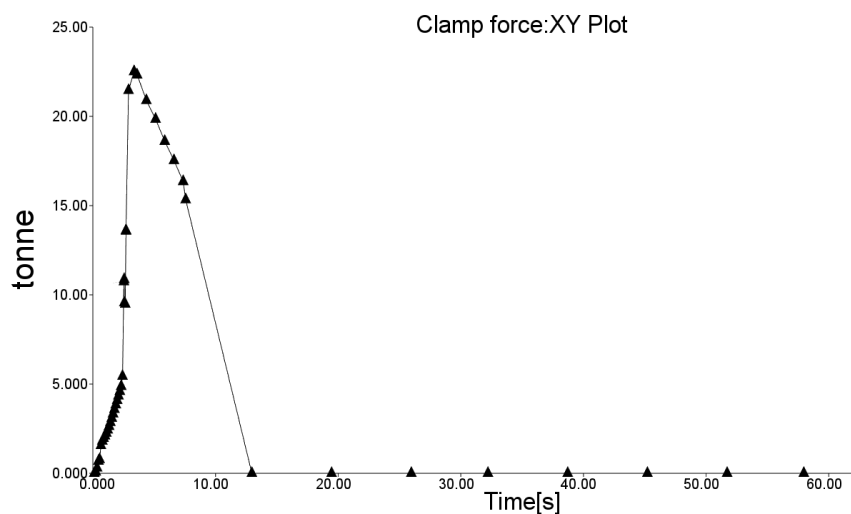
U analýzy času potřebného pro vyhození výrobku z dutiny formy vychází u této varianty čas v rozmezí 20-25 sekund. Výrobek je však možné se správným umístěním vyhazovačů z formy vyjmout i dříve, tak jak bylo zmíněno u předchozí varianty.



Obrázek 49 Analýza č.2 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

10.6.4 Uzavírací síla (Clamp force: XY plot)

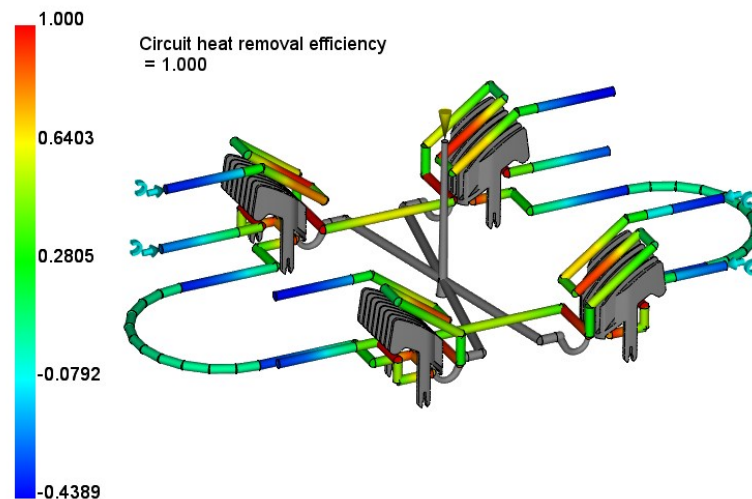
Potřebná minimální uzavírací síla pro uzavření dutiny formy po celou dobu vstřikování je pro tento případ analýzy na hodnotě cca 23 tun, což je výrazně vyšší hodnota než u varianty s kombinovaným vtokovým systémem, kde byla tato hodnota cca 12 tun.



Obrázek 50 Analýza č.2 uzavírací síla (clamp force: XY plot)

10.6.5 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

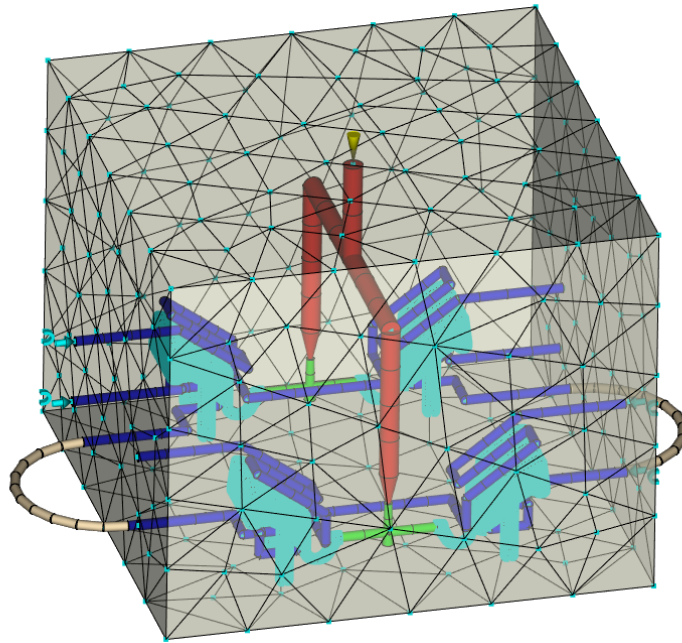
U analýzy účinnosti odvodu tepla temperačního okruhu je možno u zvoleného složitějšího temperačního systému vidět zefektivnění, kdy dle zobrazené škály viz níže je dosaženo v některých místech dokonce i hodnoty 1, která značí nejvyšší možnou efektivitu odvodu tepla z dutiny formy.



Obrázek 51 Analýza č.3 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

10.7 Analýza č.3 složitější temperace + kombinovaný vtok + ABS s PA

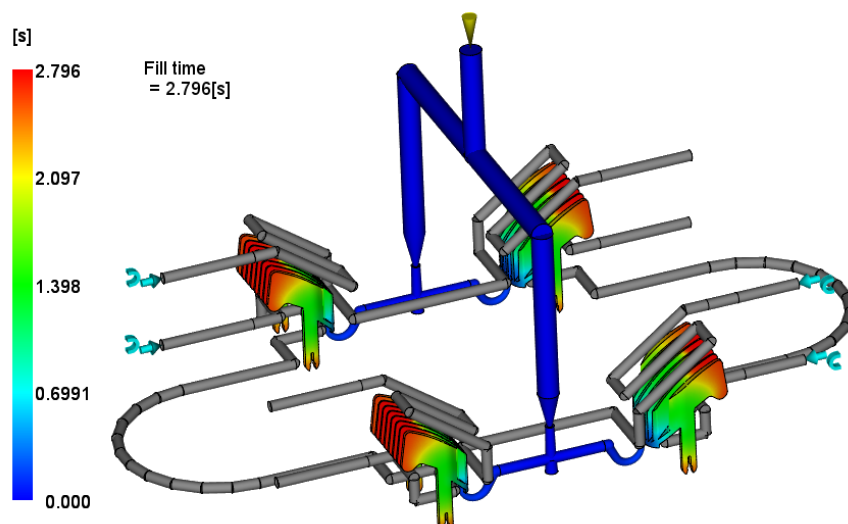
Pro třetí analýzu bylo vycházeno z poznatků získaných z výsledků u první a druhé varianty. S ohledem na tyto výsledky byla vybrána složitější varianta temperace. Volba složitější temperace byla podložena lepší účinností odvodu tepla a také času potřebného k vyhození výrobku z formy. Z hlediska volby vtokového systému byl navzdory funkčnosti obou vtokových systémů zvolen ten kombinovaný. Při této volbě bylo přihlédnuto k menšímu tlaku v místě samotného vstřiku a také s ohledem na menší potřebnou uzavírací sílu při vstřikování. Čas plnění byl u obou variant přibližně stejný. Materiál byl u této varianty stejně jako u předchozích dvou opět zvolen Triax 1790: INEOS ABS.



Obrázek 52 Schéma varianty č.3 složitější temperace + kombinovaný vtok

10.7.1 Čas plnění (fill time)

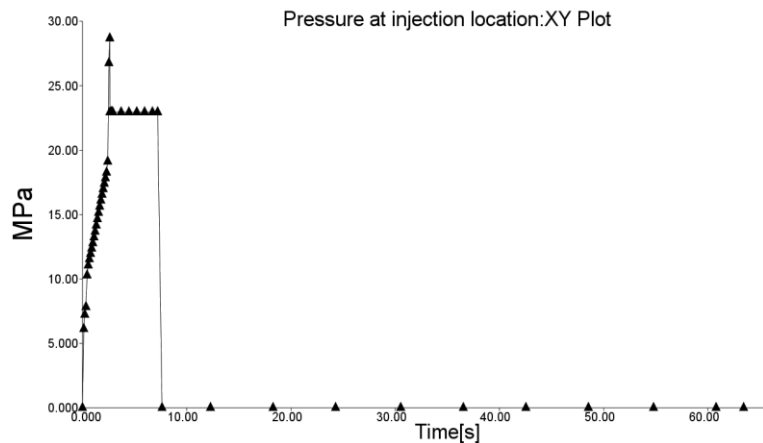
Jak už bylo zmíněno výše čas plnění dutiny formy byl u obou vtokových systémů téměř totožný. U zvoleného kombinovaného vtokového systému to bylo přesně 2,796 sekund. Tohoto času je dosaženo bez vzniku jakéhokoliv nedotečení taveniny do všech zákoutí dutiny formy.



Obrázek 53 Analýza č.3 čas plnění (fill time)

10.7.2 Tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

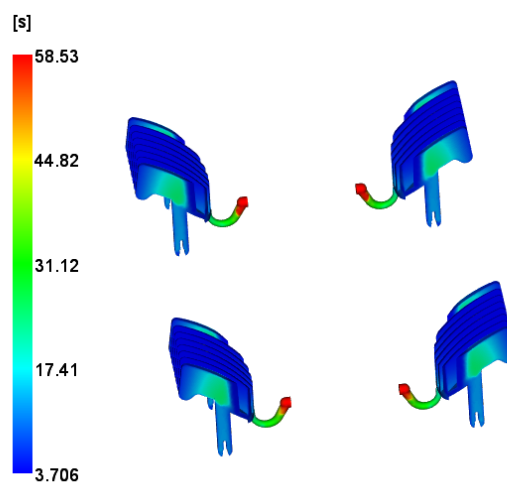
Tlak v místě vstříku neboli v místě vtokového ústí je u zvoleného kombinovaného vtokového systému lehce pod 30 MPa. Jak je vidět ve zmíněném grafu, tak k dosažení této hodnoty dochází na konci samotného vstříkování. V závislosti na čase vstříkování je této hodnoty dosaženo zhruba v čase 3 sekund. Jak už bylo zmíněno, tak z grafu je také možno vyčíst hodnotu a délku působení dotlaku.



Obrázek 54 Analýza č.3 tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

10.7.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

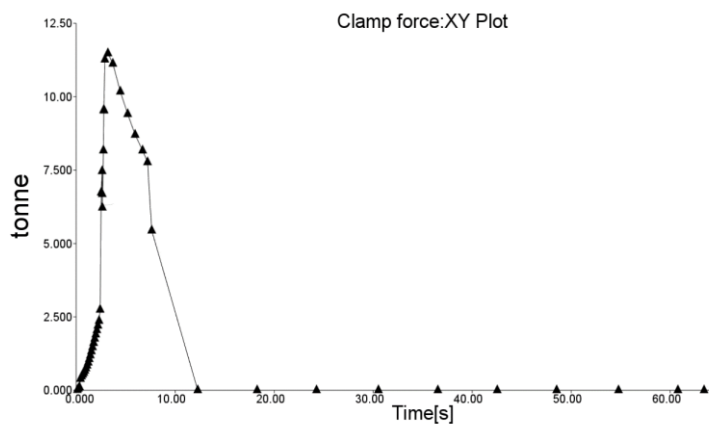
Čas k dosažení vyhazovací teploty je u této třetí varianty s kombinovaným vtokovým systémem a propracovanější temperací zhruba 20 sekund. Na základě barevné škály je však možné výrobek vyhodit mnohem dříve, než zchladnou nejproblematičtější části výrobku.



Obrázek 55 Analýza č.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

10.7.4 Uzavírací síla (clamp force: XY plot)

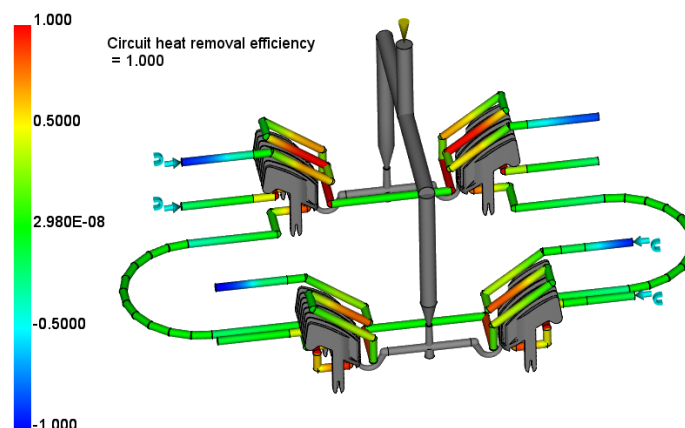
Výsledkem u této analýzy je graf, který zobrazuje průběh uzavírací síly v čase. V průběhu vstřikovacího cyklu síla roste na svoji maximální hodnotu, která dosahuje cca 12 tun. Této hodnoty síla dosahuje v čase zhruba 3 sekund. Při fázi dotlaku uzavírací síla postupně klesá až na hodnotu 0, kterou dosahuje přibližně po 12 sekundách. Vstřikovací stroj by měl mít minimálně o 10 % větší uzavírací sílu z hlediska bezpečného uzavření vstřikovací formy po celou dobu cyklu.



Obrázek 56 Analýza č.3 uzavírací síla (clamp force: XY plot)

10.7.5 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

Jak už bylo zmíněno u předcházejících variant, tak pomocí této analýzy se zjišťuje účinnost odvodu tepla temperačního okruhu. Stupnice je bezrozměrná a je ji tedy možné interpretovat také v procentech. Maximální efektivita systém nabývá při hodnotě $1=100\%$.



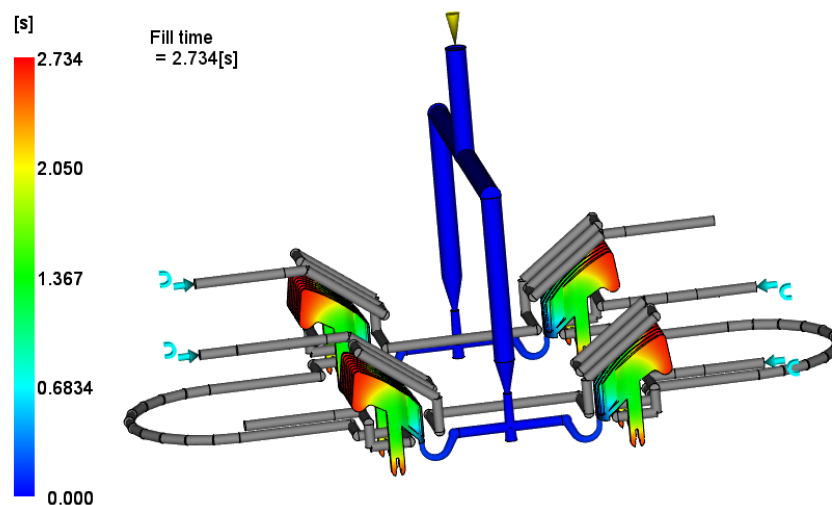
Obrázek 57 Analýza č.3 účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

10.8 Analýza č.4 složitější temperace + kombinovaný vtok + PA6

Pro poslední variantu optimalizace vstřikovacího cyklu byl použit stejný vtokový i temperační systém, tak jako u vyhovující varianty číslo 3. Z důvodu možnosti porovnání s jiným materiálem byl u této varianty změněn právě pouze materiál. Jako materiál je použit polyamid PA6 s obchodním označením Hiloy 610: A Schulman. U této varianty nebudou zobrazeny některé obrázky porovnávaných výsledků, a to z důvodů jejich shodnosti s předchozí variantou.

10.8.1 Čas plnění (fill time)

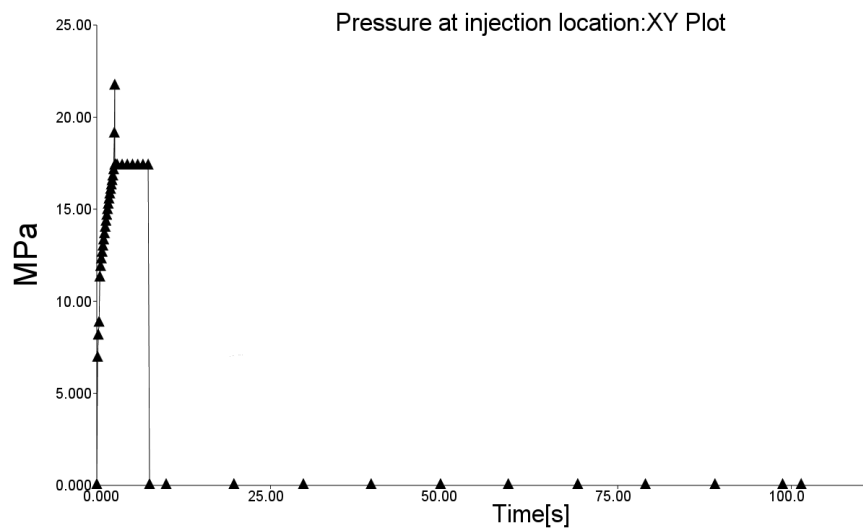
Čas plnění je při změně materiálu na PA6 v podstatě totožný. Je možno vidět rozdíl pouze v setinách sekundy, což je v tomto případě zanedbatelné. U předchozí varianty byl čas plnění na hodnotě 2,796 s. U varianty s materiálem PA6 je tento čas, jak je zobrazeno na obrázku níže 2,734 sekund. Změna materiálu rovněž nevykazuje žádné problémy se zatečením materiálu do dutiny formy.



Obrázek 58 Analýza č.4 čas plnění (fill time)

10.8.2 Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot)

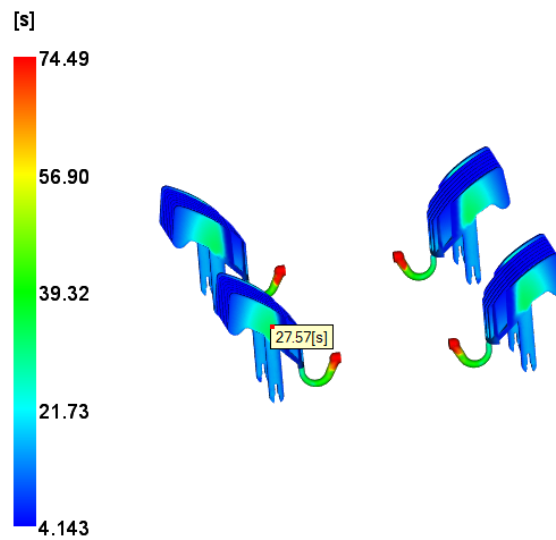
U analýzy, která zobrazuje průběh tlaku ve vtokovém ústí je možno u materiálu PA6 vidět, že je dosahováno menších hodnot v porovnání s materiálem ABS. Jak je zobrazeno na obrázku níže u této varianty je dosahováno maximálního tlaku cca 22 MPa. Obě tyto hodnoty jsou naprosto optimální.



Obrázek 59 Analýza č.4 tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

10.8.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

U času potřebného k dosažení ideální vyhazovací teploty je možné pozorovat mírné prodloužení ochlazování výrobku. Jak je zobrazeno na obrázku níže, tak v některých místech na výrobku je dosahována hodnota okolo 27 sekund.

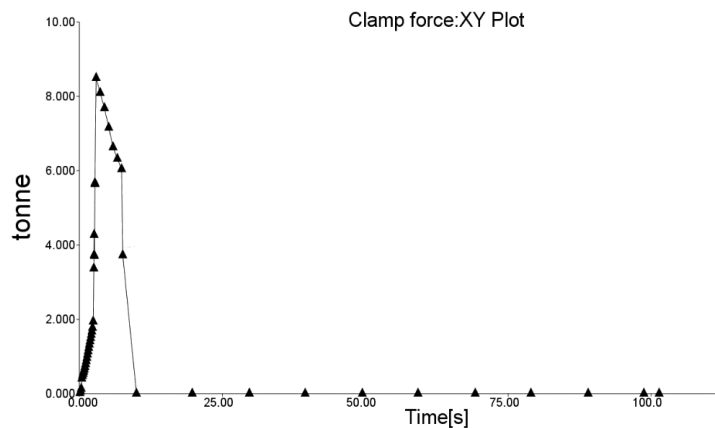


Obrázek 60 Analýza č.4 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

10.8.4 Uzavírací síla (clamp force: XY plot)

Pro analýzu, která zobrazuje potřebnou minimální uzavírací sílu je u varianty s materiálem PA6 dle grafu vidět, že je dosaženo maximálně hodnoty okolo 9 tun. Obě hodnoty dosahují

velmi malých hodnot, takže při výběru vstřikovacího stroje volba jednoho či druhého materiálu nehraje žádnou roli.



Obrázek 61 Analýza č.4 uzavírací síla (clamp force: XY plot)

10.8.5 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

U ukazatele účinnosti odvodu tepla pomocí temperačního okruhu nejsou mezi materiály zaznamenány v podstatě žádné rozdíly. Výsledek této analýzy tedy není třeba u této varianty graficky zobrazovat.

10.9 Vyhodnocení výsledků analýz

Z výše zmíněných 4 variant byla vybrána nejvhodnější varianta, podle které byla provedena konstrukce vstřikovací formy. Tato varianta je prezentována pod označením č.3. Jako temperační systém byla s ohledem na větší efektivitu odvodu tepla z dutiny formy zvolena složitější varianta, která velmi přesně kopíruje tvar součásti. Temperace u této varianty obsahuje celkem 4 temperační okruhy. Pro tvárníky jsou tyto okruhy vždy po jednom na každé straně formy a jsou z důvodů nedostatku místa v oblasti tvárníku propojeny hadicí. Temperační okruhy pro tvárnice poté prochází standardně napříč celou šířkou formy. Vtokový systém byl vybrán jako kombinovaný. Při této volbě bylo přihlédnuto k výsledkům analýz a zároveň bylo bráno v potaz, že součástka by měla být vyráběna ve velkých sériích. Kombinovaný vtokový systém je tedy s ohledem na lepší automatizaci výroby a menší vznik vtokového zbytku výhodnější volbou. Jako materiál byl vybrán Triax 1790: INEOS ABS. Při volbě materiálu bylo mimo jiné přihlédnuto k tomu, že materiál ABS byl vyobrazen na reálném výrobku a je tedy odzkoušeno, že pro danou vstřikovanou součást naprosto vyhovuje.

11 VÝSLEDNÁ ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

V této kapitole budou přehledně zobrazeny jednotlivé výsledky konkrétních analýz pro výše zmíněnou zvolenou variantu č.3, podle které byla provedena konstrukce vstřikovací formy. Tato varianta obsahuje složitější temperaci, kombinovaný vtokový systém a materiál Triax 1790: INEOS ABS. Budou vybrány pouze některé výsledky celkové analýzy Cool + Fill + Pack + Warp, která byla provedena. Budou vybrány takové výsledky, které jsou pro průběh vstřikovacího cyklu stěžejní případně jsou nějakým způsobem zajímavé a je prospěšné je zmínit. Výsledky budou rozděleny do třech podkapitol, obdobě jako jsou rozděleny přímo v programu Autodesk Moldflow Synergy.

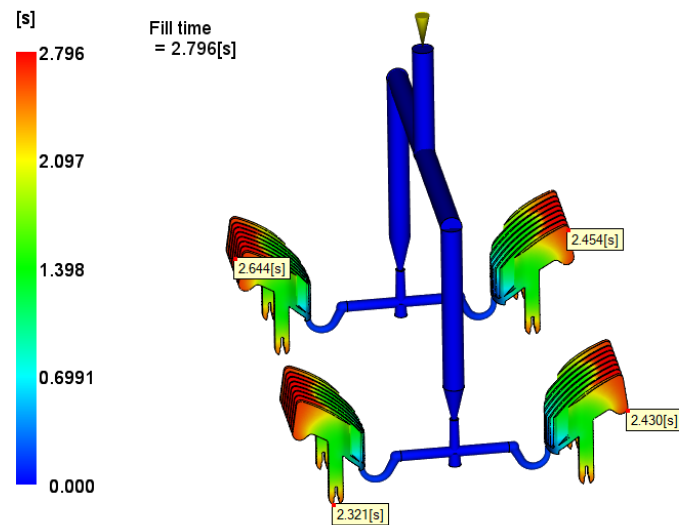
11.1 Výsledky analýzy plnění a dotlaku (flow)

První a zároveň nejvíce obsáhlá podkapitola obsahuje největší počet jednotlivých výsledků v programu Moldflow. Tato podkapitola zobrazuje výsledky, které se týkají plnění dutiny formy, což zahrnuje samotné vstřikování a také dotlak. V této diplomové práci budou zmíněny tyto výsledky:

- Čas plnění (fill time).
- Tlak v místě vstřiku (pressure at injection location: XY plot).
- Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature).
- Uzavírací síla (clamp force: XY plot).
- Vzduchové kapsy (Air traps).
- Studené spoje (weld lines).

11.1.1 Čas plnění (fill time)

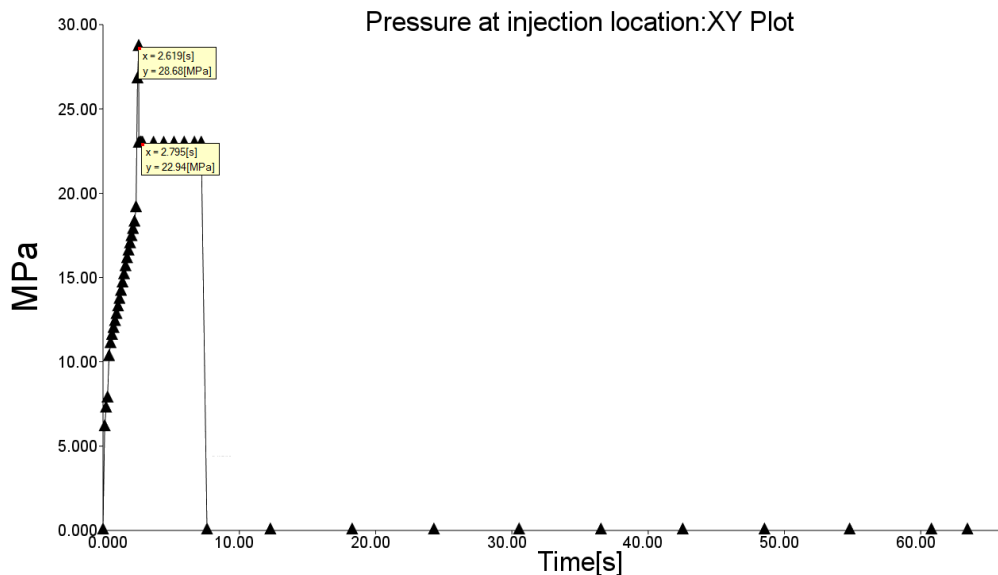
Analýza času plnění graficky zobrazuje, které části dutiny formy budou zaplněny nejdříve a které naopak nejpozději. Může také zobrazovat případné nedotečení materiálu do dutiny formy. Jak je vidět na obrázku níže, tak nejdříve budou zaplněny místa v bezprostřední blízkosti vtokového ústí. Tyto místa jsou označeny modrou barvou. Nejpozději budou naopak zaplněny místa v horní části vstřikované součásti a také v dolní části v upínacích packách výrobku. Na obrázku je možno tyto místa vidět označené červenou barvou. Celkový čas plnění je dle stupnice stanoven na hodnotě 2,796 sekundy.



Obrázek 62 Výsledná analýza – čas plnění (fill time)

11.1.2 Tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

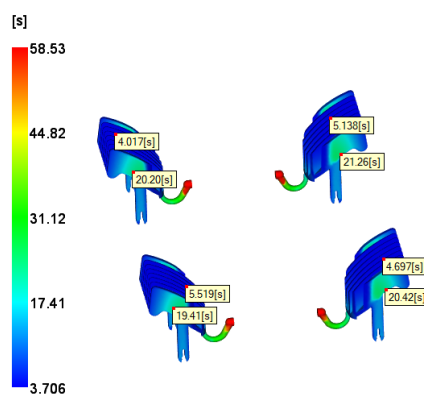
Tlak v místě vstříku je v programu Moldflow zobrazen pomocí grafu, který vyjadřuje závislost tlaku v MPa na čase v sekundách. Nevyšších hodnot tlaku je u výsledné analýzy dosahováno ke konci samotného vstříkování. Jak je vidět na obrázku, tak k tomu dochází zhruba v čase 2,6-2,7 sekund. Následně hodnota tlaku klesá na 80% a začíná působit dotlak. Dotlak působí hodnotou cca 23 MPa po dobu 5ti sekund.



Obrázek 63 Výsledná analýza – tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot)

11.1.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

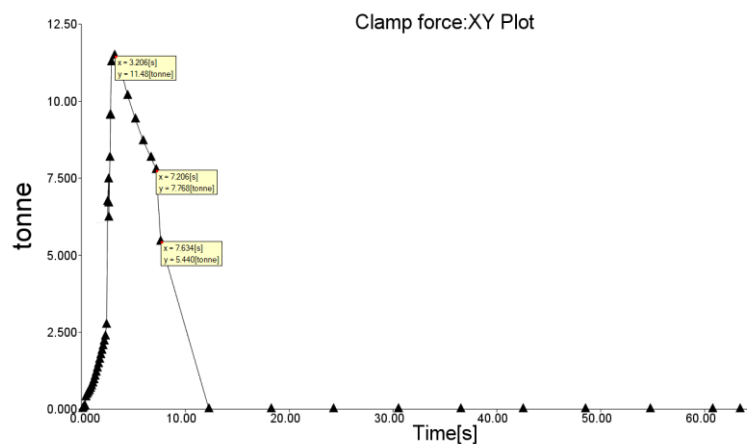
Výsledek této analýzy zobrazuje za kolik sekund výrobek dosáhne ideální vyhazovací teploty. Tato analýza slouží k určení problémových míst, co se týče chlazení a na základě těchto míst je poté možno vhodně rozmístit vyhazovače a výrazně tak zkrátit čas cyklu. Jak je zobrazeno na obrázku níže, tak k nejvyšším časům okolo 20 sekund dochází na bočních částech součásti. Tyto místa však nejsou z hlediska umístění vyhazovačů klíčové. Výrobek je tedy možné z formy vyjmout mnohem dříve. Jak je vidět na obrázku, tak ve střední části výrobku se čas potřebný k vyhození z formy pohybuje mezi 4-6 sekundami.



Obrázek 64 Výsledná analýza – čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)

11.1.4 Uzavírací síla (clamp force: XY plot)

Výsledek analýzy, který zobrazuje velikost potřebné uzavírací síly je zobrazen pomocí grafu, který interpretuje průběh hodnoty uzavírací síly v tunách v průběhu času. Maximální hodnota se blíží 12 tunám a je dosažena zhruba v čase 3,2 sekund. Následuje fáze dotlaku, při které uzavírací síla postupně klesá až na hodnotu 0, které dosahuje přibližně po 12 s.

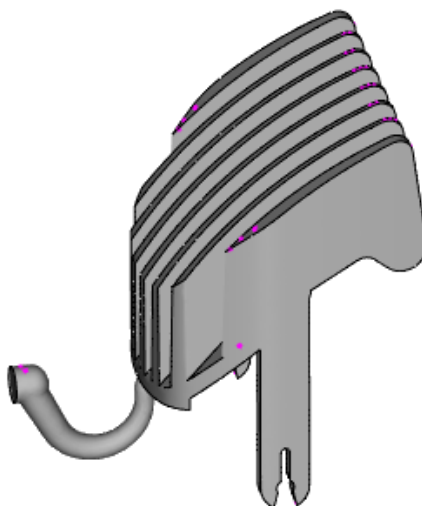


Obrázek 65 Výsledná analýza – uzavírací síla (clamp force: XY plot)

11.1.5 Vzduchové kapsy (air traps)

Výsledky této analýzy zobrazují místa, kde je možné zvýšené riziko vzniku vzduchových kapes. Na obrázku je možno vidět, že tato vstříkovaná součást není riziková, co se týče možného vzniku vzduchových kapes neboli bublin. Místa možného vzniku bublin jsou zobrazena růžovou barvou a na výrobku jich je naprosté minimum. Není tedy nutné nijak speciálně řešit problematiku odvzdušnění formy. Postačí přirozené odvzdušnění formy vřely v dělicí rovině a také kolem vyhazovačů

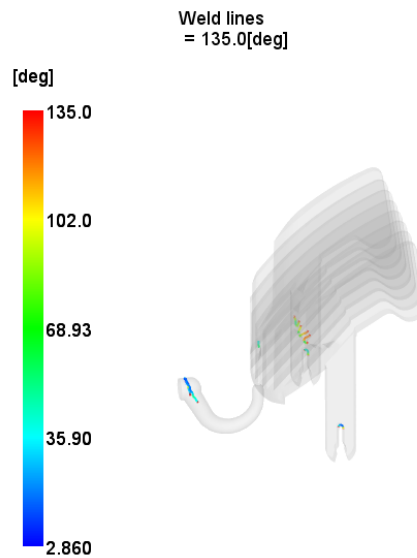
Air traps



Obrázek 66 Výsledná analýza – vzduchové kapsy (air traps)

11.1.6 Studené spoje (weld lines)

Tato analýza odhaluje místa na výrobku, kde mohou vznikat studené spoje. Studené spoje vznikají v místech, kde se potkávají čela proudů taveniny a mají negativní vliv na mechanické vlastnosti. Studené spoje jsou vady, které nelze nijak odstranit. Proto je důležité dbát na výsledek této analýzy s ohledem na pozici vtokového ústí, která přímo ovlivňuje vznik studených spojů. Jak je zobrazeno na obrázku níže, u této součásti dochází k naprostému minimu vzniku studených spojů. Výrobek tedy nebude mít snížené mechanické vlastnosti ovlivněné tímto typem vady.



Obrázek 67 Výsledná analýza – studené spoje (weld lines)

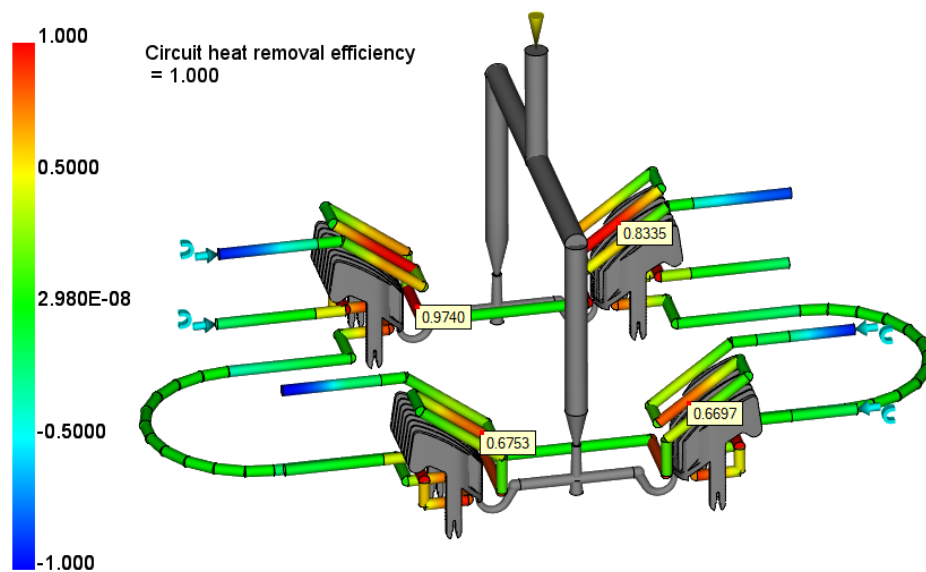
11.2 Výsledky analýzy temperace (cool)

Druhá skupina výsledků se zabývá temperací neboli chlazením dutiny vstříkovací formy. V programu Moldflow se tyto výsledky vyskytují pod záložkou cool a v této práci budou zmíněny konkrétně tyto výsledky:

- Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency).
- Teplota temperačního média (circuit coolant temperature).

11.2.1 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

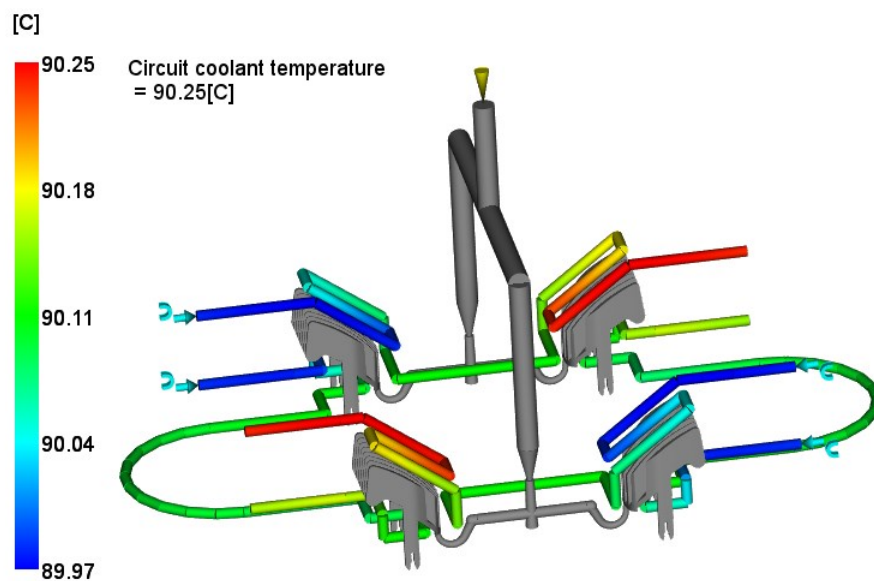
Výsledek této analýzy zobrazuje účinnost odvodu tepla celého temperačního systému. Tato hodnota je zobrazovaná na stupnici bezrozměrnou veličinou a je ji tedy možné převést na procenta. U zvoleného temperačního systému je možno vidět velmi efektivní odvod tepla všech temperačních okruhů. Hodnoty odvodu tepla se velmi často pohybují v rozmezích 60-100%, tak jak je vidět na zmíněném obrázku.



Obrázek 68 Výsledná analýza – účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)

11.2.2 Teplota temperačního média (circuit coolant temperature)

Druhý zmíněný výsledek v podkapitole týkající se chlazení zobrazuje rozsah teplot chladicí kapaliny v celém temperačním okruhu. Pro správnou funkci temperace by teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem chladicí kapaliny neměl být větší než 3 °C. U této součásti je teplota na vstupu cca 90 °C a teplota na výstupu 90,25 °C. Rozdíl je tedy zhruba 0,3 °C a temperační systém z tohoto pohledu zcela vyhovuje.



Obrázek 69 Výsledná analýza – teplota temperačního média (circuit coolant temperature)

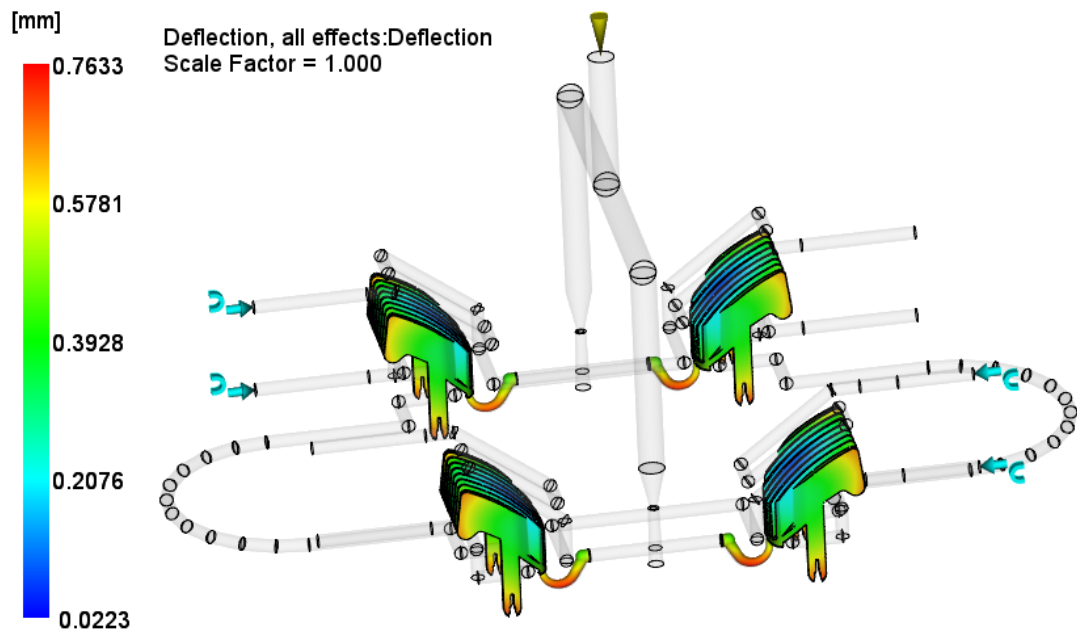
11.3 Výsledky analýzy smrštění a deformace (warp)

Poslední skupinou je poté podskupina, která je v programu Moldflow zobrazena pod záložkou warp. Tato podskupina zobrazuje výsledky zabývající se smrštěním a možnými deformacemi vstřikované součásti. Deformace jsou zde zobrazovány jak celkové, tak i v jednotlivých osách. Blíže budou popsány tyto dva výsledky:

- Celková deformace od všech efektů (deflection, all effects: deflection).
- Deformace vlivem smrštění (deflection, differential shrinkage: deflection).

11.3.1 Celková deformace od všech efektů (deflection, all effects: deflection)

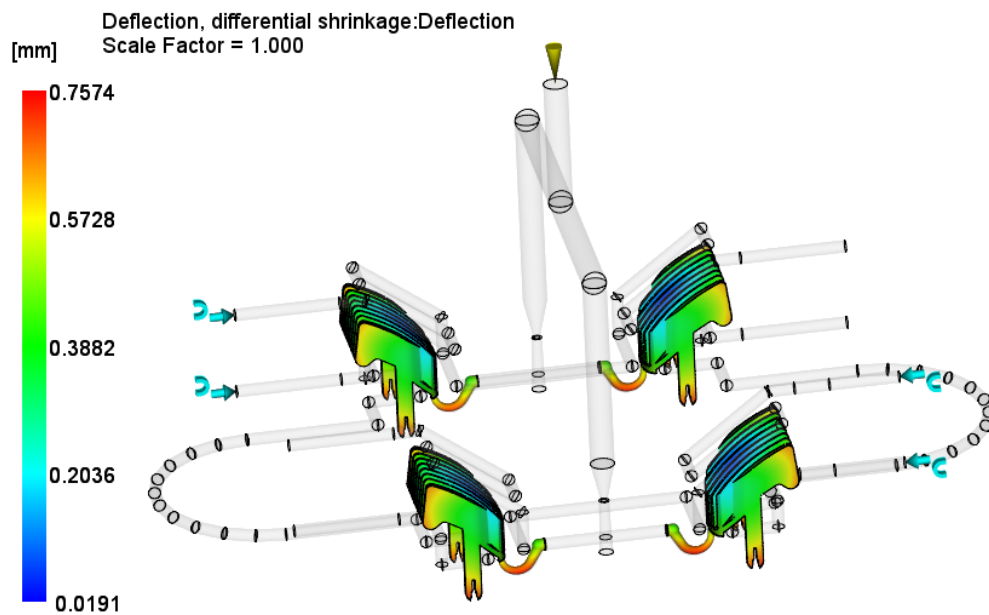
Komplexní výsledek analýzy celkové deformace ukazuje vzniklou celkovou deformaci způsobenou všemi efekty a její rozmístění na jednotlivých místech výrobku. Maximální hodnota deformace vzniká na dolních packách vstřikované součásti a také v horní části na nejvzdálenějších místech od místa vtokového ústí. Maximální hodnota deformace dosahuje dle zobrazené stupnice hodnoty 0,7633 mm. Tato hodnota není s ohledem na použití této součásti nijak vysoká a netvoří žádnou překážku pro správné použití výrobku.



Obrázek 70 Výsledná analýza – celková deformace od všech efektů (deflection, all effects: deflection)

11.3.2 Deformace vlivem smrštění (deflection, differential shrinkage: deflection)

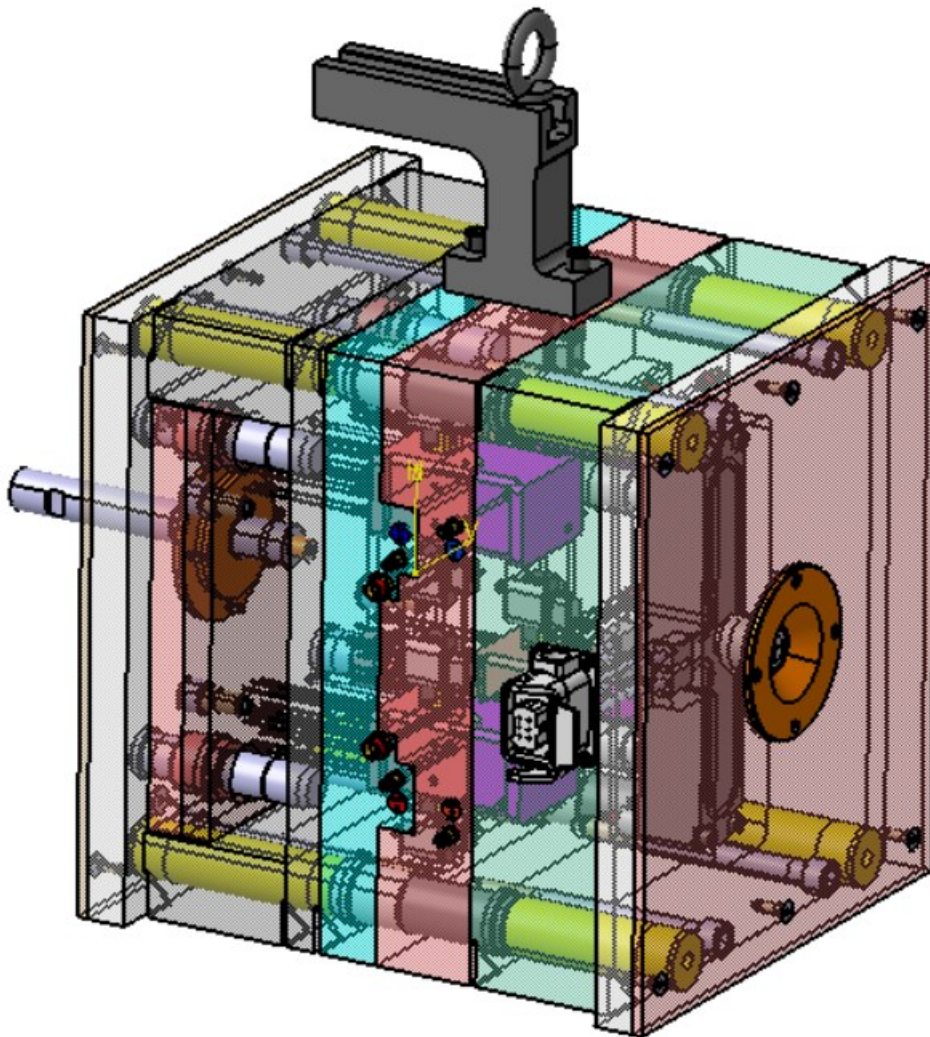
Dle výsledků dílčích analýz bylo zjištěno, že největší podíl na celkové deformaci má deformace od smrštění. Tato analýza je obdobná jako analýza celkové deformace s tím rozdílem, že udává velikost deformace pouze od smrštění. Nejvyšší hodnota deformace od smrštění u této součásti dosahuje 0,7574 mm. Deformacím od smrštění nelze úplně zabránit, v případě potřeby je možné je pouze částečně regulovat.



Obrázek 71 Výsledná analýza – deformace vlivem smrštění (deflection, differential shrinkage: deflection)

12 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce celé vstřikovací formy probíhala výhradně v programu Catia. Vstřikovací forma se skládá ze tří základních částí (sestav). Mezi tyto části patří levá pohyblivá část formy, která slouží k uzavírání formy. Dále je to pravá pevná vstřikovací část formy, pomocí které se vstřikuje materiál do dutiny formy. Poslední částí je pak vyhazovací systém, který se nachází v levé pohyblivé části formy a slouží k vyhození vystříknuté součásti ven z formy. Při konstrukci vstřikovací formy v programu Catia byli použity normalizované prvky výhradně z katalogu firmy Meusburger. Volba normalizovaných dílů od jednoho dodavatele přináší výhodu například při objednávání náhradních dílů či jejich dostupnosti přímo na skladě. Přítomnost velkého množství normalizovaných prvků usnadňuje celkovou práci konstruktéra, přispívá ke snížení finančních nákladů na zhotovení formy a usnadňuje vyměnitelnost jednotlivých dílů při jejich opotřebování.



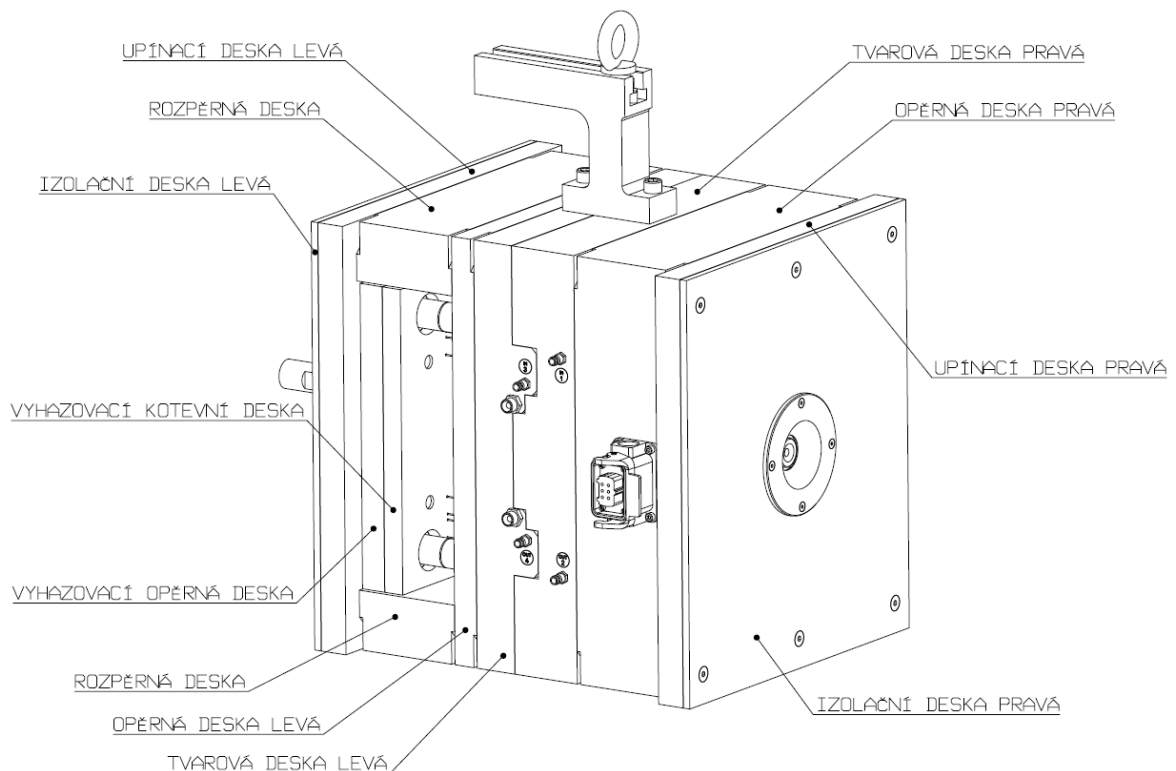
Obrázek 72 Konstrukce vstřikovací formy v programu Catia

12.1 Rám formy

Rám celé vstřikovací formy je sestaven z normalizovaných desek od firmy Meusburger a byl sestaven pomocí pomocného modulu pro sestavení rámu formy dostupného na webových stránkách tohoto dodavatele. Zde byli zvoleny rozměry jednotlivých desek formy a rám jako celek byl poté exportován do formátu CAD a vložen přímo do programu Catia.

Rám formy se skládá ze tří navzájem na sebe navazujících částí. První částí je pravá část formy, která se skládá z upínací, opěrné a tvarové desky. Druhou částí je levá část vstřikovací formy, jejichž součástí je upínací deska, dvě rozpěrné desky, opěrná a tvarová deska. Součástí obou stran vstřikovací formy je dále izolační deska, která slouží k správnému odizolování formy. Třetí částí je pak vyhazovací systém, který tvoří opěrná a kotevní vyhazovací deska. Vstřikovací forma má rozměry 346 x 446 mm, s výjimkou upínacích desek společně s izolačními deskami, které mají rozměr 396 x 446 mm.

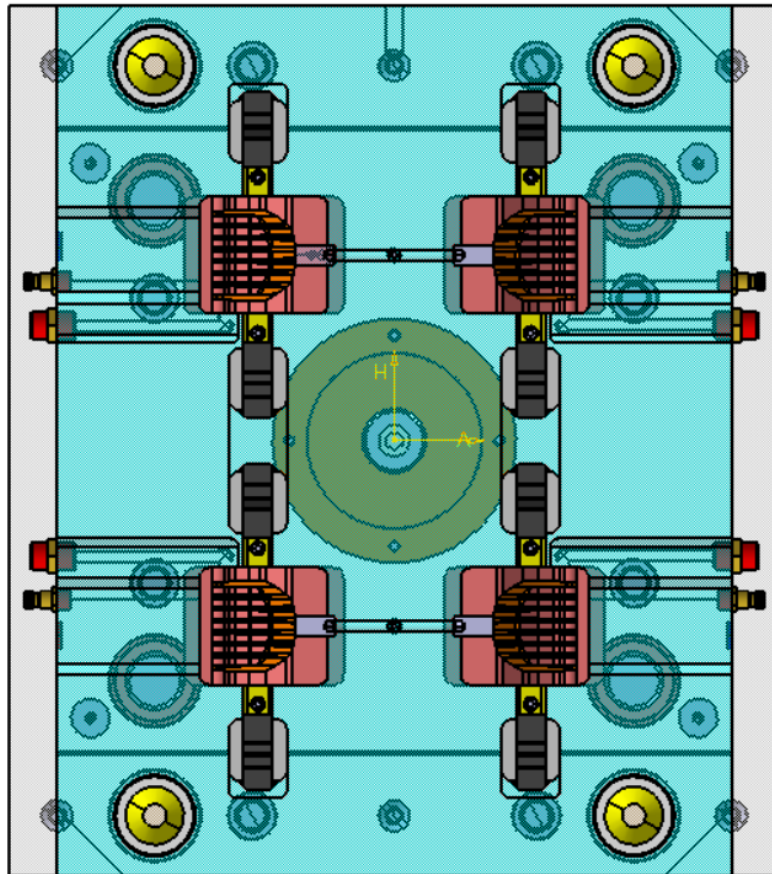
Zvolené celkové rozměry rámu formy jsou 396 x 446 x 457 mm (šířka x výška x délka).



Obrázek 73 Rám vstřikovací formy s popisem desek

12.2 Násobnost formy

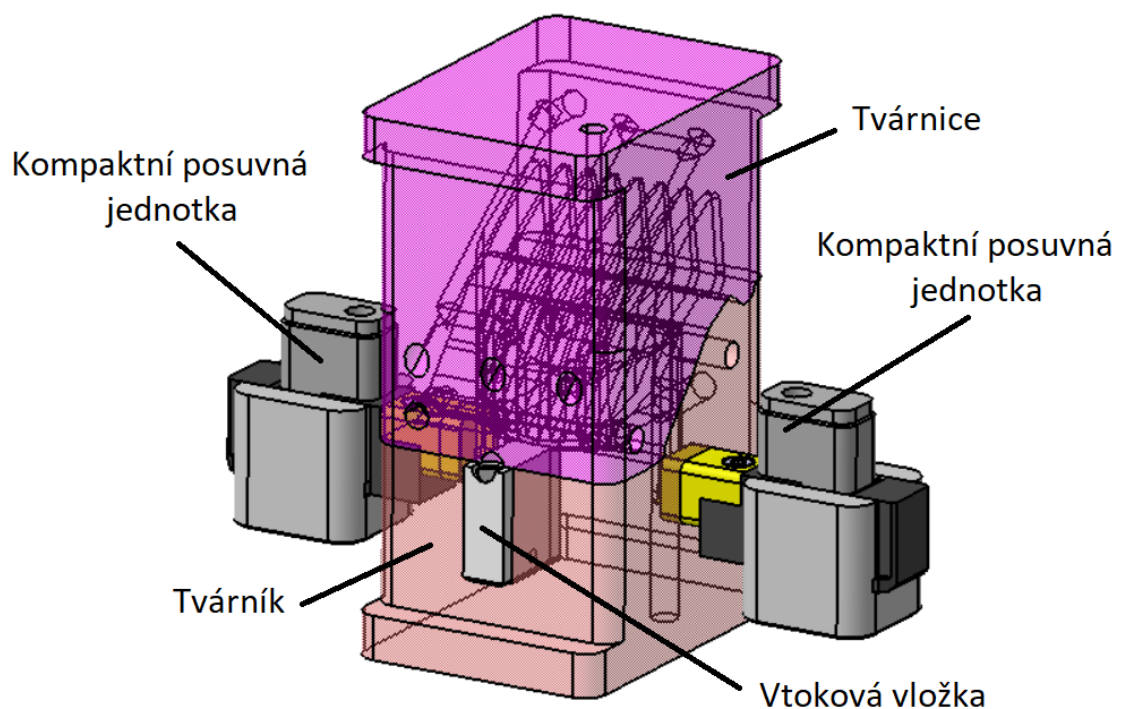
Násobnost formy znamená, kolik výrobků jsme schopni vyrobit na jeden pracovní zdvih vstřikovací formy. Jinými slovy, kolik dutin pro vstříknutí vyráběné součásti forma obsahuje. Při volbě násobnosti formy je pro zvolení optimálního řešení nutné přihlídnout k několika důležitým faktorům jako jsou: velikost a složitost výrobku s ohledem na jeho odformování a přesnost, finanční náklady na výrobu jednoho dílu, velikost vstřikovacího stroje a celková efektivita s ohledem na časovou náročnost pro výrobu dané série výrobků. Na základě těchto faktorů byla zvolena čtyřnásobná vstřikovací forma. Výstupem na konci každého výrobního cyklu jsou tedy čtyři totožné výrobky viz obrázek níže.



Obrázek 74 Pohled na násobnost vstřikovací formy

12.3 Zaformování – dutina formy

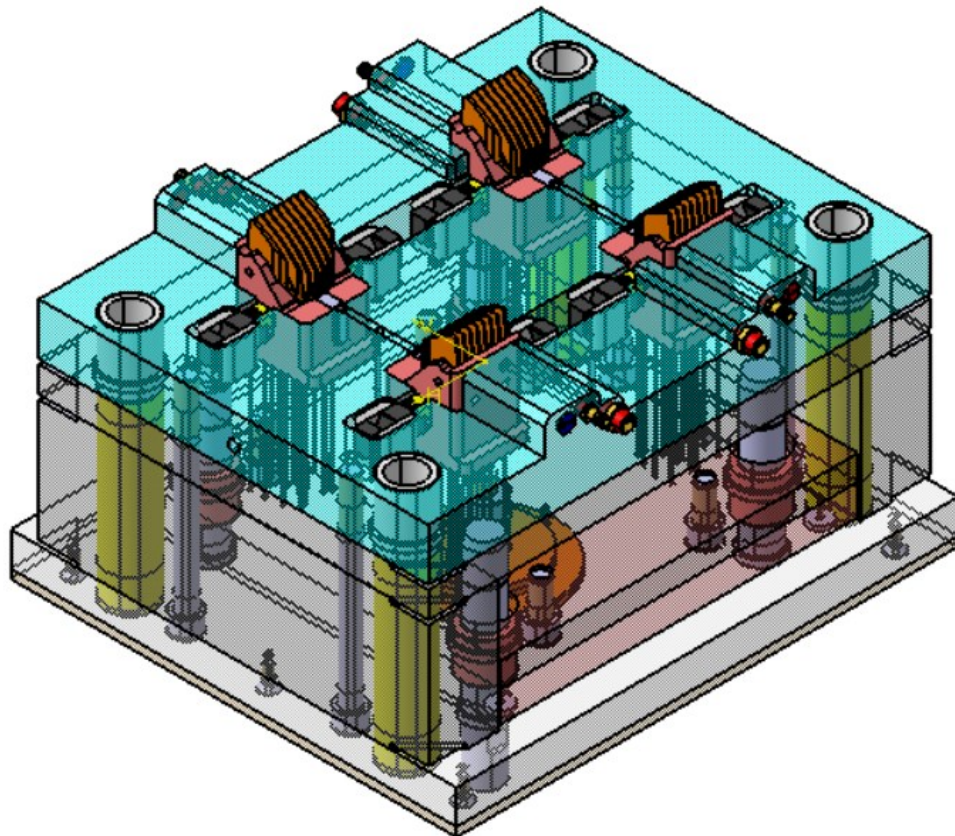
Zaformování je utvoření dutiny formy, která udává finální tvar součásti. Dutina formy je tedy jinými slovy místo určené pro vstříknutí taveniny polymeru. Polymer vyplní celou dutinu formy a po následném ztuhnutí materiálu a vyhození ze vstříkovací formy vytvoří hotový výrobek, který kopíruje vnitřní tvar dutiny formy. Dutinu formy zvolené součásti tvoří pět komponent. Základní 2 části dutiny formy jsou tvárník a tvárnice. Tvárník je uložen v levé pohyblivé části formy, konkrétně v tvarové desce, jejíž tvar a rozměr je uzpůsoben dle tvaru navrženého tvárníku. Druhou hlavní částí tvarové dutiny formy je tvárnice, která je uložena ve tvarové desce v pravé nepohyblivé části formy. Vzájemný styk tvarové plochy tvárníku a tvárnice utváří hlavní dělicí rovinu formy, která byla navržena pro co možná nejlepší odformování součásti s ohledem na její tvar a složitost. Vedle tvárníku a tvárnice utváří každou dutinu formy také dvě totožné kompaktní posuvné jednotky, které slouží k odformování bočních tvarových děr na packách výrobku a také vtoková vložka, která slouží k vytvoření místa pro vtok vstříkovaného polymeru. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, tak forma je čtyřnásobná, což znamená, že obsahuje čtyři stejné tvarové dutiny, které slouží k zaformování vyráběné součásti.



Obrázek 75 Dutina vstříkovací formy

12.4 Levá pohyblivá část formy

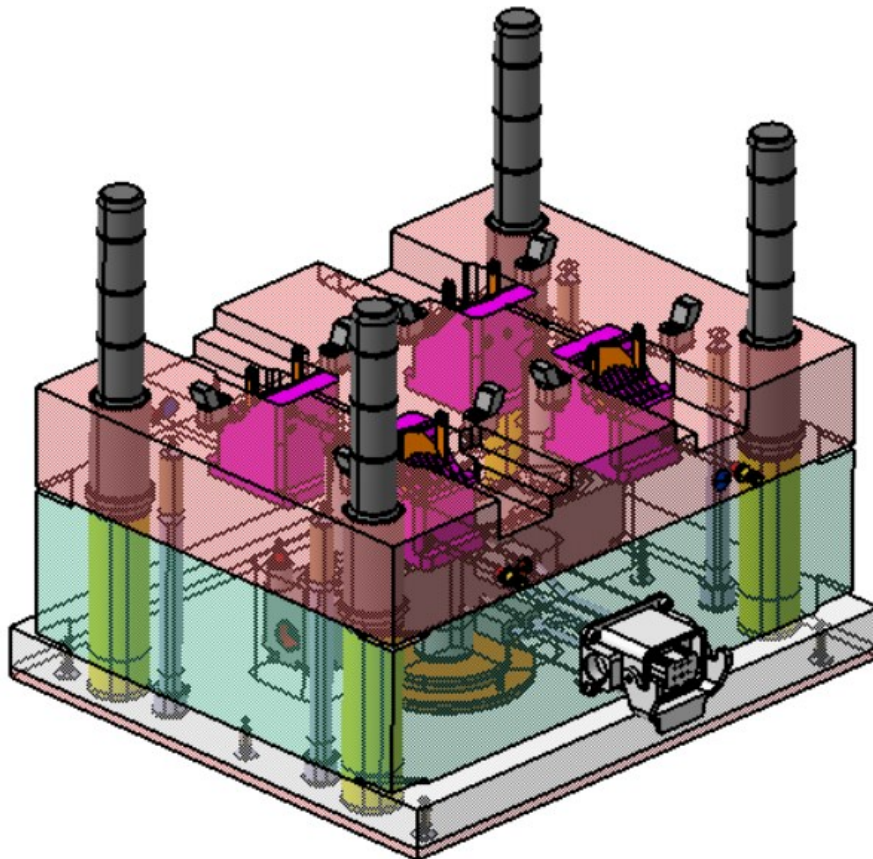
Levá pohyblivá část vstřikovací formy slouží k otevírání a uzavírání formy. Tato část formy je tvořena upínací a izolační deskou, opěrnou deskou, tvarovou deskou a dvěma rozpěrnými deskami. Součástí levé části vstřikovací formy je také sestava vyhazovacího systému, která se skládá z opěrné a kotevní vyhazovací desky. Součástí levé strany vstřikovací formy jsou dále čtyři tvárníky, osm kompaktních posuvných jednotek a čtyři vtokové vložky, které jsou společně uloženy ve tvarové desce formy. Na levé straně formy se dále nachází čtyři vodící pouzdra, které slouží v kombinaci s vodícími sloupky nacházejícími se v pravé části formy ke správnému vedení celé vstřikovací formy. Další součástí levé pohyblivé části jsou čtyři středící trubky, které slouží ke správnému vystředění upínací a opěrné desky. Celá levá strana vstřikovací formy je pak sešroubována čtyřmi šrouby se šestihrannou hlavou, tak aby utvářela jeden kompaktní celek.



Obrázek 76 Levá pohyblivá část vstřikovací formy

12.5 Pravá pevná část formy

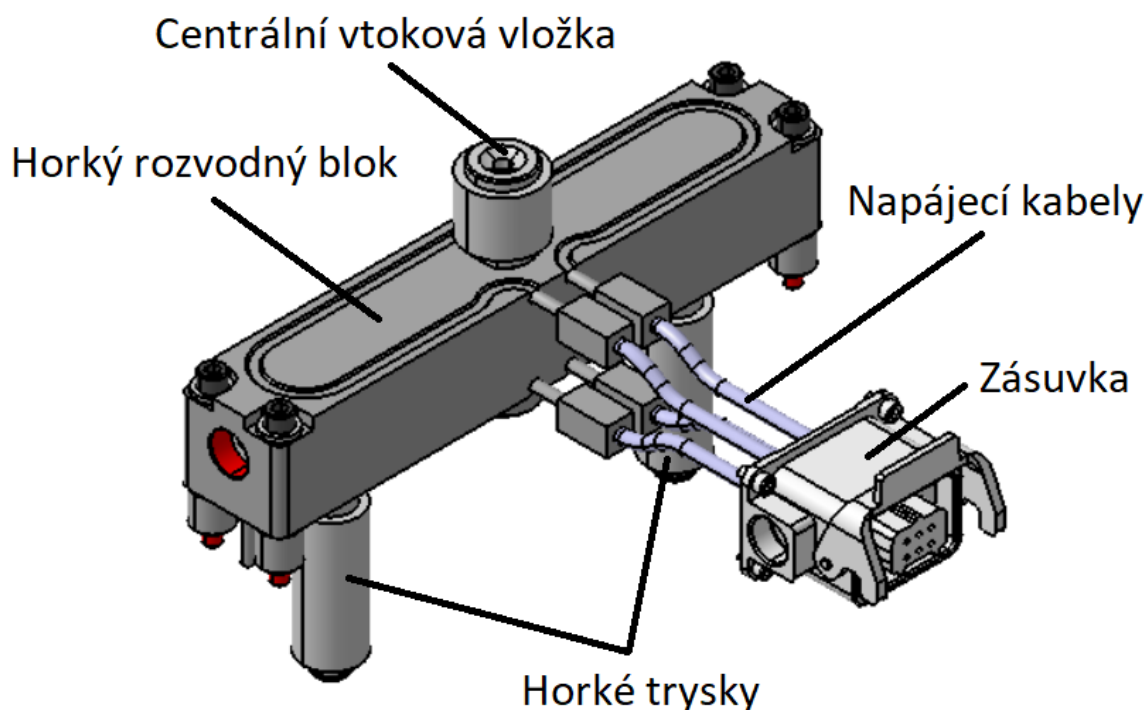
Pravá pevná část vstříkovací formy je nepohyblivá a je připevněna na vstříkovací stroj. Tato pravá vstříkovací strana formy se skládá z izolační, upínací, opěrné a tvarové desky. Součástí opěrné desky je horký rozvodný blok včetně dvou horkých trysek, které směřují do tvarové desky. Ve tvarové desce formy jsou poté ukotveny čtyři tvárnice, které společně s tvárníky v levé části formy utvářejí dutinu formy. Hlavním úkolem pravé části formy je vstříkování polymerní taveniny do dutiny formy, které je zprostředkováno vstříkovacím strojem a prostřednictvím kombinovaného vtokového systému. Součástí pravé části formy jsou dále čtyři vodící sloupky, které zapadají do vodících pouzder umístěných v levé části formy. Tím je zajištěn vzájemný pohyb celého systému formy. Pravá část formy stejně jako levá část také obsahuje čtyři středící trubky, které slouží k vystředění formy a je sešroubována v jeden celek pomocí čtyř šroubů se šestihrannou hlavou.



Obrázek 77 Pravá pevná část vstříkovací formy

12.6 Vtokový systém

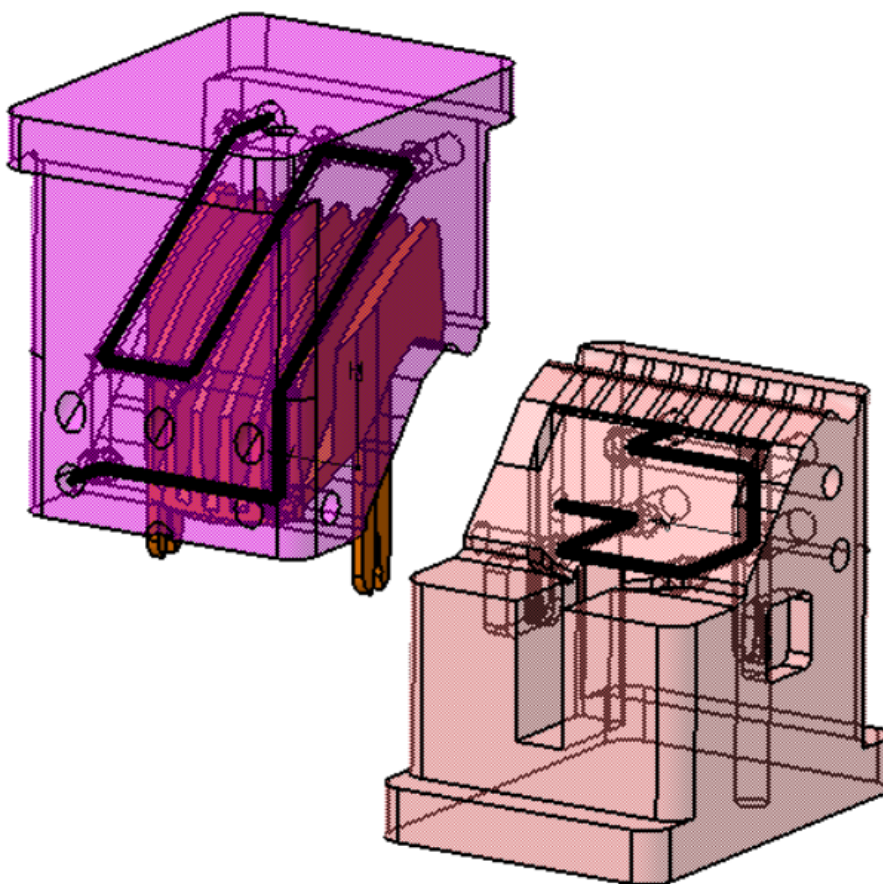
Vtokový systém pro zadanou součást byl zvolen jako kombinovaný. Tedy kombinace horkého rozvodného bloku s dvěma horkými tryskami, na které navazují studené rozvodné kanály. Hlavním úkolem vtokového systému je doprava taveniny polymeru ze vstřikovacího stroje do dutiny formy. Velmi důležitým faktorem při sestavování vtokového systému je umístění vtoku na povrchu výrobku. Volba správného umístění vtoku byla provedena prostřednictvím analýzy na vhodnost umístění vtoku v programu Moldflow. Na základě této analýzy bylo zvoleno vhodné místo na výrobku. S ohledem na vybrané místo vtoku byl zvolený banánový typ vtoku, tak aby nebyla vidět stopa na pohledové straně výrobku. Banánový vtok je řešený pomocí vložky od dodavatele Meusburger, do které bylo následně domodelováno banánové vtokové ústí o průměru přibližně 1,8 mm. Na vtokové ústí poté navazuje studený rozvodný kanál o průměru 6 mm, který pokračuje směrem k horkým tryskám. Tyto dvě horké trysky poté ústí v rozvodném bloku, opět od Meusburgeru. Z rozvodného bloku jsou následně vyvedeny kabely, které ústí v zásuvce pro připojení elektrického proudu.



Obrázek 78 Horký rozvodný blok s horkými tryskami včetně zásuvky

12.7 Temperační systém

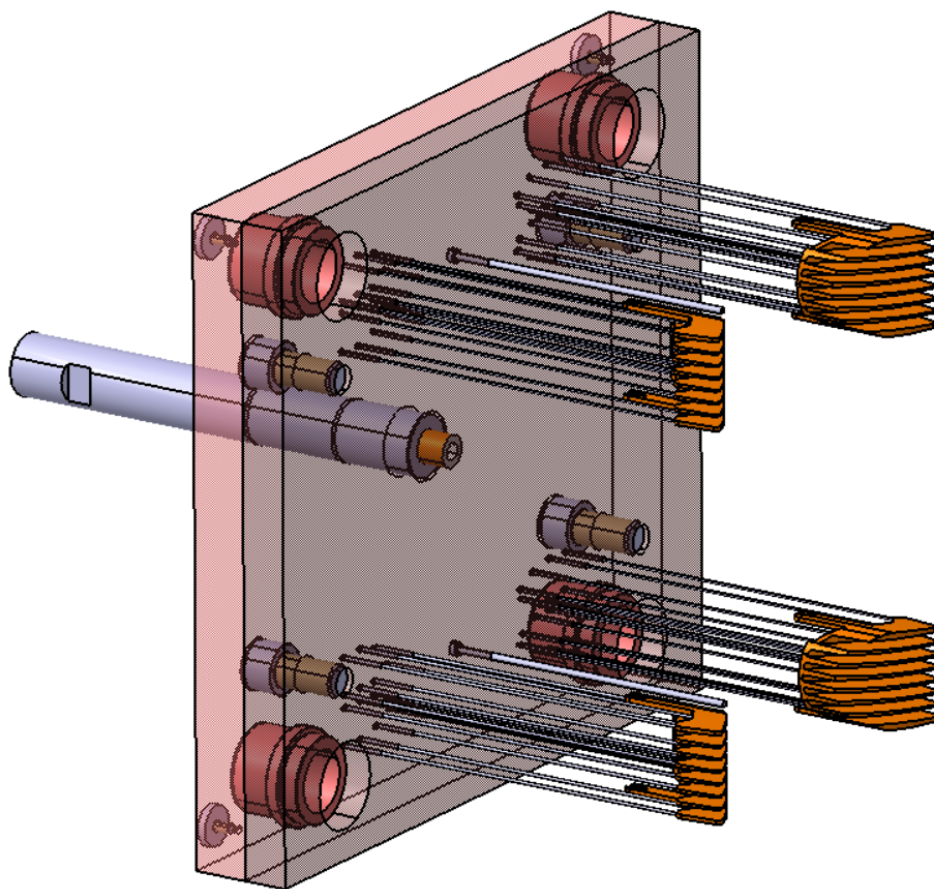
Temperační systém je podstatnou součástí konstrukce vstřikovací formy a je nezbytný pro správné fungování celého procesu vstřikování a produkci kvalitních výrobků. Hlavním úkolem temperačního systému je konstantní chlazení dutiny formy na doporučenou teplotu pro konkrétní materiál a udržení této teploty po dobu celého vstřikovacího cyklu. Jinými slovy temperační systém zajišťuje efektivní odvod tepla, které vzniká vstříknutím polymerní taveniny do dutiny formy. Temperační kanálky jsou voleny kruhového průřezu o průměru 6 mm shodně, jak pro tvárník, tak i pro tvárnici. Temperační systém pro tuto formu se skládá ze čtyř temperačních okruhů. Dva temperační okruhy se nacházejí v levé pohyblivé části formy a slouží k temperaci tvárníků. Oba tyto temperační okruhy jsou shodně propojeny přídatnou hadicí z důvodu nedostatku místa v okolí součásti v oblasti tvárníků. Zbylé dva temperační okruhy se nacházejí v pravé části vstřikovací formy a temperují tvárnici. Všechny temperační okruhy byli voleny s ohledem na konstrukci dílu, tak aby co možná nejlépe kopírovali jeho tvar a byla tak zajištěna co nejlepší temperace dutiny formy. Jako temperační médium byla zvolena kapalina složená z 20 % ethylenglykolu a 80 % vody.



Obrázek 79 Temperační okruh tvárnice (vlevo) a temperační okruh tvárníku (vpravo)

12.8 Vyhazovací systém

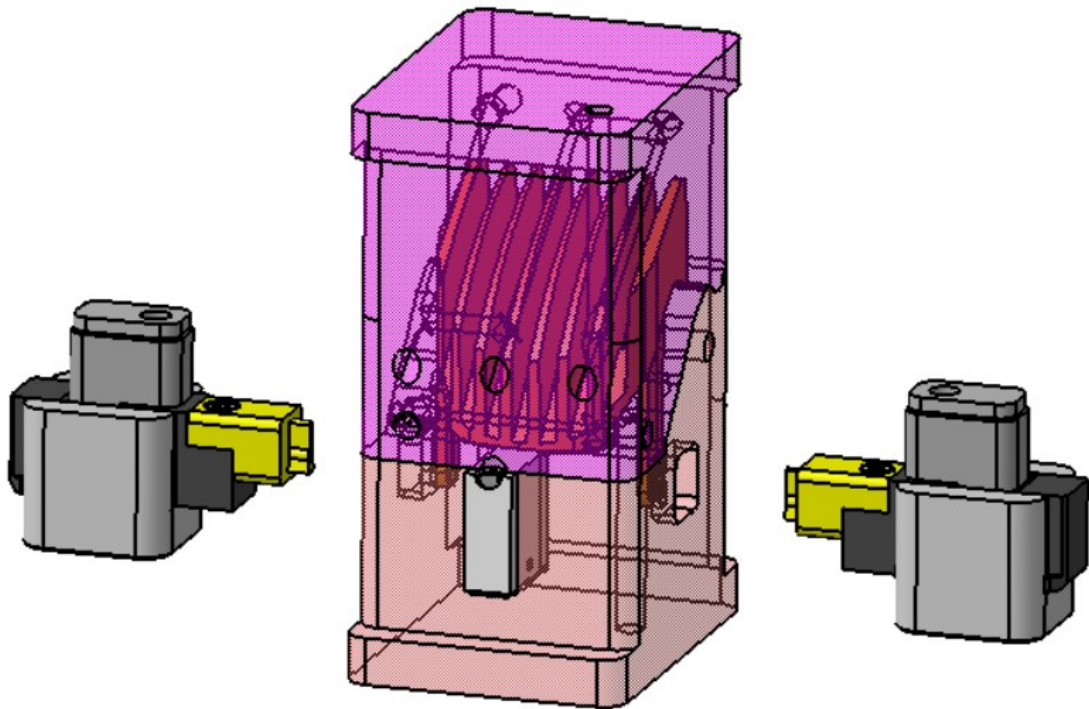
Vyhazovací systém je třetí takzvaná samostatná podsestava vstřikovací formy. Vyhazovací systém se nachází na levé straně vstřikovací formy a slouží k vyhození výrobku z formy po jeho ochlazení na vyhazovací teplotu. Skládá se z opěrné a kotevní vyhazovací desky, ve které jsou ukotveny všechny použité vyhazovače. Při konstrukci této vstřikovací formy byli použity pouze válcové vyhazovače. Na vyhození každého dílu bylo použito celkem 16 vyhazovačů. Jelikož se jedná o formu čtyřnásobnou tak to celkem vychází na 64 válcových vyhazovačů potřebných k vyhození všech výrobků z formy. Mimo jiné byly také použity dva středové vyhazovače sloužící k vyhození vtokového zbytku, který zůstává za pomoci přídržovačů vtoku na levé straně formy. Opěrná a kotevní vyhazovací deska jsou navzájem sešroubovány čtyřmi šrouby se šestihrannou hlavou a jsou opatřeny dosedkami, tak aby nedocházelo k poškození formy při pohybu vyhazovacího systému. Nezbytnou součástí vyhazovacího systému je také táhlo vyhazovacího paketu, které je ukotveno do opěrné vyhazovací desky a společně se čtyřmi vodícími pouzdry zapadajícími do vodících čepů zajišťuje celkový pohyb systému.



Obrázek 80 Vyhazovací systém vstřikovací formy

12.9 Boční odformování

U této vstřikovací formy je nutné využít také bočního odformování, jelikož tvarové části na bočních packách vstřikované součásti by nebylo možné odformovat pouze hlavní dělicí rovinou pomocí tvárníku a tvárnice. Pro odformování těchto bočních tvarových částí je tedy nutné využít systém bočního odformování. S ohledem na menší složitost těchto tvarových částí a s přihlédnutím ke snížení výrobní ceny celé formy není třeba navrhovat vlastní systém odformování. Byla použita kompaktní posuvná jednotka od dodavatele Meusburger dostupná v katalogu normalizovaných dílů. Jednotka disponuje maximálním pracovním zdvihem 4,1 mm, který je pro potřebu odformování dané vstřikované součásti naprosto dostatečný. Pro odformování daného výrobku je třeba zdvih cca 2,5 mm. Tato kompaktní jednotka byla dále na míru upravena dle potřeby této vstřikovací formy. Ke správnému odformování každého ze čtyřech dílů jsou poté potřeba dvě tyto jednotky viz obrázek níže.



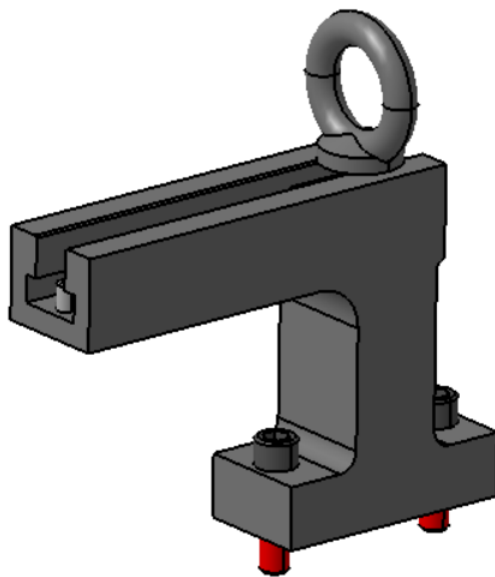
Obrázek 81 Boční odformování – dvě posuvné kompaktní jednotky Meusburger

12.10 Odvzdušnění formy

Na základě provedených analýz a s ohledem na složitost dílu a minimální náchylnost k tvorbě nejrůznějších vad, které by byly spojené se špatným odvzdušněním dutiny formy, nebylo třeba tuto vstřikovací formu nijak speciálně odvzdušňovat. V tomto případě postačí takzvaně přirozené odvzdušnění formy, které bude probíhat přes hlavní a vedlejší dělicí rovinu, kolem vyhazovačů a také přes boční posuvné jednotky.

12.11 Transportní systém formy

S ohledem na velikost a váhu formy musí být nezbytnou součástí formy zařízení pro její transport a bezpečné uložení ve skladu po dokončení samotné výroby. Pro tuto vstřikovací formu bylo vybráno normalizované transportní přestavitelné rameno z katalogu firmy Meusburger. Toto transportní rameno je přišroubováno pomocí dvou šroubů M12 se šestihrannou hlavou na vrchní straně formy v samotném těžišti formy, pro její bezpečnou přepravu.



Obrázek 82 Transportní přestavitelné rameno

13 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pro volbu správného vstřikovacího stroje jsou důležité především tyto základní parametry: vzdálenost mezi vodícími sloupky, velikost vstřikovací formy (šířka a výška), délka formy, kapacita vstřikovací jednotky stroje a potřebná velikost uzavírací síly. Na základě těchto faktorů byl zvolen vstřikovací stroj od osvědčené německé firmy Arburg. Konkrétně byl vybrán elektrický vstřikovací stroj z řady ALLROUNDER ALLDRIVE. Stroj byl zvolen s ohledem na výše zmíněné parametry nutné pro jeho správný výběr a také na základě velké výkonosti a současně hospodárnosti, kterou kategorie elektrických vstřikovacích strojů nabízí. Na základě všech těchto kritérií byl zvolen vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 520 A, varianta vstřikovací jednotky 400 s průměrem šneku 40mm. Přesně tento typ stroje jsem mimo jiné viděl v provozu na loňském Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně, viz obrázek 13 vstřikovacího stroje v teoretické části diplomové práce.

Tabulka 2 Základní parametry potřebné pro volbu vstřikovacího stroje

| Parametry | Požadované parametry | Parametry stroje |
|---|----------------------|------------------|
| Velikost formy/vzdálenost mezi vodícími sloupky | 346x446 mm | 520x520 mm |
| Maximální velikost upínací desky | 396x446 mm | 695x695 mm |
| Uzavírací síla | 150 KN | 1500 KN |
| Délka vstřikovací formy | 457 mm | 250-550 mm |
| Kapacita vstřikovací jednotky | 100 g | 176 g |



Obrázek 83 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 520 A [35]

14 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce je navrhnout vstříkovací formu pro zadanou součást. Před samotnou konstrukcí formy je nutné provést analýzy a optimalizovat výrobní proces za účelem jeho odladění. Na základě těchto výsledků je z optimalizací zvolena vhodná varianta a podle ní je provedena samotná konstrukce vstříkovací formy.

V simulačním programu Moldflow byli postupně vytvořeny čtyři optimalizační varianty, z nichž byla na základě výsledků analýz vybrána vhodná varianta pro konstrukci vstříkovací formy. U těchto čtyř variant byli vyzkoušeny dva odlišné typy vtokového systému, různě složitá temperace dutiny formy a také byli porovnávány dva odlišné materiály. Všechny podrobnosti jsou uvedeny v kapitole optimalizace procesu vstříkování. U těchto čtyř variant byli porovnávány tyto druhy výsledků, na jejichž základě byla provedena volba vhodné varianty, viz tabulka porovnávaných výsledků níže:

Tabulka 3 Porovnávané výsledky celkových analýz v programu Moldflow

| Celková analýza | č.1 | č.2 | č.3 | č.4 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Čas plnění [s] | 2,796 | 2,703 | 2,796 | 2,734 |
| Tlak v místě vstříku [MPa] | 30 | 45 | 30 | 22 |
| Čas k dosažení vyhazovací teploty (zaokrouhleno) [s] | 25 | 23 | 20 | 27 |
| Uzavírací síla [t] | 12 | 23 | 12 | 9 |
| Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu [-] | 0,5571 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Na základě těchto výsledků a dalších faktorů byla zvolena jako výsledná varianta analýza č.3, tak jak bylo podrobněji zmíněno v podkapitole vyhodnocení výsledků analýz. Tato analýza určila podklady pro samotnou konstrukci formy, která byla provedena v programu Catia. Vstříkovací forma byla konstruována jako čtyřnásobná a při její konstrukci byli použity výhradně normálie Meusburger. Forma má celkové rozměry 396 x 446 x 457 mm. Vstříkovací forma obsahuje kombinovaný vtokový systém, jehož součástí je horký rozvodný blok včetně dvou trysek. Temperační systém je řešen čtyřmi temperačními okruhy o průměru kanálů shodně 6 mm. Vyhazovací systém se poté skládá z celkem 66 válcových vyhazovačů, 16 vyhazovačů pro každou dutinu formy a k tomu 2 vyhazovače vtokového zbytku. Celý návrh vstříkovací formy byl proveden v programu Catia a jako součást konstrukce formy jsou k této práci přiloženy výkresy sestavy formy včetně kusovníku.

ZÁVĚR

Obsahem této diplomové práce je návrh nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování. Jako vstřikovaná součást byl vybrán nástavec na holicí strojek. Diplomová práce zahrnuje dvě základní části, teoretickou a praktickou část.

Teoretická část práce obsahuje celkové seznámení a literární rešerši všech témat spojených s metodou vstřikování plastů. Tato část práce se základně dělí do 5ti kapitol. Úvodní kapitolou je seznámení s oblastí polymerních materiálu, následuje kapitola zabývající se oblastí technologie vstřikování, třetí kapitola poté přibližuje samotné vstřikovací stroje. Kapitola číslo čtyři se následně zabývá problematikou samotných vstřikovacích forem, v poslední kapitole se pak seznámíme se simulacemi procesu vstřikování.

Druhou stěžejní částí práce je praktická část. Úkolem praktické části diplomové práce je provést 3D konstrukci zvolené vstřikované součásti. Následně vytvořit simulace celého procesu vstřikování v programu Autodesk Moldflow a navrhnout jeho optimalizace. Závěrem v oblasti simulací je poté vyhodnocení jednotlivých variant a volba výsledné varianty, která je použita pro konstrukci vstřikovací formy. Následuje konstrukce vstřikovací formy pro zadanou součást, která je provedena v programu Catia V5R19.

Postup při praktické části diplomové práce byl následující. Nejprve byla vybrána samotná vstřikovaná součást, tedy nástavec na holicí strojek. Tento nástavec byl oměřen pomocí posuvného měřidla a následně vymodelován v programu Catia. Dále byli provedené simulace v programu Moldflow v následujícím pořadí. Nejprve bylo pomocí analýzy gate location určeno umístění vtoku. Následně byli provedeny celkem čtyři varianty celkových analýz (Cool + Fill + Pack + Warp). Z těchto čtyř variant neboli optimalizací byla vybrána nejvhodnější varianta, tedy varianta č.3, podle které byla provedena konstrukce formy. Samotná konstrukce vstřikovací formy probíhala v programu Catia. Dle rozměrů formy a dalších důležitých parametrů potřebných pro volbu vstřikovacího stroje byl následně vybrán vhodný vstřikovací stroj. Závěrem této diplomové práce byli poté udělány výkresy sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a dále schématický výkres vstřikované součásti. Všechny výkresy byli vytvořeny rovněž v programu Catia a jsou k této práci přiloženy formou přílohy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [3] ENCYKLOPEDIE PLASTŮ: PLASTY A PLASTOVÉ OBALY A JEJICH VYUŽITÍ. Samosebou [online]. 2021 [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2021/07/02/plastiveda-plasty-a-plastove-obaly-a-jejich-vyuziti/>
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. 1. Code Creator, 2015 [cit. 2022-10-15]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/book/180-polymery>
- [5] MLEZIVA, Josef. Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [6] N. GENT, Alan. Elastomer. Britannica [online]. [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/elastomer>
- [7] LENFELD, Petr. Technologie II [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
- [8] TOMIS, František. Základy gumárenské a plastikářské technologie. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
- [9] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [10] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999, 133 s.
- [11] KAUFFER, Phoebe H. Injection molding: process, design and applications [online]. New York: Nova Science Publishers, 2011 [cit. 2022-10-25]. ISBN 9781617614200. Dostupné: <https://web.s.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmx1YmtfXzM2MjMjM4M19fQU41?sid=e12937e5-297f-44e0-8e3d-1735fdb3181@redis&vid=0&format=EB&rid=1>
- [12] Injection Molding [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>

- [13] Injection Molding: What It Is, How It Works, Who Is It For [online]. 2020 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.3erp.com/blog/injection-molding-what-it-is-how-it-works-who-is-it-for/>
- [14] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. 1. Code Creator, 2015 [cit. 2022-10-28]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/book/184-technologie-vstrikovani>
- [15] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Grada, 2018, 1 online zdroj (464 stran). ISBN 978-80-247-2818-6. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn/?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/vstrikovani-plastu-4633/>
- [16] TOMANEC, Pavel. Analýza procesu vstřikování u formy pro díl palivového čerpadla motoru automobilu [online]. Zlín, 2019 [cit. 2022-10-28]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Šenkeřík.
- [17] BRUMMEL, Michal. Rozměrově přesné výrobky z plastů. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
- [18] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. 1. Code Creator, 2015 [cit. 2022-10-28]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/book/179-vstrikovaci-formy-pro-zpracovani-termoplastu>
- [19] Technický vstřikovaný výlisek. Arburg [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/obory/technicky-vstrikovany-vylisek/>
- [20] REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Munich: Hanser, c2002, xxiii, 688 s. ISBN 1569903220.
- [21] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. 1. Code Creator, 2015 [cit. 2022-11-03]. ISBN 978-80-88058-69-4. Dostupné z: <https://publi.cz/book/181-stroje-pro-zpracovani-polymernich-materialu>
- [22] Průkopnické intuitivní ovládací technické vybavení „Made by ARBURG“ [online]. ARBURG GmbH + Co, 2019, 32 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_selogica_523003_cz.pdf

- [23] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN. Successful injection molding: process, design, and simulation. Munich: Hanser Publishers, c2002, xiii, 362 s. ISBN 1569902917.
- [24] Vstříkovací formy [online]. PLAST FORM SERVICE IM [cit. 2023-01-05]. Dostupné z: <https://pfservice.cz/vstrikovaci-formy/>
- [25] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. Understanding injection molds. Munich: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xii, 145 pages). ISBN 9781569905357. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUIM00002/understanding_injection_molds
- [26] Vstříkovací formy: Podklady pro cvičení [online]. FSI VUT v Brně: Odbor technologie tváření kovů a plastů [cit. 2023-01-05]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [27] OVSÍK, Martin. Přednášky Navrhování nástrojů pro zpracování polymerů – TK9NZ [online]. UTB, 2022 [cit. 2022-01-05]
- [28] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. II. díl, Vstříkování termoplastů. Brno: Uniplast Brno, 1999, 214 s.
- [29] Vyhazování: Produktový katalog [online]. [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/Z/Vyhazov%C3%A1n%C3%AD/c/PIM0303>
- [30] HYNEK, Martin. ZAFORMOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ [online]. Plzeň: Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni, 2013 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11318836-Zaformovani-a-odformovani.html>
- [31] HYNEK, Martin. ODVZDUŠNĚNÍ [online]. Plzeň: Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni, 2013 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Odvzdusneni.pdf
- [32] KAZMER, David. Injection mold design engineering. Munich: Hanser, ©2007., 1 online zdroj (xx, 423 pages). ISBN 9781613442968. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDE0007/injection_mold_design_engineering

- [33] HALAŠKA, Petr. Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy [online]. smartplast, 2010 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy>
- [34] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti [online]. CAD Studio, 2014 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.cadstudio.cz/dl/Autodesk-Simulation-Moldflow.pdf>
- [35] ARBURG at MSV Brno 2022 [online]. 2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spolecnost/novinky-a-tisk/detail/arburg-at-msv-brno-2022/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|--|
| 3D | Trojrozměrný prostor |
| T _g | Teplota skelného přechodu |
| T _m | Teplota bodu tání |
| PC | Polykarbonát |
| PMMA | Polymethylmethakrylát |
| PS | Polystyren |
| ABS | Akrylonitrilbutadienstyren |
| % | Procento |
| PP | Polypropylen |
| PE | Polyethylen |
| PA | Polyamid |
| POM | Polyoxymethylen |
| PTFE | Polytetrafluorethylen |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| GIT | Gas Injection Technology (Technologie vstřikování s podporou plynu) |
| GID | Technologie vstřikování s podporou plynu (dusíku) |
| GIM | Gas Injection Molding (Technologie vstřikování s podporou plynu) |
| WIT | Water Injection Technology (Technologie vstřikování s podporou vody) |
| MSV | Mezinárodní strojírenský veletrh |
| CAE | Computer aided engineering (počítačem podporované konstruování) |
| PA6 | Polyamid 6 |
| 2D | Dvojměrný prostor |
| mm | Milimetr |
| tzv. | Takzvaně |
| č. | Číslo |

s Sekunda

MPa Megapascal

°C Stupeň celsia

CAD Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)

kN Kilo Newton

g Gram

t Tuna

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Produkce plastů ve světě a Evropě [3] | 13 |
| Obrázek 2 Rozdělení polymerů | 14 |
| Obrázek 3 Periodická tabulka termoplastů [4] | 15 |
| Obrázek 4 Schéma rozdělení polymerů [4] | 16 |
| Obrázek 5 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [4] | 20 |
| Obrázek 6 Inspekční certifikát neboli atest kvality určený pro reklamaci [4] | 20 |
| Obrázek 7 Grafické schéma procesu vstřikování [13] | 22 |
| Obrázek 8 Časový graf vstřikovacího cyklu [16] | 22 |
| Obrázek 9 Tlakový průběh při vstřikování [14] | 24 |
| Obrázek 10 Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu [18] | 27 |
| Obrázek 11 Vznik propadliny na vstřikovaném dílu [18] | 29 |
| Obrázek 12 Plastový díl vyrobený technologií vícekomponentního vstřikování [19] | 29 |
| Obrázek 13 Vstřikovací stroj německé firmy Arburg vystavený na MSV v Brně | 31 |
| Obrázek 14 Srovnání spotřeby energie během vstřikovacího cyklu [21] | 32 |
| Obrázek 15 Vstřikovací jednotka [21] | 33 |
| Obrázek 16 Speciální typy uspořádání mezi vstřikovací a uzavírací jednotkou [7] | 34 |
| Obrázek 17 Kontrolní a řídicí systém společnosti Arburg [22] | 35 |
| Obrázek 18 Ilustrační ukázka vstřikovací formy [24] | 37 |
| Obrázek 19 Ukázka porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem; porovnávání známkou 1 až 5 (nejlepší až nejhorší) [18] | 39 |
| Obrázek 20 Schéma studeného vtokového systému [26] | 40 |
| Obrázek 21 Schéma banánového ústí vtoku [18] | 41 |
| Obrázek 22 Příklad vyhřívaného vtokového systému [26] | 42 |
| Obrázek 23 Příklad temperačního okruhu vstřikovací formy; 1 – vstup temperačního média, 2 – propojovací větev, 3 – výstup temperačního média, 4 – ucpávky, 5 – přímá přepážka [18] | 43 |
| Obrázek 24 Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálů [18] | 44 |
| Obrázek 25 Různé typy vyhazovačů od firmy Hasco [29] | 45 |
| Obrázek 26 Odformování pomocí bočních čelistí formy [30] | 47 |
| Obrázek 27 Odvzdušňovací drážka s příkladem použitých rozměrů [31] | 48 |
| Obrázek 28 Vybrané typy materiálů používané při konstrukci vstřikovacích forem [18] .. | 49 |
| Obrázek 29 Ukázka analyzovaného dílu pomocí softwaru Autodesk Moldflow [34] | 51 |
| Obrázek 30 Reálná součást – nástavec na holicí strojek | 57 |
| Obrázek 31 3D model vstřikované součásti v programu Catia | 57 |
| Obrázek 32 Procesní parametry materiálu Triax 1790: INEOS ABS | 58 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 33 Statistika sítě pro vysíťovaný díl..... | 60 |
| Obrázek 34 Analýza umístění vtoku (gate location) | 61 |
| Obrázek 35 Postup celkové analýzy v programu Moldflow..... | 62 |
| Obrázek 36 Procesní podmínky pro nastavení chlazení | 63 |
| Obrázek 37 Procesní podmínky pro nastavení plnění a dotlaku..... | 64 |
| Obrázek 38 Pokročilé nastavení plnění a dotlaku..... | 64 |
| Obrázek 39 Procesní podmínky pro nastavení smrštění..... | 64 |
| Obrázek 40 Schéma varianty č.1 jednoduchá temperace + kombinovaný vtok..... | 65 |
| Obrázek 41 Analýza č.1 čas plnění (fill time) | 66 |
| Obrázek 42 Analýza č.1 tlak v místě vstříku (pressure at injection: XY plot)..... | 66 |
| Obrázek 43 Analýza č.1 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)..... | 67 |
| Obrázek 44 Analýza č.1 uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 67 |
| Obrázek 45 Analýza č.1 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 68 |
| Obrázek 46 Schéma varianty č.2 složitější temperace + studený vtok..... | 68 |
| Obrázek 47 Analýza č. 2 čas plnění (fill time) | 69 |
| Obrázek 48 Analýza č.2 tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot) | 69 |
| Obrázek 49 Analýza č.2 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)..... | 70 |
| Obrázek 50 Analýza č.2 uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 70 |
| Obrázek 51 Analýza č.3 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)..... | 71 |
| Obrázek 52 Schéma varianty č.3 složitější temperace + kombinovaný vtok | 72 |
| Obrázek 53 Analýza č.3 čas plnění (fill time) | 72 |
| Obrázek 54 Analýza č.3 tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot) | 73 |
| Obrázek 55 Analýza č.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)..... | 73 |
| Obrázek 56 Analýza č.3 uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 74 |
| Obrázek 57 Analýza č.3 účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency)..... | 74 |
| Obrázek 58 Analýza č.4 čas plnění (fill time) | 75 |
| Obrázek 59 Analýza č.4 tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot) | 76 |
| Obrázek 60 Analýza č.4 čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature)..... | 76 |
| Obrázek 61 Analýza č.4 uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 77 |
| Obrázek 62 Výsledná analýza – čas plnění (fill time) | 79 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 63 Výsledná analýza – tlak v místě vstříku (pressure at injection location: XY plot) | 79 |
| Obrázek 64 Výsledná analýza – čas k dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature) | 80 |
| Obrázek 65 Výsledná analýza – uzavírací síla (clamp force: XY plot)..... | 80 |
| Obrázek 66 Výsledná analýza – vzduchové kapsy (air traps) | 81 |
| Obrázek 67 Výsledná analýza – studené spoje (weld lines)..... | 82 |
| Obrázek 68 Výsledná analýza – účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (circuit heat removal efficiency) | 83 |
| Obrázek 69 Výsledná analýza – teplota temperačního média (circuit coolant temperature) | 83 |
| Obrázek 70 Výsledná analýza – celková deformace od všech efektů (deflection, all effects: deflection) | 84 |
| Obrázek 71 Výsledná analýza – deformace vlivem smrštění (deflection, differential shrinkage: deflection) | 85 |
| Obrázek 72 Konstrukce vstříkovací formy v programu Catia | 86 |
| Obrázek 73 Rám vstříkovací formy s popisem desek..... | 87 |
| Obrázek 74 Pohled na násobnost vstříkovací formy | 88 |
| Obrázek 75 Dutina vstříkovací formy | 89 |
| Obrázek 76 Levá pohyblivá část vstříkovací formy | 90 |
| Obrázek 77 Pravá pevná část vstříkovací formy | 91 |
| Obrázek 78 Horký rozvodný blok s horkými tryskami včetně zásuvky..... | 92 |
| Obrázek 79 Temperační okruh tvárnice (vlevo) a temperační okruh tvárníku (vpravo) | 93 |
| Obrázek 80 Vyhazovací systém vstříkovací formy | 94 |
| Obrázek 81 Boční odformování – dvě posuvné kompaktní jednotky Meusburger | 95 |
| Obrázek 82 Transportní přestavitelné rameno | 96 |
| Obrázek 83 Vstříkovací stroj Arburg Allrounder 520 A [35] | 97 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Seznam provedených analýz v programu Moldflow | 59 |
| Tabulka 2 Základní parametry potřebné pro volbu vstřikovacího stroje | 97 |
| Tabulka 3 Porovnávané výsledky celkových analýz v programu Moldflow | 98 |

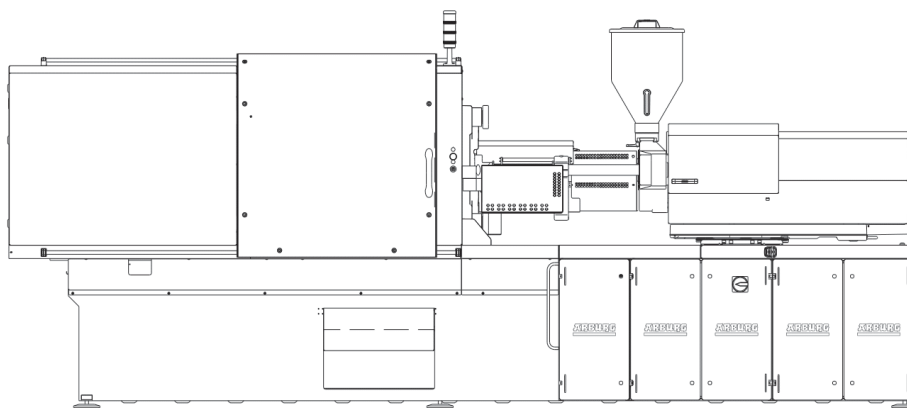
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Technický list vstříkovacího stroje

Příloha P II: Výkresy sestavy vstříkovací formy s kusovníkem

Příloha P III: CD disk

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE

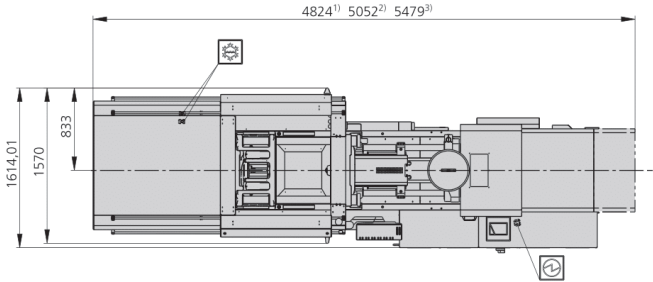
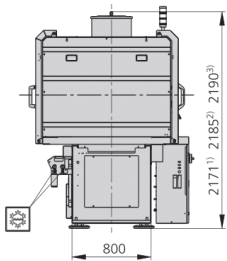
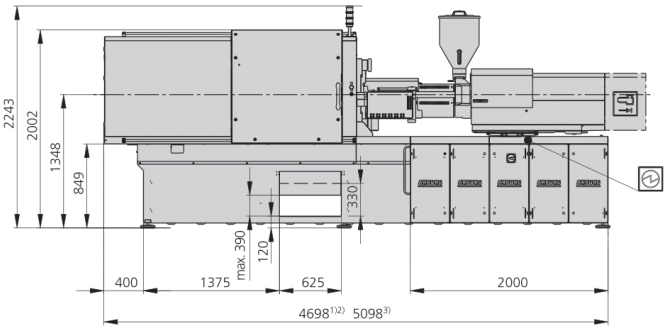




ALLROUNDER 520 A

Distance between tie bars: 520 x 520 mm
Clamping force: 1500 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 290, 400, 800

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 520 A



-  Electrical connection
-  Cooling water connection

1) injection unit 290
 2) Injection unit 400
 3) Injection unit 800

TECHNICAL DATA | 520 A

| Clamping unit | | | 520 A |
|-----------------------------------|----------------------|--|----------------|
| with clamping force | max. kN | | 1500 |
| Opening force stroke | max. kN mm | | --- 450 |
| Mould height, fixed variable | min.-max. mm | | --- 250-550 |
| Platen daylight fixed variable | max. mm | | --- 700-1000 |
| Distance between tie bars (w x h) | mm | | 520 x 520 |
| Mould mounting platens (w x h) | max. mm | | 695 x 695 |
| Weight of movable mould half | max. kg | | 1000 |
| Ejector force stroke | max. kN mm | | 40 175 |
| Dry cycle time EUROMAP | min. s - mm | | 1,5 - 364 |
| | Ultimate min. s - mm | | 1 - 364 |

| Injection unit | | | 290 | | | 400 | | | 800 | | |
|--|--------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| with screw diameter | mm | | 30 | 35 | 40 | 35 | 40 | 45 | 45 | 50 | 55 |
| Effective screw length | L/D | | 23,3 | 20 | 17,5 | 23 | 20 | 18 | 22 | 20 | 18 |
| Screw stroke | max. mm | | 150 | | | 160 | | | 200 | | |
| Calculated stroke volume | max. cm ³ | | 106 | 144 | 188 | 154 | 201 | 254 | 318 | 392 | 474 |
| Shot weight | max. g PS | | 97 | 132 | 172 | 141 | 184 | 232 | 291 | 359 | 434 |
| Material throughput | max. kg/h PS | | 17 | 20,5 | 24,5 | 25 | 29 | 35 | 46 | 53 | 59 |
| | max. kg/h PA6.6 | | 8,5 | 10,5 | 12,5 | 12,5 | 15 | 17,5 | 23 | 27 | 30 |
| Injection pressure | max. bar | | 2500 | 2000 | 1530 | 2500 | 2000 | 1580 | 2470 | 2000 | 1650 |
| Holding pressure time | max. s - bar | | 300-2180 | 300-1600 | 300-1220 | 300-2090 | 300-1600 | 300-1260 | 300-1980 | 300-1600 | 300-1320 |
| Injection flow ² | Comfort [+] max. cm ³ /s | | 105 [140] | 144 [191] | 188 [250] | 125 [163] | 163 [213] | 207 [271] | 175 [239] | 216 [295] | 261 [356] |
| | Ultimate [+] max. cm ³ /s | | 212 [283] | 288 [384] | 376 [501] | 241 [313] | 314 [408] | 398 [517] | 318 [477] | 394 [591] | 476 [714] |
| Injection speed ⁴ | Comfort [+] max. mm/s | | 215 [280] | | | 190 [240] | | | 150 [200] | | |
| | Ultimate [+] max. mm/s | | 360 [400] | | | 300 [325] | | | 240 [300] | | |
| Screw circumferential speed | max. m/min | | 51 | 60 | 69 | 53 | 60 | 68 | 54 | 60 | 66 |
| Screw torque | max. Nm | | 320 | 380 | 430 | 480 | 550 | 610 | 900 | 1000 | 1100 |
| Nozzle contact force retraction stroke | max. kN mm | | 50 300 | | | 60 300 | | | 70 400 | | |
| Heating capacity zones | kW | | 6,4 5 | | | 9,4 5 | | | 19,9 8 | | |
| Feed hopper | l | | 50 | | | 50 | | | 50 | | |

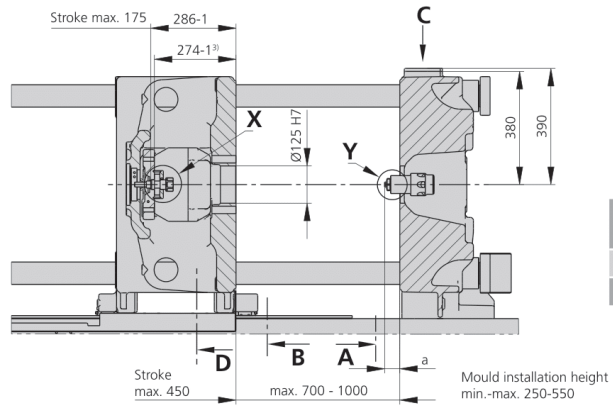
| Drive and connection | | | Comfort | | | Ultimate | | |
|--|-------------|----|-------------|------|------|-------------|------|------|
| with injection unit | | | 290 | 400 | 800 | 290 | 400 | 800 |
| Net weight of machine | kg | | 6980 | 7100 | 7900 | 6980 | 7100 | 7900 |
| Sound press. level Insecurity ⁴ | dB(A) | | 66 3 | | | 66 3 | | |
| Electrical connection ³ | Total | kW | 23 | 28 | 47 | 27 | 33 | 51 |
| | Machine | A | 63 | 80 | 100 | 80 | 100 | 125 |
| | Heating | A | --- | | | --- | | |
| Cooling water connection | max. °C | | 30 | | | 30 | | |
| | min. Δp bar | | 1,5 DN 25 | | | 1,5 DN 25 | | |

| Machine type | |
|--|----------------------------|
| with EUROMAP size designation ¹ | 520 A 1500-290 400 800 |

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

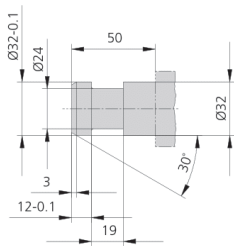
- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specification of maximum injection flow at maximum injection pressure.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
 - 5) Forward speed of plasticising screw at 1000 bar injection pressure.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 520 A

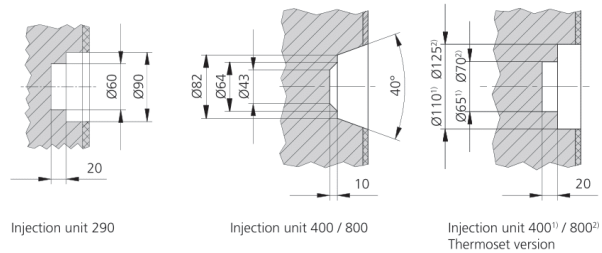


| a max. | Injection unit | |
|-----------|----------------|-----------|
| | 290 | 400 / 800 |
| Standard | 40 | 50 |
| Thermoset | 20 | 50 |

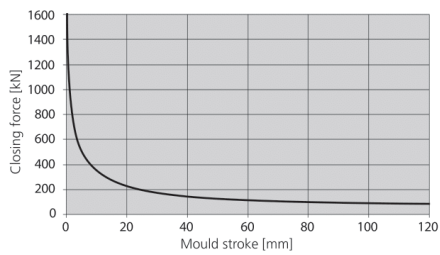
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y

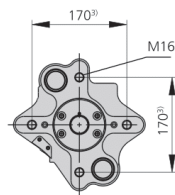


Closing force for spring moulds / during injection compression moulding*

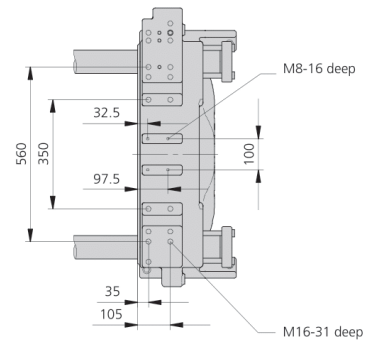


* automatic locking force adjustment up to 30 kN

Ejector plate | D



Robotic system mounting | C



SHOT WEIGHTS | 520 A

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

| Injection units according to EUROMAP | | 290 | | | 400 | | | 800 | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Screw diameter | mm | 30 | 35 | 40 | 35 | 40 | 45 | 45 | 50 | 55 |
| Polystyrene | max. g PS | 97 | 132 | 172 | 141 | 184 | 232 | 291 | 359 | 434 |
| Styrene heteropolymerizates | max. g SB | 95 | 129 | 168 | 137 | 179 | 227 | 284 | 350 | 424 |
| | max. g SAN, ABS ¹⁾ | 93 | 126 | 165 | 135 | 176 | 223 | 278 | 344 | 416 |
| Cellulose acetate | max. g CA ¹⁾ | 109 | 148 | 194 | 158 | 207 | 262 | 327 | 404 | 488 |
| Celluloseacetobutyrate | max. g CAB ¹⁾ | 101 | 138 | 180 | 147 | 192 | 243 | 304 | 375 | 454 |
| Polymethyl methacrylate | max. g PMMA | 100 | 136 | 178 | 145 | 190 | 240 | 300 | 371 | 449 |
| Polyphenylene ether, mod. | max. g PPE | 90 | 122 | 160 | 131 | 171 | 216 | 270 | 333 | 403 |
| Polycarbonate | max. g PC | 102 | 139 | 181 | 148 | 193 | 244 | 305 | 377 | 456 |
| Polysulphone | max. g PSU | 105 | 143 | 187 | 153 | 199 | 252 | 316 | 390 | 471 |
| Polyamides | max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾ | 96 | 131 | 171 | 140 | 183 | 231 | 289 | 357 | 431 |
| | max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾ | 90 | 122 | 160 | 131 | 171 | 216 | 270 | 333 | 403 |
| Polyoximethylene (Polyacetal) | max. g POM | 120 | 163 | 213 | 174 | 227 | 287 | 359 | 443 | 536 |
| Polyethylene terephthalate | max. g PET | 115 | 157 | 205 | 167 | 219 | 277 | 346 | 427 | 517 |
| Polyethylene | max. g PE-LD | 73 | 100 | 130 | 106 | 139 | 176 | 219 | 271 | 328 |
| | max. g PE-HD | 76 | 103 | 134 | 110 | 143 | 181 | 227 | 280 | 339 |
| Polypropylene | max. g PP | 77 | 105 | 137 | 112 | 146 | 185 | 232 | 286 | 346 |
| Fluoropolymerides | max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾ | 155 | 211 | 276 | 225 | 294 | 372 | 465 | 574 | 695 |
| | max. g ETFE | 136 | 185 | 242 | 196 | 256 | 324 | 408 | 504 | 609 |
| Polyvinyl chloride | max. g PVC-U | 117 | 159 | 208 | 170 | 222 | 281 | 351 | 434 | 525 |
| | max. g PVC-P ¹⁾ | 108 | 147 | 192 | 157 | 205 | 260 | 324 | 401 | 485 |

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG
 Arthur-Hehl-Strasse
 72290 Lossburg
 Tel.: +49 7446 33-0
 www.arburg.com
 contact@arburg.com

680085_EN_GB_09/2021 - Subject to alterations