

Konstrukce nástroje pro výrobu vícekomponentního dílu

Bc. David Brostík

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. David Brostík**
Osobní číslo: **T19527**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce nástroje pro výrobu vícekomponentního dílu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci zadaného plastového dílu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
5. Návrh ověřte pomocí analýz.

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

Seznam doporučené literatury:

CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033

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

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

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: 10. 5. 2021

Jméno a příjmení studenta: David Brostík

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukcí nástroje pro vícekomponentní díl, který je používán v automobilovém průmyslu.

V teoretické části je na úvod popsána technologie vstřikování, na kterou navazuje popis vstřikovací formy, kde jsou popsány jednotlivé části. V následující kapitole jsou popsány vady, které mohou vzniknout během vstřikování a způsob jejich řešení. V poslední části jsou popsány možnosti vícekomponentního vstřikování.

V praktické části je zobrazena tvorba 3D modelu vícekomponentního dílu, společně s konstrukčním návrhem vstřikovací formy, který byl proveden v softwaru CATIA V5R19. Celý návrh byl doplněn o výkresovou dokumentaci a analýzy, které byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy.

Klíčová slova: vícekomponentní vstřikování, analýzy, konstrukce

ABSTRACT

Master thesis deals with a construction of an injection mold for a multicomponent plastic part, which is used in automotive industry.

In the theoretical part is firstly described the injection technology, then is followed by a thorough description of the injection mold. In the next chapter are defined the defects, which might arise during the injection and their solutions. In the last chapter are specified possibilities of the multicomponent injection.

In the practical part is formed and described the 3D model of multicomponent part. Besides the 3D model, the practical part contains a construction plan of the injection mold, which was created in CATIA V5R19. The whole model was supplemented by drawing documentation and analysis, that was formed in Autodesk Moldflow Synergy.

Keywords: multi-component injection molding, analysis, construction

Velké díky patří vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za ochotu a odborné vedení. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům, kteří při mně stáli po celou dobu studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	12
1.1.1 Vstřikovací jednotka	12
1.1.2 Uzavírací jednotka	13
1.1.3 Řídící jednotka	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	13
2 VSTŘIKOVACÍ FORMA	15
2.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY	15
2.1.1 Studené vtokové systémy	15
2.1.2 Horké vtokové systémy	16
2.2 TEMPERACE FOREM	17
2.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	19
2.3.1 Vyhazovací kolíky	19
2.3.2 Pneumatické vyhazování	20
2.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	21
3 VADY U VSTŘIKOVÁNÍ	22
3.1 SPÁLENINY	22
3.2 DELAMINACE	23
3.3 PROPADLINY	23
3.3.1 Řešení propadlin.....	24
3.4 JETTING	24
3.5 DUTINY	25
3.6 PŘETOK	25
3.7 STUDENÉ SPOJE	26
3.7.1 Řešení studených spojů	26
3.8 TOKOVÉ ČÁRY	27
3.9 NEÚPLNÝ VÝSTŘIK	28
4 VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ	29
4.1 OVERMOLDING	29
4.1.1 Popis procesu	30
4.1.2 Aplikovatelné materiály	31
4.1.3 Výhody procesu	32
4.1.4 Nevýhoda procesu	32
4.1.5 Oblast použití	33

4.2	VSTŘIKOVÁNÍ SENDVIČŮ	33
4.2.1	Výhody procesu	34
4.3	SOUBĚŽNÉ VSTŘIKOVÁNÍ	35
4.3.1	Výhody procesu	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	37
6	ZADANÝ VÝROBEK.....	38
6.1	MATERIÁL VÝROBKU	38
7	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	39
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	40
8.1	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	41
8.2	ODFORMOVÁNÍ.....	42
8.3	POPIS FUNKCE	43
8.4	VTKOVÝ SYSTÉM	45
8.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	47
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	48
9	ANALÝZA DÍLU Z PA12	51
9.1	TVORBA A KONTROLA SÍTĚ.....	51
9.2	NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK	52
9.3	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKU	54
9.4	ČAS PLNĚNÍ	55
9.5	POTŘEBNÝ ČAS K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	56
9.6	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE	56
9.7	VZDUCHOVÉ KAPSY	57
9.8	STUDENÉ SPOJE	58
9.9	TLAK V TOKOVÉM ÚSTÍ	58
9.10	MAXIMÁLNÍ UZAVÍRACÍ SÍLA	59
9.11	TEPLOTA TEMPERAČNÍHO OKRUHU	60
9.12	CELKOVÁ DEFORMACE VLIVEM VŠECH JEVŮ	60
9.13	TLAK V TEMPERAČNÍM OKRUHU	61
10	ANALÝZA DÍLU Z PE-HD	62
10.1	PROCESNÍ PODMÍNKY	62
10.2	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKU	63
10.3	DOBA PLNĚNÍ	63
10.4	TLAK V MÍSTĚ VTOKU	64

10.5	PRŮBĚH UZAVÍRACÍ SÍLY	65
10.6	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE	65
10.7	SMYKOVÉ NAPĚTÍ NA STĚNĚ	66
10.8	POTŘEBNÝ ČAS NA DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	67
10.9	RE-MELT ZONE	67
11	DISKUSE VÝSLEDKŮ	69
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

Vstřikování plastů je jednou z nejpoužívanějších metod zpracování polymerů a po mnoho desetiletí se používá k hromadné výrobě plastových výrobků. Vzhledem ke stále přísnějším požadavkům a vyšším očekáváním zákazníků však běžné vstřikování nemůže vždy splňovat všechny výrobní specifikace. Proto bylo vyvinuto mnoho pokročilých technologií vstřikování, aby vyhovovaly vyšším standardům a požadovaným vlastnostem. Mezi tyto technologie patří vícekomponentní vstřikování. Ačkoliv se jedná o poměrně mladou technologii, vzhledem k ostatním typům zpracování plastů, je stále více využívána. Historie se datuje několik desítek zpět, kdy první využití našla při výrobě znaků kláves pro psací stroj. Hlavní nevýhodou této technologie jsou vysoké pořizovací náklady, ale pokud se firma zabývá výrobou této technologie, můžou odpadnout pořizovací náklady na vstřikovací stroje. Nesčítanou výhodou je vyrábění vícesložkového dílu v jednom vstřikovacím cyklu, což má za následek snížení výrobních nákladů. Přináší mimo jiné možnost vícebarevných možností výrobků.

Pro zvětšení efektivity, týkající se urychlení celého procesu, neustále zvětšujících se nároku na přesnost a rychlost výroby se postupem času začaly využívat CAD aplikace, kde se předem provede konstrukční návrh vstřikovací formy. S dalším vývinem přišly softwary, které simulují proces vstřikování. Díky těmto programům lze optimalizovat proces vstřikování, tím dochází ke zkrácení vstřikovacího cyklu čímž nastane ekonomičtější výroba. Další pozitivní vlastností používání softwarů je také předejití možným vadám, které by mohly vzniknout během procesu vstřikování a na výrobcích by způsobily fatální následky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVANÍ

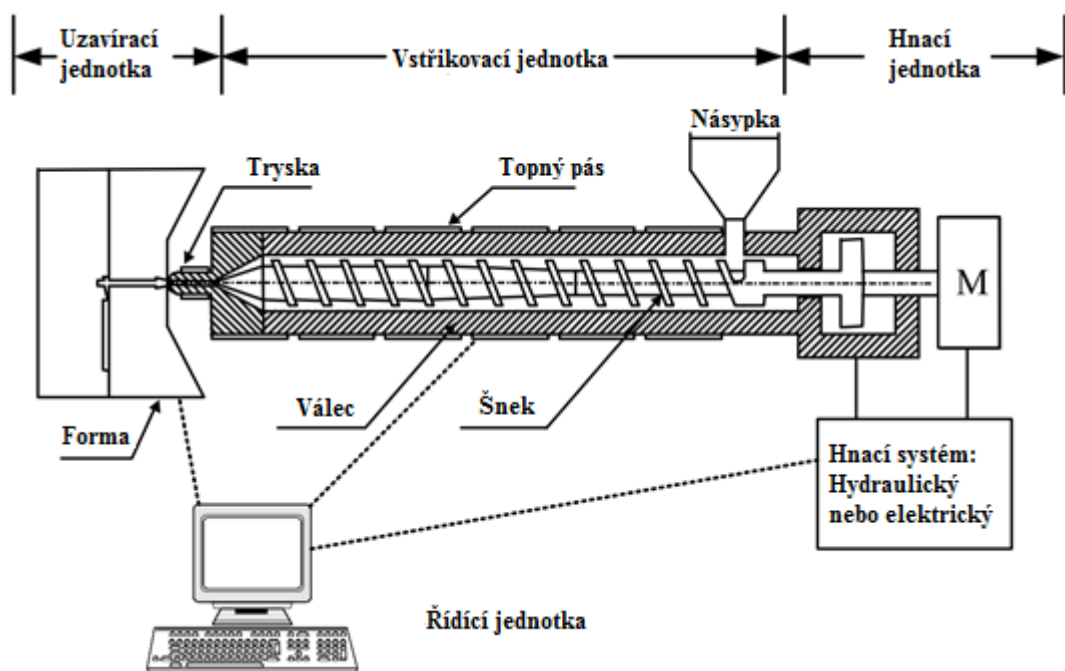
Vstřikování je jednou z nejdůležitějších a nejpoužívanějších technologií zpracování termoplastů. Výrobní proces vyžaduje vstřikovací stroj s řídicí jednotkou, řádně upnutou formou s dutinou, případně více dutinami, která definuje tvar výrobku a jednotku pro regulaci teploty formy. [1]

Proces začíná přiváděním granulátu do násypky vstřikovacího stroje. Před plněním se granulát suší, aby byl zajištěn nízký obsah vlhkosti. Do granulátu lze přidávat přísady, které upravují vlastnosti plastu nebo konečného výrobku. [1]

1.1 Vstřikovací stroj

Nejvíce rozšířeným vstřikovacím strojem je šnekový, a to díky svému celkovému výkonu, což zahrnuje rychlost tavení, užší tolerance velikosti výstřiku a lepší kontrola teplot. [25]

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací, uzavírací a řídicí jednotky, jak je znázorněno na obrázku. [15]



Obr. 1 Vstřikovací stroj [25]

1.1.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má za úkol dopravovat, tavit a homogenizovat granulát rotujícím tří zónovým šnekem. Jakmile je dávka taveniny připravena, šnek přestane rotovat a začne působit jako píst, který se začne pohybovat kupředu. [21]

Vstřikovací jednotka proto musí důkladně a přesně vstříknout předem nastavený objem materiálu pod vysokým tlakem do dutiny formy, aby vstřikované součásti byly co nejvíce přesné. Mezi parametry vstřikování, které přímo souvisí se vstřikovací jednotkou, patří nastavení teploty taveniny, nastavení správného objemu dávky a rychlost vstřikování. Vstřikovací jednotku lze přesunout tak, aby v případě potřeby odjela dozadu, například během přípravy materiálu a pročišťování. [20]

1.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka má za úkol udržet formu během procesu vstřikování tuhou a uzavřenou.

Jelikož je vstřikování plastů vysokotlaký proces, při porovnání s ostatními technologiemi zpracování plastů, je nutno vyvinout vysokou uzavírací sílu. Požadovaná velikost uzavírací síly souvisí s velikostí povrchu výstřiku. Čím je plocha větší, tím bude požadována větší uzavírací síla. Tudiž, budou-li se vstřikovat velké výrobky, budou požadovány velké uzavírací síly, a tím pádem je nutno obstarat jednotky, které tyto síly budou generovat.

Rychlost pohybu upínací jednotky může ovlivnit celkový objem výroby. Aby se dosáhlo vyšší rychlosti, používají se elektrické upínací jednotky. [21]

1.1.3 Řídící jednotka

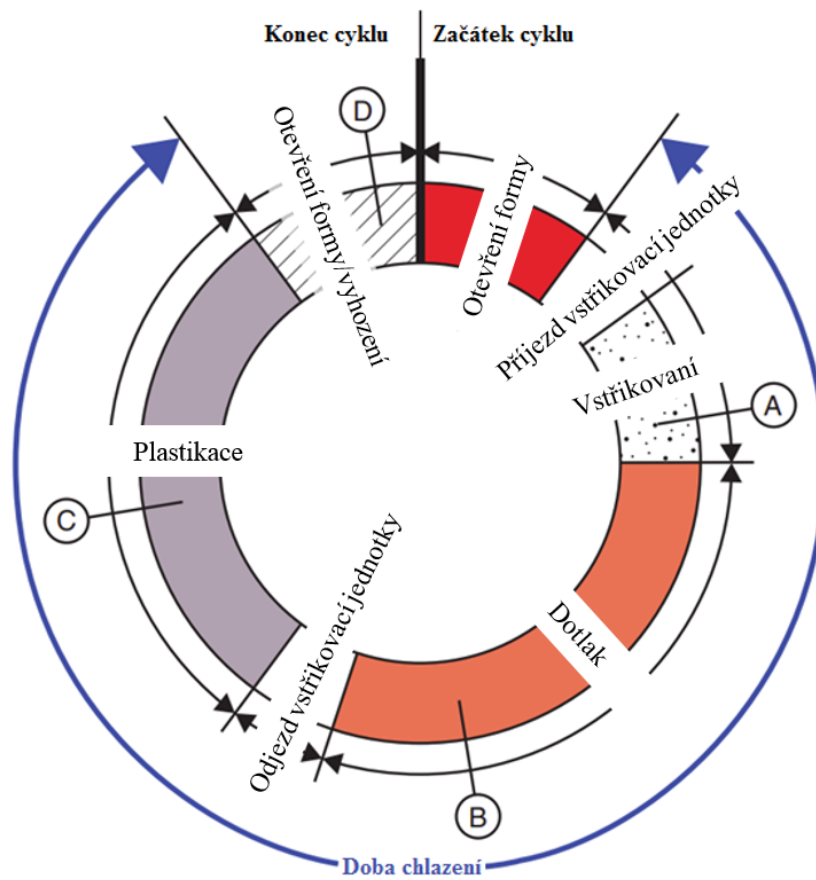
O veškerý chod se stará řídicí jednotka. Řídí celý stroj (například čas pro otevření nebo zavření formy), ale i některé klíčové proměnné při zpracování a tím zajišťuje kvalitu výrobků. Další funkcí je komunikace s operátorem a monitorování procesu, čímž se zajišťuje stabilní produkce. Moderní řídicí jednotky poskytují automatickou optimalizaci výrobního procesu. [5,23,25]

1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus začíná uzavřením formy. Jakmile je forma zabezpečena uzavírací silou potřebnou k odolání vůči otevření působením vstřikovacího tlaku, vstřikovací jednotka začne konat pohyb vpřed a začíná vstřikování plastu. Poté následuje fáze dotlaku. Jakmile je dutina vyplněna a součást ochlazená na, nebo pod, svou vyhazovací teplotu, forma se otevře a díl je vyhozen z formy. Během fáze chlazení šnek vykonává vratný otáčivý pohyb. [24]

Konečné vlastnosti vstřikovaného dílu jsou určeny fázemi plnění, dotlaku a chlazení. Kromě správného nastavení stroje je pro dosažení vysoce kvalitních dílu důležité porozumění

vlastnostem zpracování taveniny, jako je viskozita a smrštění, ale také i vhodný design formy. [1]



Obr. 2 Vstřikovací cyklus [20]

2 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí současně splňovat mnoho požadavků, které klade proces vstřikování. Jednou z hlavních funkcí formy je, aby dutina byla zcela zaplněna polymerní taveninou, přičemž současně vznikne součást, která kopíruje její tvar. Další funkcí je efektivní přenos tepla z polymerní taveniny na temperační médium, které proudí formou tak, aby bylo možné vyrábět vstřikované výrobky co nejvíce přesně a rychle. Forma by měla mít také účinný vyhazovací systém, které zajistí, že výrobek a forma nebudou poškozeny. [7]

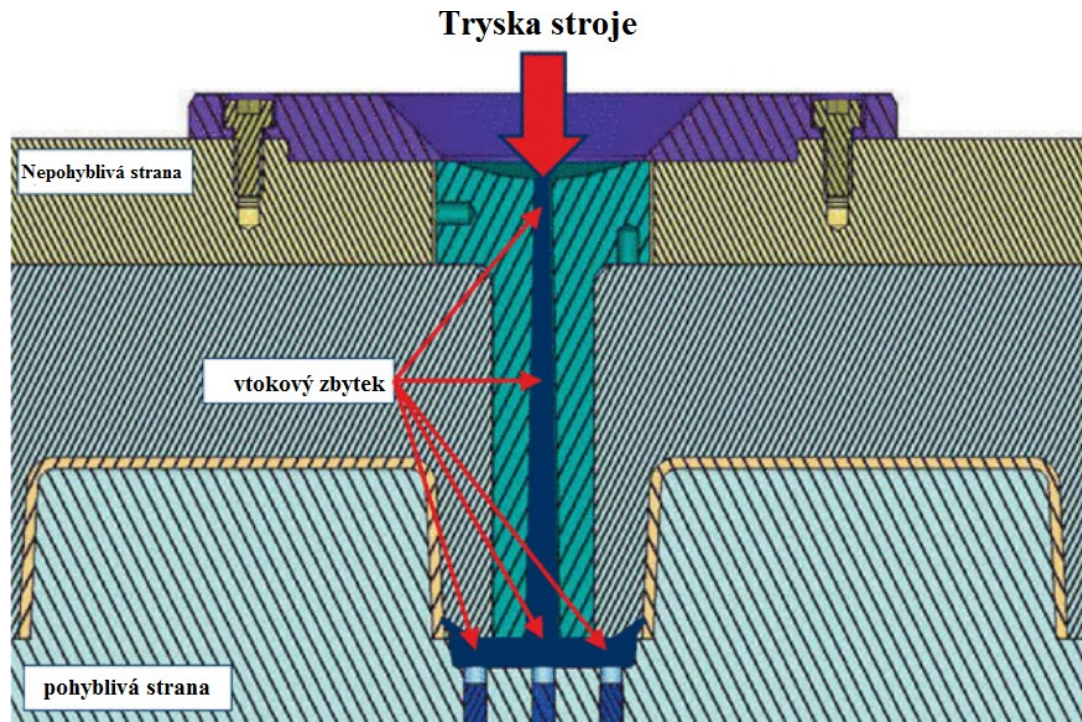
2.1 Vtokové systémy

Vtokové kanály musí být navrženy tak, aby byly „vyvážené“. To znamená, že všechny dutiny budou zaplněny ve stejnou dobu a ve všech bude stejný tlak. Rozvodný kanál může mít různé tvary, přičemž nejvhodnější je kruhový a lichoběžníkový. [17]

2.1.1 Studené vtokové systémy

U termoplastů se pod pojmem studená vtoková soustava rozumí forma, do které je vstřikován plast, který protéká formou do dutiny, aniž by se nadále ohříval a poté ztuhne. Po otevření formy je jak výstřik, tak vtokový zbytek vyhozen. Formy se studeným vtokovým systémem jsou nejzákladnějšími a nejběžnějšími typy forem, tvoří přibližně 70 % všech forem. Při porovnání s horkým vtokovým systémem jsou jednodušší a levnější na konstrukci, mají snadnější provoz a údržba je méně náročná. Je-li požadavek na změnu barvy, lze snadno vyhovět, protože vtokový zbytek a dílec jsou vyhozeny každý cyklus, tudíž ve formě nezůstává žádný materiál. [2,28]

Studený vtokový systém se skládá ze tří hlavních částí, konkrétně vtokové vložky, vtokového kanálu a ústí vtoku. Vtoková vložka má zužující se otvor, přičemž je ve stejné ose se vstřikovací jednotkou. Obvykle je nakupována jako katalogová součást, na zakázku je vyráběna ve speciálních případech. Vtokový kanál je vytvořen v dělicí rovině formy a slouží k toku taveniny z vtokové vložky do bodu, který je velmi blízko dutiny. U vícenásobných forem by jeho délka ke všem dutinám měla být stejná. Ústí vtoku je poměrně malý a krátký kanál, který spojuje vtokový kanál a dutinu formy. [28]



Obr. 3 Vtokový zbytek u studeného vtokového systému [28]

2.1.2 Horké vtokové systémy

Významné procento dnes vyráběných forem využívá horké vtoky. Ačkoli horké vtoky mají mnoho výhod ve srovnání se studenými, vytvářejí také mnoho výzev a nejsou vhodné pro mnoho aplikací. Na rozdíl od studených vtokových kanálů je kvůli jejich složitosti většina horkých vtokových kanálů nakupována od společností, které se specializují na jejich design a výrobu. Výrobci forem obvykle kupují horký vtok jako celek. Pro ohřev horké vtokové soustavy je používána elektřina. [2,28]

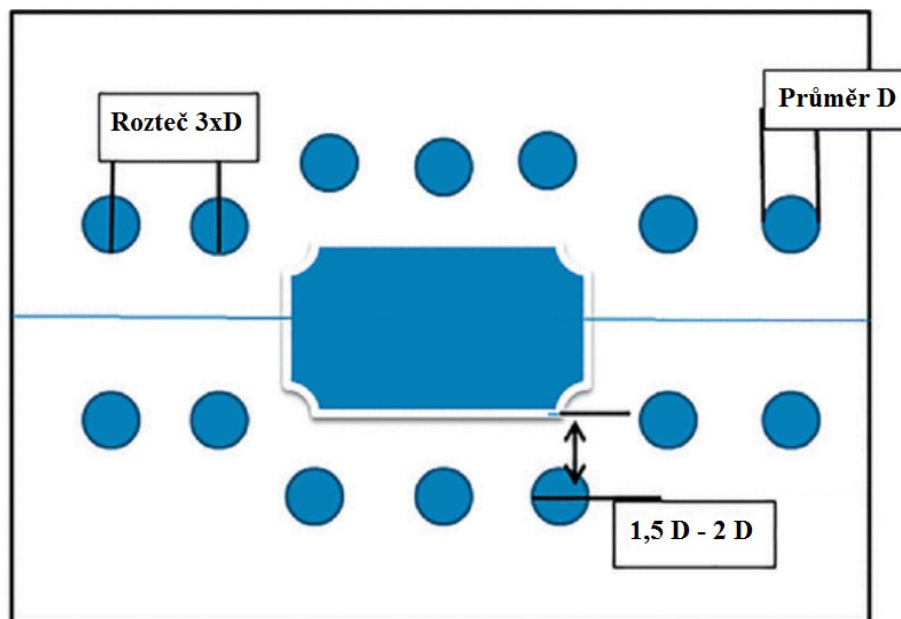
Mezi hlavní výhody horkých vtokových systému patří kratší vstřikovací cyklus, konzistentní teplota taveniny, menší energetická náročnost, spotřeba materiálu, uzavírací síla a další. [2]

Mimo mnoha výhod, které horké vtoky představují, je tu také řada nevýhod, s kterými je nutno počítat. Často přichází problém s uvedením do provozu. Obecně se dá říci, že jsou vysoké požadavky na kvalifikovaný personál, a to od operátorů až po inženýry. Další nevýhodou je vysoký požadavek na těsnost vtokového ústí při srovnání se studenými vtoky. Ta může mít také za následek poškození elektrického systému, jeli špatná. Také jsou vysoké náklady, a to ať počáteční, provozní či údržbové. Jeli požadavek na změnu barvy výrobků, je zde větší náročnost přechodu na ni. Také je malá flexibilita u změny materiálu (těsnění je navrženo pro specifickou teplotu zpracovávaného materiálu) [2]

2.2 Temperace forem

Ve vstřikovacím cyklu trvá doba chlazení 70-80 % celkové doby. Temperace vstřikovacích forem je nesmírně důležitá pro ekonomiku a provoz navržené formy, také slouží k rychlému a rovnoměrnému odvodu tepla z formy, kde je nutné rychlé chlazení. Rovnoměrné chlazení je vyžadováno pro kvalitu produktu, proto je nutno při návrhu temperačního systému postupovat co nejefektivněji, aby byla doba chlazení co nejkratší a zvýšila se tím produktivita. [7,15]

Nesprávně navržené chladicí systémy často vedou k nejméně dvěma nežádoucím jevům. V první řadě je to doba chlazení, která se projeví na vstřikovacím cyklu, a je mnohem delší, než jaké by bylo možno dosáhnout. Za další to jsou výrazné teplotní přechody, které vznikají napříč formou, což způsobuje rozdílné smrštění a deformaci výstřiků. [7]



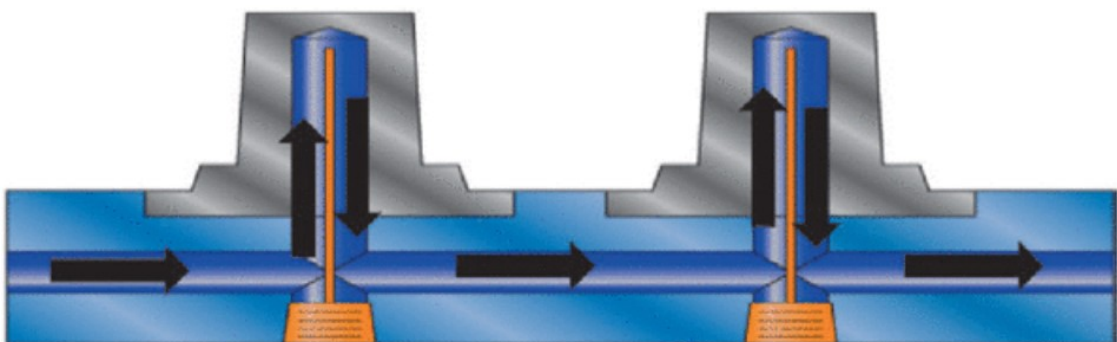
Obr. 4 Doporučené rozměry pro rozmístění kanálů [29]

Průtok temperačního média by měl mít hodnotu Reynoldsova čísla větší než 3 500, aby docházelo k turbulentnímu proudění. V běžných podmínkách by Reynoldsovo číslo, které je úměrné rychlosti proudění chladicí kapaliny, hustotě chladicí kapaliny a průměru chladicích kanálů, a nepřímo úměrné viskozitě chladicí kapaliny, mělo být vyšší než 10 000, aby došlo k účinnému přenosu tepla. Kromě regulace průtoku temperačního média je při udržování teploty formy důležitý také design temperačního systému, tedy především rozvržení a rozměry. Další faktory, které mohou ovlivnit teplotu povrchu dutiny jsou materiály formy, velikost formy a doba, po kterou je tavenina v dutině (včetně faktorů, jako je teplota taveniny, vyhazovací teplota a tloušťka součásti). Obecně by přichodící teplo pocházející z

toku horké taveniny mělo být přibližně stejné jako teplo odvedené temperačním médiem. Pokud nastane tato rovnováha, vstřikovací cyklus je v ustáleném stavu. Avšak v každém konkrétním cyklu teplota formy kolísá a mění se. Pokud nejsou chladicí kanály navrženy vyváženým způsobem, dojde na různých místech k výrazně odlišnému rozložení teploty. Návrh chladicích kanálů pro dosažení rovnoměrného chlazení a udržení relativně konstantní teploty formy je velmi důležitý. Důležitým parametrem je také teplota dutiny, které je vystavena tavenina. Pokud je velký rozdíl mezi teplotou temperačního média a teplotou dutiny, měl by být chladicí systém a jeho účinnost zkontrolován a revidován. Rovnoměrnost teploty dutiny je důležitá i pro kvalitu povrchu součástí. [1]

Temperační systém řídí teplotu formy, která je nutná pro stabilitu vstřikovaných dílu, jelikož její změna v čase výrazně ovlivňuje smrštění, tvarovou stabilitu, deformaci, vnitřní napětí a kvalitu povrchu výstřiku. Při navrhování chladicího systému je třeba vzít v úvahu následující cíle:

- vyvarovat se, popřípadě minimalizovat změny průměrů temperačních kanálů, které způsobují odpor proudění,
- vyvarovat se slepým místům nebo vzduchovým bublinám v temperačních okruzích,
- minimalizace výměny tepla mezi formou a strojem,
- rozdíl v teplotě temperačního média na vstupu a výstupu by neměl přesáhnout 5 °C,
- udržovat nezávislé symetrické chladicí okruhy kolem dutin formy,
- zajistit účinné chlazení pomocí komponent, jako jsou přepážky, spirály apod. [15]



Obr. 5 Přepážky pro chlazení jader [29]

2.3 Vyhazovací systém

Po ztuhnutí a ochlazení výstřiku je nutné jej vyjmout z formy. Ideální případ by byl, pokud by gravitace zajistila po otevření formy vyhození. Ovšem vystříknutá součást drží uvnitř dutiny vlivem adheze a vnitřních napětí, proto je ji potřeba dostat z formy ven. Vyhazovací systém je zpravidla ovládan mechanicky pomocí zdvihu, který zajistí pohyb upínací jednotky. Vyhození lze také provést pneumatikou nebo hydraulicky, není-li mechanické vyhození dostačující.

Vyhazovací systém se obvykle nachází na pohyblivé straně formy. Otevření formy způsobí, že se mechanicky ovládaný vyhazovací systém posune směrem k dělicí rovině a vyhodí výstřik. Předpokladem pro tento postup vyhazování je ten, že výstřik zůstane po otevření formy na pohyblivé straně formy. Proto je však nutné aby, aby součást zůstala na tvárníku. Povrchová úprava a geometrie dutiny by však měla zabránit přílišné přilnavosti.

Nachází-li se tvárník na nepohyblivé straně formy, může nastat problém s tím, aby vystříknutá součást zůstala na pohyblivé straně po otevření formy. Tomu se snaží předejít, případně je nutno aplikovat složitější vyhazovací systémy.

Jakmile se určí hmotnost dílu a jeho geometrie, lze určit vyhazovací sílu. Pro detailní návrh vyhazovacího systému (počet, umístění a typ vyhazovačů) je důležité znát vyhazovací sílu a polohu dílu ve formě. Jeli potřebná síla k vyhození příliš velká, může to značit špatnou polohu dílu ve formě, tedy i celého vyhazovacího systému, popřípadě provedení změn na součásti. [26]

2.3.1 Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky jsou nejpoužívanější variantou pro vyhození výstřiku ze vstřikovací formy. Jedná se především o nejméně nákladné provedení vyhazovacího systému. Vyhazovače musí být umístěny na místa, která se ochladí na vyhazovací teplotu, aby nedošlo k poškození dílu a současně aby vyhození proběhlo co nejdříve. Také se umisťují na nepohledové části, jelikož ponechávají stopu na vyrobené součásti. [26]



Obr. 6 Typy vyhazovačích kolíků [35]

- a) Trubkový vyhazovač b) válcový vyhazovač c) prizmatický vyhazovač d) válcový vyhazovač se zajištěním proti pootočení

2.3.2 Pneumatické vyhazování

Nejčastější použití vzduchových vyhazovačů je u výrobků, u kterých záleží na vzhledových vlastnostech. Jedná se především o výrobky, které mají větší rozměry a tvarovou složitost.

Jejich hlavní výhodou je, že nevzniká téměř žádná stopa po vyhazovači a také to, že natlakovaný vzduch se dostane i do nepřístupných míst. Naopak hlavní nevýhodou je nutnost potřebného vybavení a vytvoření kanálů pro přívod vzduchu. Oproti mechanickému vyhazování má malý zdvih. [36]



Obr. 7 Typy pneumatických vyhazovačů [36]

2.4 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění je obvykle vedlejším aspektem konstrukce formy a je často opomíjeno. Pochopení účelu a funkce větracích otvorů může pomoci návrháři forem navrhnout větrací otvory tam, kde je to zjevně nutné, a zajistit, aby forma mohla v případě potřeby pojmout další větrací otvory. Během plnění dutiny musí tavenina vytlačit vzduch obsažený v dutině. [7,26]

Hlavní funkcí odvzdušnění formy je uvolnění vzduchu, který je v dutině formy stlačován taveninou, která je pod vysokým tlakem. Pokud nenastane dostatečné odvzdušnění, může dojít k několika vadám. Jednou z nejčastějších vad je zachycený vzduch uvnitř dutiny, kde vytvoří vysoce natlakovanou kapsu, kam nemůže proudit tavenina a vzniknou tak nedotoky. Další častou vadou, ke které může dojít, je že se teplý vzduch vysoce stlačí a je-li v přítomnosti tavenina, nastane jev známý jako „diesel efekt“. Pokud se stopy po spálení objeví na pohledové straně, měl by být vystříknutý díl vyřazen. [7]

3 VADY U VSTŘIKOVÁNÍ

V této kapitole budou probrány defekty, které mohou vznikat během procesu vstřikování. Jednotlivé vady budou popsány z hlediska jejich vzniku, rozpoznání a co učinit, aby k nim nedocházelo, případně jak napravit daný problém.

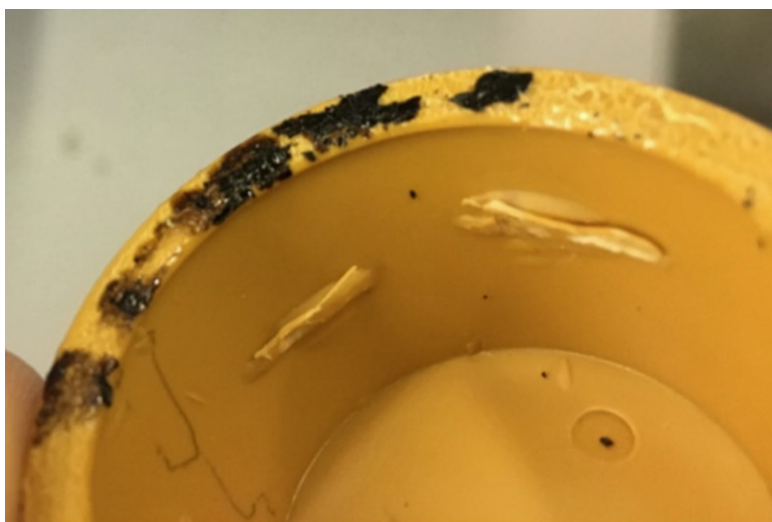
3.1 Spáleniny

Příčina vzniku tohoto nežádoucího jevu je rychlé stlačení zachyceného vzduchu ve formě. Předjít tomuto jevu se dá odhadem teploty vzduchu v dutině formy. Typickým projevem je černé nebo tmavě hnědé zbarvení dílů, které lze nalézt v místech, kde není dostatečné odvzdušnění formy. Jak se dutina formy plní taveninou, vzduch je pod tlakem a teplota se neustále zvyšuje, dokud nedojde ke spálení materiálu. Principiálně tento jev připomíná vznětový motor, proto bývá nazýván „diesel efekt“.

Spáleniny nejvíce ovlivňují tři hlavní faktory:

- Špatně provedené odvzdušnění ve formě – špatné rozměry odvzdušnění
- Citlivost materiálu – některé materiály jsou náchylnější ke spáleninám
- Procesní podmínky – rychlost vstřikování, teplota formy a teplota taveniny

Ze studií bylo zjištěno, že na diesel efekt nemá vliv pouze rychlost stlačení vzduchu, ale také teplota taveniny a formy. Pro odhad vlivu změny rychlosti vstřikování, teploty taveniny a teploty formy na teplotu zachyceného vzduchu lze použít rovnici pro adiabatickou kompresi v kombinaci s rovnicemi přestupu tepla. [18]



Obr. 8 Spálenina [4]

3.2 Delaminace

Delaminace je charakterizována jako vada, kdy se od sebe oddělují vrstvy plastu. Obecně se považuje za relativně závažnou vadu, protože snižuje pevnost součástí a způsobuje vizuální vady. Hlavní příčinou je smíšení dvou nekompatibilních materiálů, případně kontaminace nečistotou, která se dostala do taveniny. Vrstvy se navzájem oddělují dojde-li k nesprávnému spojení. Materiál může být také znečištěn separačním prostředkem, který se nanáší na formu pro lepší vyhození součástí. [4,5,16]

Řešení delaminace:

- Zvýšení teploty formy nebo taveniny
- Sušení materiálu
- Delší doba plnění
- Vhodné umístění vtoku
- Omezení používání separačních prostředků [4, 32]



Obr. 9 Delaminace [4]

3.3 Propadliny

V místech, kde jsou silné vrstvy materiálu dochází k propadlinám, což je zapříčiněno nedostatečným dodáváním materiálu při chlazení. [4]

3.3.1 Řešení propadlin

Pokud dojde ke špatnému konstrukčnímu návrhu dílu, propadliny mohou být velmi těžce řešitelnou vadou. U tlustých stěn bude vždy tendence k propadlinám vlivem smrštění, proto je nutno při návrhu součástí dodržovat doporučené rozměry pro žebra a stěny. [4]

Další faktory, které mohou způsobit propadliny:

- dotlak,
- vysoká teplota formy,
- vysoká nebo nízká teplota taveniny,
- nízká vstřikovací rychlost,
- malé množství materiálu.

3.4 Jetting

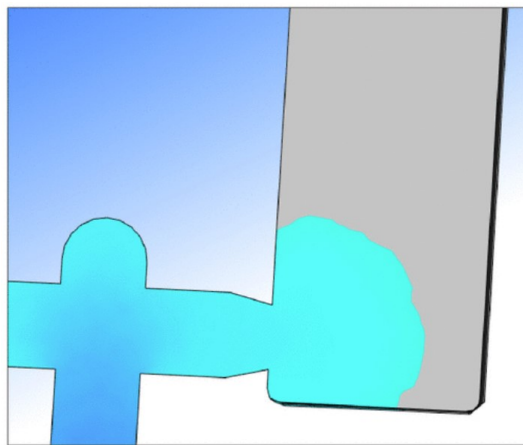
K tomuto defektu dochází u vstupující taveniny, která netvoří konzistentní tok, ale spíše „trýská“ do formy. Je to jev, který souvisí s tím, jak tavenina protéká ústím vtoku. Tavenina není ochlazována na povrchu stěny formy, ale nekontrolovatelně stříká skrz formu a poté vypadá jako had a prochází dutinou a zanechává na povrchu součásti červovitý vzhled. [4]



Obr. 10 Jetting [4]

Většina problému okolo jettingu souvisí s konstrukcí formy. Těmi nejdůležitějšími jsou umístění, velikost a délka vtokového ústí. U procesních podmínek tento jev ovlivňuje rychlost vstřikování. Ta má především vliv na to, jak tavenina vstupuje do formy. Pokud je rychlost příliš vysoká, tavenina nebude dosedat na povrch dutiny, kde by se ochladila, ale

tryská přes celou dutinu. Snížením rychlosti může dojít k předejitím tohoto defektu. Ovšem snížení rychlosti vstřikování má za následek delší vstřikovací cyklus, který se projeví na ceně výrobku. Proto je vždy lepší předejít problému vhodnou konstrukcí formy, například provedením analýz v simulačních programech. Na Obr. 9 je zobrazena simulace správného plnění dutiny formy v programu Moldflow. [4]



Obr. 11 Správné plnění dutiny formy [4]

3.5 Dutiny

Dutiny bývají chybně zaměňovány s bublinami, přitom je mezi nimi značný rozdíl. Bublina vznikla jako zachycený plyn, přičemž dutina je vakuum, které vzniklo smrštěním. Jednoduchým pokusem lze rozeznat, zda se jedná o dutinu nebo bublinu. Zahřeje-li se součást a na povrchu vznikne puchýř, jedná se o bublinu. Pokud se oblast propadne, jedná se o dutinu. Dutiny jsou často přehlíženy, protože u netransparentních součástí nejsou viditelné, naopak u průhledných je lze rozpoznat. Nedojde-li k odhalení této vady, prázdná místa mohou vést ke snížení mechanických vlastností vstřikovaných dílů. V určitých případech je nutno provést řez součástí pro zjištění tohoto defektu. [4]

3.6 Přetok

Přetok je vada, která vzniká při úniku taveniny z dutiny formy. Obvyklá místa, kde dochází k této vadě, jsou v dělicí rovině a v místech kde jsou umístěny vyhazovače. Přetok se ochladí a zůstává na hotové součásti, lze jej snadno rozpoznat jako tenký okraj nebo výčnělek na součásti. Formy, které překročily svoji životnost jsou náchylnější k této vadě. Také může dojít k tomu, že nadměrný vstřikovací tlak může pootevřít formu a vytlačit taveninu ven. Proto je nutno zajistit správnou upínací sílu. [16,31]

Faktory ovlivňující přetoky:

- upínací síla,
- údržba formy (případná výměna, uplyne-li životnost),
- vstřikovací tlak a rychlost,
- teplota formy a taveniny. [31]

3.7 Studené spoje

Pokud materiál ve formě obtéká překážku a poté se opět spojí, místo spojení se nazývá studený spoj. Jestliže bude materiál i nadále téct spolu, poté co se spojí, vzniká weld line. Pokaždé jakmile nastane rozdělení toku, vzniká studený spoj. Zjednodušeně se dá říci, že je to místo, kde se potkávají dvě čela taveniny. [4]

3.7.1 Řešení studených spojů

Studené spoje mohou způsobit vizuální vadu, ale mohou také ovlivnit mechanické vlastnosti vstřikovaného dílu. Optimalizace studených spojů se podepisuje na kvalitě vstřikovaného dílu. Během návrhu je důležité, aby konstruktér rozuměl tomu, kde bude studený spoj vznikat. [4]

Nej slabší místo studeného spoje se nachází v místě, kde dojde spojení toků, ale přitom přestává téct. Je nutné, aby po rozdělení došlo co nejrychleji ke spojení toků, a současně čím bude teplota vyšší, tím se sníží výskyt vady. Pokud dojde k toku poté, co se materiál spojí, vznikne weld line, která bude mít tendenci vypadat lépe a mít lepší mechanické vlastnosti než studený spoj. [4,17]

Faktory, které ovlivňují studené spoje jsou:

- rychlost toku,
- teplota taveniny a formy,
- dotlak,
- umístění a velikost ústí vtoku,
- správné odvzdušnění v kritických místech,
- rychlost vstřikování.

Pokud musí studený spoj vzniknout, měl by vznikat v místech, které nejsou příliš namáhaná. [17]

3.8 Tokové čáry

Tokové čáry se objevují na povrchu výrobku v podobě vlnitého vzoru, obvykle jiné barvy než zbytek součásti, pouze na určitém úseku vystříkнутé součásti. Kromě vlnitého vzoru mohou mít také prstencový vzor, který se nachází u vtokového ústí. Většina tokových čar nemá vliv na funkčnost a soudržnost součásti, ovšem nevzhlednost může zapříčinit nespokojenost klienta. [16,30]

Tokové čáry jsou nejčastěji způsobeny nerovnoměrným chlazením taveniny, která teče formou v různých směrech, rozdílné tloušťky stěn mohou také stát za vznikem tohoto defektu, jelikož se opět materiál chladí různou dobu. Další příčinou může být nízká rychlost vstřikování, jelikož horká tavenina proudí kolem části, která je již zchlazena. [16,30]

Řešení tokových čar:

- větší rychlost vstřikování, tlak a teplota taveniny,
- zaoblení rohů formy, kde dochází k nárustu tloušťky (konzistentní průtok),
- vhodné umístění vtokového ústí (větší vzdálenost od temperačního systému),
- větší průměr trysky. [16,30]



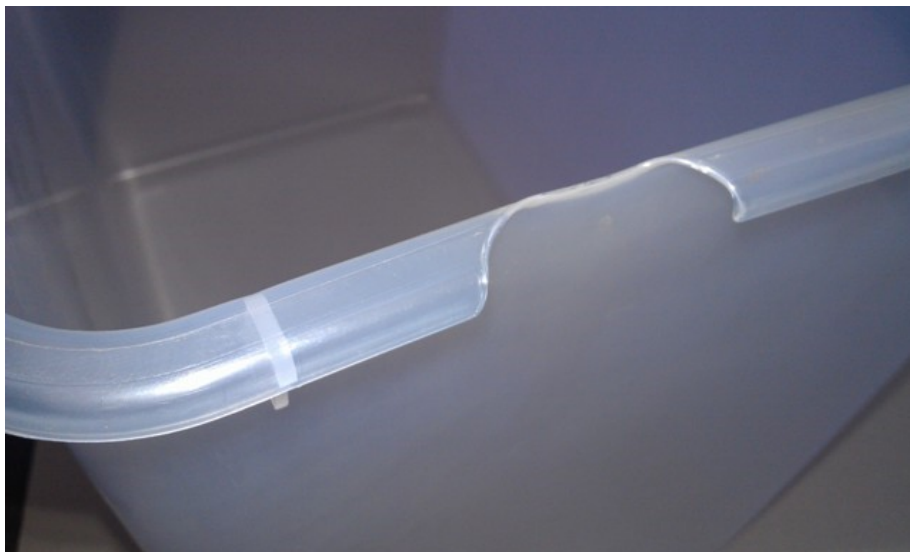
Obr. 12 Tokové čáry [31]

3.9 Neúplný výstřik

Neúplný výstřik může být způsoben řadou faktorů, jako je například špatně vypočtená dávka potřebná k vyplnění dutiny formy. Příčinou může být vysoká viskozita materiálu, což má za následek dřívější ztuhnutí, než se vyplní celá dutina. Dojde-li k zachycení vzduchu v dutině formy, může dojít k tomu, že nemá kam uniknout, a tudíž zabírá tavenině prostor k vyplnění. Další příčinou může být špatná kalibrace vstřikovací jednotky. [5,31]

Faktory ovlivňující neúplný výstřik:

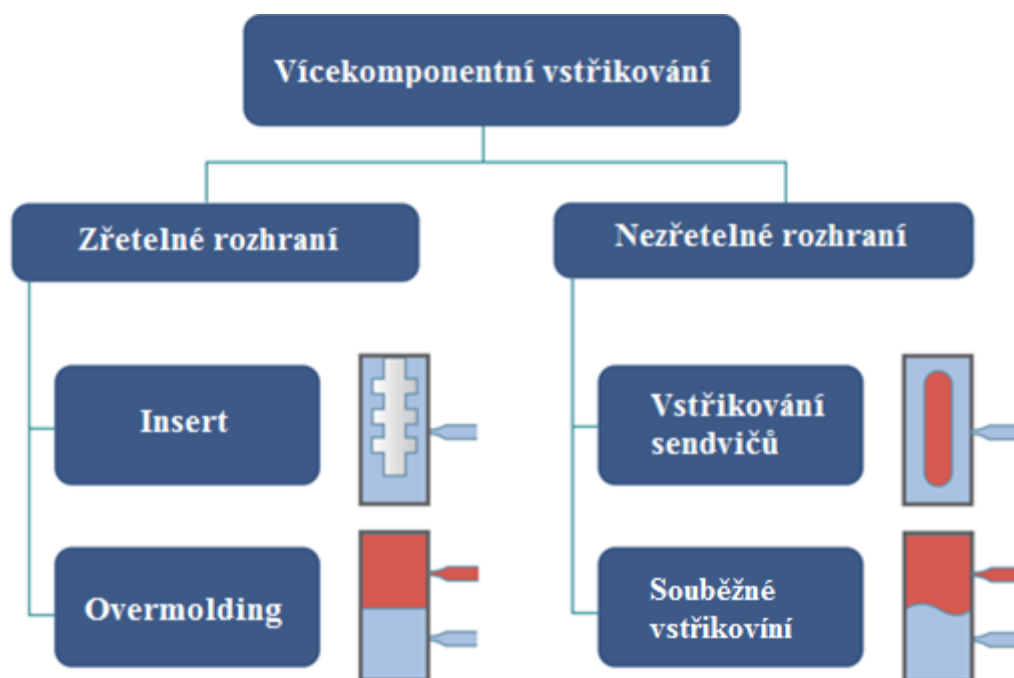
- volba méně viskózního materiálu,
- větší teplota formy nebo taveniny,
- správné odvzdušnění,
- zvětšení přívodu materiálu. [31]



Obr. 13 Neúplný výstřik [33]

4 VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ

Vícekomponentní vstřikování má více možností výroby, přičemž mnohé z nich jsou stále ve vývoji. Provést klasifikaci těchto metod je obtížné, avšak na Obr. 14 je schematické rozdělení vícekomponentního vstřikování pro termoplasty. Procesy lze rozdělit do dvou skupin, kdy u první je zřetelné rozhraní materiálu výsledného dílce. K tomuto typu patří například zastříknutí insertu nebo overmolding. Během procesu má každá součást odlišné rozhraní a nebudou se navzájem ovlivňovat. Na druhé straně jsou procesy, kde rozhraní mezi dvěma materiály není zcela jasné, což je zapříčiněno postupností procesu vstřikování. Nejběžnějšími metodami, kdy není jednoznačné rozhraní, je vstřikování sendvičů a souběžné vstřikování. [1,19]



Obr. 14 Schematické rozdělení vícekomponentní vstřikování [5]

4.1 Overmolding

Overmolding je univerzální a stále více se rozšiřující metoda výroby plastových dílů, která nabízí větší možnosti designu pro vícebarevné nebo vícefunkční produkty za současného snížení ceny. Přijetím vícenásobného designu forem a strategie přenosu výstřiku [3]

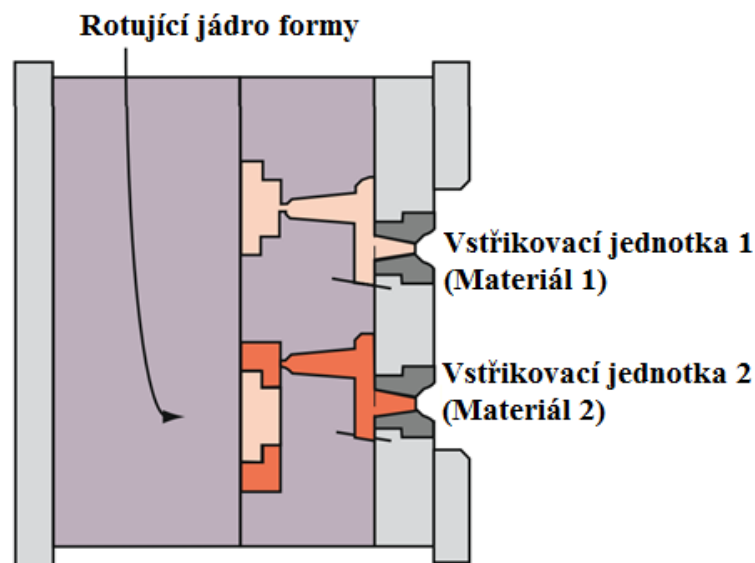
Proto, aby byl overmolding dokončen v jednom vstřikovacím cyklu slouží speciální stroj, který má více vstřikovacích jednotek a rotující formy, případně posuvné jádro. [3,12]

4.1.1 Popis procesu

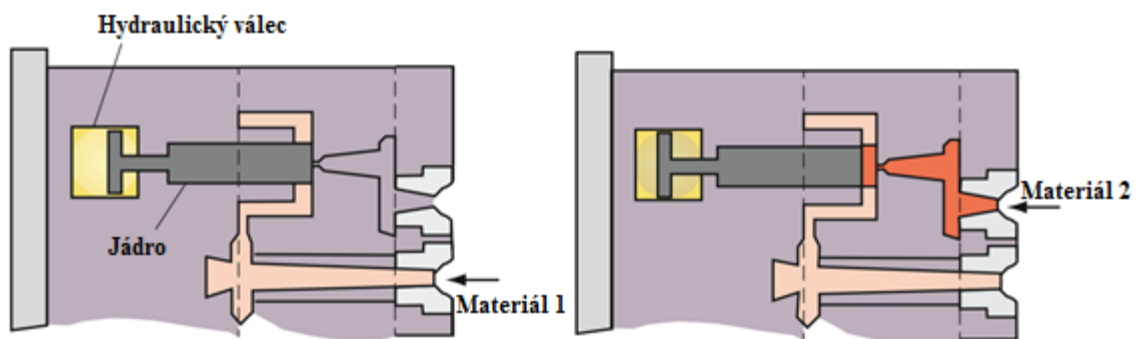
Overmolding je speciální proces vstřikování plastů běžně užívaný v průmyslu, který je ovšem odlišný od vstřikování sendvičů, při kterém se také vstřikují dva různé materiály do jednoho výrobku. Přesněji řečeno, vstřikování sendvičů zahrnuje postupné anebo současné vstřikování dvou odlišných, ale kompatibilních materiálu do dutiny formy za účelem výroby dílu, které mají sendvičovou strukturu s materiálem jádra zapuštěným mezi vrstvami materiálu povrchové vrstvy. Na druhou stranu, pro overmolding se vstřikují různé polymerní taveniny v různých fázích procesu s použitím různých dutin nebo geometrie dutin. Konkrétně, nejprve je plastový insert vstříknut, poté je přenes do jiné dutiny, kde je vstříknut druhý polymer a ten vyplní dutiny formy, která je definovaná insertem a nástrojem. Adheze mezi dvěma různými materiály může být mechanické, tepelné nebo chemické spojení [3,8]

Historie overmoldingu se datuje několik desítek let zpět, kdy sloužilo pro výrobu znaků kláves psacího stroje. Tento proces od té doby pokročil, aby umožnil konzistentní a nákladově efektivní výrobu vícebarevných nebo multifukčních produktů v různých inovativních a běžně používaných metodách. O tom, jaká výrobní technika bude použita rozhoduje objem výroby, požadavky na kvalitu a možnosti formy. Pro příklad lze uvést, že bez jakýchkoliv další investicí do zařízení lze pro výrobu vícekomponentních dílů použít dvě samostatné formy a běžně používaný vstřikovací stroj. Při takovém postupu by byl nejprve vystříknutý insert v první formě a poté by byl přesunut do druhé formy, kde by byl zastříknutý druhým polymerem. Velkou nevýhodou takového postupu by bylo zařazení další kroků k přesunu a vložení insertu do druhé formy. Ovšem tento přesun se dá uskutečnit pomocí automatizovanými systémy. [3,9]

Často užívanou metodou při tomto druhu vstřikování je použití rotační formy a více vstřikovacích jednotek. Jakmile dojde k vystříknutí insertu, pohonná jednotka (hydraulický nebo elektrický motor) otočí insert a hotový díl o 180 stupňů (může i 120 stupňů, jednalo by se o tříkomponentní vstřikování) a umožní vstříknutí střídavých polymerů. Tato výrobní metoda je nejrychlejší a nejvíce využívaná, protože v jednom cyklu dojde k vyrobení hotového dílu a současně insertu. Jednotka pro temperaci (chladící voda, stlačený vzduch nebo speciální výhřev) jsou připojeny skrze střed rotační jednotky. Schopnost rotace může být zabudována do formy nebo desky stroje. Pokud se bude vyrábět více součástí, které vyžadují rotační přenosy, je ekonomičtější mít ve stroji zabudovanou rotační jednotku (a jednou za ni platit) než pokaždé konstruovat rotační formu. [3]



Obr. 15 Rotující forma používaná k výrobě vícekomponentních vstřikovaných dílů [19]
 Další možností výroby vícekomponentního dílu je rozšíření původní geometrie dutiny pomocí pohyblivých jader, zatímco je insert stále ve formě. Tento proces se nazývá Core-pull nebo core-back. Konkrétně, jádro se zatáhne poté co insert ztuhne, aby vytvořil otevřený objem, který má být vyplněn druhým materiálem ve stejné formě. [3]



Obr. 16 Schematické zobrazení overmoldingu pomocí posuvného jádra [19]

4.1.2 Aplikovatelné materiály

Pro overmolding je zásadní výběr materiálu. Je nutné provést důkladnou analýzu, aby se zjistila kompatibilita materiálu, chemická odolnost, odolnost proti opotřebení, vliv na životní prostředí a další specifické požadavky. Různá kombinace materiálů bude mít za následek velmi rozdílné úrovně adheze mezi základním materiálem a následným dostříknutým materiálem. Spojení lze dosáhnout chemické vazby, kdy materiály interagují na molekulární úrovni a vytvoří velmi dobré spojení. Protože vícekomponentní vstřikování zahrnuje vazby různých materiálů v jeden samostatný díl, adheze mezi materiály je důležitá. Adhezi ovlivňuje kompatibilita materiálu, teplota, povrch kontaktních ploch a návrh mechanického

spojení. Jeden z nejvíce populárních používaných materiálů u vícekomponentního vstřikování je termoplastický elastomer (TPE) na tuhý podklad, kde vytvoří na dotek jemný pocit a zlepší držení konečného produktu, lepší estetiku nebo také sníží vibrace které by se přenášely do rukou. Výrobky jsou poté [3,10,11]

Polymer	ABS	ASA	CA	PA 6	PA 66	PA alloy	PBT	PC	PC/ABS	PC/PBT	PC/PET	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PS	SAN	TPE
ABS																				
ASA																				
CA																				
PA 6																				
PA 66																				
PA Alloy																				
PBT																				
PC																				
PC/ABS																				
PC/PBT																				
PC/PET																				
PE																				
PMMA																				
POM																				
PP																				
PPO																				
PS																				
SAN																				
TPE																				

Obr. 17 Kompatibilita materiálů pro vícekomponentní vstřikování [6]

4.1.3 Výhody procesu

Overmolding přináší inovativní přístup, jak kombinovat několik materiálů přímo uvnitř formy, čímž odstraňuje nutnost druhé sestavy a snižuje celkovou výrobní cenu. Tento proces umožňuje nové možnosti v průmyslovém designu a přináší tak dílům estetiku, užitečnost, kvalitu a funkčnost. Výhodou při výrobě jedním strojem je úspora času, která by tak představovala při manipulaci s díly a také užitečná plocha, která je menší. [3]

4.1.4 Nevýhoda procesu

Hlavní nevýhodou tohoto procesu je velká investice do komplexu forem (rotačních) a speciálního vstřikovacího stroje, který má více vstřikovacích jednotek a speciální kontrolní systém. Tento proces taky vyžaduje přesun insertu do druhé dutiny formy. Ovšem je nutné poznamenat, že náklady na tyto bariéry klesly v důsledku modularizace výrobců strojů. [3]

4.1.5 Oblast použití

Overmoldingem se vyrábí složité díly v různých aplikacích, od elektrických, spotřebních, průmyslových až po automobilové. Na Obr. 18 jsou typické příklady výrobků, které byly vyrobeny touto technologií. [10]



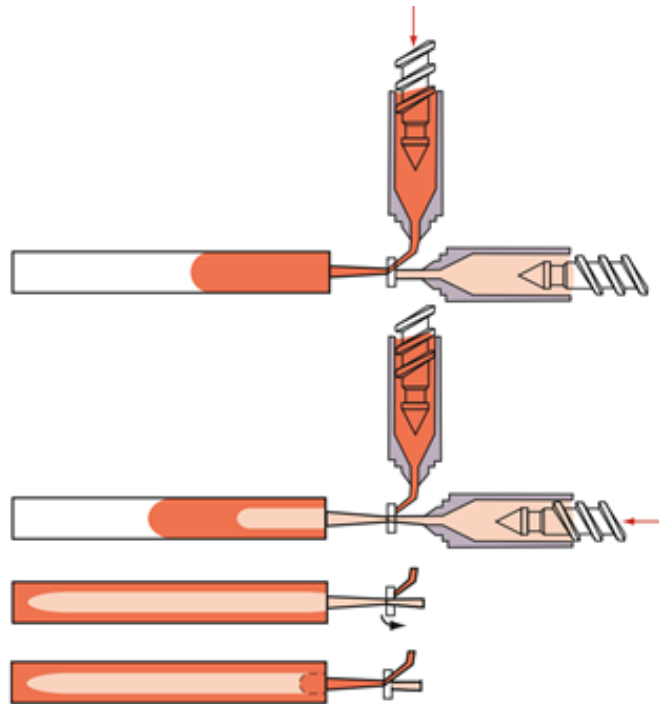
Obr. 18 Příklady výrobků vyrobených technologií overmolding [27]

4.2 Vstřikování sendvičů

Na rozdíl od overmoldingu se při této výrobní metodě používá společný vtokový systém a ústí vtoku. Nejprve je vstříknutý materiál, který tvoří povrch, následně je vstříknut materiál jádra. Na obr. 19 je zobrazen princip procesu vstřikování sendvičů a výsledný tok materiálů, které tvoří povrch a jádro. Pro vstřikování sendvičů se používá stroj, který má dvě samostatně ovladatelné vstřikovací jednotky se společným blokem vstřikovacích trysek s přepínací hlavou. V důsledku toku taveniny polymeru a tuhnutí materiálu povrchu začíná ze studenějších stěn formy růst ztuhnutá vrstva polymeru, která se již neposunuje. Polymer nacházející se ve středu dutiny zůstává roztavený. Jakmile je materiál jádra vstříknut, proudí uvnitř materiálu, který tvoří povrch a už je ochlazen stěnami dutiny. Zbytek roztaveného materiálu povrchu je tlačén na konec dutiny.

Díky fontánovému toku se materiál tvořící povrch výrobku nachází na povrchu dutiny formy. Proces vstřikování pokračuje, dokud není dutina téměř vyplněna. Na konci procesu je vstříknuto malé množství materiálu, které tvoří povrch. To se provádí za účelem odvedení materiálu jádra z vtoku a tím pádem se tento materiál neobjeví na dalším dílu. Dojde-li k tomu, že není vstříknuto dostatečné množství povrchového materiálu, může dojít k tomu,

že materiál jádra se bude nacházet na výrobku, především na části, která je plněna jako poslední. [19]



Obr. 19 Princip vstřikování sendvičů [19]

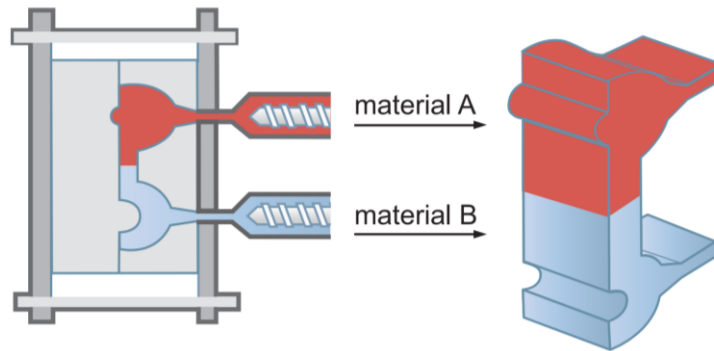
Existují další varianty vstřikování sendvičů, přičemž může například začít vstřikovat materiál jádra v průběhu vstřikování povrchového materiálu. Kromě jednonálové techniky vstřikování sendvičů byly vyvinuty dvoukanálové a tříkanálové, které používají trysky, které umožňují současné vstřikování materiálu povrchu a jádra. [19]

4.2.1 Výhody procesu

Výhody vstřikování sendvičů je, že pro snížení vstřikovacího tlaku lze pro jádro použít materiály s nízkou viskozitou. Pokud jsou požadavky na ekologickou šetrnost, lze využít recyklované materiály pro jádro výrobku. Například snížení ceny lze docílit použitím nižší kvality materiálu pro jádro. Například je taky možno použít měkký materiál jako vrchní vrstvu výrobku, přičemž pro jádro může být použity tvrdé materiály, nebo pro snížení hmotnosti může být použita pěna jako jádro. Při správné kombinaci materiálu pláště a jádra lze docílit nižšího zbytkového napětí hotového dílu a zvýšit tak mechanickou pevnost nebo vlastnosti povrchu. Pro zvýšení výkonu součásti mohou být pro povrchovou vrstvu nebo vrstvu jádra použity drahé materiály se zvláštními povrchovými vlastnostmi, jako je elektromagnetická izolace nebo vysoká elektrická vodivost. [5]

4.3 Souběžné vstřikování

Při porovnání se vstřikováním sendvičů se v tomto procesu vstřikují dva různé materiály do stejné dutiny formy současně dvěma nezávislými vstřikovacími jednotkami a současně nemají společné vtokové ústí. Na Obr. 20 je zobrazen princip tohoto procesu, který se podobá běžnému vstřikování. U vstřikování sendvičů se vstřikuje tavenina do stejného vtokového ústí postupně, je snadné odlišit tento proces kontrolou polohy rozhraní dvou materiálů na hotovém dílu. [5]



Obr. 20 Princip souběžného vstřikování [5]

4.3.1 Výhody procesu

Jelikož u této výrobní metody jsou použity dvě nezávislé vtokové ústí kudy je tavenina vstřikována do dutiny formy, mezi hlavní výhody se řadí vysoká efektivita výroby, krátký vstřikovací cyklus, možnost výroby dvoubarevných produktů v jednom cyklu a nízké náklady na formy. Další výhodou je uspokojení požadavků spotřebitelů na hojně barevné plastové předměty. [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

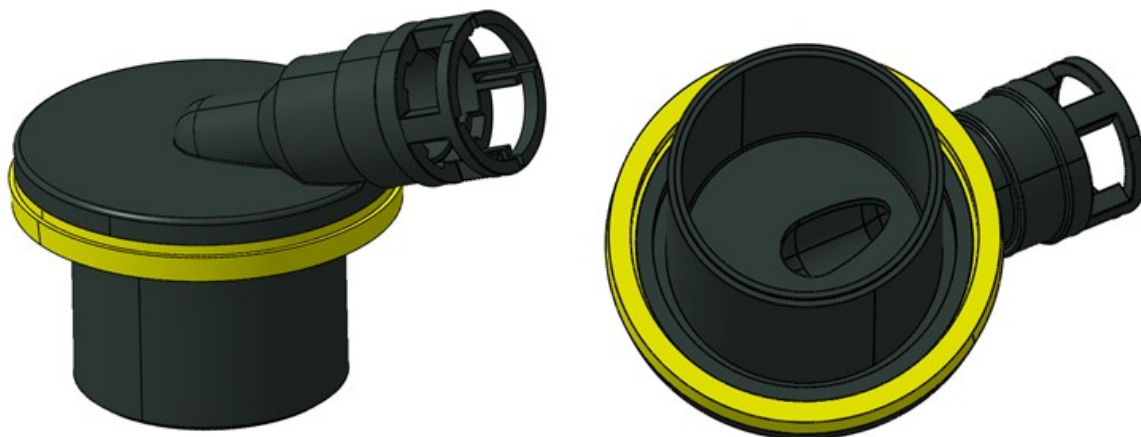
- Vypracovat literární studii na dané téma
- Provést konstrukci zadaného plastového dílu
- Navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu
- Nakreslit 2D výkresy sestavy a příslušné řezy
- Ověření pomocí analýz

Literární studie je rozdělena na 4 kapitoly. Na úvod je popsána technologie vstřikování společně se vstřikovacím strojem a cyklem. V následující kapitole byla popsána konstrukce vstřikovací formy a v návaznosti na ni byly vypsány vady, které mohou vzniknout během vstřikování. V poslední části jsou ukázány možnosti vícekomponentního vstřikování.

Praktická část si klade za cíl provést konstrukci zadaného dílu a navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný vícekomponentní díl. Z vymodelovaného návrhu se nakreslí 2D výkresy s příslušnými řezy. Celý návrh bude ověřen pomocí programu Autodesk Moldflow Synergy.

6 ZADANÝ VÝROBEK

Zadaným výrobkem je dvoukomponentní součást, která je používána v automobilovém průmyslu. Konkrétně se jedná o ventil pro odvětrání klikové hřídele, který je umístěný na ventilovém víku. Hmotnost výrobku je 57 gramů.



Obr. 21 3D model součásti

6.1 Materiál výrobku

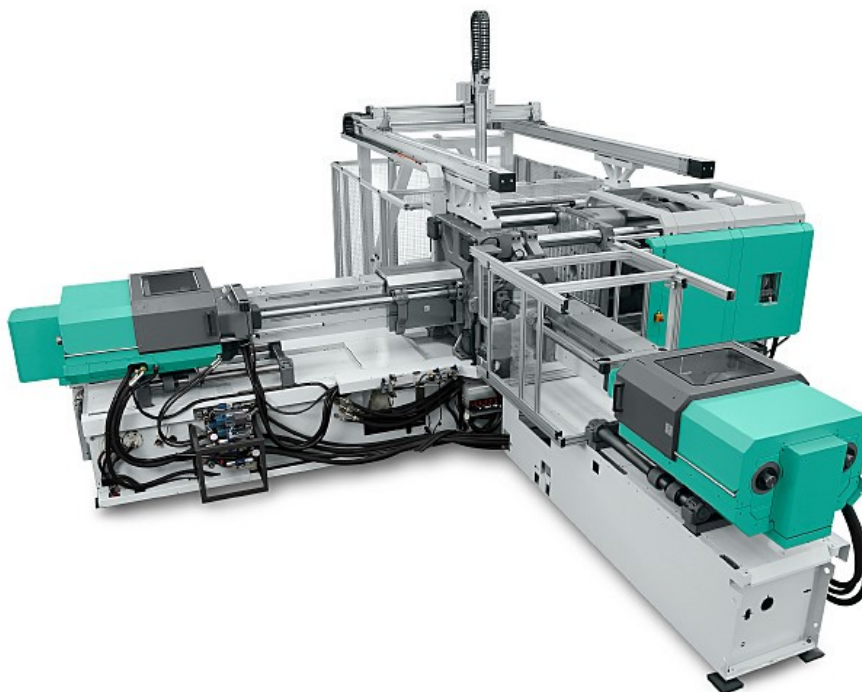
Pro hlavní část výrobku, tedy insert černé barvy, byl použit materiál PA12, konkrétně VESTAMID L1930 NF od výrobce Evonik Degussa GmbH, který je plněný 30 % skleněnými vlákny. Druhý materiál žluté barvy, který slouží jako těsnění, byl použit PE-HD Marlex® 9018 PE od výrobce Chevron Phillips. Níže jsou uvedeny některé základní charakteristiky.

Tab. 1 Vybrané vlastnosti materiálů

Vlastnost	Hodnota (PA12)	Hodnota (PE-HD)	Jednotka
Doporučený rozsah teploty taveniny	230-300	193-274	°C
Doporučený rozsah teploty formy	30-110	4-49	°C
Doporučená teplota pro vyhození	135	80	°C
Max. smykové napětí	0,31	0,22	MPa
Max. rychlost smykové deformace	100000	65000	1/s
Index toku taveniny	71,5	20	g/10 min

7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě předběžné analýzy a požadavků na formu byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 570 S Multi-component 220 tons (25mm) od výrobce Arburg, konkrétně v provedení pro vícekomponentní vstřikování. To znamená, že má dvě plastikační jednotky, v řešeném případě pozice do L. Při porovnání s vertikálním uspořádáním je dražší, ale nedochází k samovolnému tečení polymeru. Další nevýhodou je zabraní větší užité plochy, ale vzhledem ke konstrukci formy nebylo možné jiné použití.



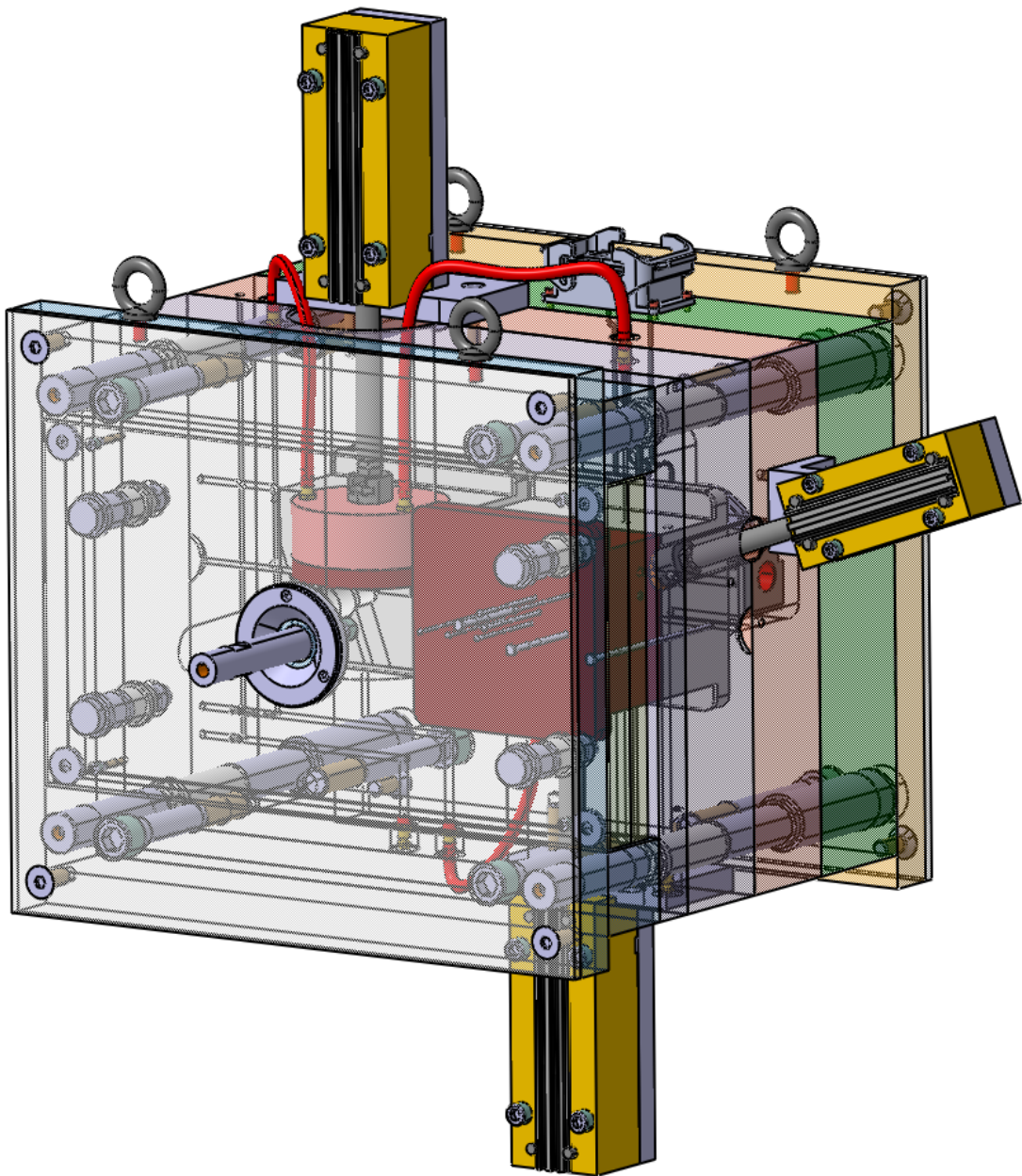
Obr. 22 Stroj pro vícekomponentní vstřikování ve verzi L [34]

Tab. 2 Parametry stroje

Parametr	Hodnota stroje (PA12)	Hodnota stroje (PE-HD)
Uzavírací síla	2200 kN	2200 kN
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	570 x 570 mm	570 x 570 mm
Vstřikovací tlak	200 MPa	250 MPa
Objem dávky	49 cm ³	23 cm ³
Maximální velikost upínací desky	795 x 795 mm	795 x 795 mm

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

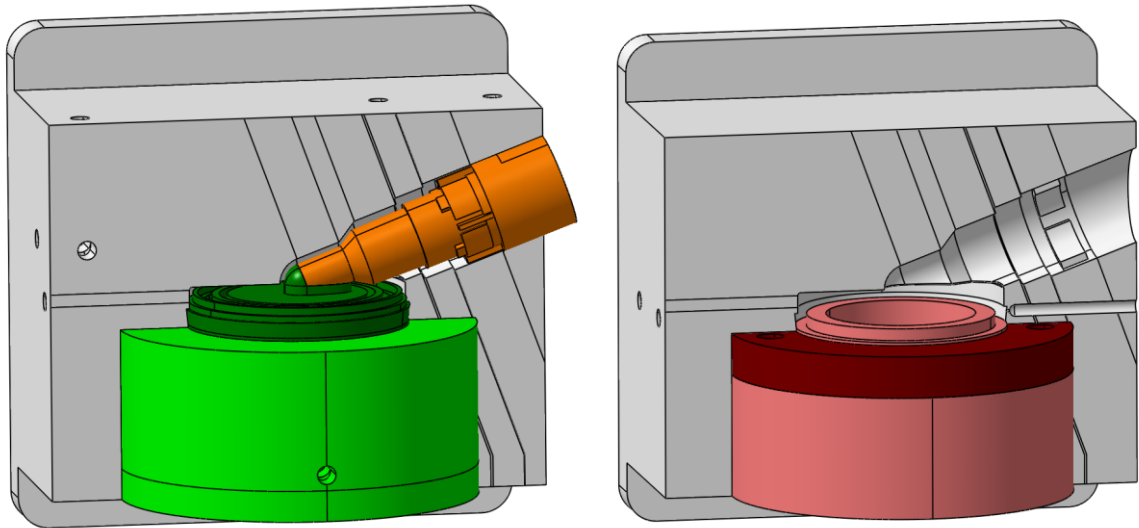
Nutnou zásadou při konstrukci formy je vhodné umístění výrobku do formy, a to tak aby došlo co k nejsnadnějšímu odformování, tzn. co nejmenší počet dělicích rovin a co nejmenší rozměry tvarových vložek. Navržená forma má jednu hlavní a tři vedlejší dělicí roviny. Odformování vedlejších rovin je řešeno pomocí výsuvných segmentů, přičemž segmenty se posunují za pomoci hydraulického válce. Násobnost formy byla vzhledem k její složitosti a rozměrů volena jednonásobná. Celá konstrukce formy proběhla v programu CATIA V5R19. Většina normalizovaných byla zvolena od výrobce HASCO a Meusburger. Použití normálií snižuje celkovou cenu formy, od toho že se usnadní konstrukce až po výrobu.



Obr. 23 Celkový pohled na vstřikovací formu

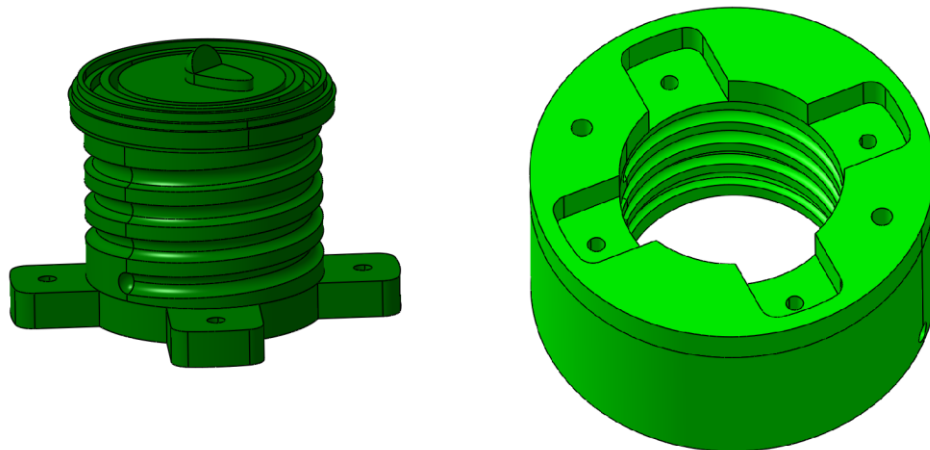
8.1 Tvarové části formy

Forma má dvě tvárnice a jeden tvárník, který mimo jiné slouží k transportu insertu z první do druhé tvárnice. Vytvoření objemu pro dostříknutí druhého materiálu je realizováno pomocí posuvného jádra. Druhá tvárnice je stejně jako tvárník opatřena studeným vtokovým systémem.

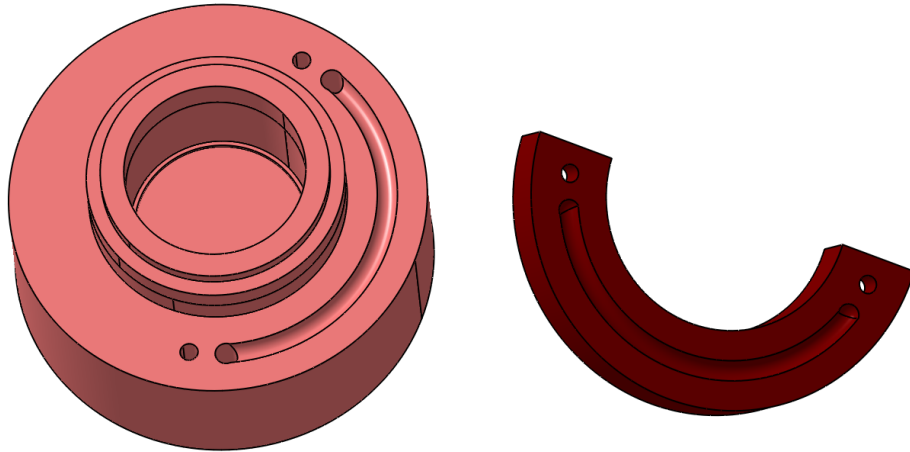


Obr. 24 První a druhá tvárnice včetně posuvných tvarových jader

Samostatná jádra jsou složena ze dvou částí a to proto, aby bylo zajištěno dostatečné chlazení. V obou případech jsou části spojeny šrouby.



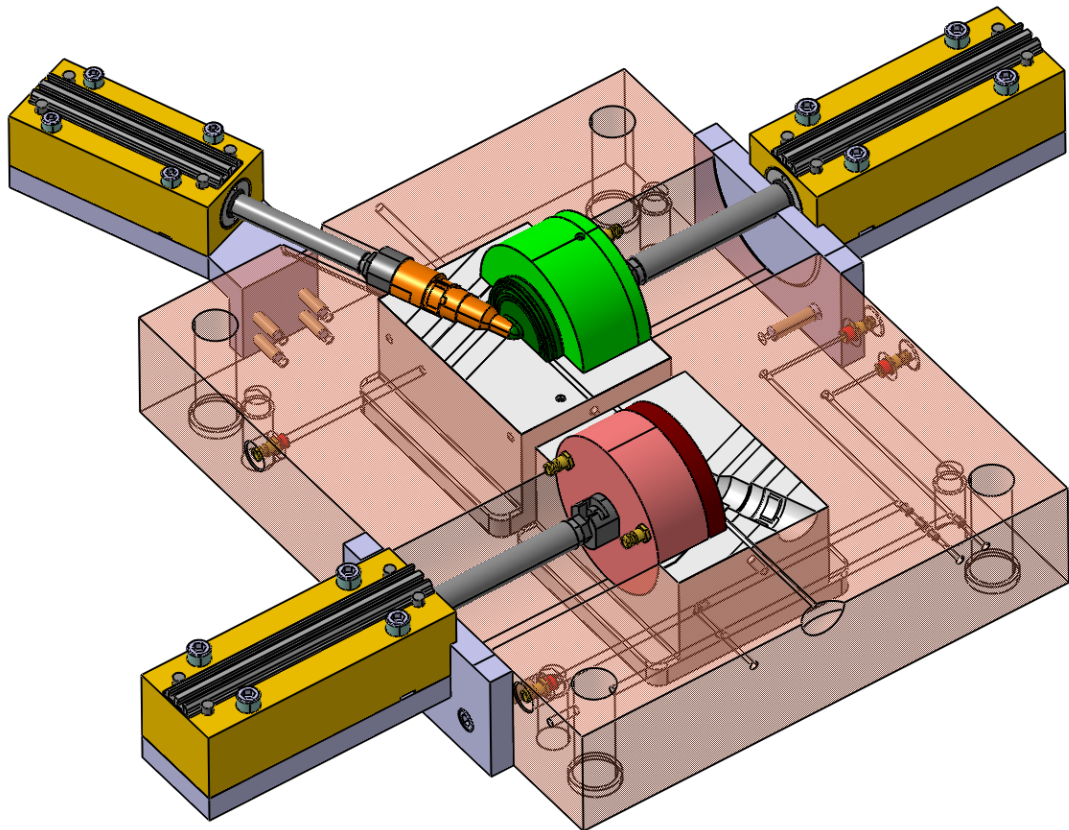
Obr. 25 Části prvního tvarového jádra



Obr. 26 Části druhé tvarového jádra

8.2 Odformování

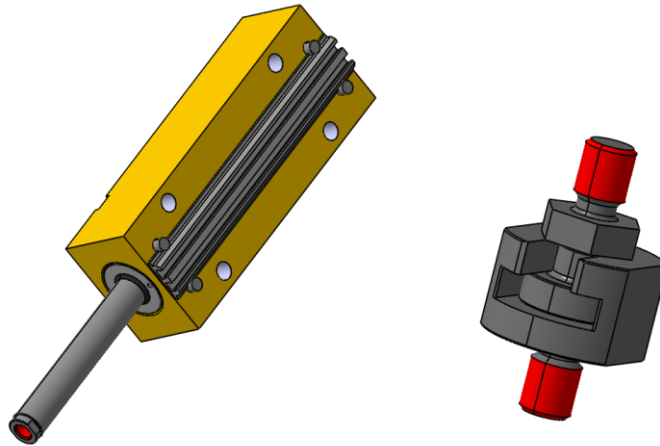
Dříve než dojde k otevření formy, je nutné, aby byl zajištěn odjezd všech tvarových čepů. Ty musí být v takové vzdálenosti, aby nedošlo ke kolizi a proběhlo bezpečné otevření formy. Následně proběhne dostříknutí druhé části výrobku a poté musí opět dojít k odjetí jádra.



Obr. 27 Rozložení tvarových jader ve formě

Pro řízení tvarových čepů byly použity dva rozdílné hydraulické válce E7021 od výrobce Meusburger, přičemž se liší ve velikosti zdvihu. Válce se zdvihem 100 mm byly použity

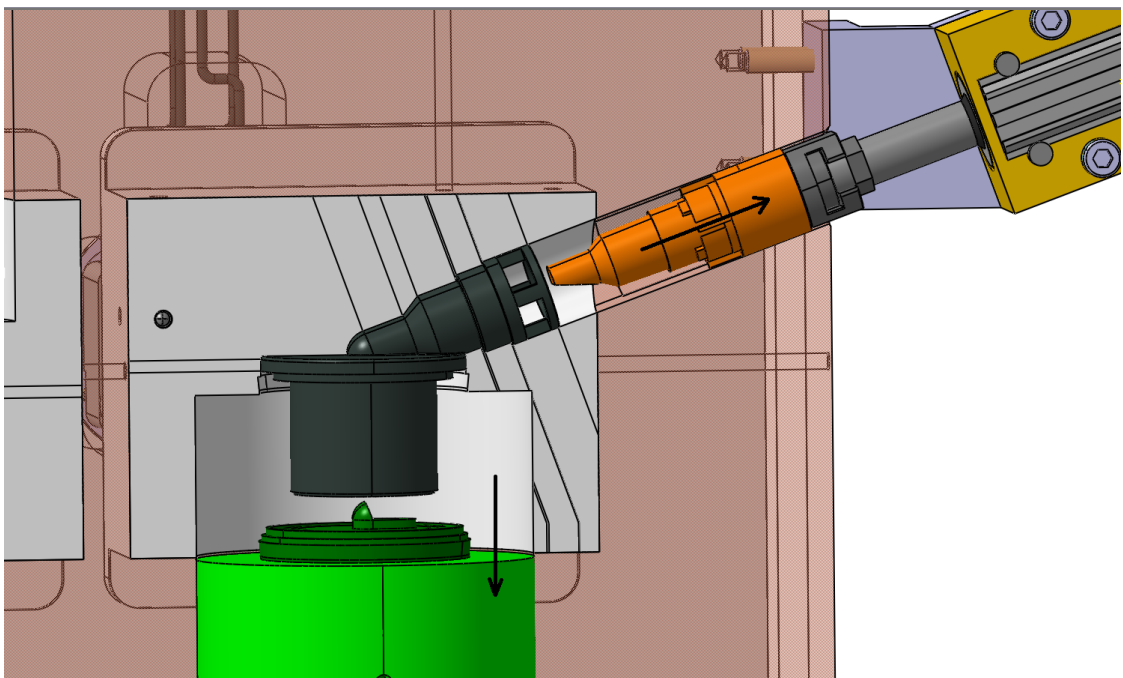
pro největší jádra, pro menší byl použit zdvih 75 mm. Uložení válců je pomocí šroubů na podstavě, která je přišroubována k nepohyblivé straně formy, protože pohyblivá strana formy se otáčí o 180 °. Spojení mezi tvarovým čepem a hydraulickým válcem je zajištěn spojkou E7084, kterou poskytuje výrobce Meusburger k hydraulickým válcům.



Obr. 28 Válec se spojkou

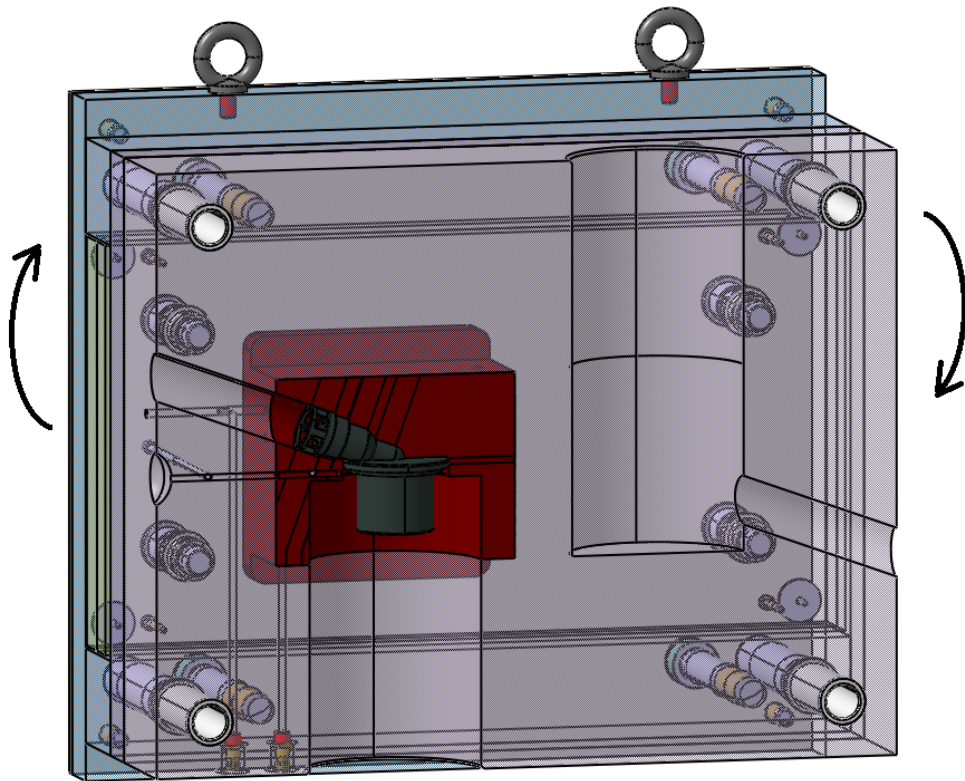
8.3 Popis funkce

Poté, co se vstříkne a ztuhne první část výrobku (černý insert) dojde k tomu, že tvarová jádra odjedou do bezpečné vzdálenosti, aby mohlo dojít k otevření formy.



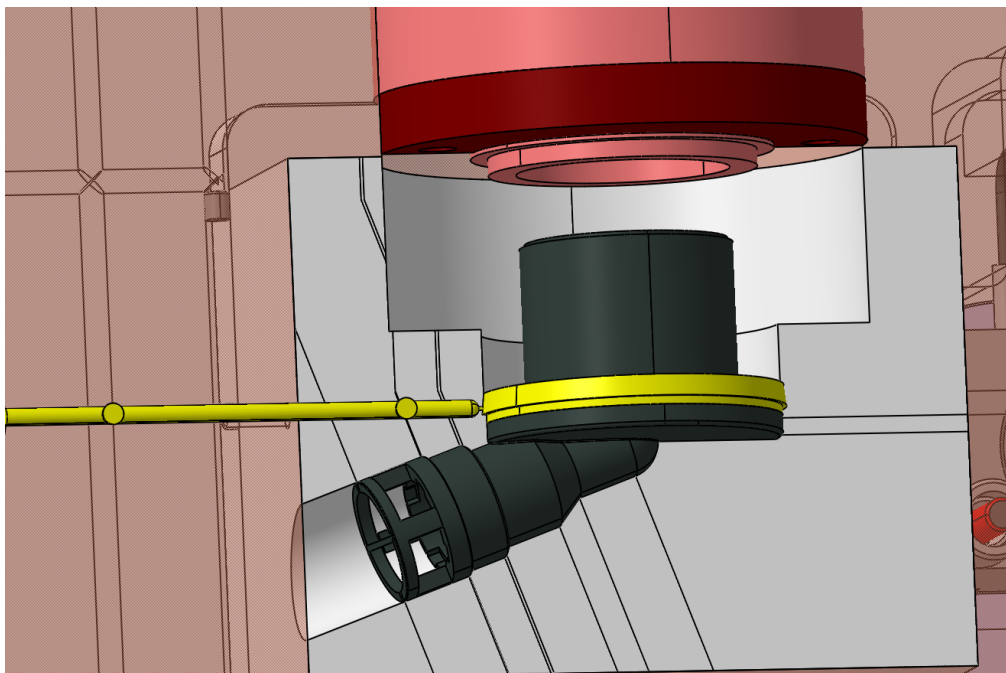
Obr. 29 Odjezd prvního a bočního jádra

Jakmile se forma otevře na požadovanou vzdálenost, otočí se o 180 °. Výrobek zůstává na pohyblivé straně, čímž se zajistí přenos insertu do druhé dutiny a následuje uzavření formy.



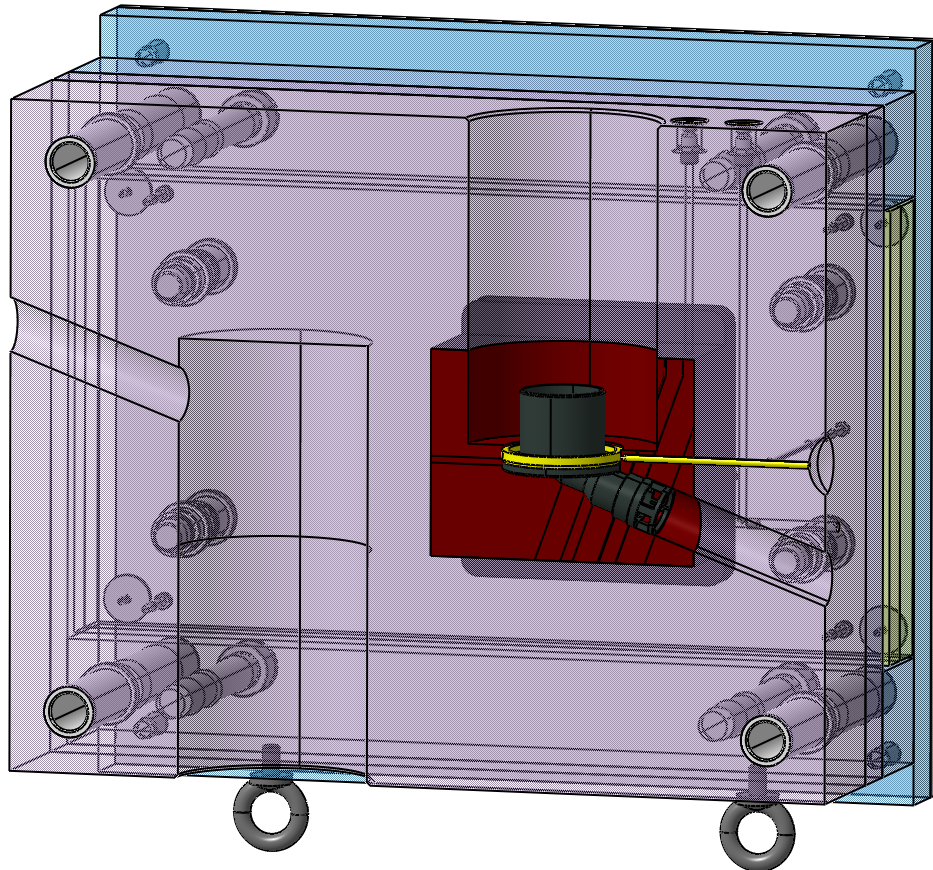
Obr. 30 Směr otáčení formy

Po uzavření formy přijíždí druhé tvarové jádro, aby zajistilo budoucí tvar výrobku. Jakmile je materiál vstříknut a ochlazen, jádro odjede do požadované vzdálenosti.



Obr. 31 Odjezd druhého tvarového jádra

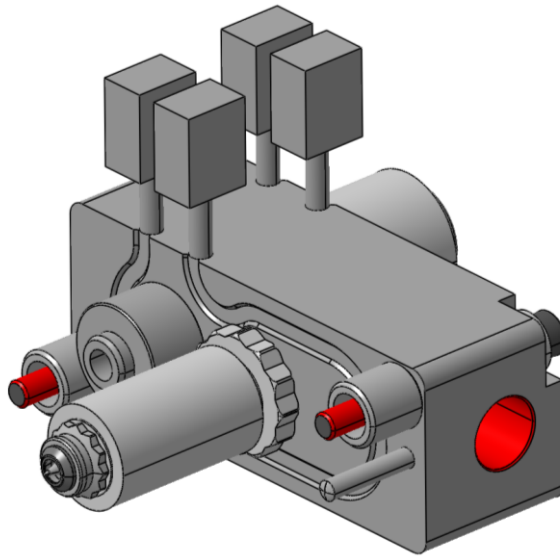
Následně se může opět forma otevřít, aniž by došlo k poškození výrobku. Přidržovače vtoku zajistí, že výrobek společně s vtokovým zbytkem zůstane na pohyblivé straně formy. Nyní může proběhnout vyhození výrobku. Jakmile je dutina formy prázdná, forma se otočí zpět a cyklus se může opakovat.



Obr. 32 Otevřená forma připravena na vyhození

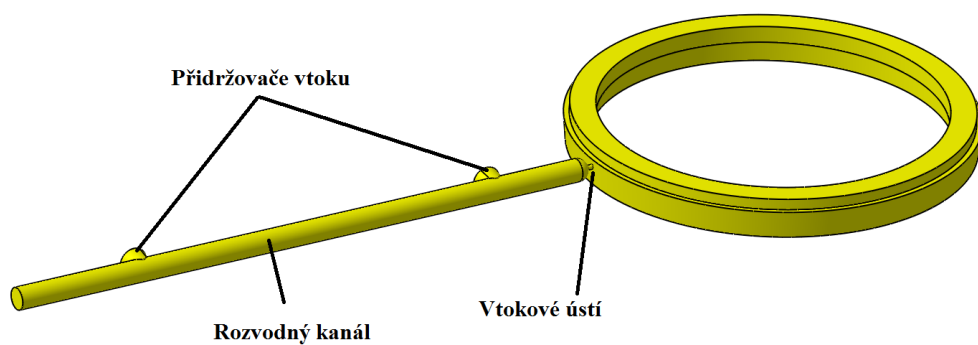
8.4 Vtokový systém

První část výrobku bude vstřikovaná horkým vtokovým systémem, což je sestava komponent, které udržují vstřikovaný polymer za stálé teploty v celé dráze toku. Rozvodný blok horkého vtoku E 4500 byl použit od výrobce Meusburger. Konkrétně byl zvolen pro materiál PA12, dávka materiálu činila 51 gramů.



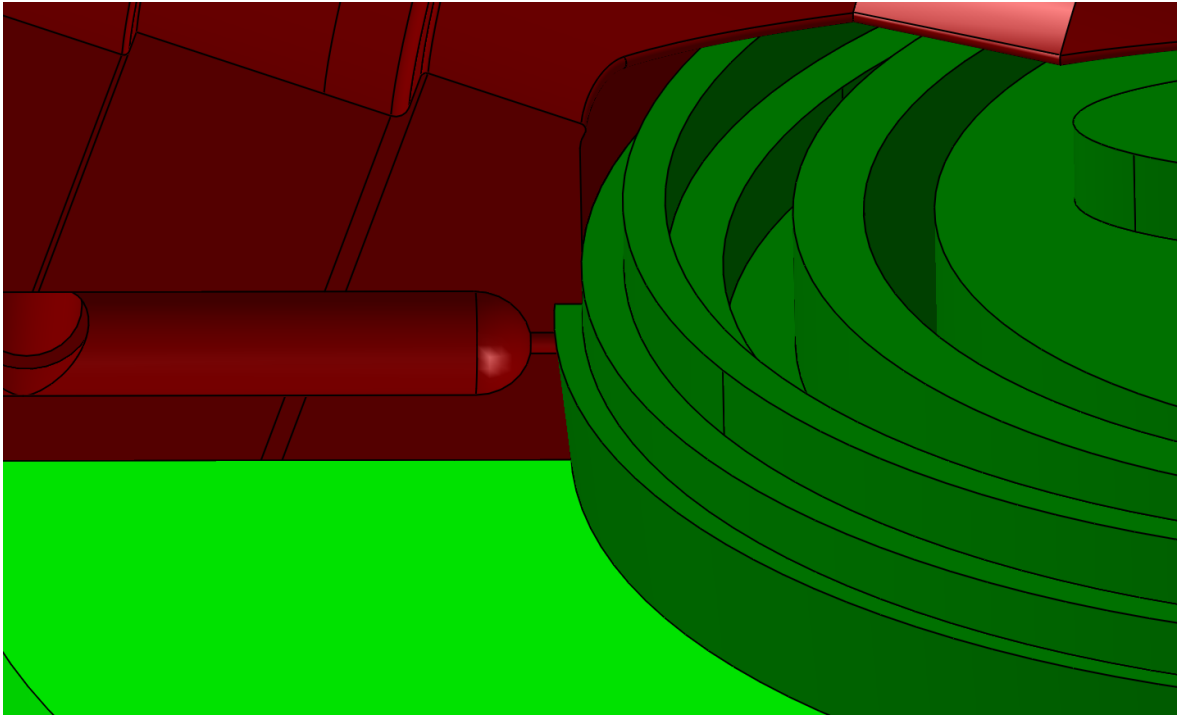
Obr. 33 Blok horkého vtokového systému

Druhá část výrobku je vstřikovaná studeným vtokovým systémem. Ten je opatřen dvěma přidržovači vtoku, čímž se zajistí, že vtokový zbytek zůstane po otevření formy na pohyblivé straně formy a následně bude vyhozen z formy společně s výrobkem. Průměr rozvodného kanálu je 4 mm. Přidržovač vtoku má tvar komolého kuželu, kde rozměr podstavy je 5 mm. Studený vtokový systém se nachází v dělicí rovině a bude vstřikován vstřikovací jednotkou, která dojede z boku. Na trysku stoje je na formě připraveno vyhloubení, aby došlo k dosednutí.



Obr. 34 Studený vtokový systém

Jelikož dochází k otáčení formy, muselo být při vstřikování první části výrobku zajištěno, že nedojde k vytečení taveniny prostorem vytvořeným pro studený vtokový systém. Tato část byla zajištěna posuvným tvarovým jádrem.

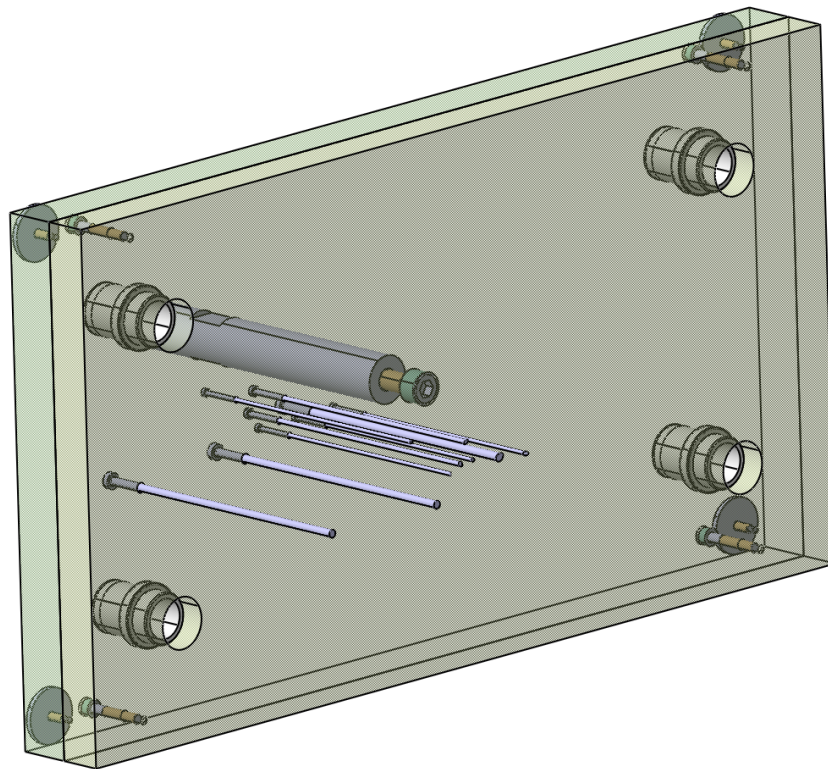


Obr. 35 Zamezení vytečení polymeru

8.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém musí zajistit bezpečné vyhození výrobku z formy. Jakmile je dostříknut druhý materiál a forma je otevřená, může nastat vyhození výrobku. Celkem bylo použito devět válcových vyhazovačů Z40 od společnosti HASCO, přičemž u dvou dochází ke styku s kolmou plochou, proto není nutno řešit zajištění proti pootočení. U zbytku bylo nutno zajistit opatření proti pootočení, jelikož vyhazovače jsou přizpůsobeny svým tvarem k tomu, aby měly stejnou geometrii jako dutina a nedošlo k narušení tvaru výrobku. Zamezení pootočení bylo realizováno pomocí úpravy hlavy vyhazovače, ta byla upravena do tvaru písmena D. Tím se zajistí i správná instalace a nedojde ke špatnému instalování vyhazovače. Vyhazovače jsou uloženy v kotevní desce, kde jsou zajištěny opěrnou deskou. Desky jsou spojeny šrouby a vystředěny vodícími pouzdry vůči sobě.

Vyhazovače, které slouží k vyhození vtokového zbytku společně s dalším, jenž je umístěný ve středu výrobku, mají průměr 4 mm, ostatní vyhazovače mají průměr 2 mm.



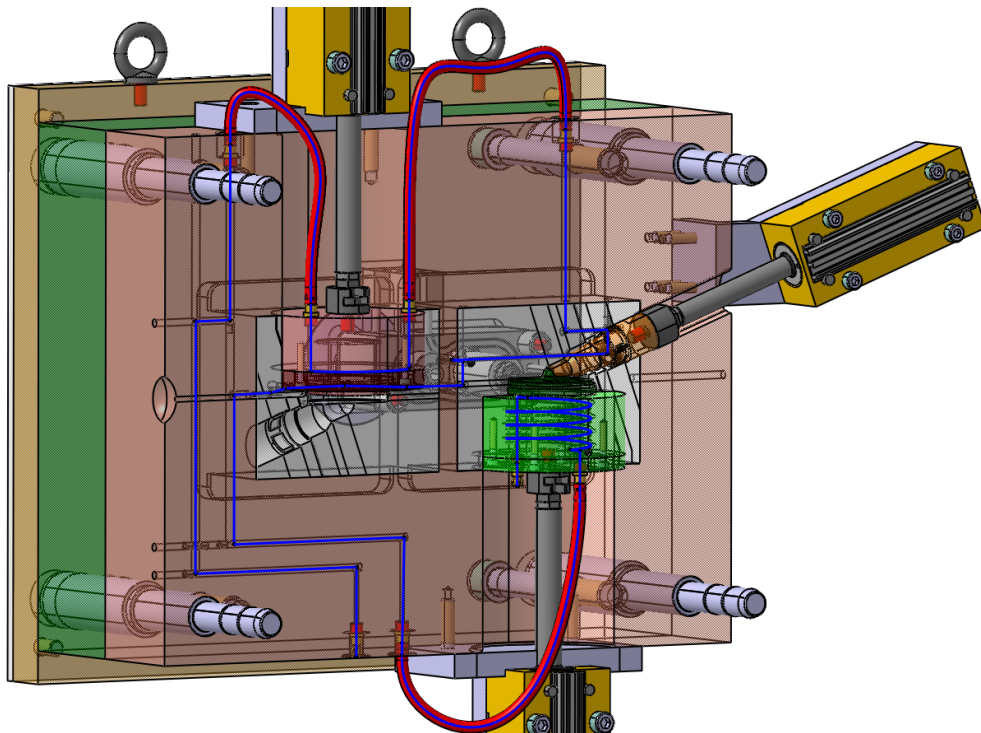
Obr. 36 Vyhozovací systém

8.6 Temperační systém

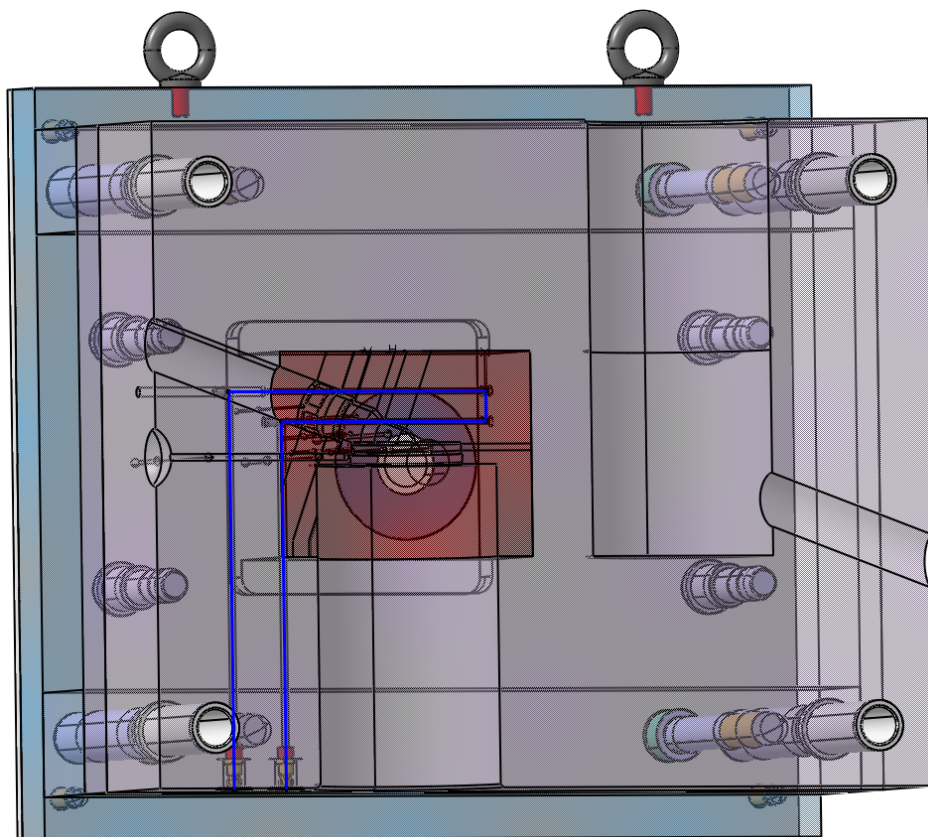
Temperační systém se skládá ze dvou samostatných okruhů, přičemž všechny kanály jsou vrtány, kromě tvarových jader, kde byla temperace vyrobena frézováním. Všechny kanály mají průměr 6 mm, přičemž se u celého temperačního systému byly dodrženy předepsané rozestupy mezi jednotlivými kanály a vzdálenost od stěn vstřikovaného výrobku. Obvyklá vzdálenost mezi osami kanálu je 18 mm, od stěn výrobku je to 12 mm.

Nutností bylo vyřešit chlazení jader, kde nebylo možné zavést temperaci přímo do desky formy. Tudíž byla navržena spirála, která je spojena s temperačním okruhem hadic. Hadice nepřekáží formě, jelikož je zde otvor na posuvné čelisti. U druhé jádra bylo nutné opět provést chlazení, jelikož na tvárníku nebylo kde umístit temperační kanály, proto byl navržen kanál, který tvoří téměř půlkruh. Opět je jádro propojeno pomocí hadic.

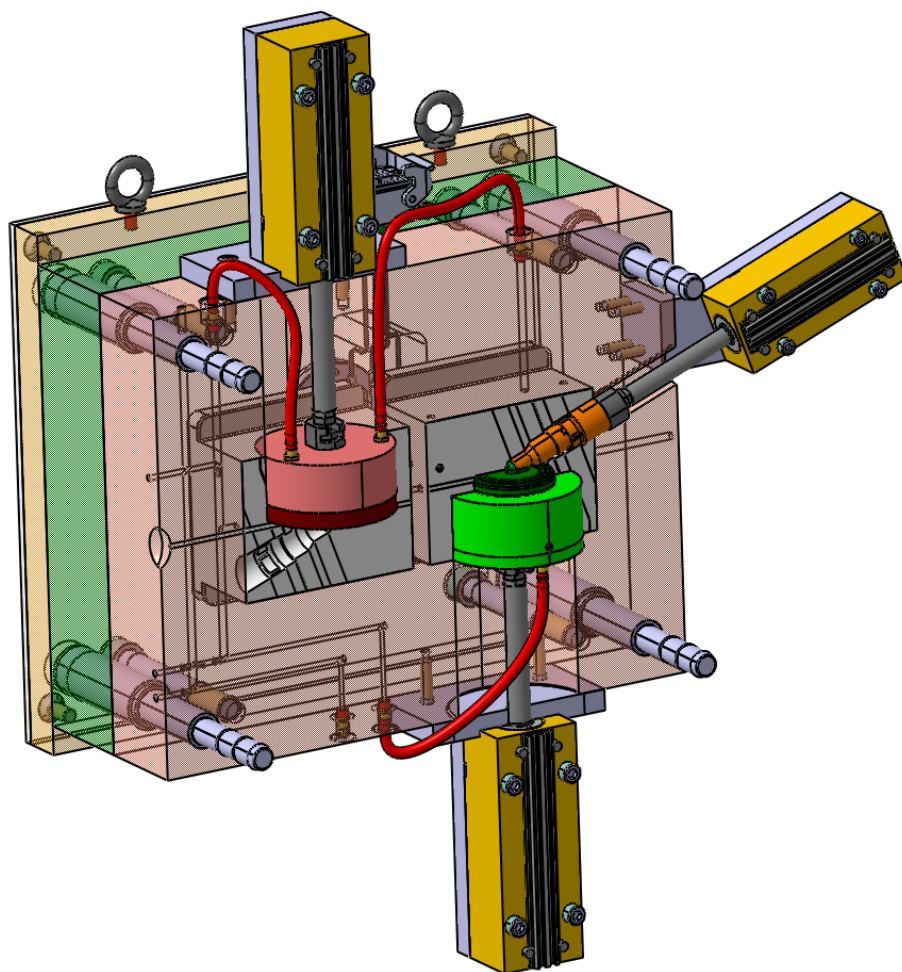
Z důvodu definování směru toku temperačního média byly použity záslepky E 7021 od výrobce Meusburger, které se instalují pomocí speciálního nástavce a kladívka, kterým se klepe na kuličku v záslepce.



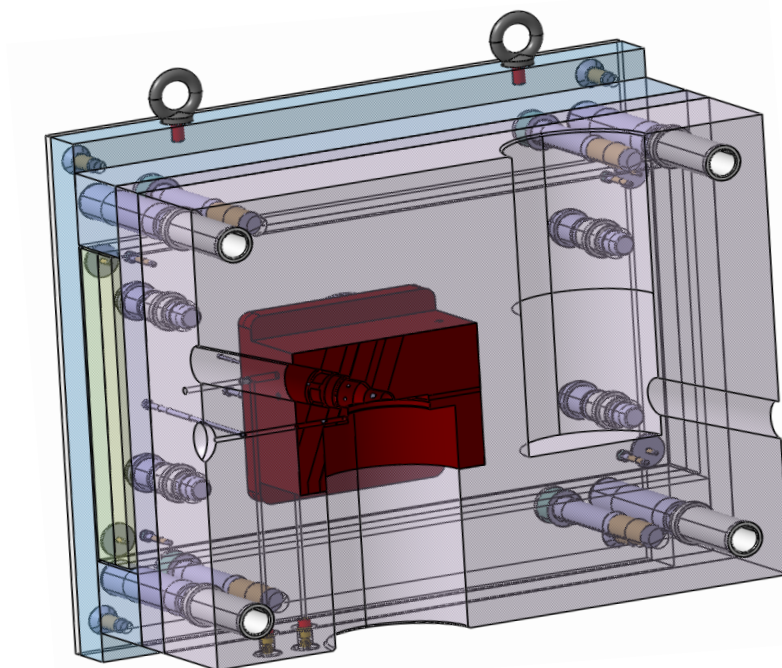
Obr. 37 První okruh vyhazovacího systému



Obr. 38 Druhý okruh vyhazovacího systému



Obr. 39 Pohled na nepohyblivou stranu formu



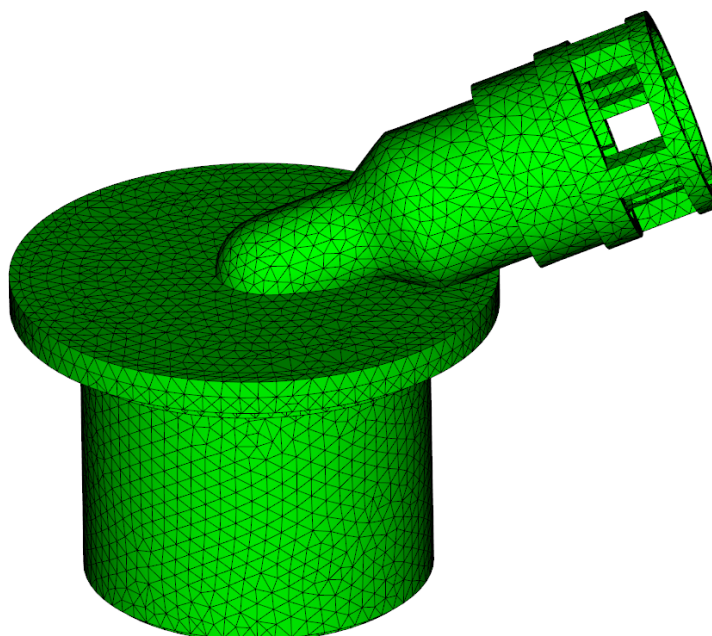
Obr. 40 Pohled na pohyblivou stranu formu

9 ANALÝZA DÍLU Z PA12

Dle zadání bude konstrukční návrh vícekomponentní formy ověřen pomocí analýzy. Nejprve byla provedena analýza hlavního dílu z materiálu PA12. Výrobek je zkonstruován v programu Catia a poté převeden do formátu *.stl., kdy byl zbaven všech technologických rádiusů do a včetně velikosti 2 mm. Samostatná analýza probíhala v programu Moldflow Synergy.

9.1 Tvorba a kontrola sítě

Na Obr. 41 je zobrazen dílec, na kterém je již vytvořená síť. Typ sítě byl zvolen Dual domain (2,5D síť), kdy se jedná o nejlepší kompromis mezi přesností a náročností výpočtu.



Obr. 41 Model převedený na síť

Základní nutností kvalitního výpočtu je mít kvalitně vytvořenou síť. Proto je tedy nutno provést kontrolu sítě, kdy k tomuto účelu slouží funkce Mesh static, kde jsou uvedeny všechny důležité informace o síti. Parametry správné sítě, které je nutno zkontrolovat jsou Maximum Aspect Ratio, které není větší než 15 (20 krajní hranice) a parametr Average Aspect Ration je menší než 3. Dále je nutno kontrolovat hodnoty Match percentage, které nesmí být menší než 80 %.

Na níže uvedeném obrázku (Obr. 42) je vidět, že všechny podmínky byly splněny.

```
Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles          14954
  Connected nodes   7471
  Connectivity regions 2

  Invisible triangles          424

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
  Surface Area:      324.421 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         40.3701 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    9.98     1.67     1.16

Edge details:
  Free edges          0
  Manifold edges     22431
  Non-manifold edges 0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 45
  Fully overlapping elements 0

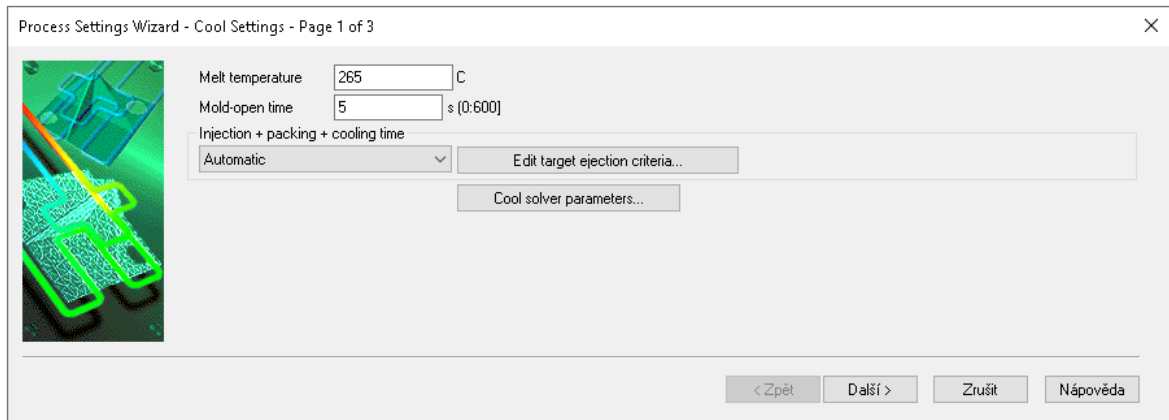
Match percentage:
  Match percentage     92.4%
  Reciprocal percentage 93.2
```

Obr. 42 Statistika sítě

9.2 Nastavení procesních podmínek

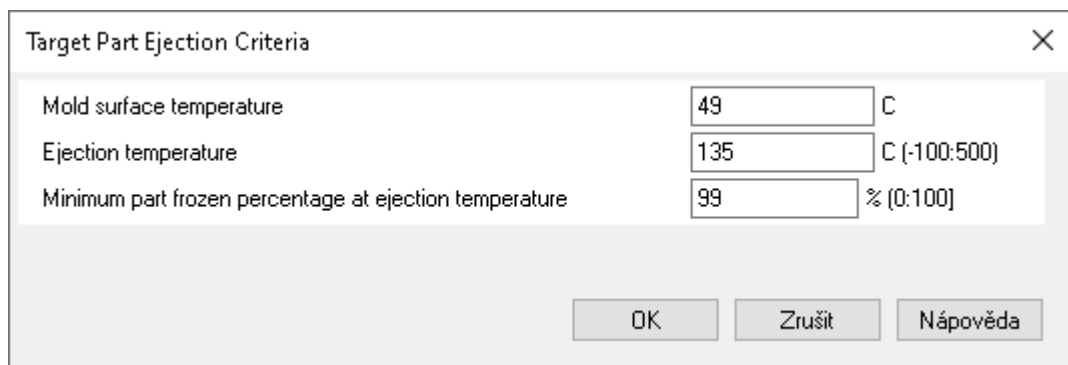
Nastavení procesních podmínek se provádí na základě parametrů materiálu a předběžné analýzy. Důležitými parametry, které se nastavují jsou teploty, a to jak formy, tak taveniny a vyhození. Dále se nastavuje čas plnění, fáze dotlaku a volba odpovídající vstřikovacího stroje.

V první části procesních podmínek byla nastavena teplota taveniny, konkrétně na teplotu 265 °C. Čas otevření formy je stanoven na pět sekund.



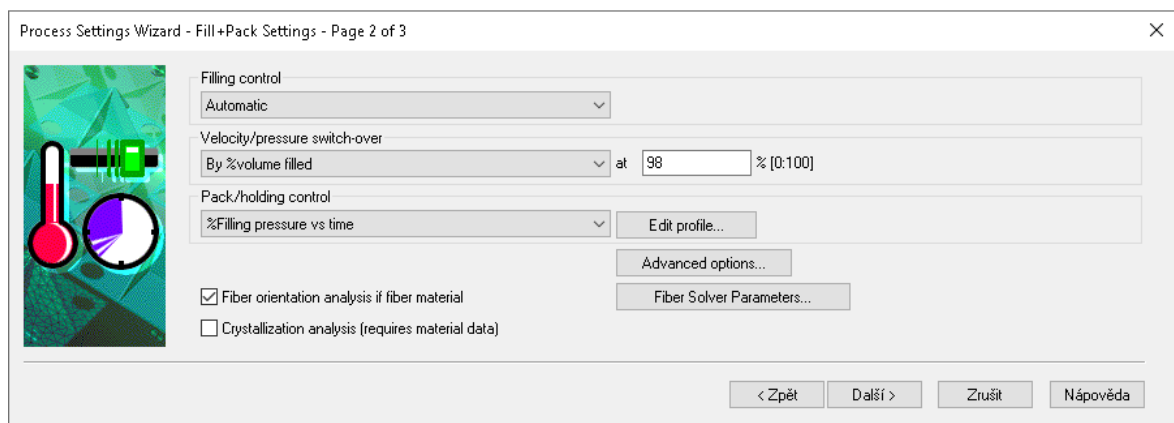
Obr. 43 První část procesních podmínek

Teplota povrchu formy je 55 °C, vyhazovací teplota polymeru z materiálového listu je 135 °C, přičemž minimální hodnota ztuhlých částic musí dosáhnout 99 %. Ovšem u nastavení těchto podmínek se dá říci, že je to trochu nepřesné, jelikož dojde ještě k otočení formy a dostříknutí druhého materiálu, tudíž výrobek stráví delší čas ve formě.

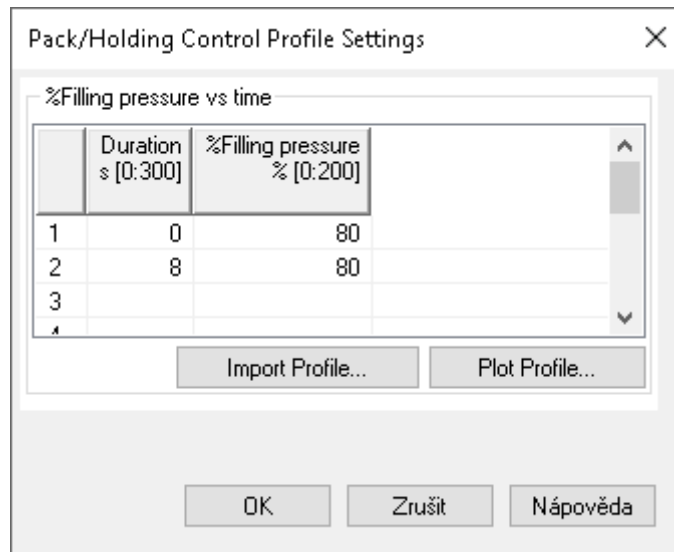


Obr. 44 Kritéria pro vyhození výrobku

V další části procesních podmínek byla nastavena automatická kontrola. Nastavení bodu přepnutí na dotlak z fáze plnění je stanoven, pokud je objemově zaplněno 98 % dutiny formy.

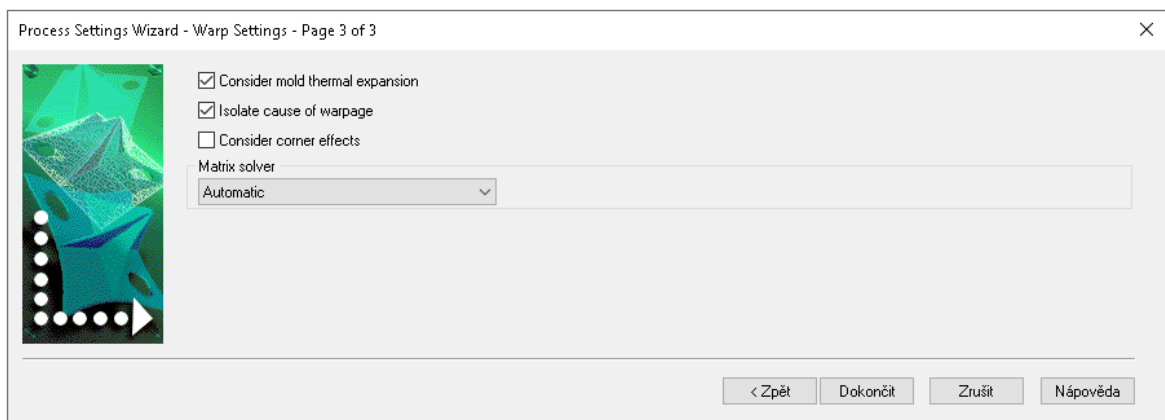


Obr. 45 Druhá část procesních podmínek



Obr. 46 Nastavení dotlaku

V poslední části nastavení procesních podmínek bylo stanoveno, že do výpočtu bude zahrnuta teplotní roztažnost formy, ale příčiny deformací budou izolovány.

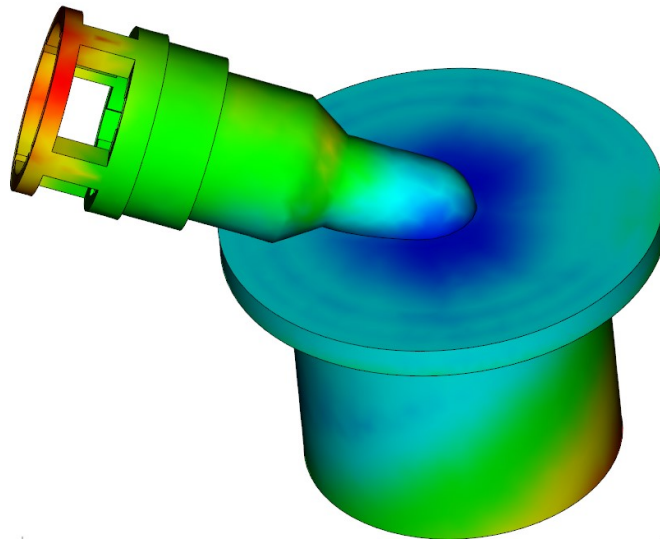


Obr. 47 Poslední část procesních podmínek

Pro oba temperační okruhy byly zvoleny stejné podmínky. Jako temperační medium byla zvolena čistá voda o teplotě 40 °C. Hodnota Reynoldsova čísla byla stanovena na 12 000, aby bylo zajištěno turbulentní proudění.

9.3 Analýza umístění vtoku

Na začátku je nutno zjistit místo vyhovující k plnění dutiny formy. Z tohoto důvodu se provádí analýza umístění vtokového systému.

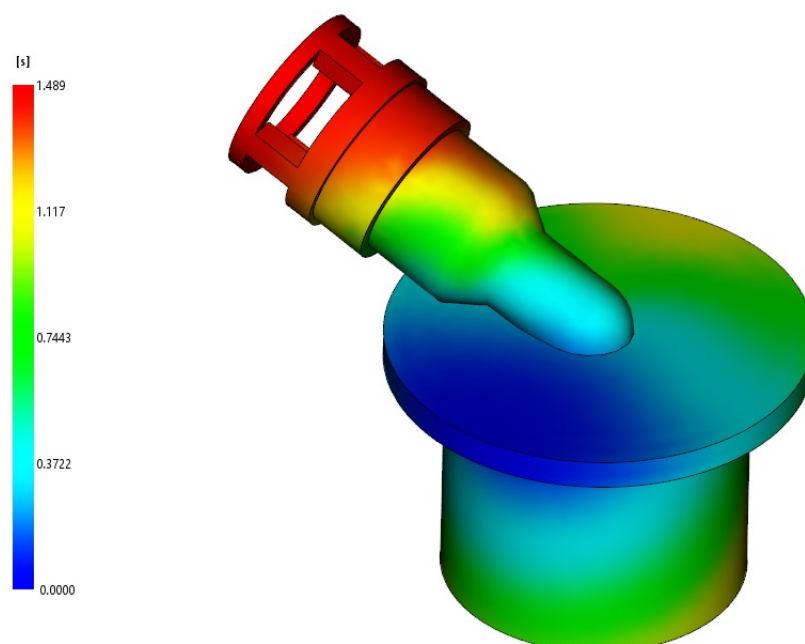


Obr. 48 Vhodnost umístění vtoku

Na Obr. 48 je zobrazen výsledek analýzy nejvhodnějšího umístění vtoku. Modrou barvou je vyznačeno místo s nejlepším umístěním vtoku, červená barva značí nejhorší místo.

9.4 Čas plnění

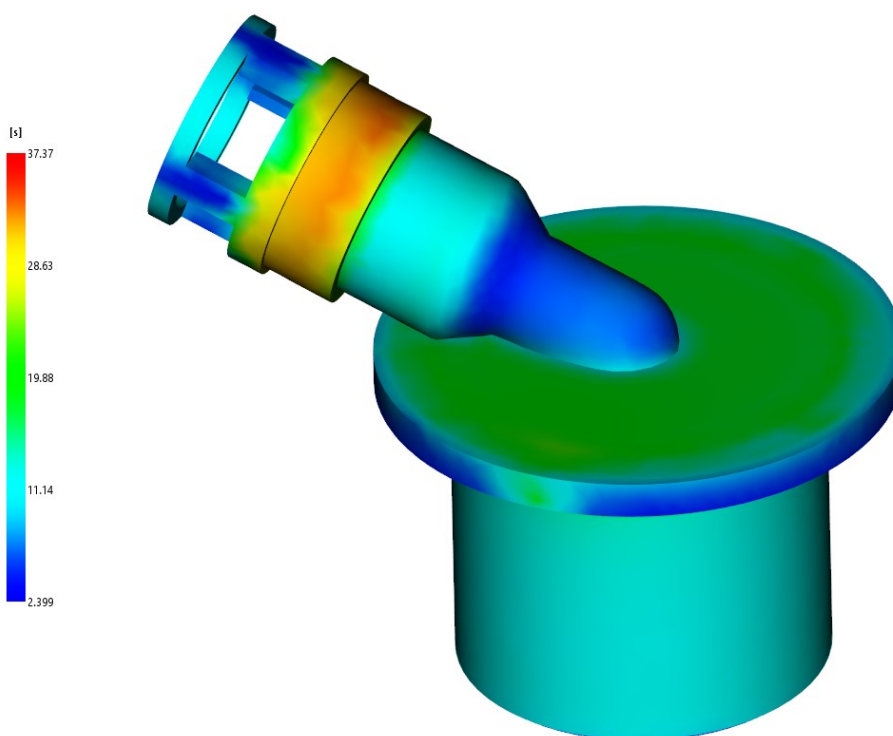
Analýza času plnění vyjadřuje dobu, která je nutná k plnému zaplnění dutiny. Největší hodnota času je 1,489 sekundy, tato hodnota je vyjádřena červenou barvou. Naopak nejkratší doba je zobrazena modrou barvou. Nejkratší čas plnění se nachází vtokový systém. Je to jeden z nejdůležitějších parametrů celé analýzy. Říká, kdy se dutina formy zaplní ještě předtím, než stihne materiál ztuhnout.



Obr. 49 Čas plnění

9.5 Potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty

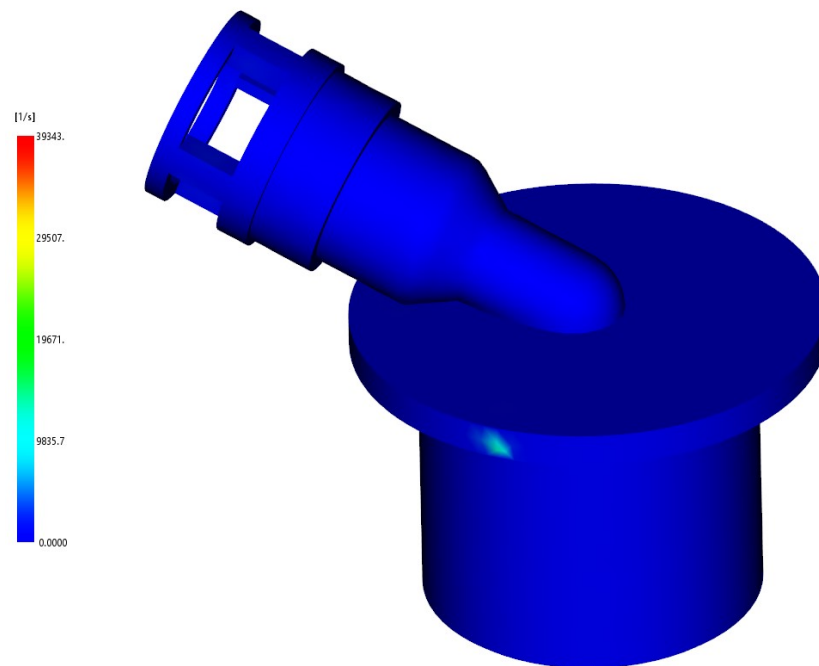
Výsledek analýzy času potřebného k dosažení vyhazovací teploty říká, kdy je možno bezpečně vyhodit výrobek. Díky této analýze lze určit vhodné místo pro umístění vyhazovačů. Jedná se především o místa, kde jsou tenké stěny, protože dojde k rychlejšímu ochlazení než u stěn tlustých. Z Obr. 50 je patrné, že na výrobku se nachází jedno kritické místo, kde je doba chlazení 37 sekund. Z toho lze usoudit, že zde se nebude nacházet vyhazovací systém. Ovšem výrobek se bude přesouvat ještě do druhé dutiny formy, kde se bude vstříkovat další část výrobku.



Obr. 50 Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty

9.6 Rychlost smykové deformace

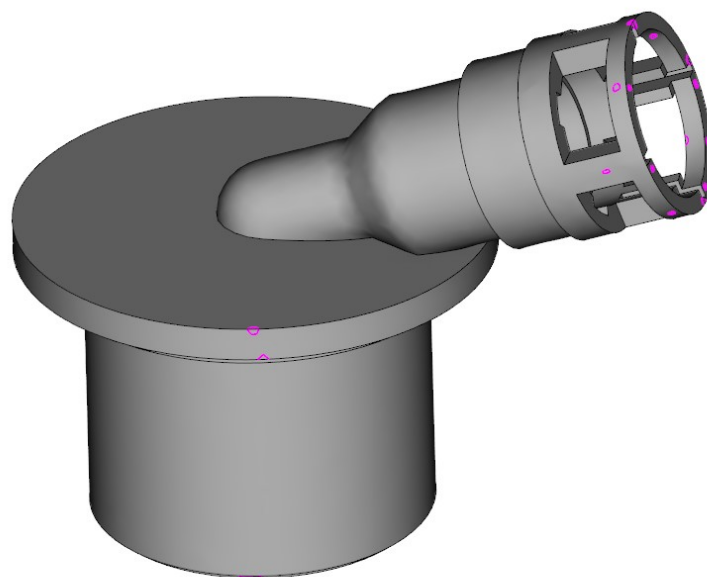
Z analýzy rychlosti smykové deformace je patrné, že největší smyková deformace nastala u místa, kde se nachází vtokové ústí. Jelikož je rychlost smykové deformace nižší než kritická hodnota, nebude docházet k případné degradaci materiálu. Maximální hodnota činí 39943 s^{-1} , kritická hodnota z materiálového listu činí $100\,000 \text{ s}^{-1}$.



Obr. 51 Rychlost smykové deformace

9.7 Vzduchové kapsy

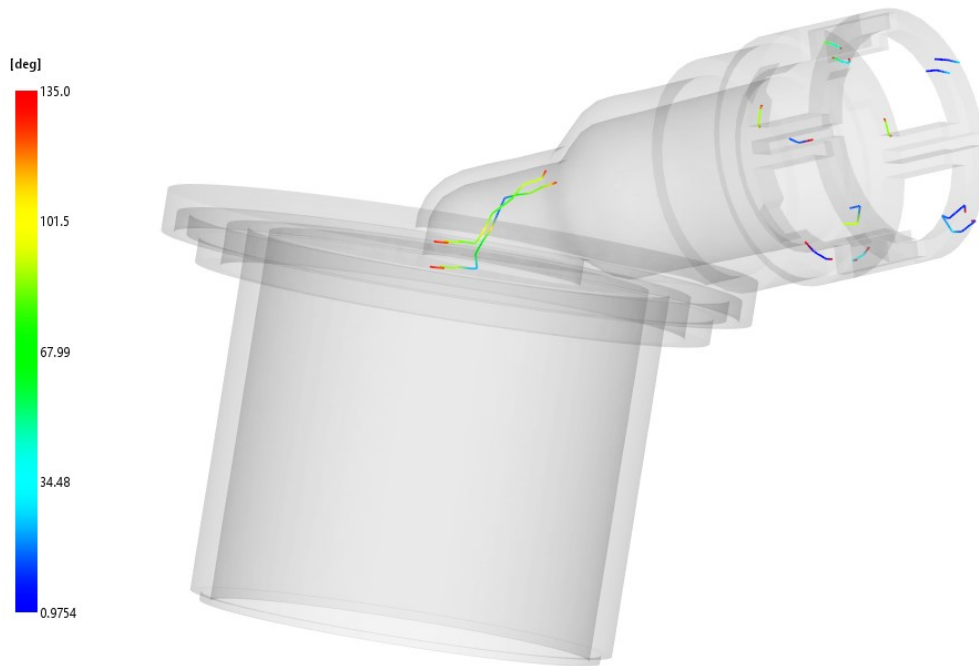
Vzduchové kapsy mohou mít velmi nepříznivé účinky na kvalitu výsledného produktu. V extrémních případech může vzniknout i diesel efekt, kdy na výrobku budou „spálená“ místa. Řešením je navrhnout dobré odvzdušnění formy či snížit vstřikovací tlak. Tím vzduch stihne uniknout pryč. Ovšem naroste vstřikovací cyklus, tím i cena výrobku, proto je nutno hledat kompromis. V místech, kde je dělicí rovina je možno zanedbat vzduchové kapsy.



Obr. 52 Vzduchové kapsy

9.8 Studené spoje

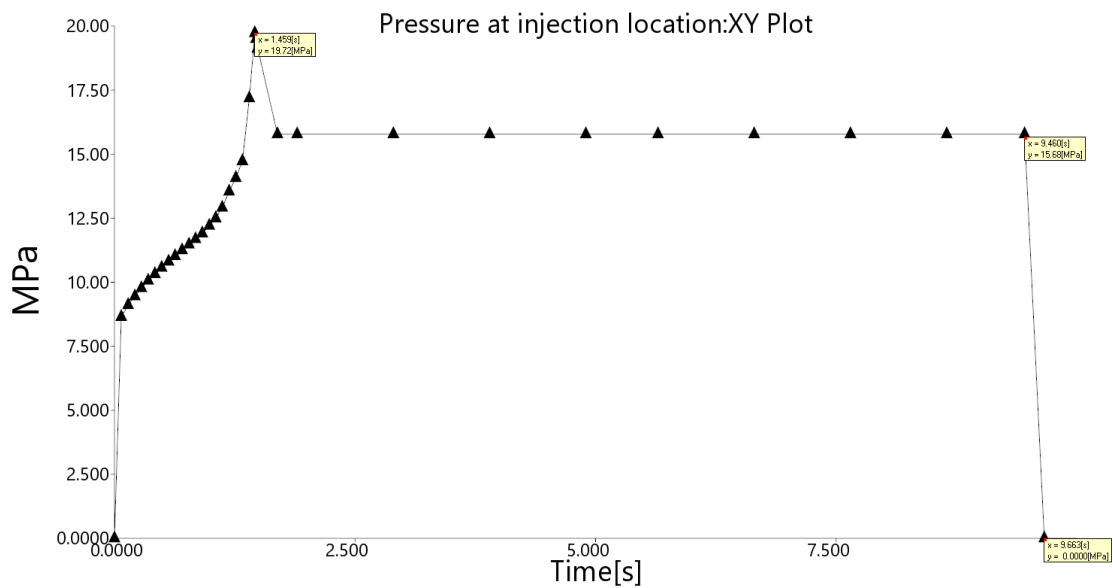
Studený spoj vzniká v místech, kde se setkají dvě čela taveniny. V těchto místech může vzniknout dutý prostor, kde může dojít uzavření vzduchu, což při velkých teplotách a tlacích může způsobit oxidaci polymeru a jeho degradaci. Řešením je například zvolit materiál s větším ITT, případné zvýšení teploty formy a taveniny.



Obr. 53 Studené spoje

9.9 Tlak v tokovém ústí

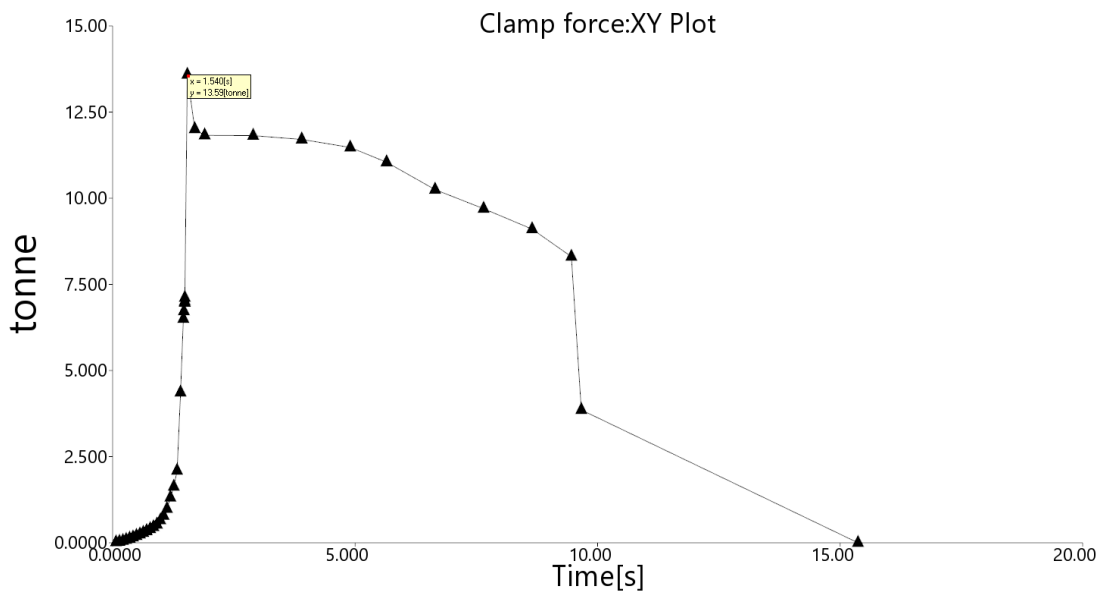
Na Obr. 54 je zobrazen graf závislosti tlaku na délce vstřikovacího cyklu. V procesních podmínkách bylo nastaveno přepnutí na dotlak jakmile se dutina formy zaplní z 98%. Z výsledku analýzy můžeme vyčíst, že přepnutí na dotlak došlo v čase 1,459 sekundy a hodnota byla 19,72 Mpa. Dotlak trval zhruba 14 sekund. Na jeho konci činila hodnota 15,68 MPa. Z grafu je dále možno vyčíst, že hodnota tlaku byla nulová, protože docházelo pouze k chlazení.



Obr. 54 Tlak v místě vtoku

9.10 Maximální uzavírací síla

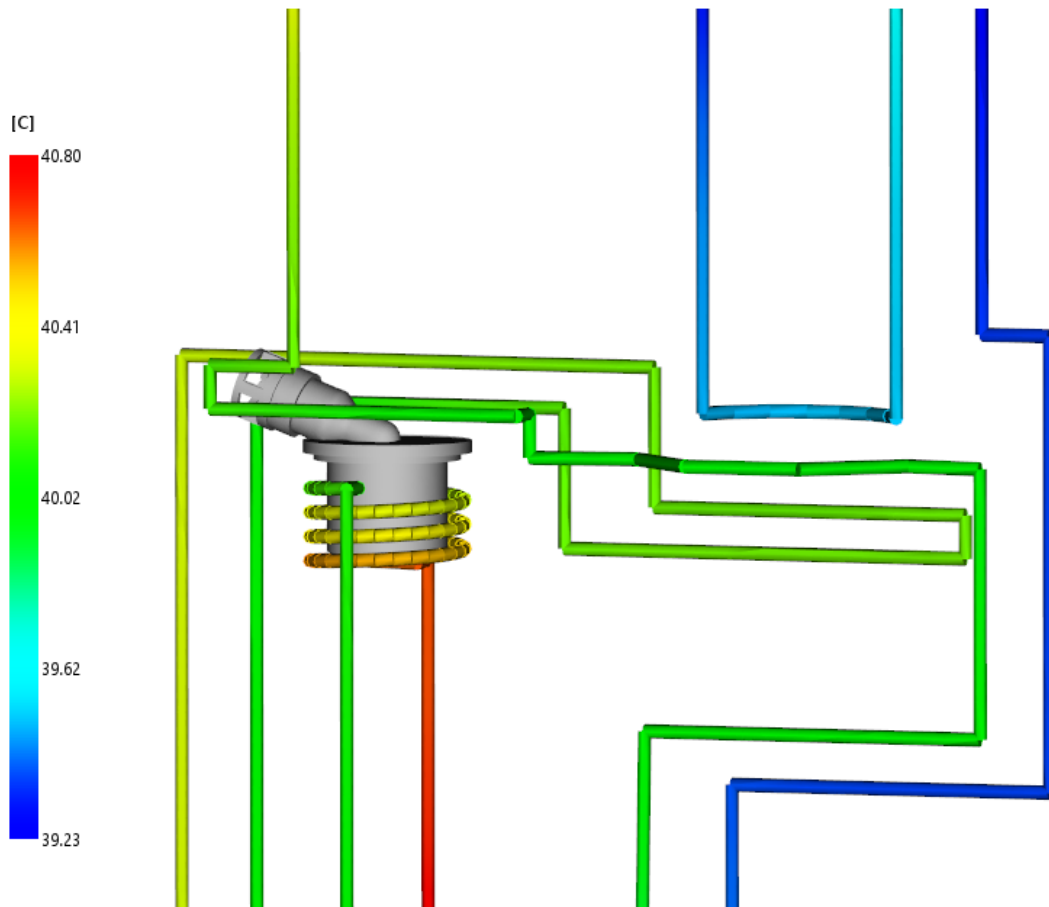
Jedním ze základních parametrů při výběru stroje je velikost maximální hodnoty uzavírací síly. Z analýzy vychází hodnota 135,6 kN (13,56 tun), přičemž stroj dokáže vyvinout maximální uzavírací 2200kN, tudíž zvolený vstřikovací stroj vyhovuje. Pakliže by stroj nevyvinul dostatečnou sílu, mohlo by dojít k otevření formy a tím by se poškodil výsledný dílec.



Obr. 55 Uzavírací síla

9.11 Teplota temperačního okruhu

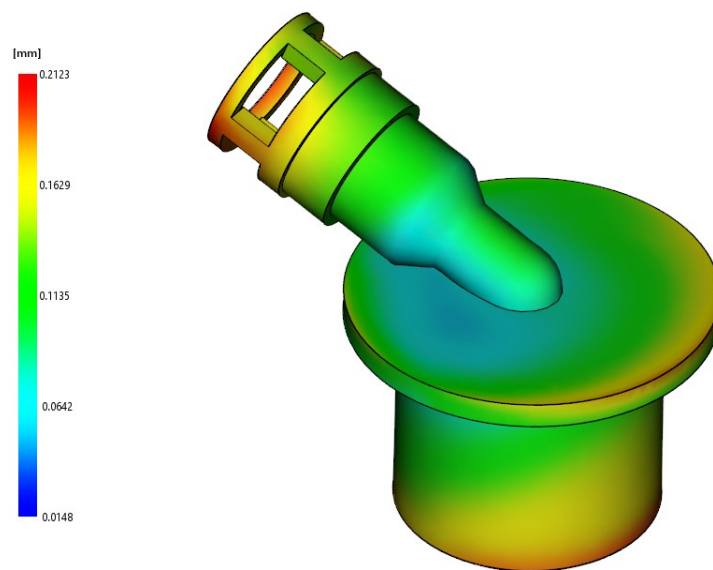
Z výsledku analýzy teploty temperačního okruhu, z kterého lze vyčíst, že maximální rozdíl mezi teplotami je přibližně 1,5 °C, což je stále v doporučeném intervalu.



Obr. 56 Teplota temperačního okruhu

9.12 Celková deformace vlivem všech jevů

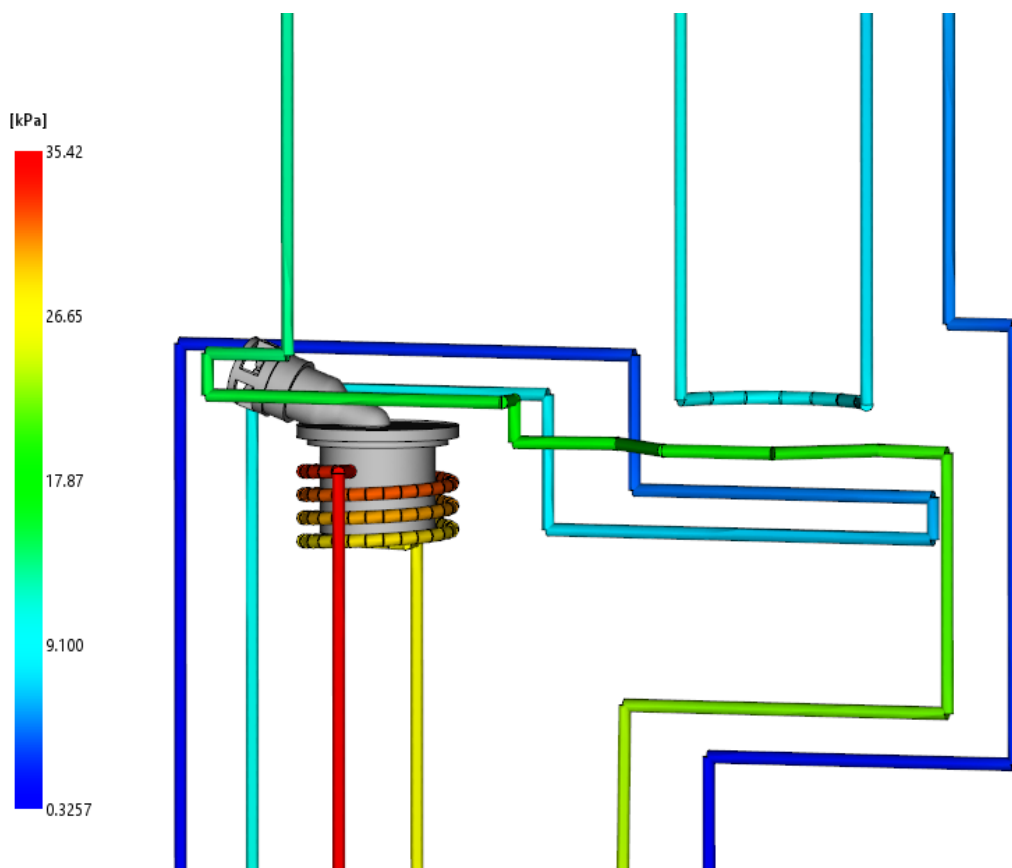
Na Obr. 57 je zobrazen výsledek analýzy celkové deformace vzniklé působením všech jevů. Červená místa na výrobku značí největší deformaci, která byla 0,2123 mm, a modrá místa značí deformaci blízkou nule. Při konstrukci je nutné brát zřetel na materiál a tím i na dobu chlazení. Deformace vznikla příliš rychlým chlazením. Řešením je úprava temperačního systému (snížení teploty, změna polohy kanálů) či správné nastavení dotlaku.



Obr. 57 Celková deformace

9.13 Tlak v temperačním okruhu

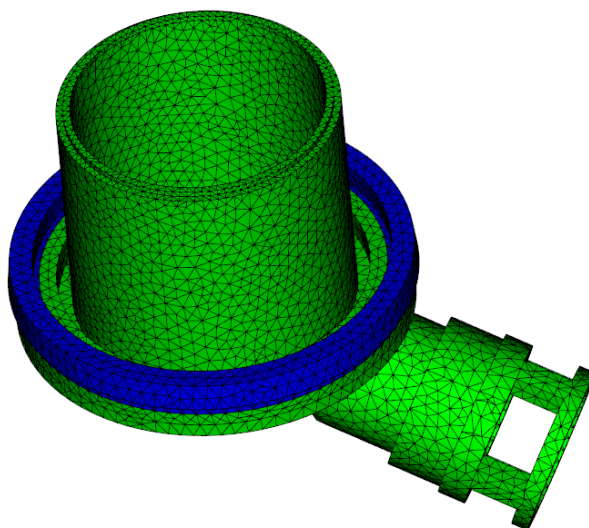
Na Obr. 58 je zobrazen výsledek analýzy tlaku v temperačním okruhu. Lze snadno vyčíst, že tlak na vstupu je největší a postupně se zmenšuje (spotřebovává). Čím je délka a tvarová složitost větší, tím více tlak klesá.



Obr. 58 Tlak v temperačním okruhu

10 ANALÝZA DÍLU Z PE-HD

Tvorba sítě probíhá podobně jako u dílu z PA12, ovšem rozdíl je v tom, že při tvorbě sítě je nutno použít funkci Precise Mesh, která zajišťuje správný kontakt mezi těmito dvěma díly. Tvorba sítě se nejprve provede pro 2,5D síť, která se upraví, aby se nevyskytovaly chyby a poté se převede na 3D síť. Poté se nastaví u prvního dílu vlastnosti všech elementů na Part Insert a zvolí se odpovídající materiál, tedy PA12, které je z 30 % plněno skelnými vlákny.



Obr. 59 Síť modelu

10.1 Procesní podmínky

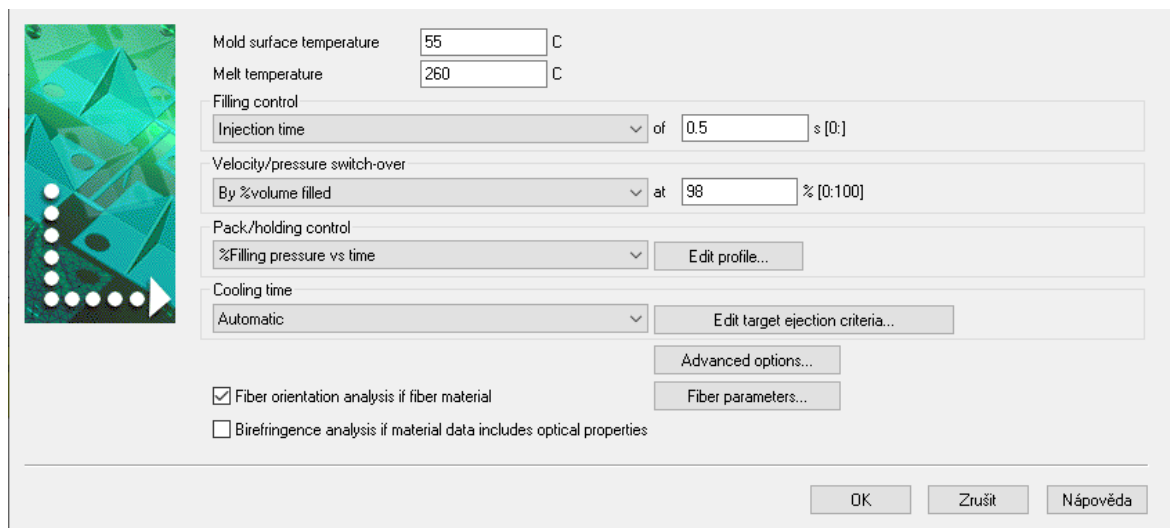
Nejprve se nastavily podmínky pro vyhození výrobku. Teplota formy byla nastavena na 55 °C, vyhazovací teplota z materiálového listu na 80 °C.

Target Part Ejection Criteria		×
Mold surface temperature	49	C
Ejection temperature	80	C (-100:500)
Minimum part frozen percentage at ejection temperature	99	% (0:100)

OK Zrušit nápověda

Obr. 60 Podmínky pro vyhození výrobku

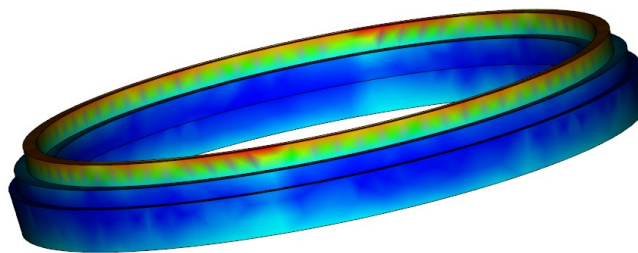
Poté se provedlo nastavení teploty taveniny, která se stanovila na 260 °C. Vstřikovací čas byl nastaven na 0,5 sekundy. Přepnutí na dotlak se děje při 98 % zaplnění dutiny formy.



Obr. 61 Nastavení procesních podmínek

10.2 Analýza umístění vtoku

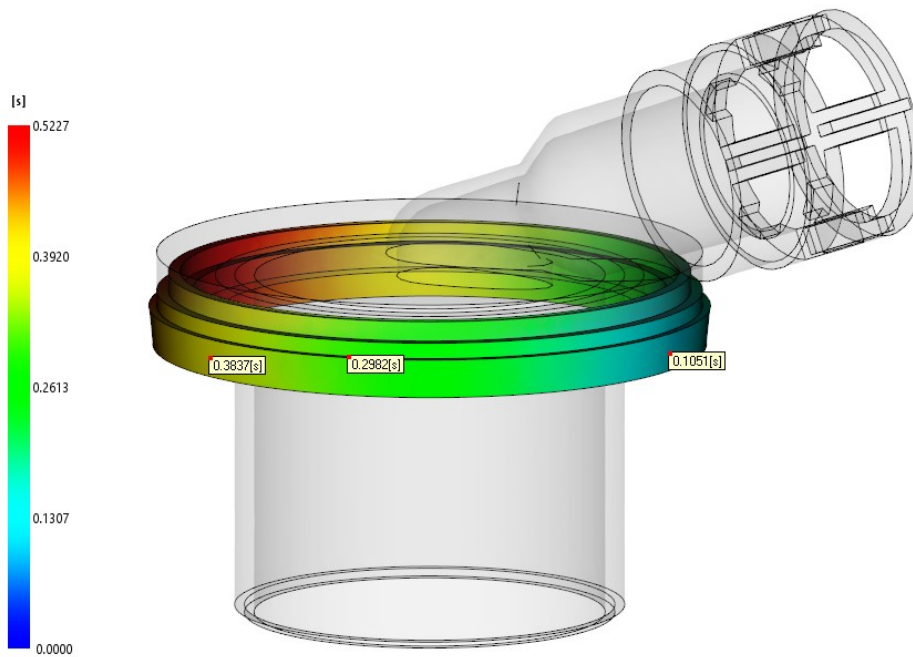
Na začátku se opět provedla analýza vhodného umístění vtoku. Z obrázku je patrné, že nejhorší místo k umístění je na mechanickém spoji z horní strany (červená barva). Naopak nejlepší je po obvodu viditelné části výrobku (modrá barva).



Obr. 62 Vhodnost umístění vtoku

10.3 Doba plnění

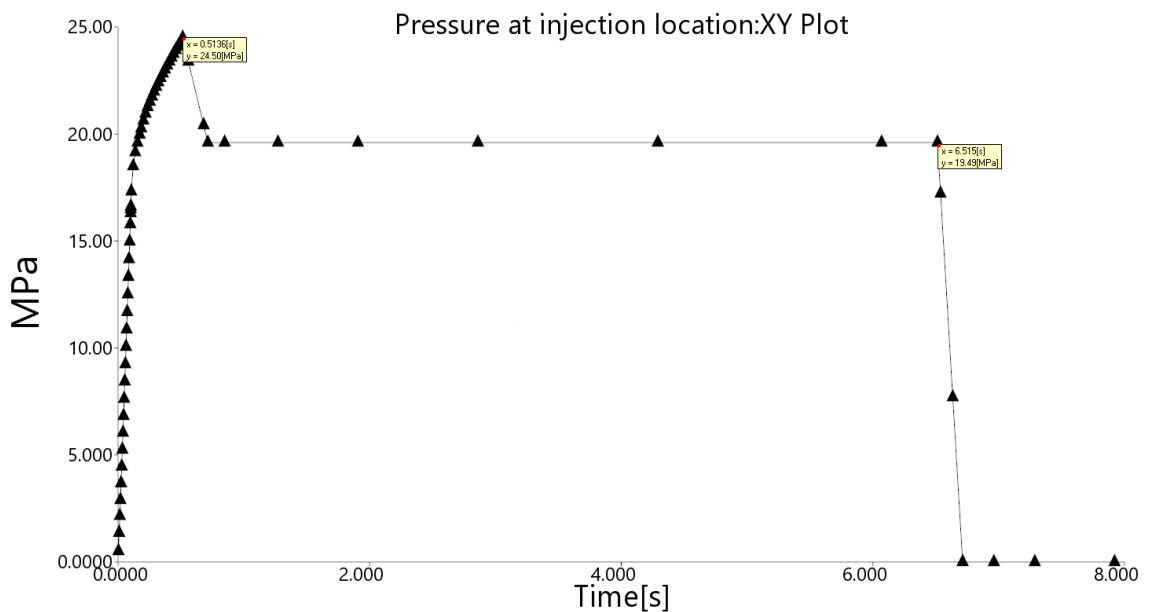
Z výsledku analýzy doby plnění, která je znázorněna graficky, lze vyčíst že výsledná doba je kratší než u prvního materiálu. To je především zapříčiněno objemem výrobku. Výsledná doba zaplnění dutiny formy je 0,5227 sekundy.



Obr. 63 Doba plnění

10.4 Tlak v místě vtoku

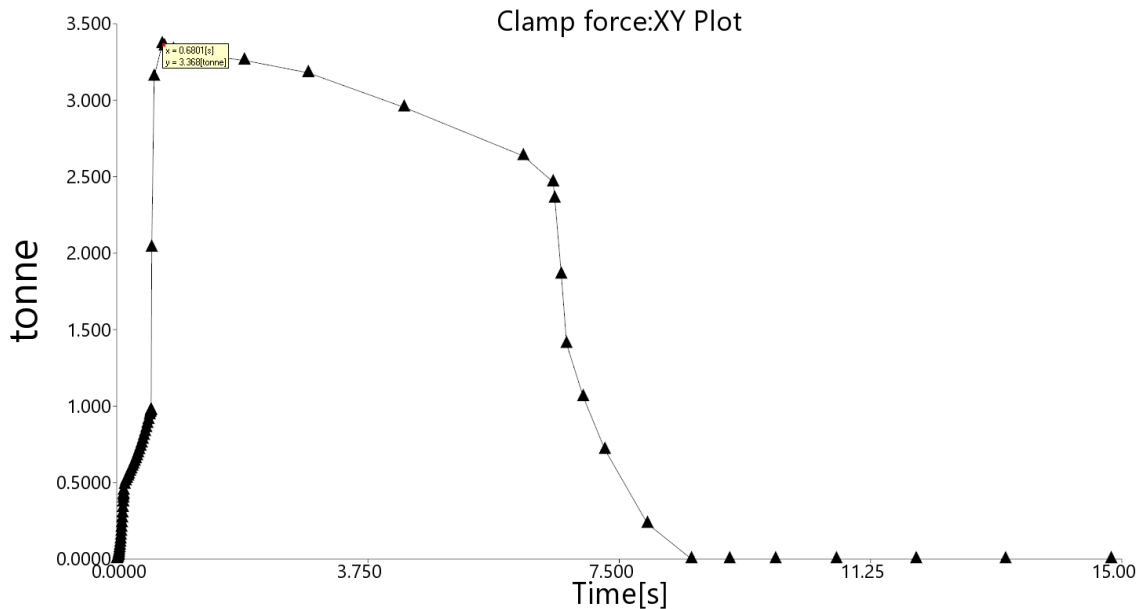
Z grafu závislosti tlaku v místě vtoku na čase lze vyčíst, že na přepnutí dotlaku došlo v čase 0,5136 sekundy, kdy jeho hodnota byla 24,5 Mpa. Dotlak přestal působit po zhruba 6 sekundách a jeho hodnota byla 19,49 Mpa.



Obr. 64 Tlak v místě toku

10.5 Průběh uzavírací síly

Z grafu lze vyčíst, že maximální potřebná uzavírací síla vychází menší než u prvního dílu. Její hodnota činila v čase 0,68 sekundy 33,68 kN (3,368 tuny). Proto lze říci, že zvolený vstřikovací stroj je vhodný, a to i po tom, co se přičetlo 20 % z bezpečnosti.



Obr. 65 Uzavírací síla

10.6 Rychlost smykové deformace

Z výsledku analýzy rychlosti smykové deformace lze vidět, že maximální hodnota je $10\,727\text{ s}^{-1}$, proto je patrné, že hodnota nepřesahuje maximální možnou, která byla vyčtena z materiálového listu ($65\,000\text{ s}^{-1}$), tudíž nedojde k degradaci materiálu vlivem vysoké smykové rychlosti.



Obr. 66 Rychlost smykové deformace

10.7 Smykové napětí na stěně

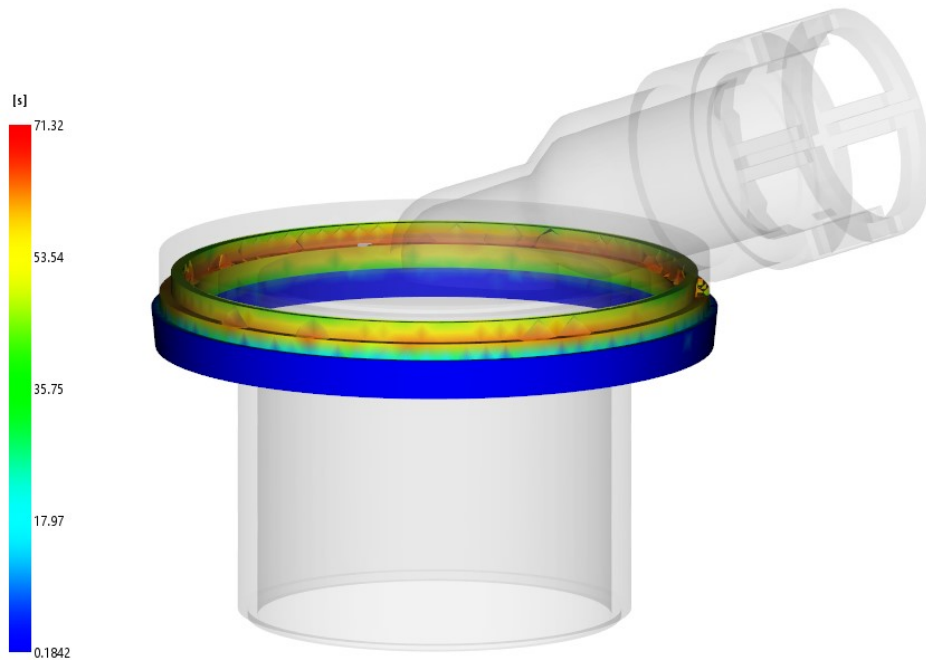
Maximální hodnota smykového napětí na stěně je 0,2163 MPa, což se nachází pod maximální možnou hodnotou, která činila u materiálu PE-HD 0,22 MPa. Smykové napětí na stěně je největší ve fázi plnění.



Obr. 67 Smykové napětí na stěně

10.8 Potřebný čas na dosažení vyhazovací teploty

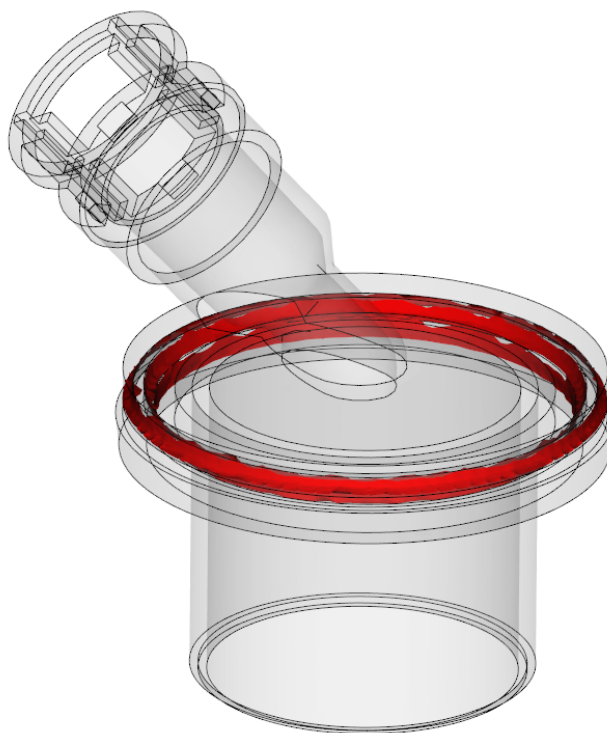
Tento výsledek udává čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty, která je u PE-HD 80 °C. Z obrázku je patrné, že nejvíce času pro dosažení teploty je v mechanickém spoji, což je zapříčiněno tím, že insert zde působí jako izolant, protože se jedná polymer. Ačkoliv se zdá čas 71,32 sekundy vysoký, vyhazovací systém je orientován na insert, který je již ochlazený a tudíž nedojde k poškození výrobku.



Obr. 68 Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty

10.9 Re-melt zone

Výsledek analýzy Re-melt zone, neboli opětovného natavení povrchu materiálu vlivem toho, jak se vstříkuje druhý materiál, konkrétně PE-HD, je dostupný pouze u dvoukomponentní analýzy. Z analýzy je patrné, že povrch se natavuje v místech, kde je vytvořené mechanické spojení.



Obr. 69 Opětovné natavení povrchu

11 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Hlavním cílem diplomové práce bylo provedení konstrukčního návrhu nástroje pro výrobu vícekomponentního dílu, který je používán v automobilovém průmyslu. Konkrétně se jednalo o ventil pro odvětrání klikové hřídele, který je umístěn na ventilovém víku. Díl se skládá ze dvou částí, přičemž hlavní část je vyrobena z PA12, který je plněný 30 % skelnými vlákny, těsnící část je vyrobena z PE-HD.

Zadaný díl byl nejprve zkonstruován do 3D modelu v softwaru CATIA V5R19, z kterého se poté vycházelo při tvorbě tvárníku, tvárnice a tvarových čepů, které byly vytvořeny v modulu Core and Cavity Design. Poté byl proveden konstrukční návrh vícekomponentní vstřikovací formy. Na začátek bylo nutné vyřešit rozmístění dutin ve formě s čímž se pojil odjezd tvarových jader, který je uskutečněný pomocí hydraulických válců E 7021, které jsou s čepem propojeny spojkou E 7084. Obě součásti byly použity od výrobce Meusburger. Před samostatnou konstrukcí formy byla pro obě části provedena analýza vhodného umístění vtoku. Pro první díl, tedy plastový insert, byl zvolen horký vtokový systém Meusburger E 4500. Pro druhou část výrobku byl zhotoven studený vtokový systém, který má kruhový průřez s průměrem 4 mm. U vtokového systému byly navrženy dva přidržovače. Ty se nachází na pohyblivé straně formy, aby zde zůstal vtokový zbytek po otevření formy a byl společně s výrobkem vyhozen. Přidržovač má tvar komolého kuželu s podstavou o průměru 5 mm. Aby nedocházelo k úniku taveniny při vstřikování prvního polymeru skrz tvárník, kde se nachází vtokový kanál pro studený vtokový systém, muselo dojít k zamezení prostoru. To bylo zajištěno posuvným tvarovým jádrem. Při návrhu řešení temperace byly zvoleny dva samostatné okruhy. Pro účinné chlazení insertu bylo nutno provést temperaci jádra, která byla uskutečněna pomocí spirály, která je připojena k okruhu pomocí hadice E 7451 od firmy Meusburger. Hadice je vyrobena z PU-H, přičemž maximální možná teplota temperačního média, které v ní proudí je 60 °C. Vzhledem k nastavení teploty temperačního média (vody) na 40 °C je vyhovující. U druhého materiálu bylo opět nutné vyřešit chlazení, jelikož z důvodu rozmístění vyhazovacího systému nebylo možno vytvořit temperační kanály v tvárníku. Proto byla temperace znovu umístěna do tvarového jádra, kde ovšem nyní tvoří necelý půlkruh. Jádro je opět propojeno stejnou hadicí k temperačnímu okruhu, který byl konstruován dle doporučených zásad z odborné literatury, tudíž vzdálenost od stěn výrobku byla zvolena na 12 mm, vzdálenost mezi osami jednotlivých kanálů je 18 mm. Veškeré kanály mají průměr 6 mm a jsou vrtány, kromě kanálů v jádrech, které jsou frézovány. Návrh vyhazovacího systému je realizovaný pomocí devíti válcových vyhazovacích kolíků Z40 od

společnosti HASCO, přičemž tři mají průměr 4 mm a zbývajících šest má průměr 2 mm. U kolíku bylo zajištěno zamezení pootočení během vstřikování, protože kopírují tvar dutiny formy. Hlava kolíku byla upravena do tvaru písmene D, čímž je zajištěna i správná instalace. Z výsledku analýzy času potřebného k dosažení vyhazovací teploty bylo zjištěno kritické místo, které se chladí 37 sekund. To by neměl být problém, vzhledem k tomu, že dochází k otočení formy a dostříknutí druhé části, jelikož se výrobek stihne ochladit a proběhne bezpečné vyhození. Ovšem z bezpečnostních důvodů byly dva vyhazovače přemístěny. Všechny kolíky se opírají o insert. Ten je při vyhození dostatečně ochlazený.

Konstrukční návrh byl ověřen pomocí analýz v simulačním softwaru Autodesk Moldflow Synergy. Nejprve se provedla analýza samostatného insertu. Z výsledků je patrné, že dojde k úplnému zaplnění dutiny v čase 1,489 sekundy. Při zkoumání smykové rychlosti byla zjištěna maximální hodnota $39\,343\text{ s}^{-1}$, která se nachází v místě toku. Nejvyšší dovolená hodnota z materiálového listu je $100\,000\text{ s}^{-1}$, proto nedojde k degradaci materiálu. Zvolený vstřikovací stroj je z hlediska uzavírací síly vyhovující, jelikož maximální potřebná je 135,6 kN, což i přitom, kdy se přičte rezerva 20 % je stále dostačující vzhledem k tomu, že stroj má hodnotu 220 kN. Nejvyšší hodnota potřebného tlaku dosáhla 19,72 MPa, přičemž stroj poskytuje 200 MPa. Z výsledku analýzy teploty v temperačním okruhu lze snadno vidět, že největší rozdíl v teplotách je zhruba $1,5\text{ °C}$, přičemž se nachází v doporučeném intervalu. Z celkové deformace vlivem všech parametrů je patrné, že maximální hodnota deformace je 0,2123 mm.

U druhé analyzované součásti byla nejprve zkoumána doba plnění dutiny formy, kdy celé zaplnění trvalo 0,52 sekundy. Při porovnání s první částí se jedná o kratší dobu. Tlak v místě toku dosáhl maximální hodnoty 24,5 MPa a maximální uzavírací síla činila 33,68 kN. Při zkoumání rychlosti smykové deformace a smykového napětí na stěně, nedojde k degradaci materiálu, jelikož hodnoty jsou nižší než kritické. Hodnota rychlosti smykové deformace nabývá největší hodnoty $10\,727\text{ s}^{-1}$, přičemž maximální je $65\,000\text{ s}^{-1}$. Smykové napětí na stěně má hodnotu 0,2163 MPa a nepřesáhne nejvyšší dovolenou 0,22 MPa. Čas, potřebný na dosažení vyhazovací teploty, je 71,32 sekundy. To se může zdát jako vysoký, ale tato hodnota se vyskytuje v místech, kde dochází k mechanickému spojení dvou součástí. Plastový insert zde působí jako izolant. V poslední části bylo zkoumané opětovné natavení povrchu, což se děje především po obvodu mechanického spoje.

Ze všech výsledků analýz lze usoudit, že konstrukční návrh je vyhovující.

ZÁVĚR

V teoretické části byl z počátku popsán proces vstřikování, včetně vstřikovacího stroje a cyklu. V návaznosti na to byla řešena konstrukce formy a problematika vad při vstřikování. Zde bylo u každé vady popsáno, jak se vada projevuje, čím ji předcházet a jak ji opravit. Poslední část obsahovala popis možností vícekomponentního vstřikování.

Praktická část obsahovala na úvod stanovení cílů, následně zadaný vícekomponentní díl byl zobrazen ve 3D modelu společně se základními charakteristikami materiálů. V návaznosti byla popsána volba vstřikovacího stroje, konkrétně typu Allrounder 570 S Multi-component od výrobce Arburg, který je doplněný o požadované parametry.

V další části je zobrazena samostatná konstrukce formy, kde jsou popsány jednotlivé tvarové části. Jelikož se jedná o komplexní systém, byl zde popsán i chod formy. Ten byl proveden pomocí obrázků a komentářů, ve kterých byly popsány jednotlivé kroky. V dané formě se nachází dva samostatné vtokové systémy, přičemž první je horký a slouží pro vstřikování insertu a druhý je studený a má za úkol dostříknutí zbývající části. Dále je popsán způsoben temperace, jež má dva samostatné okruhy. Aby bylo možné si lépe temperaci představit, jsou zde dva obrázky s vyznačenými dráhami, kudy proudí temperační médium. V závěru je popsán vyhazovací systém a jeho jednotlivé části. Celá konstrukce formy byla vytvořena v programu CATIA V5R19.

Pomocí softwaru Moldflow Synergy od společnosti Autodesk proběhlo ověření konstrukčního návrhu. Každý výsledek je samostatně okomentován a doplněn obrázkem výsledné analýzy. Výsledky jsou rozděleny na dvě kapitoly, první ukazuje výsledky vstřikovaného insertu z materiálu PA12, který je z 30 % plněný skelnými vlákny. Zároveň je zde uvedeno i nastavení procesních podmínek. Druhá kapitola obsahuje analýzy pro materiál PE-HD. Z výsledků je patrné, že volba vstřikovacího stroje proběhla správně, vzhledem k hodnotám uzavírací síly a vstřikovacího tlaku. Konstrukční návrh formy byl také proveden správně, jelikož nedochází k degradaci materiálu vlivem vysoké smykové rychlosti. Místa, kde jsou umístěny vyhazovače, budou ochlazeny ještě před samostatným vyhozením. Z analýz se dá vyčíst, že dojde k úplnému zaplnění dutiny formy.

Nakonec byla vytvořena výkresová dokumentace návrhu vstřikovací formy společně s kusovníkem, která se nachází v příloze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033
- [2] 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
- [3] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
- [4] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, [2018], xx, 491 s. ISBN 9781569906453.
- [5] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 9781569906194.
- [6] TRES, Paul. *Designing Plastic Parts for Assembly* [online]. 8th Edition. Hanser Publishers, 2017 [cit. 2021-3-11]. ISBN 978-1-56990-668-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDPPAE001/designing-plastic-parts/designing-plastic-parts>
- [7] KAZMER, David. *Injection Mold Design Engineering* [online]. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2021-3-12]. ISBN 978-1-56990-570-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDEE002/injection-mold-design/injection-mold-design>
- [8] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow Analysis of Injection Molds* [online]. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2013 [cit. 2021-3-21]. ISBN 978-1-56990-512-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFAIME003/flow-analysis-injection/flow-analysis-injection>
- [9] VIJAY K., Stokes. *Introduction to Plastics Engineering* [online]. 2020 Edition. John Wiley, 2020 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIPE0003L/introduction-plastics/introduction-plastics>

- [10] DROBNY, Jiri George. *Handbook of Thermoplastic Elastomers* [online]. William Andrew Publishing/Plastics Design Library, 2007 [cit. 2021-3-21]. ISBN 978-0-8155-1549-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHTE0000A/handbook-thermoplastic/handbook-thermoplastic>
- [11] SOCIETY FOR THE ADVANCEMENT OF MATERIAL AND PROCESS ENGINEERING (SAMPE). *CAMX 2019 - The Composites and Advanced Materials Expo - We Form the Future, September 23-26, 2019, Anaheim Convention Center, Anaheim, CA* [online]. Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE), 2019 [cit. 2021-3-21]. ISBN 978-1-5231-2703-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCAMXTC32/camx-2019-composites/camx-2019-composites>
- [12] BIRON, Michel. *Thermoplastics and Thermoplastic Composites* [online]. 3rd Edition. Elsevier, 2018 [cit. 2021-3-22]. ISBN 978-0-08-102501-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTTCE001D/thermoplastics-thermoplastic/thermoplastics-thermoplastic>
- [13] YU, Wenbin, Pipes R. BYRON a Goodsell JOHNATHAN. *Proceedings of the American Society for Composites Thirty-Second Technical Conference* [online]. DEStech Publications, 2017 [cit. 2021-3-23]. ISBN 978-1-60595-418-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPASCTS21/proceedings-american/proceedings-american>
- [14] SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS. *ANTEC® 2016 - Proceedings of the Technical Conference & Exhibition, Indianapolis, Indiana, USA May 23-25, 2016* [online]. Society of Plastics Engineers, 2016 [cit. 2021-3-23]. ISBN 978-0-692-71961-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPF5NI913/antec-2016-proceedings/antec-2016-proceedings>
- [15] BI, Zhuming a Xiaoqin WANG. *Computer Aided Design and Manufacturing* [online]. John Wiley, 2020 [cit. 2021-3-23]. ISBN 978-1-119-53421-1. Dostupné z:

- <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCADM0004/computer-aided-design/computer-aided-design>
- [16] *11 INJECTION MOLDING DEFECTS AND HOW TO PREVENT THEM* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.intouch-quality.com/blog/injection-molding-defects-and-how-to-prevent>
- [17] JOSÉ R. LERMA, Valero. *Plastics Injection Molding - Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices* [online]. Hanser Publishers, 2020 [cit. 2021-3-02]. ISBN 978-1-56990-689-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIMSMRB7/plastics-injection-molding/plastics-injection-molding>
- [18] *ANTEC 2014 - Proceedings of the Technical Conference & Exhibition, Las Vegas, Nevada, USA April 28-30, 2014* [online]. Society of Plastics Engineers, 2014 [cit. 2021-3-02]. ISBN 978-0-9850112-4-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpYCREEOO4/antec-2014-proceedings/antec-2014-proceedings>
- [19] OSSWALD, Tim. *Material Science of Polymers for Engineers* [online]. 3rd Edition. Hanser Publishers, 2012 [cit. 2021-3-02]. ISBN 978-1-56990-514-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
- [20] BAUR, Erwin, Tim A. OSSWALD a Natalie RUDOLPH. *Plastics Handbook - The Resource for Plastics Engineers* [online]. 5th Edition. Hanser Publishers, 2019 [cit. 2021-3-24]. ISBN 978-1-56990-559-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPHTRPEE2/plastics-handbook-resource/plastics-handbook-resource>
- [21] GOODSHIP, Vannessa, Bethany MIDDLETON a Ruth CHERRINGTON. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality - Structural Composites, Injection Molding, and 3D Printing* [online]. Elsevier, 2016 [cit. 2021-3-25]. ISBN 978-0-323-34061-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDMPCMSC1/design-manufacture-plastic/design-manufacture-plastic>
- [22] BONTEN, Christian. [online]. Hanser Publishers, 2019 [cit. 2021-5-11]. ISBN 978-1-56990-767-2. Dostupné z:

- <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPTIF0003/plastics-technology-introduction/plastics-technology-introduction>
- [23] GILBERT, Marianne. *Brydson's Plastics Materials* [online]. 8th Edition. Elsevier, 2017 [cit. 2021-3-25]. ISBN 978-0-323-35824-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBPME0001/brydsons-plastics-materials/brydsons-plastics-materials>
- [24] KULKARNI, Suhas. *Robust Process Development and Scientific Molding - Theory and Practice* [online]. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2017 [cit. 2021-3-25]. ISBN 978-1-56990-586-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRPDSMT03/robust-process-development/robust-process-development>
- [25] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. *Injection Molding Process Control, Monitoring, and Optimization* [online]. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2021-3-25]. ISBN 978-1-56990-592-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMPCMO09/injection-molding-process/injection-molding-process>
- [26] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to Make Injection Molds* [online]. 3rd Edition. 2001 [cit. 2021-4-01]. ISBN 978-3-446-21256-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds/how-make-injection-mold>
- [27] *Overmolding* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.shinesen-group.com/service/overmolding/>
- [28] DANGEL, Rainer. *Injection Moulds for Beginners* [online]. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2021-4-01]. ISBN 978-1-56990-631-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMB00004/injection-moulds-beginners/injection-moulds-beginners>
- [29] SCHILLER, Gary F. *Practical Approach to Scientific Molding* [online]. Hanser Publishers, 2018 [cit. 2021-4-01]. ISBN 978-1-56990-686-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPASM0012/practical-approach-scientific/practical-approach-scientific>

- [30] *Injection Mold Flaws & How to Prevent Them: Flow Lines, Knit Lines, & Blush* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://chem-pak.com/preventing-flow-knit-lines-blush/>
- [31] *Top-10 Injection Molding Defects And How To Fix Them* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them>
- [32] OSSWALD, Tim A., Erwin BAUR, Sigrid BRINKMANN, Karl OBERBACH a Ernst SCHMACHTENBERG. *International Plastics Handbook - The Resource for Plastics Engineers* [online]. 4th Edition. Hanser Publishers, 2006 [cit. 2021-4-09]. ISBN 978-1-56990-399-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIPHTRPE2/international-plastics/international-plastics>
- [33] *Troubleshooting Short Shots In Injection Molding Increases Production Performance* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.improve-your-injection-molding.com/troubleshooting-short-shots.htm>
- [34] *Multi-component injection moulding* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/products-and-services/injection-moulding/processes/multi-component-injection-moulding/#!/prettyPhoto>
- [35] *EJECTORS AND CORE PINS* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/CS/CZ/mould-making/ejectors-and-core-pins?dfSchlagwort=F_ANWENDUNGSBEREICHE
- [36] *Vyhazovací sestava a vyhazovače* [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	procento
MPa	megapaskal
s	sekunda
g	gram
mm	milimetr
kN	kilonewton
°C	stupeň celsia
3D	trojrozměrný objekt
2D	dvojrzměrný prostor
PA12	Polyamid 12
PE	Polyethylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vstřikovací stroj [25]</i>	12
<i>Obr. 2 Vstřikovací cyklus [20]</i>	14
<i>Obr. 3 Vtokový zbytek u studeného vtokového systému [28]</i>	16
<i>Obr. 4 Doporučené rozměry pro rozmístění kanálů [29]</i>	17
<i>Obr. 5 Přepážky pro chlazení jader [29]</i>	18
<i>Obr. 6 Typy vyhazovačích kolíků [35]</i>	20
<i>Obr. 7 Typy pneumatických vyhazovačů [36]</i>	20
<i>Obr. 8 Spálenina [4]</i>	22
<i>Obr. 9 Delaminace [4]</i>	23
<i>Obr. 10 Jetting [4]</i>	24
<i>Obr. 11 Správné plnění dutiny formy [4]</i>	25
<i>Obr. 12 Tokové čáry [31]</i>	27
<i>Obr. 13 Neúplný výstřik [33]</i>	28
<i>Obr. 14 Schematické rozdělení vícekomponentní vstřikování [5]</i>	29
<i>Obr. 15 Rotující forma používaná k výrobě vícekomponentních vstřikovaných dílů [19]</i> ..	31
<i>Obr. 16 Schematické zobrazení overmoldingu pomocí posuvného jádra [19]</i>	31
<i>Obr. 17 Kompatibilita materiálu pro vícekomponentní vstřikování [6]</i>	32
<i>Obr. 18 Příklady výrobků vyrobených technologií overmolding [27]</i>	33
<i>Obr. 19 Princip vstřikování sendvičů [19]</i>	34
<i>Obr. 20 Princip souběžného vstřikování [5]</i>	35
<i>Obr. 21 3D model součásti</i>	38
<i>Obr. 22 Stroj pro vícekomponentní vstřikování ve verzi L [34]</i>	39
<i>Obr. 23 Celkový pohled na vstřikovací formu</i>	40
<i>Obr. 24 První a druhá tvárnice včetně posuvných tvarových jader</i>	41
<i>Obr. 25 Části prvního tvarového jádra</i>	41
<i>Obr. 26 Části druhé tvarového jádra</i>	42
<i>Obr. 27 Rozložení tvarových jader ve formě</i>	42
<i>Obr. 28 Válec se spojkou</i>	43
<i>Obr. 29 Odjezd prvního a bočního jádra</i>	43
<i>Obr. 30 Směr otáčení formy</i>	44
<i>Obr. 31 Odjezd druhého tvarového jádra</i>	44
<i>Obr. 32 Otevřená forma připravena na vyhození</i>	45
<i>Obr. 33 Blok horkého vtokového systému</i>	46
<i>Obr. 34 Studený vtokový systém</i>	46

<i>Obr. 35 Zamezení vytečení polymeru</i>	47
<i>Obr. 36 Vyhazovací systém</i>	48
<i>Obr. 37 První okruh vyhazovacího systému</i>	49
<i>Obr. 38 Druhý okruh vyhazovacího systému</i>	49
<i>Obr. 39 Pohled na nepohyblivou stranu formu</i>	50
<i>Obr. 40 Pohled na pohyblivou stranu formu</i>	50
<i>Obr. 41 Model převedený na síť</i>	51
<i>Obr. 42 Statistika sítě</i>	52
<i>Obr. 43 První část procesních podmínek</i>	53
<i>Obr. 44 Kritéria pro vyhození výrobku</i>	53
<i>Obr. 45 Druhá část procesních podmínek</i>	53
<i>Obr. 46 Nastavení dotlaku</i>	54
<i>Obr. 47 Poslední část procesních podmínek</i>	54
<i>Obr. 48 Vhodnost umístění vtoku</i>	55
<i>Obr. 49 Čas plnění</i>	55
<i>Obr. 50 Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty</i>	56
<i>Obr. 51 Rychlost smykové deformace</i>	57
<i>Obr. 52 Vzduchové kapsy</i>	57
<i>Obr. 53 Studené spoje</i>	58
<i>Obr. 54 Tlak v místě vtoku</i>	59
<i>Obr. 55 Uzavírací síla</i>	59
<i>Obr. 56 Teplota temperačního okruhu</i>	60
<i>Obr. 57 Celková deformace</i>	61
<i>Obr. 58 Tlak v temperačním okruhu</i>	61
<i>Obr. 59 Síť modelu</i>	62
<i>Obr. 60 Podmínky pro vyhození výrobku</i>	62
<i>Obr. 61 Nastavení procesních podmínek</i>	63
<i>Obr. 62 Vhodnost umístění vtoku</i>	63
<i>Obr. 63 Doba plnění</i>	64
<i>Obr. 64 Tlak v místě toku</i>	64
<i>Obr. 65 Uzavírací síla</i>	65
<i>Obr. 66 Rychlost smykové deformace</i>	66
<i>Obr. 67 Smykové napětí na stěně</i>	66
<i>Obr. 68 Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty</i>	67
<i>Obr. 69 Opětné nastavení povrchu</i>	68

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Vybrané vlastnosti materiálů</i>	38
<i>Tab. 2 Parametry stroje</i>	39

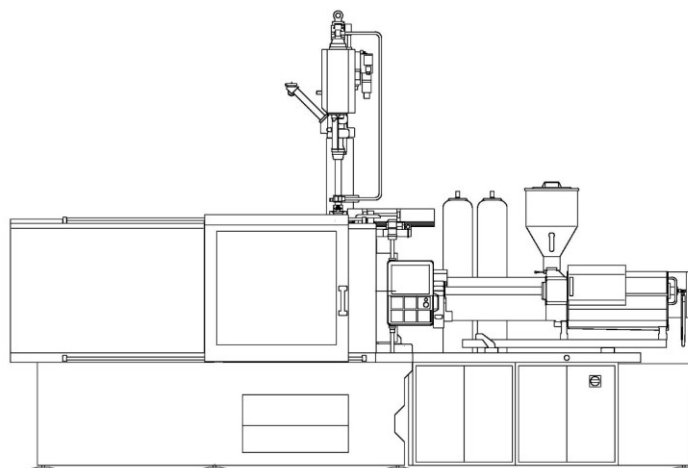
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Technické parametry zvoleného vstřikovacího stroje

Příloha P II: Výkresová dokumentace:

- Sestava formy s kusovníkem
- Pohled na pravou a levou stranu formy

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍ STROJE



ALLROUNDER 570 S

Multi-component

Distance between tie bars: 570 x 570 mm

Clamping force: 2200 kN

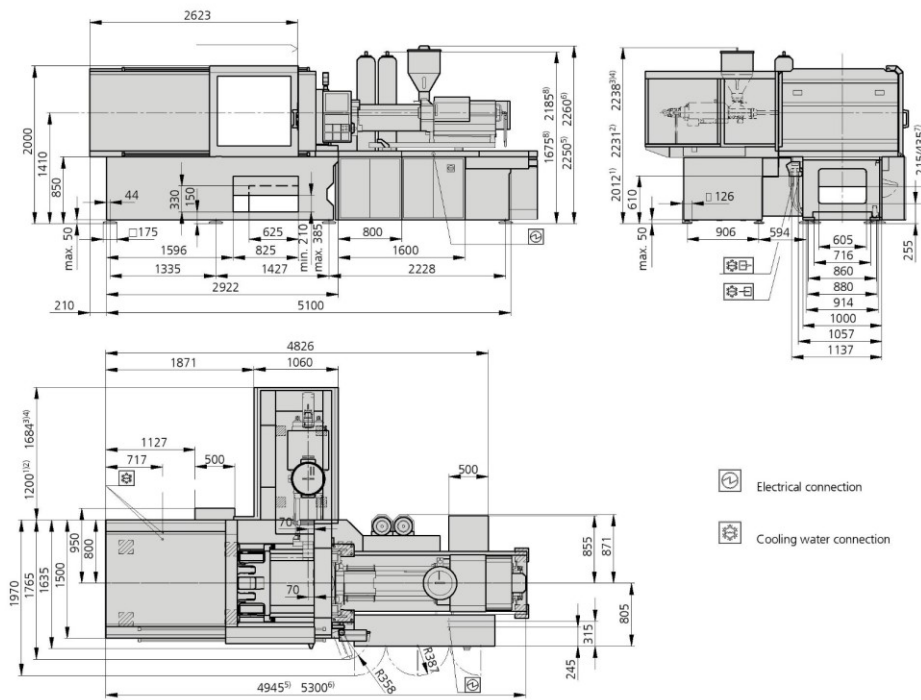
Injection unit: 400, 800 – horizontal

70, 100, 170, 290, 400 – vertical

70, 100, 170, 290 – L position

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 570 S MULTI-COMPONENT | L POSITION



- 1) Injection unit 70
- 2) Injection unit 100
- 3) Injection unit 170
- 4) Injection unit 290
- 5) Injection unit 400
- 6) Injection unit 500
- 7) Conveyor belt
- 8) Dimensions dependent on version

TECHNICAL DATA | 570 S MULTI-COMPONENT | L POSITION

Clamping unit		570 S
with clamping force	max. kN	2200
Opening force stroke	max. kN mm	520 650
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---
Platen daylight fixed variable	max. mm	900 ---
Distance between tie bars (w x h)	mm	570 x 570
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	795 x 795
Weight of movable mould half	max. kg	1400
Ejector force stroke	max. kN mm	70 200
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	2,3 - 399

Injection unit		70			100			170		
		18	22	25	20	25	30	25	30	35
with screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30	25	30	35
Effective screw length	L/D	24,5	20	17,5	25	20	16,7	24	20	17
Screw stroke	max. mm	90			100			120		
Calculated stroke volume	max. cm ³	23	34	44	31	49	71	59	85	115
Shot weight	max. g PS	21	31	40	29	45	65	54	77	105
Material throughput	max. kg/h PS	4,1	5,5	6,5	5,5	8	9,5	10	13,5	16
	max. kg/h PA6.6	2,1	2,8	3,3	2,8	4	4,9	5	7	8
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Injection flow 2	max. cm ³ /s	138	208	268	172	268	388	216	312	424
Screw circumferential speed 2	max. m/min	45	55	62	32	40	48	40	48	56
Screw torque	max. Nm	90	110	120	120	150	180	210	250	290
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 150			50 180			50 210		
Heating capacity zones	kW	4,1 4			4,9 5			9,4 5		
Feed hopper	l	---			---			---		

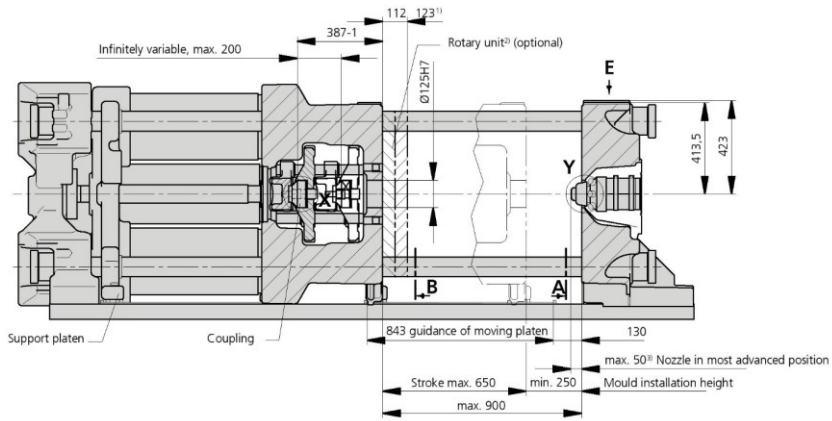
Drive and connection		400			
with horizontal/vertical injection unit		70	100	170	290
Net weight of machine	kg	9340	9380	9510	9500
Sound press. level Insecurity 4	dB(A)	70 3			
Oil filling	l	390			
Drive power 2	max. kW	30			
Electrical connection 3	kW	46	47	51	48
	Total	A			
	Machine	A			
	Heating	A			
Cooling water connection	max. °C	30			
	min. Δp bar	1,5 DN 25			

Machine type
with EUROMAP size designation 1
570 S 2200-400/70 | 400/100 | 400/170 | 400/290

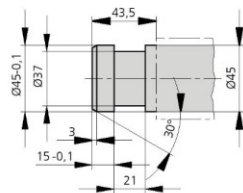
Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers, etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure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

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

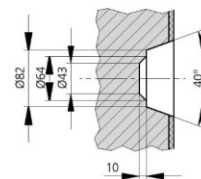
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 S MULTI-COMPONENT | L POSITION



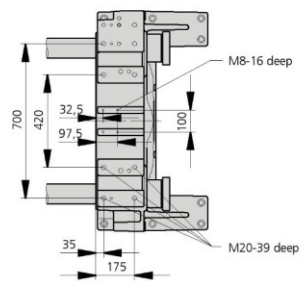
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y



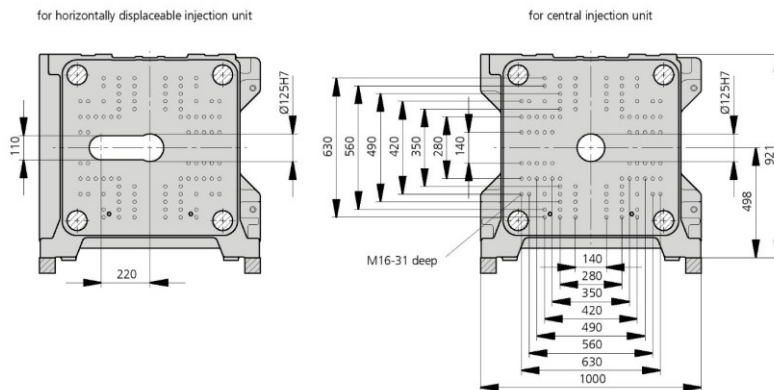
Robotic system mounting | E



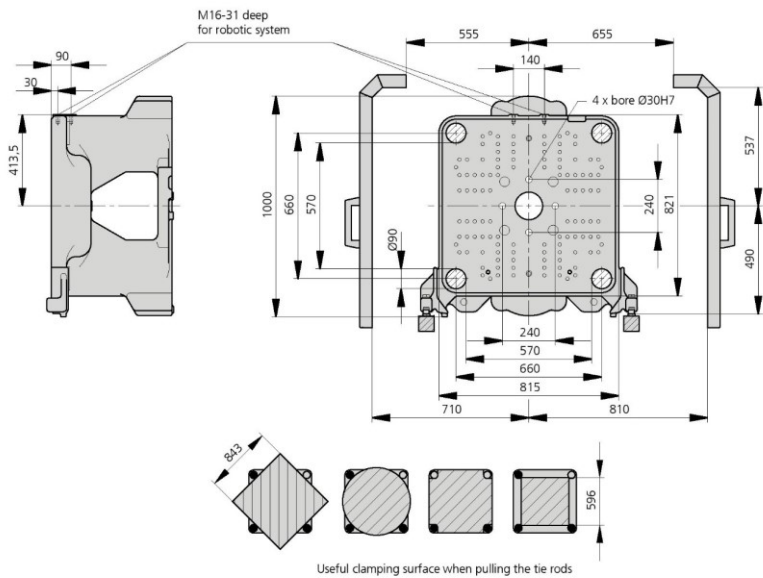
- 1) Dimension for System W rotary unit
- 2) Separate dimension sheet available on request
- 3) Dimension for horizontally displaceable injection unit reduced by 20 mm

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 S MULTI-COMPONENT | L POSITION

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



SHOT WEIGHTS | 570 S MULTI-COMPONENT

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		70			100			170		
Screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30	25	30	35
Polystyrene	max. g PS	21	31	40	29	45	65	54	77	105
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	20	31	39	28	44	63	53	76	103
	max. g SAN, ABS ¹⁾	20	30	39	27	43	62	52	74	101
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	24	35	45	32	50	73	61	87	119
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	22	33	42	30	47	68	56	81	110
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	22	32	42	30	46	67	56	80	109
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	19	29	37	27	42	60	50	72	98
Polycarbonate	max. g PC	22	33	42	30	47	68	57	81	111
Polysulphone	max. g PSU	23	34	44	31	49	70	58	84	115
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	21	31	40	28	44	64	53	77	104
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	19	29	37	26	41	60	50	72	98
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	26	39	50	35	55	80	66	96	130
Polyethylene terephthalate	max. g PET	25	37	48	34	53	77	64	92	126
Polyethylene	max. g PE-LD	16	24	30	22	34	49	41	59	80
	max. g PE-HD	16	24	31	22	35	50	42	60	82
Polypropylene	max. g PP	17	25	32	23	36	51	43	62	84
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	33	50	65	46	72	103	86	124	169
	max. g ETFE	29	44	57	40	63	91	76	109	148
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	25	38	49	35	54	78	65	94	127
	max. g PVC-P ¹⁾	23	35	45	32	50	72	60	87	118

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