

Konstrukce formy pro výrobu automobilového dílu

Bc. Jakub Žůrek

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. Jakub Žůrek
Osobní číslo:	T19542
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce technologických zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce formy pro výrobu automobilového 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 vstřikovací formy ověřte pomocí analýz.

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

Seznam doporučené literatury:

- KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227
- 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
- DAVIES, Geoff. *Materials for automobile bodies*. 2nd ed. Place of publication not identified: Butterworth-Heinemann, 2012, 1 online zdroj. ISBN 9780080969794
- WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4

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 užit 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:
14. 5. 2021

Jméno a příjmení studenta:
Jakub Žůrek

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout vstříkovací formu pro zadaný výrobek, kterým je víko od čerpadla u automobilu.

Teoretická část diplomové práce obsahuje rozdělení polymerů zaměřené na vstříkování termoplastů, aplikace termoplastů v automobilovém průmyslu, popis technologie vstříkování, typy vstříkovacích strojů a popsání zásady konstrukce vstříkovací formy.

V praktické části je pomocí softwaru CATIA V5R20 vymodelován zadaný díl ve 3D, pro který je následně navržena vstříkovací forma. Funkčnost této vstříkovací formy je ověřena pomocí tokových analýz v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: vstříkovací forma, vstříkovací stroj, vstříkovací cyklus, simulace, analýza

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design an injection mold for a specified product, which is the pump lid from the car.

The theoretical part of the diploma thesis contains the distribution of polymers focused on the injection of thermoplastics, the application of thermoplastics in the automotive industry, a description of injection technology, types of injection molding machines and the described principles of injection mold design.

In the practical part, the specified part is designed in 3D using the CATIA V5R20 software, and also injection mold is designed for this part. The functionality of this injection mold is verified by moldflow analysis in Autodesk Moldflow Synergy 2016 software.

Keywords: injection mold, injection molding machine, injection cycle, simulation, analysis.

Tímto bych chtěl velice rád poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi napomáhaly při realizaci této diplomové práce. Velice si vážím toho, že si na mě udělal čas, když jsem potřeboval a ochotně se mi věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat všem ostatním zaměstnancům Ústavu výrobního inženýrství za jejich ochotu a vstřícnost, které mi věnovali po celou dobu studia na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	12
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.1.1 Elastomery.....	13
1.1.2 Plasty.....	14
1.2 TERMOPLASTY Z HLEDISKA VSTŘIKOVÁNÍ	15
1.2.1 Amorfnní termoplasty	15
1.2.2 Semikrystalické termoplasty	16
1.2.3 Termoplastické elastomery	16
1.3 PŘÍPRAVA POLYMERU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	17
1.3.1 Zpracovatelské přísady.....	17
1.3.2 Antidegradanty	18
1.3.3 Síťovací prostředky	18
1.3.4 Písady ovlivňující fyzikální vlastnosti	18
1.4 SMRŠTĚNÍ PLASTŮ	18
2 PLASTY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	20
2.1 NÁHRADA KOVOVÝCH DÍLŮ PLASTOVÝMI.....	20
2.2 TECHNICKÉ VLASTNOSTI DÍLŮ.....	21
2.2.1 Odolnost vůči hořlavým kapalinám	21
2.3 KONTROLA KVALITY VÝSTŘIKŮ	22
2.3.1 Kontrola vzhledu výstřiku.....	22
2.3.2 Kontrola rozměrové a tvarové přesnosti	22
2.3.3 Kontrola montážních prvků.....	22
2.3.4 Kontrola funkcí výrobků	22
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	24
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	24
4 VSTŘIKOVACÍ STROJ	26
4.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	27
4.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	28
5 VSTŘIKOVACÍ FORMA	29
5.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	30
5.1.1 Konstrukce vstřikovaného dílu	31
5.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA.....	32
5.2.1 Studený vtokový systém (SVS)	33
5.2.2 Vyhříváné vtokový systém (VVS).....	35

5.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	37
5.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	38
5.4.1	Vyhazovací kolíky	39
5.4.2	Stírací deska	39
5.4.3	Pneumatické vyhazování.....	39
5.5	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	41
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
7	VSTŘIKOVANÝ DÍL.....	43
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	43
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	45
8.1	VOLBA NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	45
8.2	ZAFORMOVÁNÍ DÍLU.....	45
8.3	ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU	48
8.4	VTKOVÝ SYSTÉM	51
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	53
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	54
8.7	OSTATNÍ KOMPONENTY	55
9	VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	59
10	ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ	60
10.1	ANALÝZA VHODNÉHO UMÍSTĚNÍ VTKOVÉHO ÚSTÍ (GATE LOCATION)	60
10.2	NASTAVENÍ ANALÝZY	61
10.2.1	Vtokový systém.....	61
10.2.2	Temperační systém.....	62
10.2.3	Blok formy	63
10.2.4	Procesní podmínky.....	63
10.3	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU (FLOW)	64
10.3.1	Čas plnění (Fill time)	65
10.3.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk)	65
10.3.3	Tlak v místě výstřiku (Pressure at injection location: XY plot).....	66
10.3.4	Potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	67
10.3.5	Maximální uzavírací síla (Clamping force: XY Plot).....	68
10.3.6	Studené spoje (Weld line).....	68
10.4	VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE (COOL).....	69
10.4.1	Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature).....	69
10.4.2	Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)	70
10.4.3	Efektivita odvodu tepla temperačním kanálem (Circuit heat removal efficiency).....	71
10.4.4	Průtok temperačním kanálem (Circuit flow rate).....	72

10.5	VÝSLEDKY ANALÝZY DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ	73
10.5.1	Celková deformace vlivem všech jevů (Deflection, all effects: Deflection).....	73
10.5.2	Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling)	74
DISKUZE VÝSLEDKŮ	75	
ZÁVĚR	77	
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82	
SEZNAM OBRÁZKŮ	84	
SEZNAM TABULEK	86	
SEZNAM PŘÍLOH	87	

ÚVOD

Lidská společnost je makromolekulárními látkami obklopena odjakživa. V dřívější době se jednalo jen o přírodní polymery. Až začátkem dvacátého století nastává rozvoj syntetických polymerů, i když většina polymerních materiálů byla známá již dříve, kdy byla už i využívána.

Začátek vstřikování polymerů se datuje k roku 1870 v USA, kdy se touto technologií začínají zabývat John Wesley Hyatt a jeho bratr. Až ale po 1. světové válce nastal rozvoj této metody. V roce 1926 se dostal do prodeje první vstřikovací stroj, který vyrobila německá firma. Ovšem šneková plastikace, bez které si dnes nelze představit vstřikování, se vynalezla až v roce 1951 a nahradila plastikaci pístovou. V druhé polovině 20. Století dochází k obrovskému rozvoji technologie vstřikování, protože začali být kladeny velké požadavky na přesnost, kvalitu výrobku a to všechno při velkém počtu dílů. I díky tomu má největší zastoupení v elektronickém a automobilovém průmyslu. Plně automatizovaný vstřikovací cyklus se dosáhl v roce 1983 firmami Netsal a Battenfield.

Návrh vstřikovací formy a zadaného dílu probíhá v programu CATIA, kterou vyvinula francouzská firma Dassault Systemes. Původní systém nazvaný CATI se začal vyvíjet od roku 1977 až do dnešní podoby nejpoužívanější verze, což je CATIA V5.

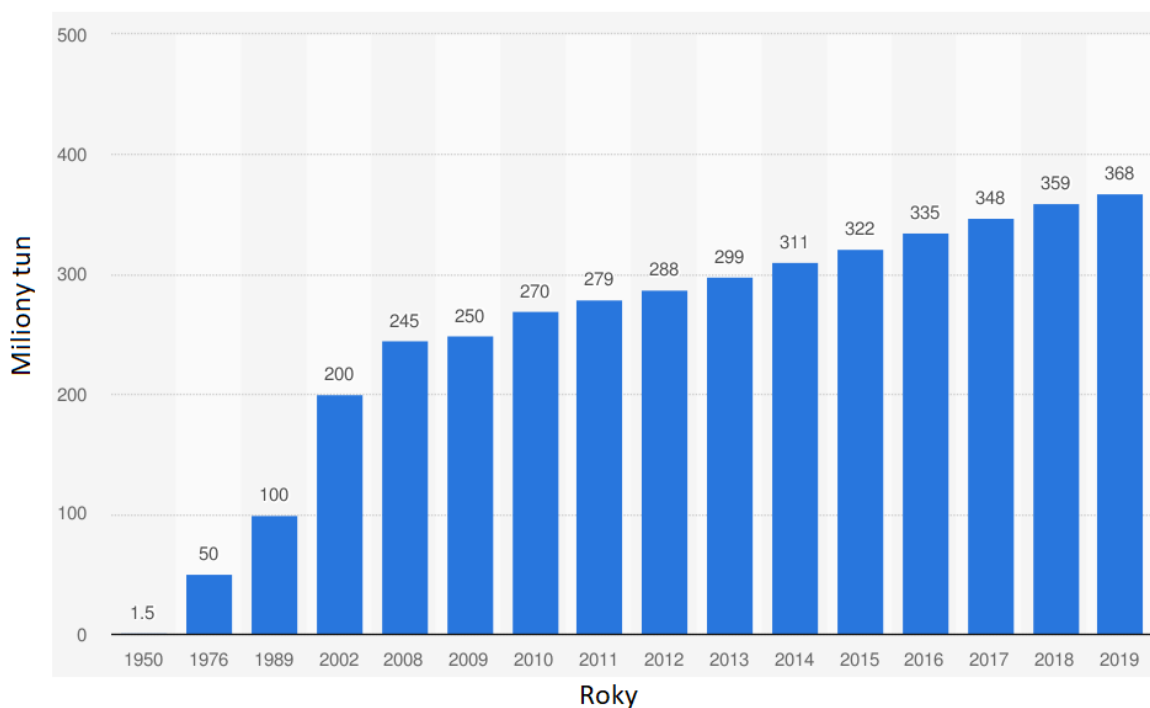
Pro optimalizaci celého procesu je používán simulační software. Již při návrhu jakéhokoliv dílu se kontrolují různé atributy, zda v sobě daný díl neskrývá nějaké překážky, které by ovlivňovali jeho výrobu vstřikováním. 3D analýza se snaží co nejpřesněji přiblížit reálné situaci, jež se děje uvnitř tvarových dutin formy během vstřikování. Tím se dá získat mnoho úspor jak časových, tak finančních.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky, které se vyznačují tím, že jejich základními jednotkami jsou extrémně velké molekuly tzv. makromolekuly. Opakující se část v řetězci se nazývá mer. Spojením velkého počtu merů vznikají makromeluky. Velké množství spojených merů se nazývá polymer a malé množství se nazývá olygomer. Nejčastěji se jedná o atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, ale často taky obsahují atomy dusíku, chlóru a jiných prvků. Polymery jsou za normálních podmínek v tuhém stavu, ale v průběhu zpracování přechází do stavu kapalného (taveniny). Tato změna stavu je zapříčiněna zvýšenou teplotou a tlakem. Zaleží na druhu zpracování.

Nejdříve se polymery vyskytovaly v živé přírodě např. celulóza a bílkoviny, celkově se nazývají biopolymery a až v posledních sto letech se začaly vyrábět průmyslově, proto se z chemického hlediska tyto látky rozdělují dle původu na organické, přírodní nebo syntetické. [1, 2]



Obr. 1. Vývoj výroby polymerů od roku 1950

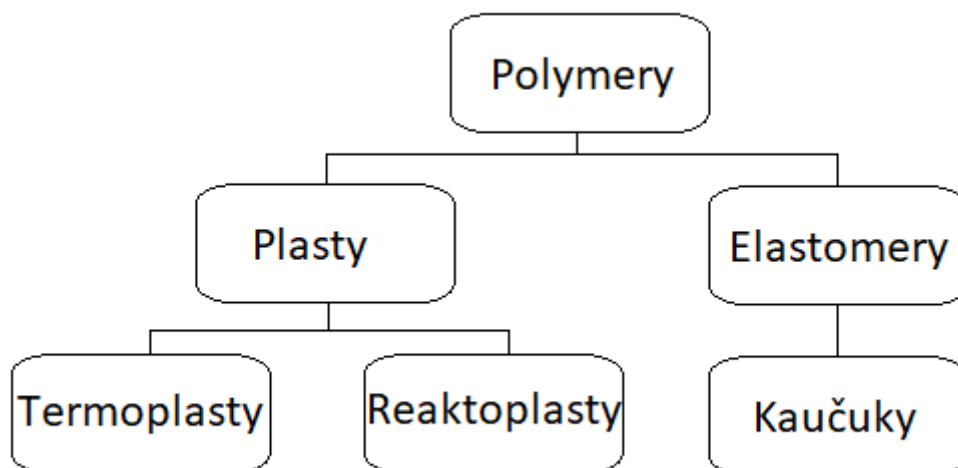
Celosvětový vývoj výroby plastů je zobrazen na Obr. 1. Vývoj je brán od roku 1950 až do roku 2019. V roce 2019 podle portálu Statistic.com bylo v tomto roce vyprodukováno 368 milionů tun. Přitom pouze v Evropě bylo vyrobeno 57,9 milionů tun. Čína jako největší výrobce plastů na světě představuje více než čtvrtinu celosvětové

produkce. Za pokračujícím růstem výroby je hlavně neuvěřitelná všestrannost této skupiny materiálů.

Velmi důležitou součástí produkce polymeru je jejich recyklace. Pro rok 2018 bylo zaznamenáno, že se sesbírало a zrecyklovalo 9,4 milionů tun a to je i jeden z hlavních důvodů, že i přes stále větší poptávku je toto průmyslové odvětví schopno vyprodukovat přibližně stejný počet „nových“ polymerů, jak od roku 2008. [4, 5]

1.1 Rozdělení polymerních materiálů

Polymerní materiály se dají dělit dle různých kritérií, ale podle základního rozdělení se dělí na plasty a elastomery.



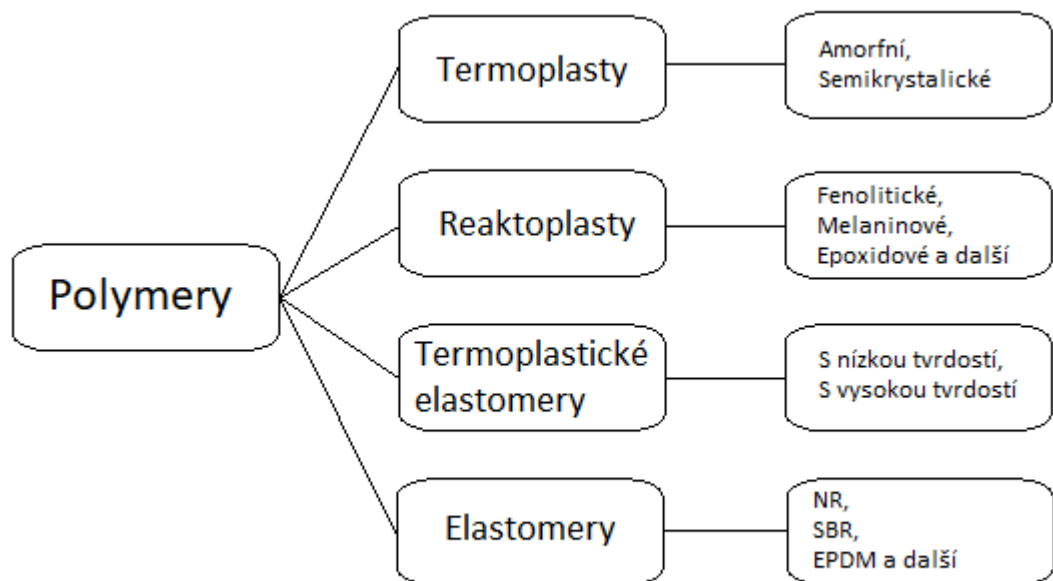
Obr. 2. Základní rozdělení polymerních materiálů

1.1.1 Elastomery

Už název může napovídat, že se jedná o polymer, který je vysoce elastický. To znamená, že za běžných podmínek ho lze malou silou značně deformovat a bez porušení se vrátí do původního stavu. Vulkanizací může být elastomer převeden na pryž, což je největší podskupinou elastomerů. Pryž má lepší vlastnosti například vyšší pevnost, vyšší odolnost při nízkých i vysokých teplotách nebo je inertnější proti působení rozpouštědel. Po zafixování tvaru se nedají opětovně tvarovat. [1, 6]

1.1.2 Plasty

Jedná se o polymery, které jsou za běžných podmínek tvrdé a často i křehké. Za pomoci zvýšené teploty a tlaku se stávají plastické a tvarovatelné, což je důležité při jejich zpracování. Jestliže je cyklus tvarování a fixace opakovatelný, to znamená při ohřívání a ochlazování nedochází ke změně chemické struktury, jedná se o termoplast. Pokud se ale jedná o neopakovatelnou změnu, dochází ke změně chemické struktury, jsou to reaktoplasty. [1, 6]



Obr. 3. Rozdělení polymerních materiálů vhodných pro vstřikování

Termoplasty jsou opakovatelně tavitelné a zpracovatelné. Při ohřevu dochází k fyzikálním změnám. Mají lineárně rozvětvené makromolekuly a jsou recyklovatelné.

Reaktoplasty jsou značně zesíťované a netavitelné. Při ohřevu dochází k chemické reakci. Jsou nerecyklovatelné, ale lze je použít v dalším případě jako plnivo.

Termoplastické elastomery jsou materiály, ve kterých jsou do polymerních matic vloženy elastické polymerní řetězce. Mají elastické chování, ale jsou i opakovaně tavitelné. Spoje mezi makromolekulami jsou fyzikálního charakteru.

Elastomery mají mezi řetězci spoje, které jsou aktivovány teplem tzv. vulkanizací. Mají zpravidla řídkou síť a jsou netavitelné. Spoje mezi makromolekulami jsou chemického charakteru. [10]

1.2 Termoplasty z hlediska vstřikování

V současné době termoplasty tvoří až 80 % z přibližně 50 druhů plastů, které jsou momentálně k dispozici na trhu. Mezi jejich hlavní výhody patří ekonomičnost a ekologičnost, protože se výrobky z termoplastů dají snadno a téměř bez jakéhokoliv zbytku recyklovat. Z hlediska vstřikování a z hlediska finálních vlastností výstřiku je důležité termoplasty rozdělit na semikrystalické a amorfnní, protože mají odlišné chování při zahřívání. Mnohem více vstřikovaných výrobků je z amorfnních plastů, ale pro technicky náročné aplikace se zase mnohem více využívají semikrystalické plasty. V tabulce 1. lze vidět rozdílné chování obou skupin termoplastů z hlediska základních vlastností. [10]

Tabulka 1. Základní informace pro výběr amorfnních nebo semikrystalický polymerů

Vlastnost	Amorfnní polymery	Semikrystalické polymery
Mechanické vlastnosti	0	+
Ohybová pevnost	-	+
Vrubová citlivost	-	+
Tok za studena	+	0
Chemická odolnost	-	+
Teplota použití	0	+
Kritická teplota při zahřívání	T_g	T_m
Smrštění proti formě [%]	0,3 - 0,8	1,0 - 3,0

Legenda: + výhodnější (lepší), - méně výhodné (horší), 0 – průměrné (stejně)

1.2.1 Amorfnní termoplasty

Při ochlazování a tuhnutí polymerní taveniny nelze vytvořit krystalickou strukturu, proto se u amorfnních látek jedná o neuspořádanou strukturu a díky tomu se vyznačují relativně malým smrštěním proti formě, které je pod 1 %. Tato vlastnost je výhodná při výrobě rozměrově přesných dílů.

Pro mnohé druhy amorfnních termoplastů (např. PS, PMMA, PC, SAN) je typickým znakem jejich možné transparentní provedení. Zásadní teplotou pro tyto plasty je teplota T_g (teplota skelného přechodu), která hraje důležitou roli v procesu vstřikování, ale i při používání výrobku. Tato teplota limituje teplotu vyhazování výstřiku z formy a hranici teplotního použití výrobků, nad teplotou T_g dojde k trvale deformaci. Amorfnní termoplasty se využívají v elektrotechnickém průmyslu, jako spotřební zboží, ale i v automobilovém průmyslu (světelná technika), díky jejím skvělým optickým a mechanickým vlastnostem. [10]

1.2.2 Semikrystalické termoplasty

U těchto látek při ochlazování a tuhnutí taveniny lze získat až 80 % obsahu krystalické fáze, zbylá část je ve fázi amorfni. Každý polymer má různý obsah krystalického podílu, záleží na chemické stavbě a technologických podmínkách při vstřikování. Čím vyšší procento krystalické fáze obsahuje polymer, tím se zvyšuje smrštění výrobku proti formě. To se pohybuje zhruba od 1 % do 2,5 %. Dále na obsahu krystalického podílu jsou závislé jejich hlavní vlastnosti, mezi které patří tuhost, pevnost a houževnatost. U těchto materiálů je málo významná teplota T_g , za to mnohem významnější je teplota T_m (teplota bodu tání krystalického podílu), která nám udává hranici pro zachování určité pevnosti a tuhosti výstřiku. Nad touto teplotou je oblast taveniny, při které probíhá vstřikování. Semikrystalické termoplasty se používají v technice, kde bývají často mechanicky namáhány. Mezi nejvýznamnější patří PE, PA, POM a PPA. [10]

Tabulka 2. Rozdílné chování amorfniích a semikrystalických polymerů při vstřikování

Parametry proc. vstřikování	Amorfni polymer	Semikrystalický polymer
Významná teplota procesu	teplota zesklenní T_g	bod tání krystalického podílu T_m
Oblast aplikačního použití výstřiku	pod T_g	nad T_g , pod T_m
Zatuhnutí taveniny ve formě	ochlazením pod T_g	krystalizací pod T_m
Viskozita taveniny	velmi závislá na teplotě	málo závislá na teplotě
Doba plastikace	neovlivňuje dobu vstřik. cyklu	důležitá pro dobu vstřik. cyklu
Dotlak	závislý na čase	může být konstantní v celém čase dotlaku
Doba chlazení	dlouhá	závisí na rychlosti krystalizace (kratší)
Nejzávažnější vady výstřiku	vnitřní pnutí, propadliny	tvorba lunkrů, rozměrová nepřesnost

1.2.3 Termoplastické elastomery

V současné době patří mezi významné polymerní materiály, které vznikají mísením elastomerní složky (např. NR, EPDM) se základním polymerem (např. PP, PA), nebo kopolymerací (např. etylenvinylcelát, kopolyestery, polyeteramidy). Prakticky z libovolné

kombinace výchozích polymerů je možné připravit tuto směs, proto dochází k důležitému rozvoji této skupiny materiálů. Jejich obrovskou výhodou je snadný proces vstřikování, které jde i na běžných vstřikovacích strojích pro termoplasty. Výrobky z termoplastických elastomerů jsou nejčastěji z těchto materiálů TPE na bázi polyolefinů (Santoprene), TES (Mulitflex) a SIR (Silikonový TPE). [10]

1.3 Příprava polymeru před vstřikováním

Řada polymerů nemá dostatek vlastností vhodných pro technologii vstřikování, proto se do nich přidávají různé přísady (aditiva), aby získaly potřebné vlastnosti a odstranily nedostatky plastů. Na aditiva jsou kladeny tyto požadavky:

- zajišťovat stabilitu při provozních podmínkách,
- neproznačování na povrch výrobku,
- bez chuti, zápachu a netoxické,
- bez nežádoucích vlivů na vlastnosti polymeru,
- účinnost,
- snížení hmotnosti,
- ekonomická úspora,
- urychlování reakcí. [7]

1.3.1 Zpracovatelské přísady

Do polymerních směsí se přidávají zpracovatelské přísady, které usnadňují nebo dokonce umožňují přípravu a zpracování. Vstřikování by prakticky nebylo možné bez těchto složek, protože každá složka nějakým způsobem ovlivňuje vlastnosti konečného produktu, ale i polymerní směsi. V technické praxi se využívá velké množství druhů zpracovatelských přísad. Mezi zpracovatelské přísady, které se používají pro termoplasty, patří:

- separační činidla,
- maziva,
- změkčovadla,
- tepelné stabilizátory. [7]

1.3.2 Antidegradanty

Skupina přísad, které dlouhodobě chrání výstřiky při jejich používání před vnějšími vlivy, což může být sluneční záření, atmosférický kyslík, ozón a tepelná energie. Nejpoužívanější antidegradanty jsou:

- světelné stabilizátory,
- antioxidanty,
- antiozonanty. [7]

1.3.3 Síťovací prostředky

Tyto látky se účastní síťovacích reakcí tj. spojují lineární nebo rozvětvené makromolekulární řetězce s příčnými vazbami do struktury prostorové sítě. Mezi tyto látky patří:

- síťovací činidla,
- aktivátory síťování,
- urychlovače síťování. [7]

1.3.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti

Tyto přísady se do polymerů přidávají, aby zlepšili fyzikální, ale i mechanické vlastnosti výrobku. Tyto přísady mohou být například:

- plniva,
- vyztužovadla,
- nadouvadla,
- pigmenty,
- optické zjasňující látky. [7]

1.4 Smrštění plastů

U všech plastů dochází k nežádoucímu jevu a tím je smrštění. Po ochlazení a vyhození výrobku z formy jsou jeho rozměry odlišné od rozměrů tvarové dutiny formy. K další rozměrové změně dochází po určité době skladování. Proto se hovoří o dvojitým smrštění a to výrobním a dodatečným. Aby výrobek byl co nejvíce rozměrově přesný, musí

se tvarová dutina formy o určitou hodnotu zvětšit. Mnoho faktorů má na výsledné smrštění vliv, proto se to v praxi obtížně realizuje.

Mezi hlavní parametry ovlivňující smrštění patří:

- druh materiálu (semikrystalický/amorfní, plněný/neplněný),
- procesní podmínky (teplota taveniny, tlak, čas vstřikování),
- tvar a tloušťka stěn vstřikovaného dílu. [6, 11]

Tabulka 3. Termoplasty a jejich smrštění

Druh plastu	PS, SAN, ABS	SB	PMMA	PC	PA	PP
VS [%]	0,4 - 0,6	0,4 - 0,9	0,2 - 0,7	0,6 - 0,75	1,0 - 2,0	1,5 - 3,0

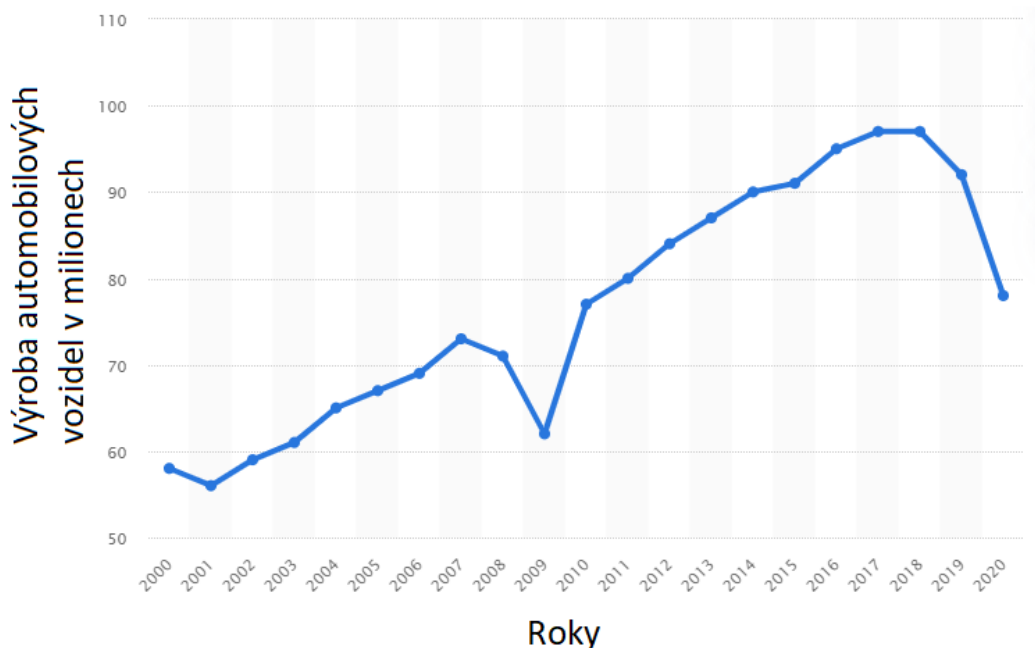
Tabulka 4. Vliv plniv na smrštění u materiálu PA6

Plnivo	Smrštění podél toku / kolmo na tok [%]
Bez plniva	1,0 / 1,2
Minerální plnivo	1,2 / 1,2
30 % skelných vláken	0,2 / 0,8
15 % balotina / 25 % skelných vláken	0,3 / 0,9

2 PLASTY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Proces vstřikování se ve velké míře používá pro výrobu automobilových součástí, protože automobil dnes patří k nejdůležitějším dopravním prostředkům. Již v roce 2010 bylo poprvé registrována miliarda vozů po celém světě. Na začátku roku 2019 to bylo asi o čtvrt miliardy víc. A aut bude ještě přibývat při rychle se rozvíjející ekonomice prahových zemí, jako jsou Čína a Indie a se zlepšením jejich životní úrovně si bude moci automobilový prostředek dovolit více lidí. Jelikož se mnoho automobilových součástí již dnes dělá z plastu, tak automobilový průmysl má podstatný vliv na vstřikovny po celém světě. [34, 35]

V roce 2018 se vyrobilo téměř 100 milionů aut. V roce 2020 přišel pokles oproti minulému roku až o 15 %. V tom roce se vyrobilo 78 milionů motorových vozidel, z čehož Čína, jako největší výrobce automobilů, vyrobila více než 21 milionů. [35]



Obr. 4. Vývoj výroby automobilů od roku 2000 [35]

2.1 Náhrada kovových dílů plastovými

K nahrazování kovových dílů za plastové dochází za účelem úspory energie při jeho výrobě a snížení hmotnosti, aby k tomu došlo, musí plastový díl plnohodnotně nahradit kovový. Při zpracování kovů je potřeba výrazně vyšších teplot než u zpracování plastů, proto zde dochází k úspoře energie. Jelikož hustota kovů je daleko vyšší

v porovnání s plasty, tak stejný výrobek z kovu bude mít větší hmotnost než z plastu. Tato úspora hmotnosti jednotlivých dílů automobilu vede ke snížení spotřeby a tím i ke snížení produkce emisí. Snížení hmotnosti automobilu o 100 kg sníží spotřebu o 0,4 litry na 100 km. O tom, že nahrazování kovových součástí plastovými má potenciál, je i fakt, že podíl plastových dílů v osobním autě v západní Evropě začátkem devadesátých let minulého století činil asi 6 % a v současnosti je to přibližně 15 %. Vzhledem ke stálému snižování spotřeby pohonných hmot a produkci emisí, bude tohle číslo stále narůstat. [12]

2.2 Technické vlastnosti dílů

Každá plastová součást, které byla nahrazena za kovovou, musí splňovat náročné technické požadavky. Motor a jeho komponenty pracují při vysokých teplotách, proto je v jeho oblasti velmi problematická tepelná odolnost plastového materiálu při dlouhodobém zatížení. Stále probíhá inovace polymerních materiálů, tak aby splňovaly náročné technické i ekonomické požadavky. [12]

2.2.1 Odolnost vůči hořlavým kapalinám

Mezi další technologicky náročný požadavek patří odolnost proti hořlavým kapalinám. U motoru je mnoho krytů a uchycení elektrických komponentů, které musí mimo dobrých mechanických vlastností být také nehořlavé, odolné vůči vlhkosti a musí obsahovat látky bránící hoření pro případ zkratu. Dnes mnoho automobilů již používá ESP 9, což je nejnovější generace systému elektronické stability od firmy Bosch. Jeho ovládací skříň je vyrobena z Ultradur B4330G6 HR. Je to speciální směs ze skupiny PBT, které zvládnou náročné požadavky jak v horkém tak i ve vlhkém prostředí. [14]



Obr. 5. Kryt elektronického stabilizačního systému ESP 9 od firmy Bosch [15]

2.3 Kontrola kvality výstřiků

Důležitou součástí vstřikování je kontrola jakosti výrobku než se dostane k odběrateli. K první kontrole dochází ihned po vyhození výstřiku z formy obsluhou vstřikovacího stroje. Pokud se objeví nějaká chyba, tak se zaznamená do sběrné karty vad.

2.3.1 Kontrola vzhledu výstřiku

Tato kontrola se provádí vizuálním porovnáním vstřikovaného výrobku se vzorovým kusem. V častém případě se používá snímek vzorového dílu, který je uložen do počítače, a porovnává se s výstřiky, které jsou snímány kamerou. Tento způsob kontroly je závislý na kvalitě kamerového zařízení a na výběru kontrolovaných míst. U automobilů je důležité kontrolovat na pohledových dílech, jestli mají předepsaný barevný odstín, lesk, případně správný typ dezénu. K tomuto se používá spektrální fotometr. Podle normy ISO 7724 se vyhodnocuje barevné spektrum ve třech osách. Výsledky měření mohou být ovlivněny vnějšími podmínkami (vlhkost, teplota, doba skladování, atd.), proto je nutné brát na to zřetel. [10]

2.3.2 Kontrola rozměrové a tvarové přesnosti

Pro tuto kontrolu je potřeba měřicí místnost, kde se udržuje konstantní teplota kolem 23 °C a konstantní relativní vlhkost. Díly ke kontrole by v této místnosti měly být uloženy minimálně 24 hodiny po jejich výrobě. Běžná měřicí technika, jako je digitální posuvné měřidlo, mikrometrické měřidlo, optický mikrometr, dutinoměr, hloubkoměr a další, se používají pro měření rozměrů. Pro měření tvarové přesnosti se používají různé měřicí přípravky, případně nákladnější CNC měřicí přístroje, 3D laserové skenery a další. [10]

2.3.3 Kontrola montážních prvků

Při montáži jednotlivých dílů do automobilu je nezbytné zkontrolovat, jestli díly do sebe zapadnou. Tato kontrola probíhá, buď to kontrolou každého dílu zvlášť před uložením do obalu, nebo se používají kontrolní přípravky, či Poka-Yoke. [10]

2.3.4 Kontrola funkcí výrobků

Jestliže plastový výrobek má v sobě kovové kontakty, nebo vodiče a tvoří funkční celek pro automobil, vyžaduje se kontrola jejich funkce. Ta se provádí před montáží automobilu. Jedním z takových příkladů je výroba světlovodů, které se poté montují do

reflektorů. K jejich kontrole funkčnosti měření intenzity průchodu světla) dochází po montáži každého reflektoru. [10]



Obr. 6. Světlovod pro koncové světlo Ford [10]

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

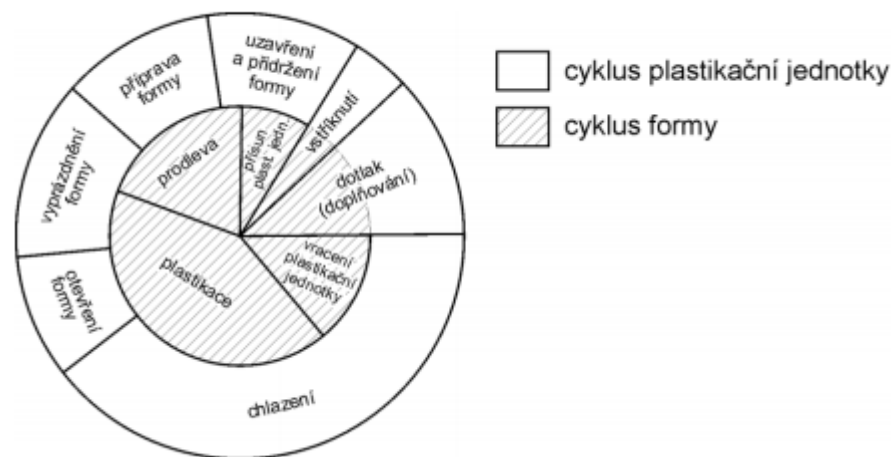
Vstřikování patří mezi nejrozšířenější způsob výroby plastových v poslední době i elastomerních výrobků. Jedná se o tváření plastů za tepla, kdy je dávka zpracovaného materiálu vstříknuta pod tlakem z plastikační komory vstříknuta do uzavřené formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Takto vyrobené výrobky mají dobrou rozměrovou a tvarovou přesnost. Touto technologií se dají zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře i některé reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je proces cyklický. To znamená, že každý cyklus musí probíhat identicky. Výhodou této technologie je možnost vyrábět složité výrobky s dobrou povrchovou úpravou za krátký čas cyklu. Mezi nevýhody patří dlouhá doba, která je nutná na výrobu formy a velmi drahá pořizovací cena vstřikovací formy a vstřikovacího stroje oproti vstřikovanému dílu, proto se využívá pro velkosériovou výrobu. [16]

3.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se skládá z cyklu plastikační jednotky a cyklu formy. Některé operace mají společné a jsou stejně dlouhé. Počátkem procesu vstřikovacího cyklu se považuje uzavření formy.

Polymerní materiál, který bývá nejčastěji ve formě granulí, je v plastikační jednotce převeden do taveniny účinkem tepla a tření. Přes rozvodný systém vstřikovací formy je polymerní tavenina transportována do dutiny formy, kde ji vlivem tlaku celou zaplní a převezme její tvar. Roztavený polymer je ve formě ochlazován na výsledný výrobek. Až se ochladí na dostatečnou teplotu, dojde k otevření vstřikovací formy a výrobek je z ní vyhozen a celý cyklus se opakuje. Poté můžou následovat případné dokončovací operace, výstupní kontrola a balení výrobků. [16]



Obr. 7. Vstřikovací cyklus [31]

Při vstřikování se volí celá řada parametrů:

- velikost a doba působení vstřikovacího tlaku,
- chladič čas,
- vstřikovací rychlost,
- velikost dávky.

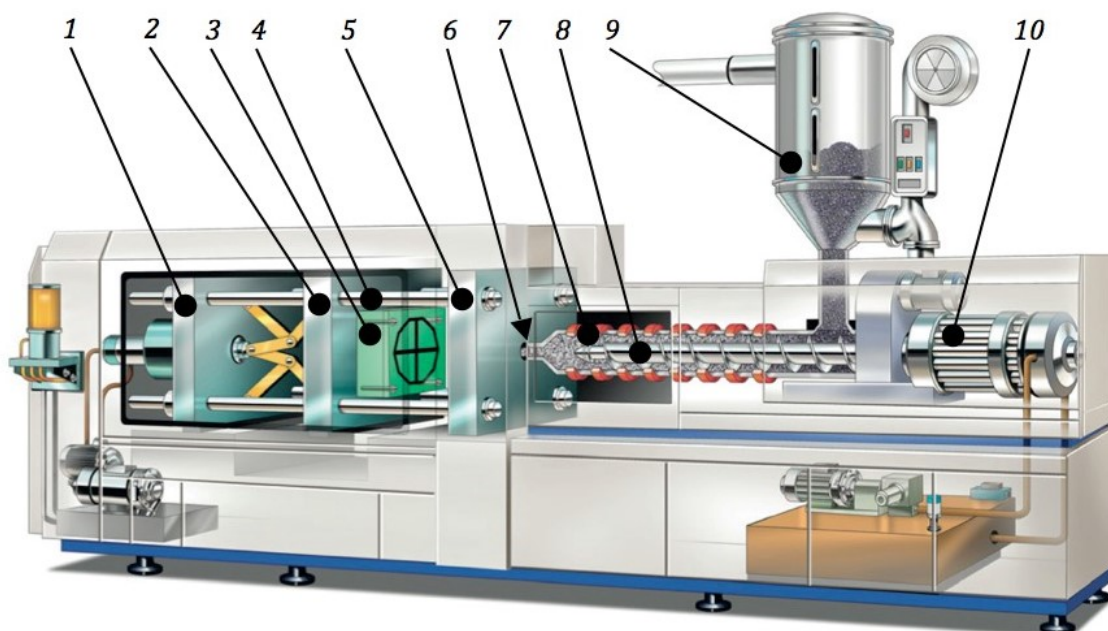
Při zkušebním provozu se jednotlivé zpracovatelské parametry nastavují podle požadovaných hodnot materiálu, ze zkušeností a s ohledem na tvar výstřiku, formy i celého vstřikovacího cyklu.

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroje se používají pro zpracování plastových i kaučukových směsí. Jelikož je pořizovací cena těchto strojů velmi nákladná, využívají se hlavně pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Většina moderních strojů jsou už plně automatické, proto se dosahuje u procesu vstřikování vysoké produktivity práce.

Vstřikovací stroj se skládá z:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- řízení a ovládání. [21]



Obr. 8. Vstřikovací stroj [17]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Pro dosažení přesných výrobků jsou na vstřikovací stroj kladeny tyto požadavky:

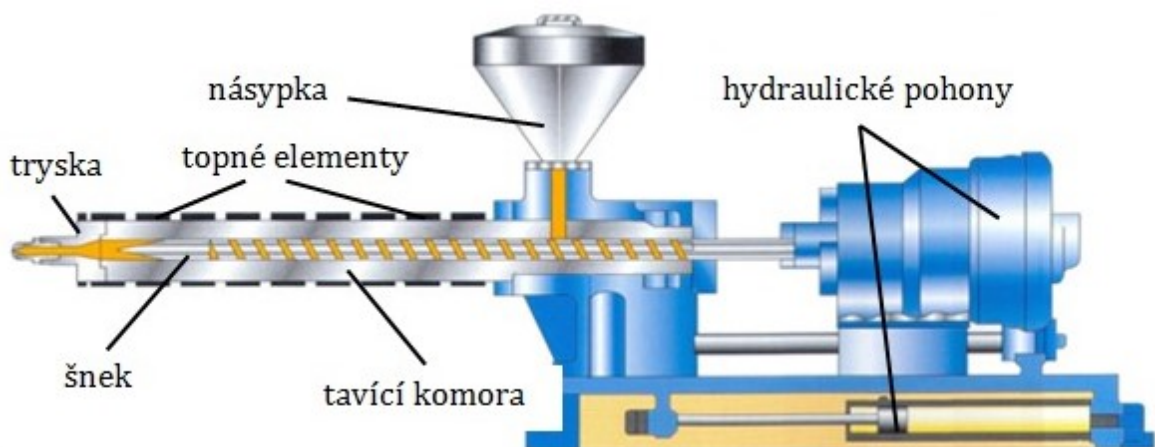
- pevnost a tuhost při vstřikování,
- zajištění konstantní rychlosti, teploty, tlaku a dalších parametrů a jejich časování,
- reprodukovatelnost technologických parametrů.

4.1 Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací jednotky je převést termoplast v tuhém stavu na homogenní taveninu a následně ji dopravuje pod vysokým tlakem a vysokou rychlostí do tvarové dutiny formy. Vstřikovací jednotky se podle způsobu plastikace dělí na šnekové a pístové. V dnešní době se nejčastěji používá šneková plastikace.

Mezi výhody šnekových jednotek patří:

- dobrá homogenizace roztaveného plastu a rovnoměrný prohřev,
- přesné dávkování hmoty
- vysoký plastikační výkon,
- nedochází k přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- nejsou potíže při čištění komory při výměně materiálu. [16]



Obr. 9. Vstřikovací stroj [17]

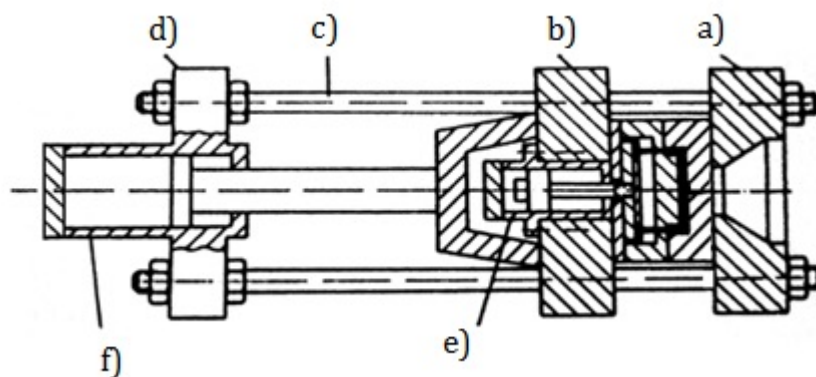
Do tavného válce vstupuje granulát z násypky a dál je dopravován pomocí pohybu šneku. Průchodem tavným válcem, který je vyhříván topným tělesem, se materiál plastikuje, homogenizuje a hromadí před špicí šneku. Při plastikaci se šnek otáčí a posouvá dozadu. Jakmile se zplastikuje dostatečné množství, polymerní materiál se přes vstřikovací trysku vstříkne dopředným přímočarým pohybem šneku do vstřikovací formy. Spojení plastikační jednotky se vstřikovací formou zajišťuje vyhřívaná tryska. Jedná se o spojení dočasné a musí být dokonale těsné. Tyto trysky mohou být, buď volně průtočné, nebo uzavíratelné. Jejich výběr závisí na druhu materiálu, který se bude zpracovávat. [6]

4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ve vstřikovacím stroji slouží jako nosič vstřikovací formy, jejíž úkolem je otevírat a zavírat vstřikovací formu. Dále musí při vstřikování formu zajistit takovou silou, aby nedošlo k jejímu otevření během procesu. To by mělo za následek vznik otřepů a přetoků na výstřiku. Velikost uzavírací síly se odvíjí od velikosti průřezu výrobku v dělicí rovině a velikosti vstřikovaného tlaku. V současné době se používá mnoho uzavíracích jednotek, které lze rozdělit podle druhu pohonu na hydraulické, mechanické, elektrické a kombinace hydraulického a mechanického způsobu.

Hlavní části uzavírací jednotky:

- opěrná deska pevná,
- vodící sloupky,
- upínací deska,
- uzavírací mechanismus. [6]



Obr. 10. Uzavírací jednotka – hydraulická [17]

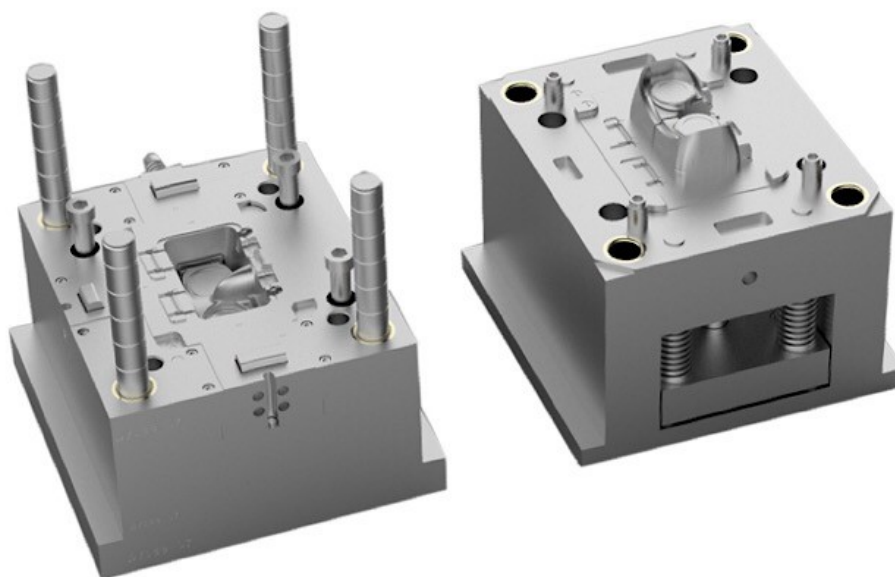
- (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící sloupky, (d) rám stroje,
(e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládnání pohyblivé části formy

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Při procesu vstřikování se používá vstřikovací forma jako nástroj, který dává budoucímu výrobku tvar a rozměry. Pokud je její konstrukce chybná, tak nedokonalosti nekvalitních výrobků trvale neodstraní sebelepší vstřikovací stroj ani kvalitní vstřikovaný materiál. Vstřikovací forma se upíná do vstřikovacího stroje a je součástí uzavírací jednotky. Lze ji vyměnit za druhou, pokud bude splňovat parametry daného vstřikovacího stroje (uzavírací síla, objem vstřikovací jednotky, rozměry). Ve vstřikovacích formách se zpracovávají jak termoplasty a reaktoplasty, tak i elastomery.

Roztavenému materiálu dát požadovaný tvar výstřiku, ochladit jej a bezpečně ho dostat ven z dutiny formy, jsou hlavní úkoly vstřikovací formy. Tento cyklus se neustále opakuje, proto je stále vystavena vysokým tlakům a teplotám, a tak vstřikovací forma musí splňovat tyto požadavky:

- maximální pevnost a tuhost,
- správná funkce formy,
- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch,
- snadná manipulace,
- nízká pořizovací cena a optimální životnost. [19, 20, 21]

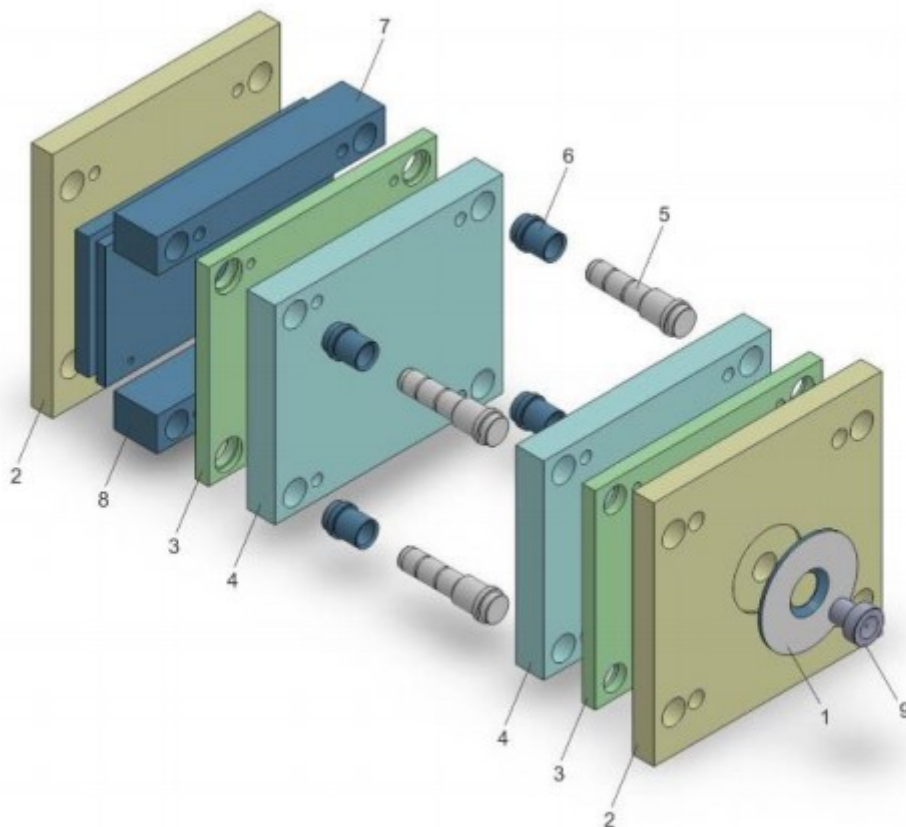


Obr. 11. Vstřikovací forma [22]

5.1 Konstrukce vstřikovací formy

Při konstrukci vstřikovací formy je důležité zohlednit tvar a rozměr výrobku, jeho zaformování a zvolení dělicí roviny. Od těchto bodů se odvíjí celá konstrukce vstřikovací formy. Mezi další parametry patří:

- násobnost formy,
- druh vstřikovaného materiálu,
- stanovení vhodného vtokového, temperačního a vyhazovacího systému,
- vhodný rám formy,
- volba vhodného vstřikovacího stroje. [19, 21]



Obr. 12. Rám vstřikovací formy [23]

- 1 – středící kroužek, 2 – upínací desky, 3 – opěrné desky, 4 – tvarové desky, 5 – vodící čepy, 6- vodící pouzdra, 7, 8 – rozpěrné desky, 9 – vtoková vložka

5.1.1 Konstrukce vstřikovaného dílu

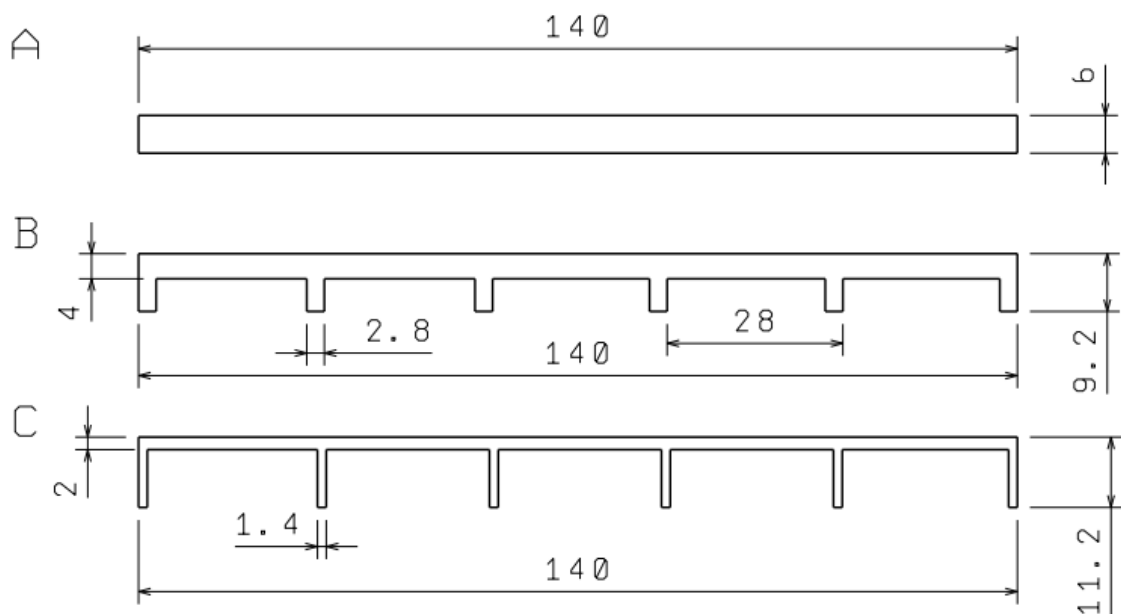
Konstruktér výrobku a konstruktér vstřikovací formy by měli spolu konzultovat vhodnost návrhu vstřikovaného dílu tak, aby bylo co nejméně pohyblivých tvarových dílů ve formě (čelisti, šikmé tvarové vyhazovače, nebo jádra).

Tloušťka stěn výrobků by se měla navrhovat tak, aby byla co nejmenší z důvodu urychlení výrobního cyklu a přitom splnila podmínky pro danou pevnost a tuhost výrobku. Samozřejmě ale nesmí být zase menší, než je schopnost taveniny zatéct do tvarové dutiny formy. Tato hodnota spolu s dalšími informacemi o materiálu je dodávána v katalogu od výrobce. Druhý extrém je zase příliš velká tloušťka stěny. U termoplastů by tloušťka stěny neměla překročit 6 mm, pokud se tak stane, může docházet ke vzniku propadlin. Dále by neměl výrobek obsahovat velké změny tlouštěk, kde by se mohl hromadit materiál.

Pro usnadnění vyhazování výstřiku z dutiny formy se výstřiku přidávají technologické úkosy. Pro vnitřní plochy se doporučují úkosy do 3° . Pro vnější plochy je sklon do 2° a žebra bývají se sklonem od 2° do 10° .

Z důvodu snadnějšího zatékání taveniny do tvarových dutin je důležité zaoblení hran. Ty při toku taveniny snižují hydraulický odpor a napětí v místě ohybu. Minimální rádius musí být jedna čtvrtina tloušťky stěny.

Posledním důležitým bodem této kapitoly je žebrování výstřiku. Jejich hlavní význam pro výstřik je snížení jeho hmotnosti a tloušťky stěn a přitom zvýšení jeho tuhosti a pevnosti. Tloušťka žebra by neměla překročit 50 – 70 % tloušťky stěny, na kterou je žebro vedeno. Dále nekombinovat žebra s velkou a malou tloušťkou a výška by měla být menší než trojnásobek tloušťky stěny. Při křížení žeber nesmí docházet k hromadění materiálu. [21]



A – konstrukce výstřiku bez respektování zásad výstřiků z termoplastů, díl má plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, doba dotlaku $95\text{ s} = 100\%$

B – žebrovaný díl – varianta 1, plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, zkrácení doby dotlaku na cca 35 %, úspora materiálu 23 %

C - žebrovaný díl – varianta 2, plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, zkrácení doby dotlaku na 15 %, úspora materiálu 57 %

Obr. 13. Ukázka rozdílných konstrukcí výstřiků z termoplastu a jejich změny vlastností

5.2 Vtoková soustava

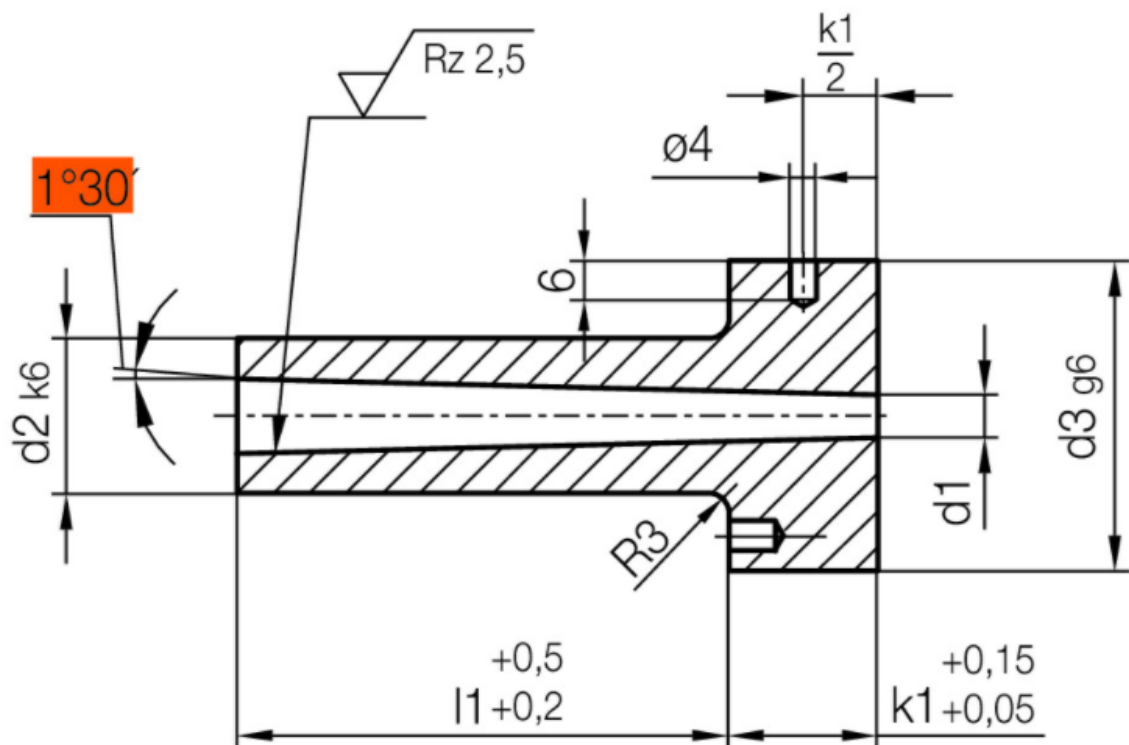
Vtoková soustava ve vstřikovací formě slouží k rovnoměrné dopravě polymerní taveniny z plastikační jednotky do tvarové dutiny formy. Plnění dutiny formy by mělo trvat co nejkratší čas, aby se minimalizovaly tepelné a tlakové ztráty. Pokud se jedná o vícenásobnou formu, je nutné zajistit, aby došlo k zaplnění všech dutin ve stejný čas. Podle počtu a rozmístění tvarových dutin, materiálu výrobku a jeho konstrukčního provedení se vybírá buď studený vtokový systém, nebo vyhřívaný vtokový systém, či jejich kombinace. [19, 21]

5.2.1 Studený vtokový systém (SVS)

U termoplastů je studený vtokový systém umístěn ve formě. Při každém vstřikovacím cyklu je ochlazen a vyhozen společně s výrobkem. Přibližně 70 % vstřikovacích forem má studený vtokový systém. Tento systém se skládá z vtokové vložky, rozváděcího kanálu a vtokového ústí. [24]

Vtoková vložka

Jedná se o normalizovaný díl, který dodává taveninu ze vstřikovacího stroje buď do rozváděcích kanálů, když se jedná o vícenásobnou formu, nebo přímo do dutiny formy, když je forma jednonásobná. Středící kroužek vystředí trysku stroje na vtokovou vložku formy, ve které je vytvořený hlavní vtokový kanál. Velmi často se jedná o kuželový vtokový kanál, který zajišťuje jednodušší vyhození vtokového zbytku. Poloměr styčné plochy vtokové vložky by měl být o něco větší než je poloměr na špičce trnu, tím je zajištěná dostatečná těsnící síla. Ve vtokové vložce má tok taveniny nejvyšší rychlost a tlak, aby odolala těmto namáháním, je vyráběna z otěruvzdorné nástrojové oceli, která je následně ještě tepelně upravována. Aby byla vtoková vložka správně vložena do formy, jsou na ní předpřipravené díry pro středící kolíky. [21, 24]



Obr. 14. Normalizovaná součást – vtoková vložka [25]

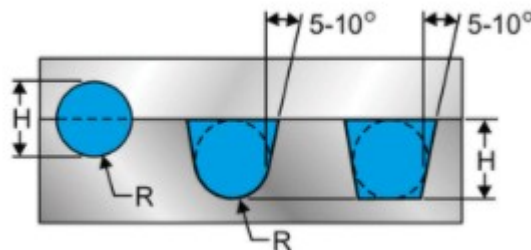
Rozváděcí kanál

Jedná se o jednu ze složek studeného vtokového systému. Má za úkol dopravit polymerní taveninu z hlavního vtokového kanálu do dutiny formy. Podle násobnosti formy se určuje jejich počet a délka. Ale hlavní zásadou je, aby pokud možno měly všechny stejnou délku a byly co nejkratší.

Při výběru rozměrů rozváděcího kanálu je nutné brát v úvahu tyto parametry:

- kanály musí být dostatečně veliké, aby zaplnily tvarovou dutinu,
- kanály musí být dostatečně veliké, aby umožnil kompenzaci průtoku během všech fází vstřikování,
- kanál musí být co nejmenší, aby neprodlužoval dobu chlazení.

Obecně ale platí, že by průměr rozváděcího kanálu neměl být menší než 1,5 násobek tloušťky stěny v místě vtokového ústí, aby nedocházelo k zamrznutí taveniny ještě před dutinou formy. Ideální rozváděcí kanál by měl kulatý tvar průřezu, protože má nejmenší tlakové ztráty na objem kanálu. Jenomže z hlediska zpracování je velmi náročný. Proto se často používají jeho alternativy, které mají tvar lichoběžníkový, parabolický nebo půlkulatý. [21, 24, 26]

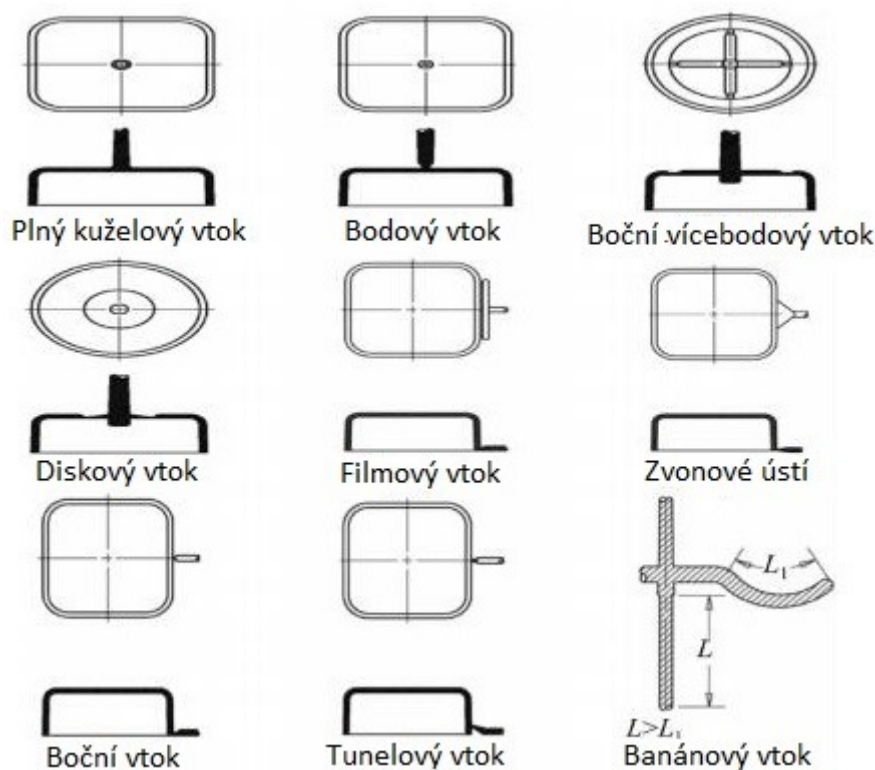


Obr. 15. Tvary průřezů rozváděcích kanálů [24]

Vtokové ústí

Spojnicí mezi tvarovou dutinou a rozváděcím kanálem je vtokové ústí. Často se jedná o zúžené místo, které umožňuje snadné oddělení rozváděcího kanálu od výstřiku, aby stopa po vtoku byla co nejmenší, a zároveň musí umožnit dokonalé zaplnění dutiny formy. Proto se koncový průřez vtokového ústí volí relativně malý. Jeho doporučená tloušťka je 40 % až 70 % tloušťky stěny, do které ústí a je ho délka by měla být co nejkratší, aby se snížil pokles tlaku. Aby docházelo k optimálnímu plnění dutiny formy, mělo by docházet

k tzv. fontánovému toku. Existuje mnoho typů vtokového ústí, kterými ho lze dosáhnout, záleží však na tvaru vstříkovaného dílu. [21, 24, 26]



Obr. 16. Typy vtokových ústí [28]

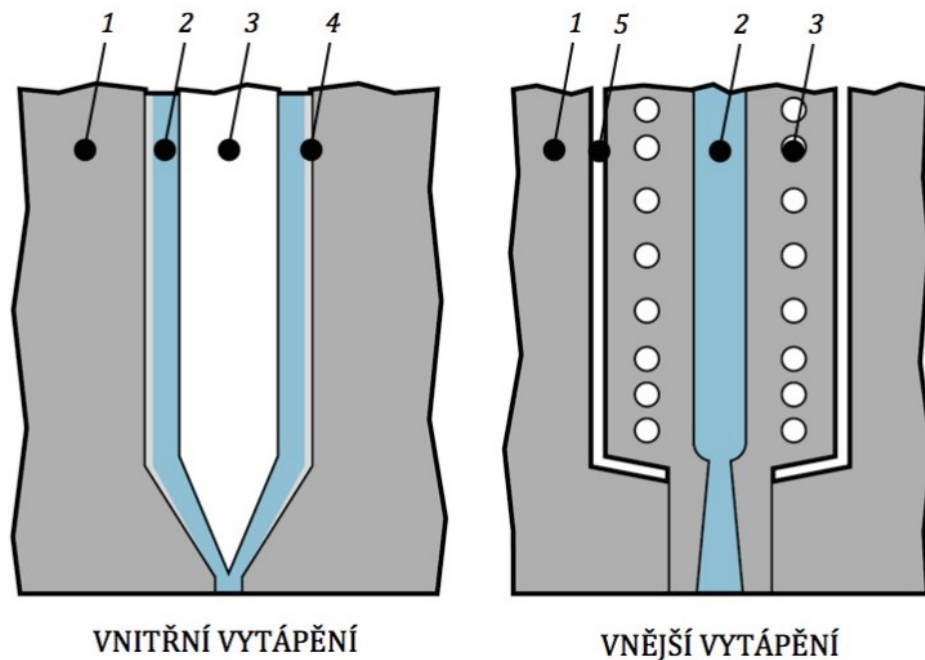
Při výběru umístění vtokového ústí se musí dbát na tyto zásady:

- do nejtlustší stěny výrobku,
- po vstříknutí do dutiny by měl vstříknutý polymer narazit na překážku,
- do pohledových nebo více namáhaných ploch,
- při vstříknutí, aby byl možný únik vzduchu z dutiny formy. [21, 29]

5.2.2 Vyhřívání vtokový systém (VVS)

Vyhřívání vtokové systémy se využívají hlavně kvůli tomu, že tavenina zůstává po celé délce vtoku v tekutém stavu a nevzniká přitom žádný vtokový zbytek. U těchto systémů se používá jen bodové vyústění s malým průřezem. I přes malý průřez se dá pracovat částečně s dotlakem. Mezi jeho hlavní komponenty patří vyhřívání vtoková vložka, vyhřívání vtokový systém, vtokové ústí a kabel vedení, který zajišťuje vyhřívání

celé soustavy. Aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám, je horký rozvod tepelně izolován od ostatních částí formy. Většinou se jedná o vzduchové mezery, které brání kontaktu mezi plochami horké rozvodu a jednotlivými díly formy. [24, 27]



Obr. 17. Základní provedení vyhřívaného rozvodu [27]

- 1 – studený materiál formy, 2 – kanál pro proudění kapaliny, 3 – topné těleso,
4 – zmrzlá vrstva plastu, 5 – izolační vzduchová mezera

Jak je patrné na Obr. 16. je buď vnitřní, nebo vnější vyhřívání horkých rozvodů. U vnitřního vytápění se využívá topného tělesa, které je umístěno uvnitř kanálu, kde proudí polymerní tavenina. Její nevýhodou však je tvorba zamrzlé vrstvy, jež se vytváří v oblasti dotyku studené stěny formy s taveninou. Tento zamrzlý materiál se může časem dostat do formy, kde vytvoří například různé vzhledové vady nebo ovlivní mechanické vlastnosti výstřiku. Proto se tento typ vyhřívání moc nepoužívá pro vstřikování transparentních plastů. Oproti tomu vyhřívání rozvodů vnějším vytápěním mají topná tělesa umístěná mimo kanál určený pro tok polymerní taveniny. [27]

Výhody VVS:

- zkrácení výrobního cyklu,
- spotřeba plastu je menší
- není potřeba odstraňování vtokových zbytků

- vlastní regulace všech částí.

Nevýhody VVS:

- dražší a náročnější provedení konstrukce formy,
- potřeba energetického připojení,
- nelze použít pro všechny materiály. [21, 29]

5.3 Temperační systém

Při vstřikování termoplastů musí být vstřikovaný díl dostatečně ochlazen, aby se usnadnilo jeho vyhození z dutiny formy. Pokud forma obsahuje více tvarových dutin, je nutné, aby všechny výstřiky byly chlazeny rovnoměrně. Při vstřikování je známo, že z celkové doby vstřikovacího cyklu zabírá chlazení až 70 %. Jestliže se jedná o rychlé chlazení, vede to ke zkrácení tohoto cyklu. Zatímco rovnoměrné chlazení bude zase mít lepší vliv na kvalitu výrobku, protože nebude docházet k rozdílnému smršťování a vnitřnímu pnutí. Proto se musí najít nějaký kompromis mezi těmito dvěma druhy chlazení. [28]

Nejdůležitějším požadavkem je, aby temperační systém udržel stabilní pracovní teplotu dutiny formy, a to hlavně po celou dobu vstřikovacího cyklu, včetně jeho opakování.

Temperační média se dělí na aktivní, které působí přímo na formu, a na pasivní, které ovlivňují tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi (např. tepelná trubice).

Mezi aktivní temperační média patří kapalina, vzduch nebo topné elektrické články. Chlazení vzduchem má malou chladicí účinnost, proto se většinou používá kapalina. Při použití kapaliny dochází k přestupu tepla mezi vstřikovací formou a kapalinou, která proudí v temperačních kanálech vyvrtných uvnitř formy. Nejčastěji používaná kapalina je voda, ale může být i olej nebo glykol. Dostatečný výkon čerpadla by měl zajistit v kanálech formy turbulentní proudění, ale taky by měl udržet správnou teplotu a tlak. Právě turbulentní proudění má za následek intenzivnější odvod tepla ze stěny tvarové dutiny.

Při návrhu temperačních kanálků je důležité dodržovat tyto pravidla:

- aby docházelo k rovnoměrnému chlazení, a přitom zachování pevnosti a tuhosti formy, musí být temperační kanálky ve správné vzdálenosti od stěny dutiny,

- k ochlazování by mělo nejdříve docházet v nejteplejším místě ve formě,
- nejmenší průměr kanálků by měl být 6 mm, jestliže bude menší, může dojít k jejich ucpání,
- dbát při konstrukci temperačních kanálků, aby nevznikali slepá místa, tvorba ohniska koroze,
- z výrobních důvodů by měl být průřez kanálků kruhový,
- nevhodné umístění kanálků v blízkosti zlomu toku taveniny. [21]

Tabulka 5. Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálků [30]

Tloušťka stěny vstřikovaného dílu t [mm]	Vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny formy A [mm]	Vzájemná vzdálenost os sousedních temperačních kanálků v [mm]	Průměr temperačního kanálu D [mm]
0-1	10-14	10-12	5-6
1-2	10-20	12-16	6-8
2-4	20-25	16-22	8-10
4-6	25-35	22-28	10-12
6-8	32-42	28-36	12-16
8-12	42-55	36-50	16-20

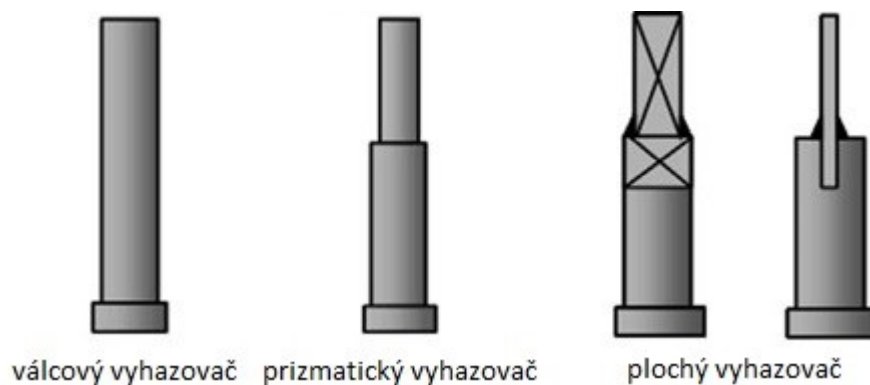
5.4 Vyhazovací systém

Hlavní funkcí vyhazovacího systému je umožnit vyjmutí vstřikovaného dílu z formy po ztuhnutí. Se vstřikovaným dílem se z formy musí odstranit i vtokový zbytek, pokud byl ve formě studený vtokový systém. Proces vyhazování se skládá ze dvou procesů. Prvním je dopředný pohyb, který vyhazuje vstřikovaný díl z dutiny formy a poté následuje zpětný pohyb, kdy se vrací vyhazovací systém do původní polohy. Funkčně ale i designově se vyhazovací mechanismy značně liší, proto jejich volba závisí například na těchto faktorech:

- podle tvaru a velikosti vstřikovaného výrobku,
- vzhledové aspekty součásti,
- výrobní požadavky. [31, 32]

5.4.1 Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky poskytují nejlevnější variantu vyhazování výrobků z formy, proto jsou i nejpoužívanější. Ve formě se umísťují proti stěně výrobku ve směru vyhození. Jejich nevýhodou je, že zanechávají za sebou stopu na výstřiku, proto se umísťují na nepohledovou stranu nebo na žebro výrobku. Aby se urychlil celkový vstřikovací cyklus, a přitom nedošlo k trvalé deformaci, navrhují se kolíky do míst, kde dochází k ochlazení jako první. [31, 32]



Obr. 18. Různé provedení vyhazovacích kolíků [33]

5.4.2 Stírací deska

Stírací deska vysouvá vstřikovaný díl tlačáním nebo vytahováním z dutiny formy prostřednictvím kontaktu po celém jeho obvodu, tudíž na výstřiku nezůstávají stopy po vyhazování a poškození výrobku je minimální. Tato metoda se hojně využívá u tenkostěnných nebo velmi rozměrných výrobků, kde musí být použita velká vyhazovací síla. Tento vyhazovací systém je ovládán tlakem nebo pohybem pevné desky, které probíhá při otevírání formy. [21, 32]

5.4.3 Pneumatické vyhazování

Dalším případem vyhazování je vyhazování vzduchem, které se většinou používá v kombinaci s mechanickým vyhazováním. Nachází uplatnění v termoplastickém a gumárenském odvětví pro součástky, jako jsou velké membrány, těsnění nebo tenkostěnné výrobky. Principem vzduchového vyhazovače je, že se vytvoří vzduchový polštář mezi blokem a vstřikovaným výrobkem, dojde k částečnému oddělení od formy, a tak není potřeba velké síly pro vyhození dílu z formy mechanickým vyhazovačem. [32, 34]



Obr. 19. Vzduchové vyhazovače [34]

5.5 Odvzdušnění formy

Při vstřikování musí být zajištěn odvod vzduchu z formy. Čím rychlejší je plnění formy taveninou, tím účinnější musí být odvzdušnění formy. Pokud by nedošlo k úniku vzduchu mohlo by dojít k jeho stlačení, a tím by mohlo dojít k vzhledovým vadám na výstřiku nebo zhoršení jeho mechanických vlastností. Dieselův efekt je nejčastějším problémem nevhodného odvzdušnění. Je to spálené místo na vstřikovaném výrobku, jež může vzniknout prudkým stlačením vzduchu tokem taveniny.

Pro odvod vzduchu v některých případech postačí jen dělicí rovina, s vůlemi vyhazovačů a jader. Pokud by to ale nestačilo, bude se muset forma dodatečně odvzdušnit. Jednou z možností je vyvrtání odvzdušňovacích kanálků. Jejich velikost musí být dostatečně veliká na to, aby spolehlivě odváděli vzduch, ale ne zase moc veliká, aby vznikali přetoky na výrobku. Každý materiál má jinou viskozitu, proto volba rozměrů kanálků bude na ni závislá. Aby se nesnížila efektivita odvzdušňování, je potřeba kanálky pravidelně čistit. [21, 29]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zásady pro zpracování diplomové práce:

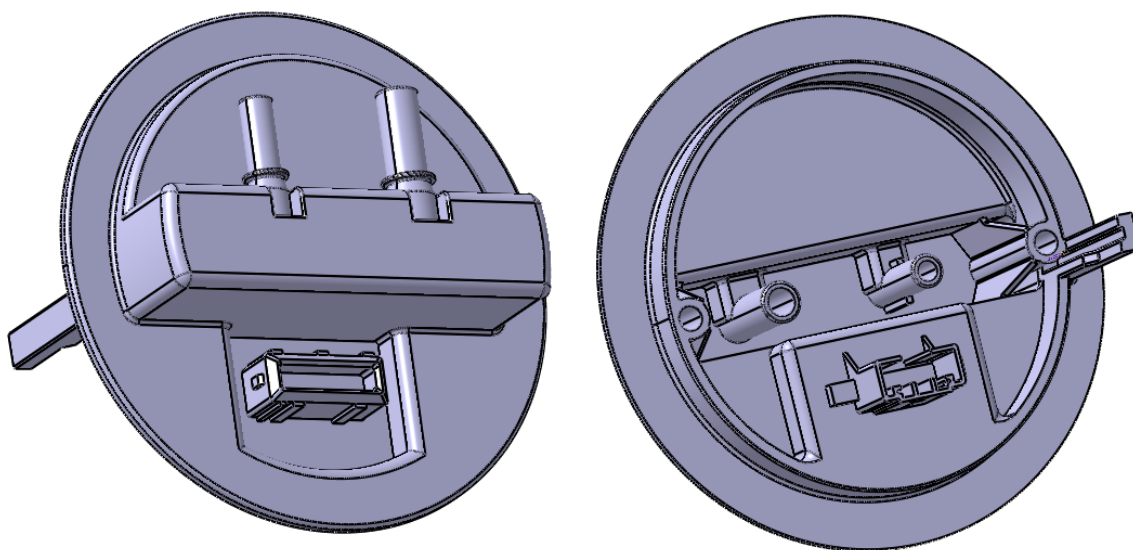
1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proved'te konstrukci zadaného plastového dílu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
5. Návrh vstřikovací formy ověřte pomocí analýz.

Teoretická část nebo-li literární rešerše diplomové práce je rozdělena do pěti hlavních tematických okruhů, ve kterých je stručně popsána daná problematika. První kapitola se zabývá polymery, dále je v literární části popsán význam a použití termoplastů v automobilovém průmyslu a v posledních částech se řeší samotná problematika vstřikování, konstrukce vstřikovacího stroje a konstrukce vstřikovací formy.

V praktické části diplomové práce je hlavní náplní nakreslení plastového dílu pomocí 3D softwaru. Modelace plastového dílu vychází z fyzické podoby. Plastový díl je z automobilu a to konkrétně víko od čerpadla. Poté je pro tento 3D model navržena vstřikovací forma včetně 2D výkresů sestavy i s kusovníkem. Nakonec byla pro navrhnutou vstřikovací formu provedena analýza, aby se ověřila její funkčnost při vstřikování. Modelace plastového dílu a následný návrh vstřikovací formy byly zhotoveny pomocí v softwaru CATIA V5R20 a normálií od firmy HASCO a Meusburger. Analýza pro ověření funkčnosti vstřikovací formy při vstřikování byla provedena v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016.

7 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Vstříkovaný díl, pro který je navržena vstříkovací forma, je víko od čerpadla v automobilu. Hlavní rozměry výrobku jsou průměr 130 mm a šířka 76 mm. Výrobek obsahuje dva průchozí kanálky, na které se připojí hadice a bude tím protékat kapalina. Kanálky z jedné strany jsou opatřeny kroužkem, aby nedocházelo k úniku kapaliny. Celkový objem vstříkovaného dílu je 89,29 cm³.



Obr. 20. 3D model vstříkovaného dílu

7.1 Materiál výrobku

Pro zadaný vstříkovaný výrobek byl použit materiál POM od firmy Asahi Kasei Chemicals Corporation s obchodním názvem Tenac LA 541. Tento homopolymer se vyznačuje velmi vysokou pevností, rozměrovou stálostí, dobrou odolností vůči tečení, houževnatostí, téměř nulovou nasákavostí ve vlhkém prostředí a ve vodě a má dobré elektro-izolační vlastnosti, proto je vhodný pro zadaný vstříkovaný díl. Tento materiál se používá kromě automobilového průmyslu také v elektrotechnickém, potravinářském a ve strojírenství. [39]

Tabulka 6. Základní vlastnosti materiálu POM Tenac LA 541 [40]

Vlastnosti	Testovací metoda	Jednotka	Hodnota
Průtok	ISO 1133	g/10min	17
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,38
Napětí při přerušení	ISO 527	MPa	63
Modul v tahu	ISO 527	MPa	2800
Modul pružnosti	ISO 178	MPa	2600
Rázová síla	ISO 179	kJ/m ²	7
Tep. průhybu při zatížení (1.80 MPa)	ISO 75	°C	100
Smrštění	Interní metoda	%	1,8-2,2

Tabulka 7 Doporučené zpracovatelské teploty z Moldflow[37]

Doporučené zpracování	Teplota [°C]
Teplota povrchu formy	90
Rozsah teploty formy	60 - 120
Teplota taveniny	200
Rozsah teploty taveniny	180 - 220
Absolutní maximum teploty taveniny	240
Teplota vyhození	135

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci vstřikovací formy by měl konstruktér myslet na to, že by měla být vstřikovací forma co nejjednodušší a měl by použít pokud možno co nejvíce normalizovaných dílů, které sniží časové a finanční náklady na výrobu formy, ale taky ušetří čas sobě při návrhu. Normalizované díly při tomto návrhu byly použity od firmy Hasco a Meusburger.

V CATIA V5R20 byl vymodelovaný vstřikovaný díl, který byl zadán. Ve stejném softwaru bude vytvářen návrh vstřikovací formy a to konkrétně v modulech Part Design, Assembly Design a Mold Tooling Design, které lze najít pod hlavním modulem Mechanical design. Part Design slouží k modelaci různých tvarových částí. V Assembly Designu dochází k přidání jednotlivým vazbám mezi součástmi a nejdůležitější Mold Tooling Design, který urychluje návrh vstřikovací formy.

8.1 Volba násobnosti vstřikovací formy

Správná volba násobnosti vstřikovací formy je ovlivněna mnoha faktory, mezi které například patří:

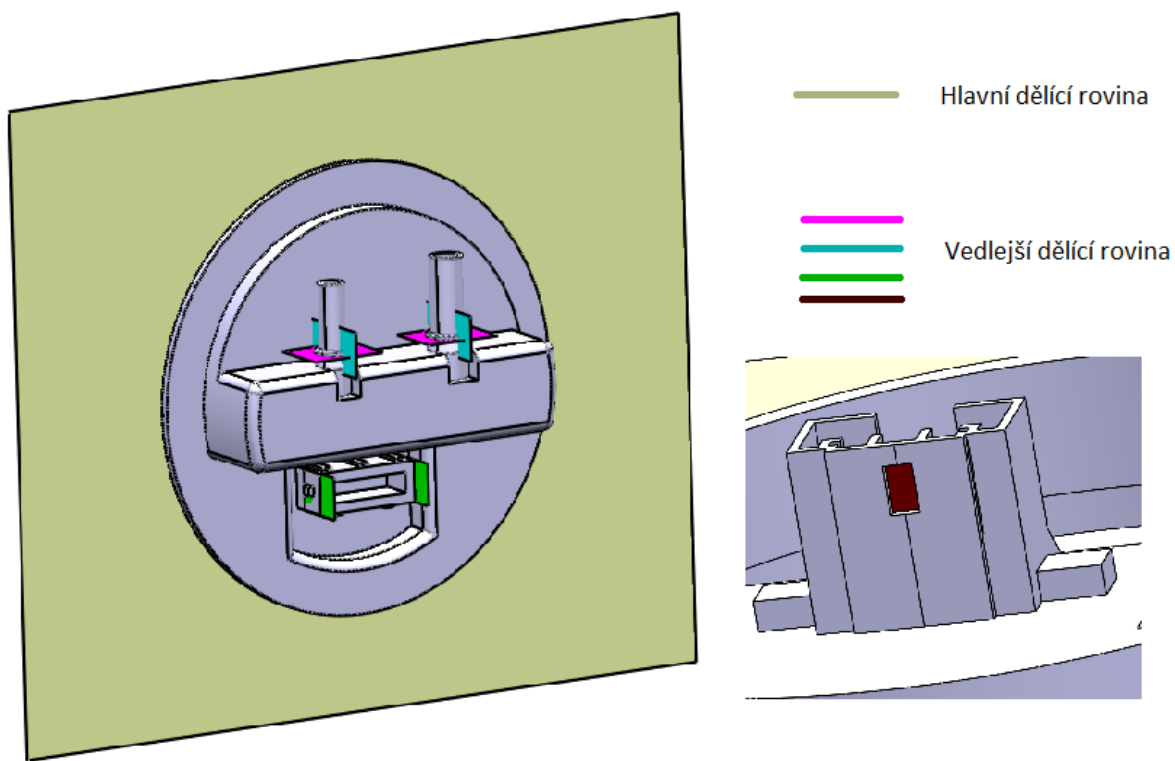
- přesnost a tvarová složitost výrobku,
- ekonomičnost výroby,
- počet výrobků ve výrobní sérii a čas dodání,
- parametry vstřikovacího stroje (objem maximální vstřikované dávky, plastikační výkon, vstřikovaný tlak, přidržovací síla formy).

Je lepší volit vícenásobné formy pro menší výrobky z důvodu větší produktivity. V tomhle případě byla zadána jednonásobná forma. Vícenásobná forma zde není vhodná z důvodu složitého odformování výrobku a nadměrné velikosti vstřikovací formy.

8.2 Zaformování dílu

Určení hlavní dělicí roviny je hlavní zásadou pro správné zaformování výrobku. Toto rozhodnutí závisí na uvážení konstruktéra, proto má každý výrobek hlavní dělicí rovinu v jiném místě. Tvar výrobku a složitost odformování je rozhodující pro určení dělicí roviny. Pokud se jedná o výrobek složitého tvaru, kde nebude stačit pouze hlavní dělicí rovina, přidávají se další dělicí roviny tzv. vedlejší.

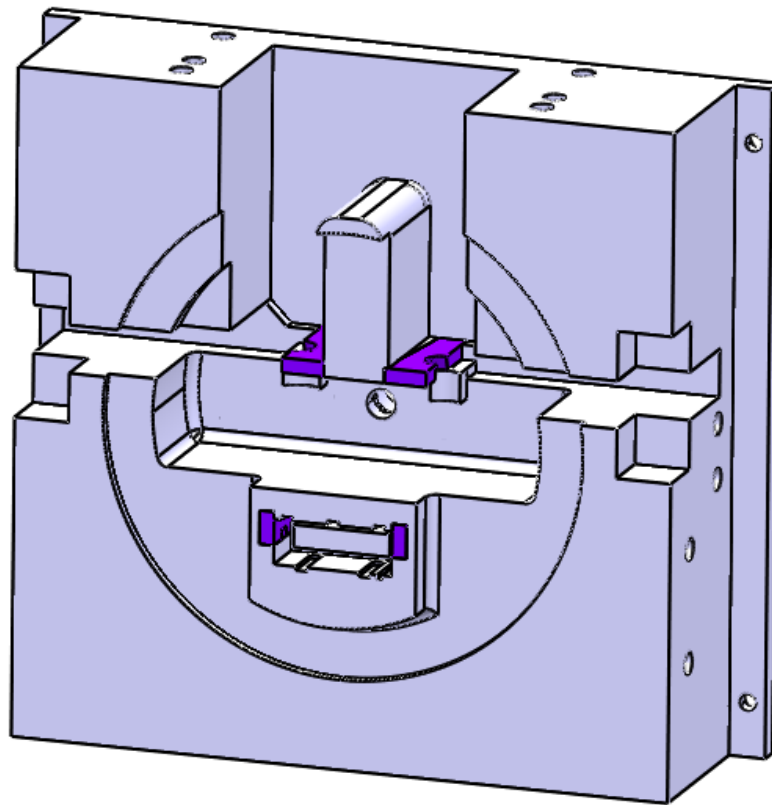
Z důvodu velké složitosti zadaného dílu bylo k odformování kromě hlavní dělicí roviny nutno použít i sedm vedlejších dělicích rovin.



Obr. 21. Hlavní a vedlejší dělicí roviny

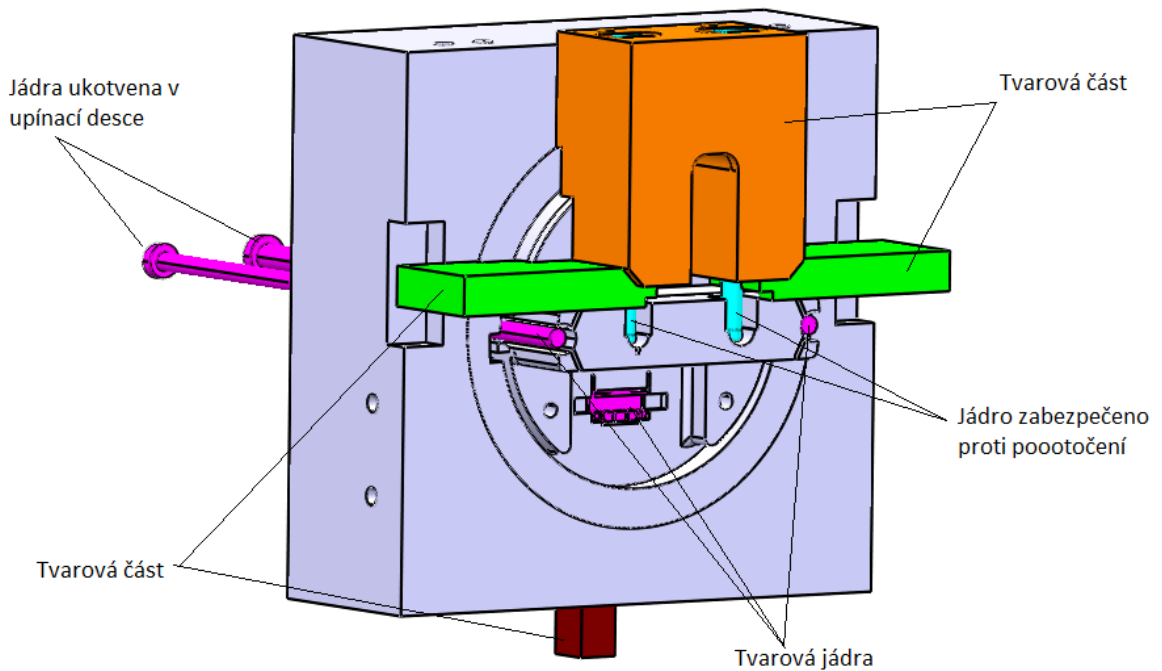
K celkovému zaformování vstřikovaného dílu je zapotřebí šestnáct tvarových částí. Na nepohyblivé pravé straně je tvárnice, která je umístěna v levé kotevní desce. Aby se během procesu vstřikování nepohnula, je opatřena z bočních stran osazením a ze zadní strany na ní tlačí dotlačecí kolíky, které jsou přišroubovány k upínací desce.

Dále na pravé straně jsou další čtyři posuvné tvarové části, které formují výsledný výstřik. Tyto tvarové části jsou opřeny ze zadní strany v kostce na posuv, ve které je vyfrézovaná drážka, ve které se pomocí kolíku pohybují, tím dojde k jejich možnému odformování.

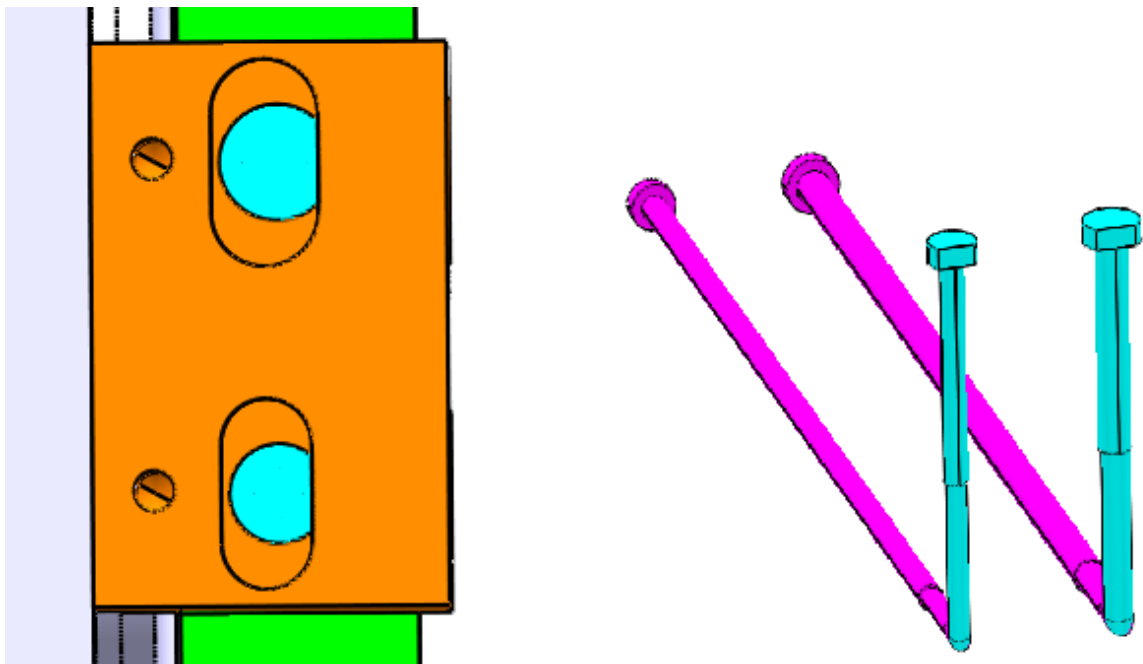


Obr. 22. Tvarové části na pravé straně

Na levé pohyblivé straně je tvárník, který je vložen v kotevní desce. Dále jsou na této straně čtyři posuvné tvarové části a sedm jader, které tvoří dutiny výrobku. Čtyři jádra tvoří průchozí kanálky ve výrobku. Dvě z nich jsou opatřeny zabezpečením proti pootočení a ukotveny v horní tvarové čelisti. Zbylé dvě jádra, která tvoří průchozí kanálek, jsou ukotveny v upínací desce, jelikož se dotýkají jader, které jsou zabezpečeny proti pootočení, tak tyto už nemusí být. Poslední tři jádra jsou ukotveny v tvárníku. Nebýt posuvných tvarových částí nebylo by možné dutinu formy jinak vytvořit a bezpečně odformovat.



Obr. 23. Tvarové části v levé straně formy

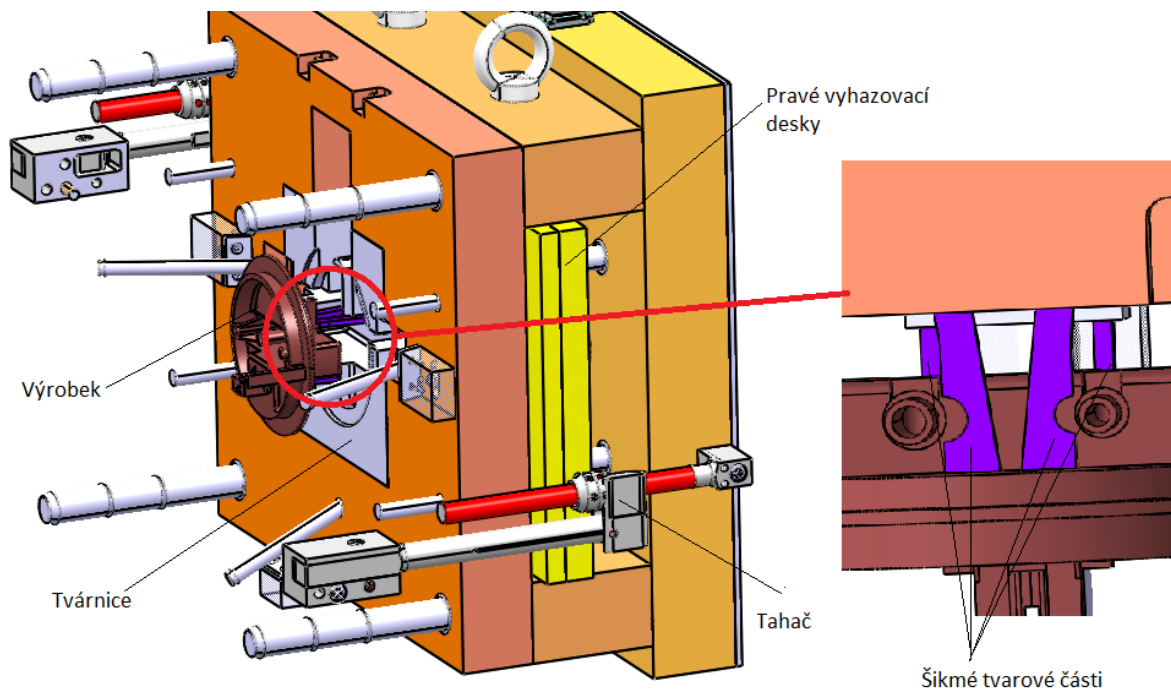


Obr. 24. Jádra zabezpečená proti pootočení a jádra tvořící kanálek

8.3 Odformování výrobku

Po vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy a následném ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu, se může vstříkací forma otevřít. Výrobek zůstává na levé pohyblivé straně formy. Během otevírání formy postupně dochází k jeho odformování.

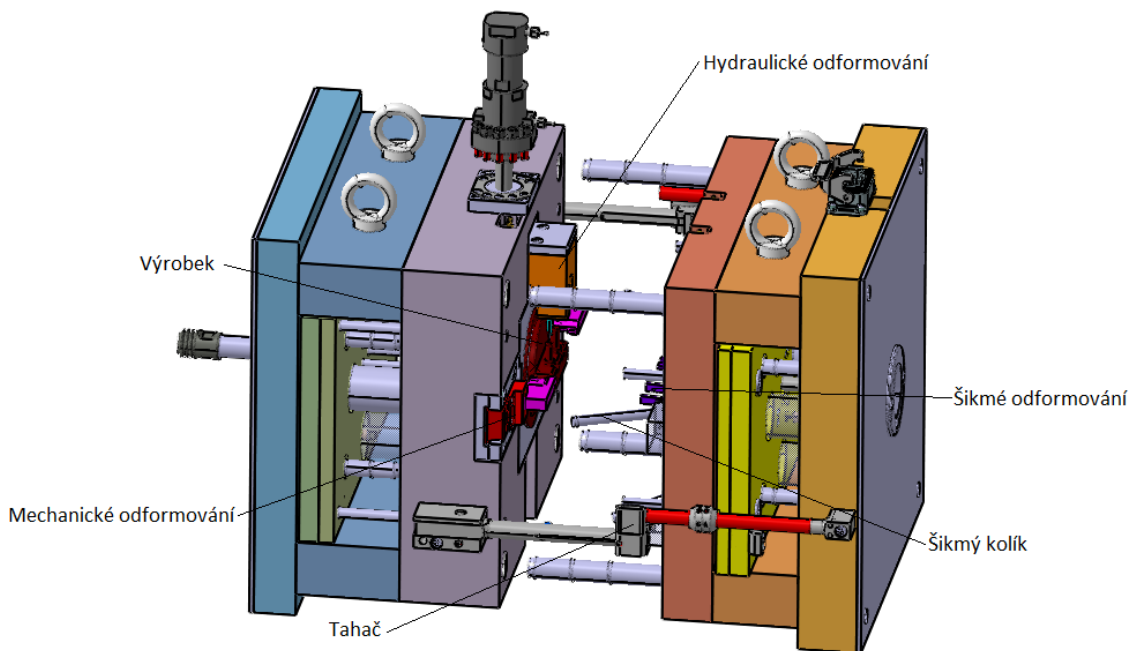
V první fázi otevírání dochází k pohybu celé levé části i s pravými vyhazovacími deskami, které jsou spolu propojeny dvěma tahači. Ve vyhazovacích deskách jsou přišroubovány kostky na posuv, ve kterých je vyfrézovaná drážka, ve které se šikmé tvarové části pohybují pomocí kolíku. Tvárnici, která je v nepohyblivé části, prochází tyto tvarové části, které jsou pod úhlem 25° . Díky těmto úhlům a pohybu pravých vyhazovacích desek dochází k posuvu šikmých tvarových částí a tudíž k odformování. Velikost posuvu vyhazovacích desek je 50 mm a udává ho tahač. Jakmile najede na překážku, tak pustí vyhazovací desky. Vrácení vyhazovacích desek zpět do původní polohy mají za úkol dotlačecí kolíky, které jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Až dojde k uzavírání formy, tak se dotlačecí kolíky opřou styčnou plochou o levou kotevní desku a tím zasunou zpět vyhazovací desky.



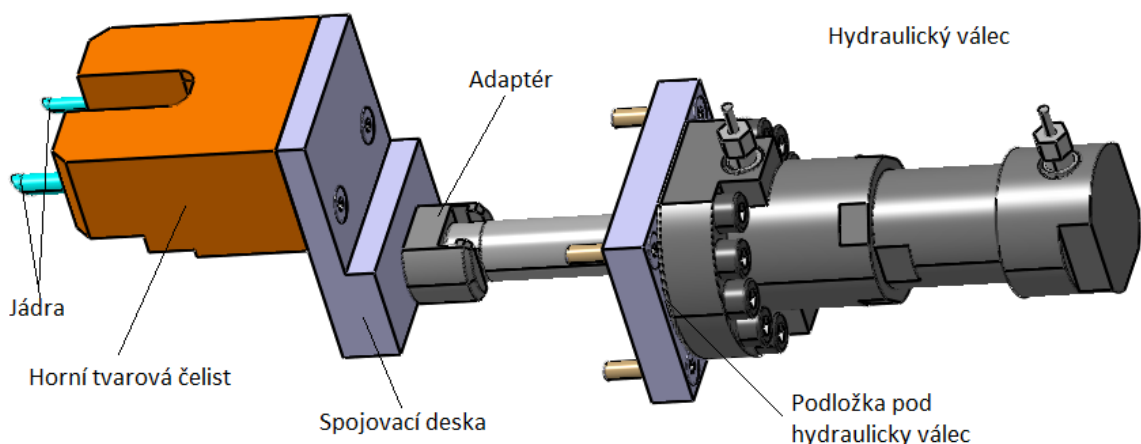
Obr. 25. První fáze odformování (pravá strana formy)

Po odformování pravé části formy během první fáze, dochází i k částečnému odformování tvarových částí, které jsou na levé straně formy. Ve druhé fázi dochází k odformování čtyř tvarových částí. K prvním třem tvarovým částí dochází mechanicky pomocí válcovým kolíků, které jsou pod úhlem 25° . Pohyb těchto tvarových částí je kolmý na směr vyhození. Boční tvarové čelisti se musí zdvihnout o 45 mm a spodní tvarová čelist jen o 3 mm. Poslední největší tvarová část, ve které jsou i zabezpečená jádra proti pootočení, je řešena pomocí hydraulického válce, protože k jejímu odformování je potřeba 55 mm zdvih. Byl vybrán hydraulický válec od firmy Meusburger se zdvihem 60 mm.

Hydraulický válec E7055 od firmy Mesuburger je k levé kotevní desce formy uchycen pomocí 10 šroubů, ty jsou dodávány současně s válcem. Na konci pístní tyče je vytvořeno vybrání, na které se vloží speciální adaptér. Na konci adaptéru je závit, přes který je spojen s deskou, která je přišroubovaná k tvarové části. Volba hydraulického odformování namísto mechanického byla hlavně z důvodu, zmenšení rozměrů celkové formy, a tím i její ceny. A jako poslední se odformují tvarová jádra, až při vyhození výrobku z formy.



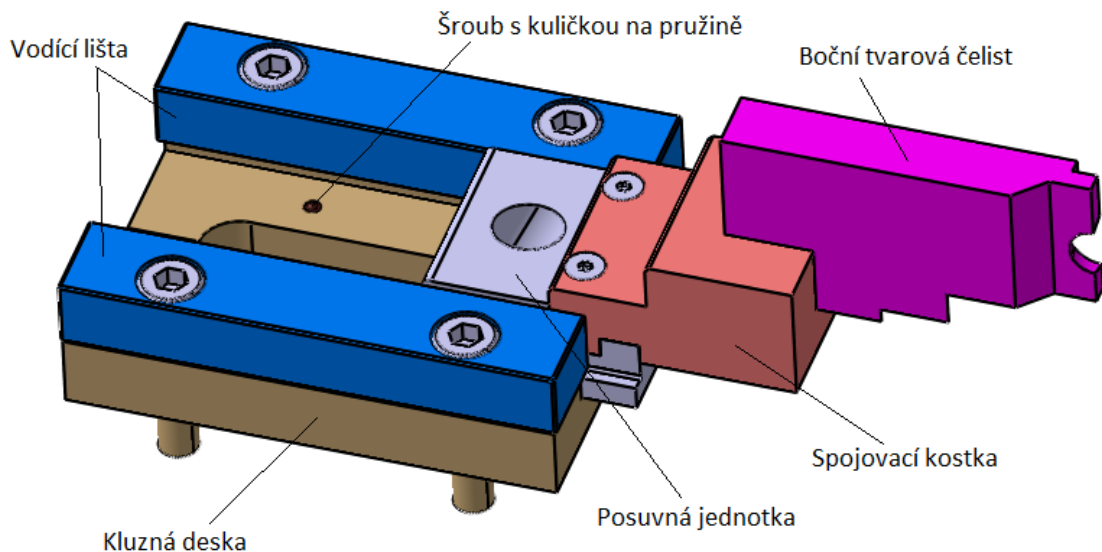
Obr. 26. Druhá fáze odformování



Obr. 27. Hydraulické odformování

Mechanické odformování je ve formě z bočních a ze spodní strany formy. Tvarová čelist vyrobená z nástrojové oceli je přišroubovaná ke spojovací kostce, která tvoří spojení mezi

tvárovou čelistí a posuvnou jednotkou. Oba tyto díly jsou vyrobeny z běžné konstrukční oceli. Posuvná jednotka se při otevírání formy pohybuje pomocí šikmých čepů po kluzné desce mezi vodícími lištami. Šroub, ve kterém je kulička na pružině, zajišťují boční čelisti v otevřené poloze. Po dosažení maximální posuvu čelistí, kulička zapadne do díry vytvořené v posuvné jednotce. Při uzavřené poloze čelisti jsou zajištěny opěrným dílem, který je přišroubován k pravé kotevní desce a brání tak v pohybu při vstřikování.



Obr. 28. Mechanické odformování

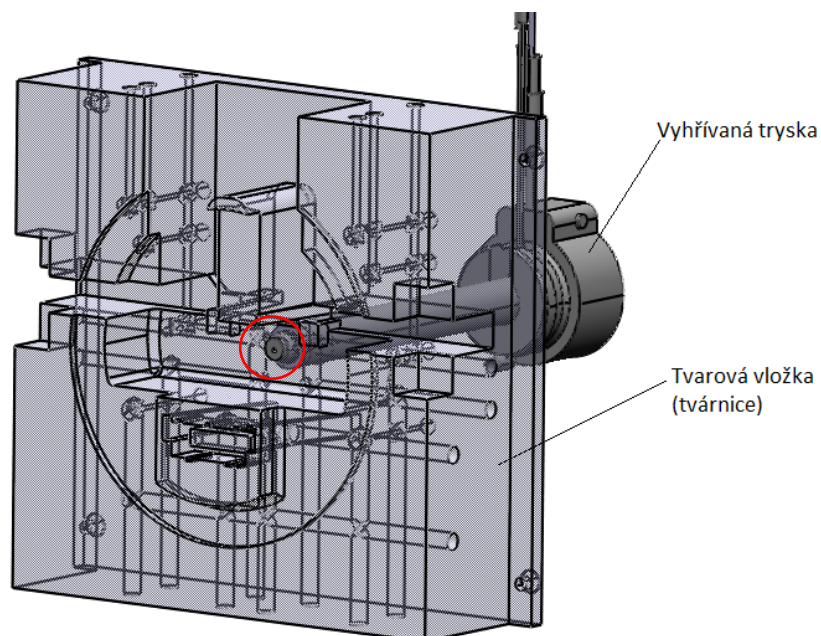
8.4 Vtokový systém

Dopřít taveninu od vstřikovacího stroje po tvarové dutiny formy má v popisu práce vtokový systém. Pro tuto vstřikovací formu byl zvolen vtokový systém vyhřívaný a to hlavně proto, že se jedná o jednonásobnou formu. Protože pokud by byl zvolen studený vtokový systém, vtokové ústí by muselo být kuželové, v tom zůstává velký vtokový zbytek, který by se následně musel odstranit mimo formu. U vyhřívaného vtokového systému žádný vtokový zbytek není. Další jeho výhodou je, že zajišťuje po celou dobu konstantní teplotu a zkracuje vstřikovací cyklus.

Vyhřívaná tryska E4000 od firmy Meusburger je uložena pomocí vybrání mezi upínací a tvarovou deskou. Celý vtokový systém se skládá z vyhřívané vtokové trysky, která je elektrickými kabely spojena se zásuvkou, aby byla možnost její připojení k elektrické síti. Proti jakémukoliv pootočení uvnitř formy je zabezpečena středícím kolíkem.



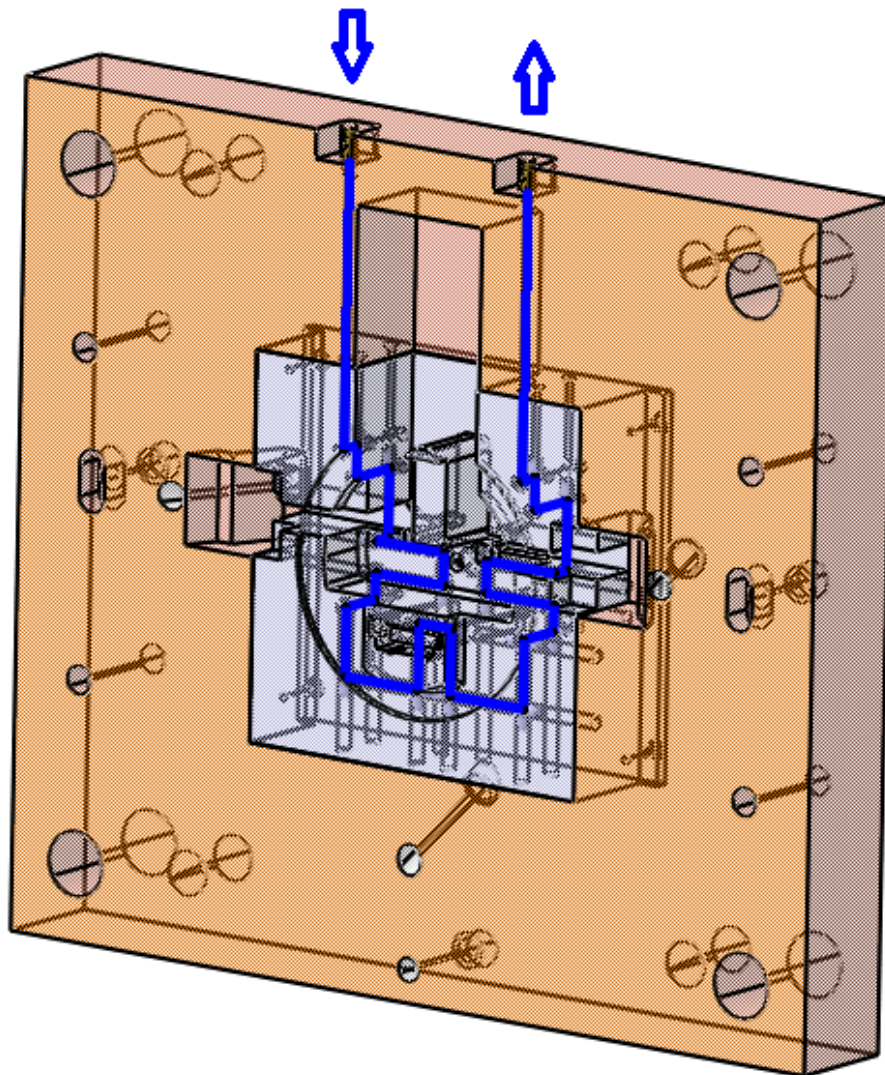
Obr. 29. Vyhřívání tryska včetně kabeláže se zásuvkou



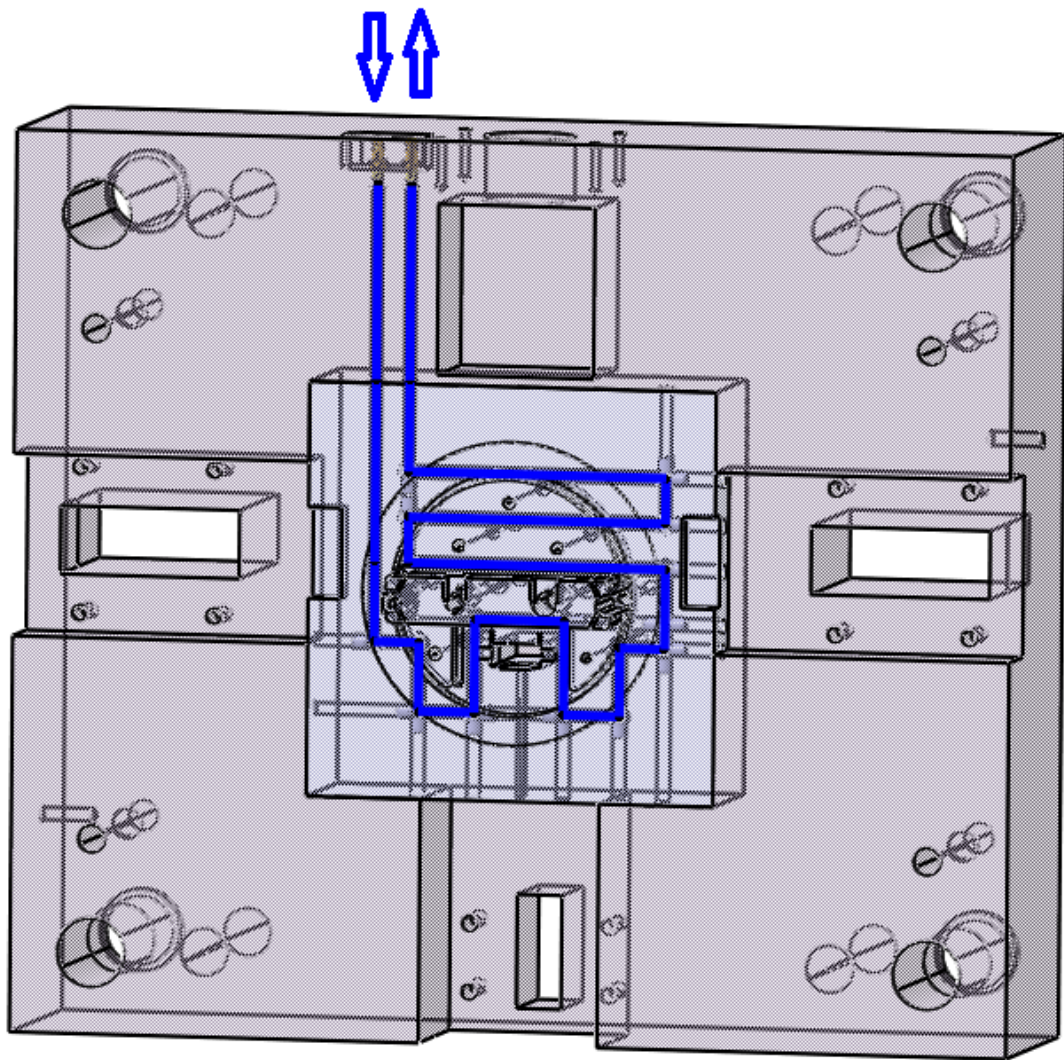
Obr. 30. Umístění vtokového ústí ve tvarové vložce

8.5 Temperační systém

Temperační systém slouží k odvodu tepla ze vstřikovací formy, protože teplota formy při vstříknutí polymerní taveniny do tvarových dutin prudce vzroste. Správná teplota formy závisí na vhodném návrhu kanálů, volbě chladicí kapaliny a její rychlosti cirkulace. Celkový temperační systém se v tomto případě skládá ze dvou samostatných okruhů, kdy jeden je v pravé části a druhý v levé části vstřikovací formy. Jedná se o vrtané kanálky o průměru 6 mm, ve kterých cirkuluje temperační médium a to voda. Ke správnému toku temperačního média slouží ucpávky, které jsou uvnitř vrtaných kanálků. Oba temperační okruhy mají na vstupu a výstupu rychlospojky pro připojení hadic. Aby nedošlo ke zlomení, tak jsou tyto rychlospojky zapuštěny do tvarových desek.



Obr. 31. Temperace na pravé straně formy

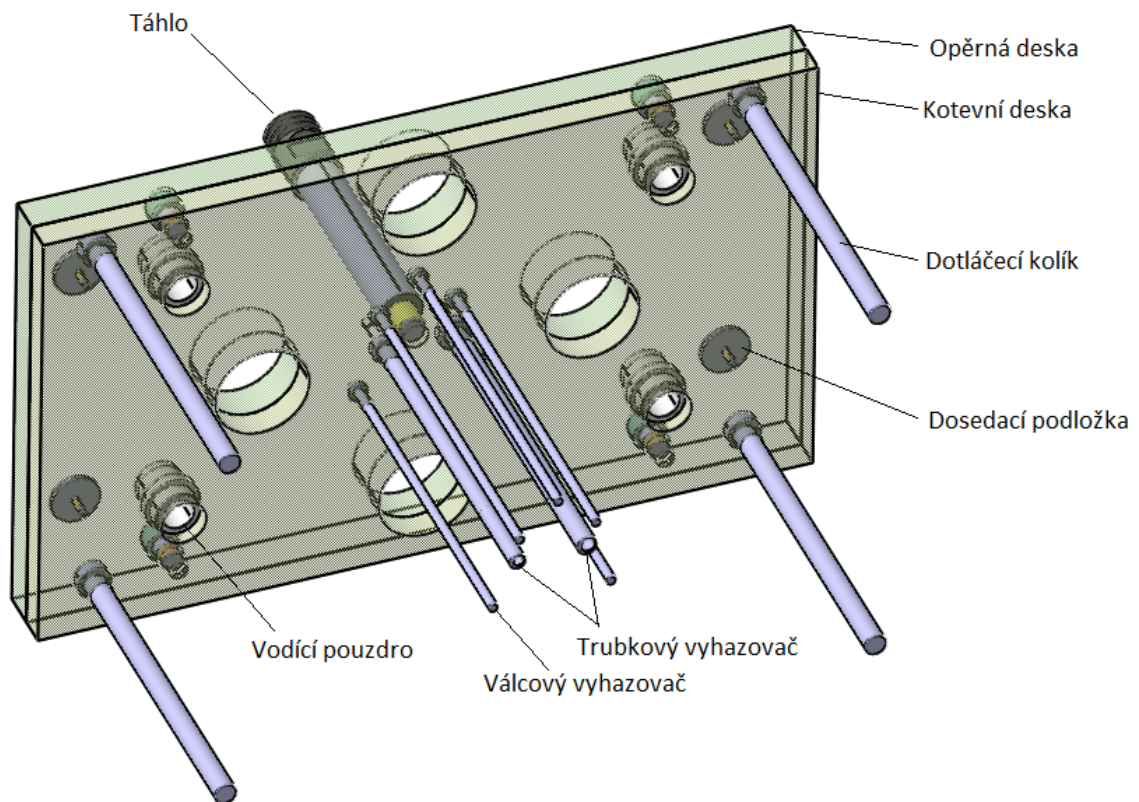


Obr. 32. Temperace na levé straně formy

Modrá čára naznačuje, kudy bude proudit voda, jež byla zvolena jako temperační médium pro oba okruhy, protože je výhodná z ekonomického důvodu a zároveň splňuje procesní podmínky pro daný materiál (teplota formy, teplota taveniny). Voda bude vstupovat do okruhu s počáteční teplotou 30 °C a tlakem 2,4 baru. Podrobnější informace o nastavení temperačního systému jsou v sekci analýz formy.

8.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém má za úkol vyhodit dostatečně ochlazený výrobek z dutiny formy, tak aby na něm nedocházelo k nežádoucím deformacím, proto se musí umístění vyhazovacích kolíků pečlivě promyslet. Vyhazovací systém je složen ze 7 vyhazovacích kolíků, které jsou ukotveny v kotevní desce. Ta je zajištěna opěrnou deskou. Obě tyto desky jsou spolu vystředěny vodícími pouzdry a přišroubovány 4 šrouby.



Obr. 33. Vyhazovací systém

Vyhození výrobku obstarává 5 válcových kolíků o průměru 5 mm a dva trubkové, kterými prochází jádra, jež tvarují výrobek. Větší trubkový vyhazovač má vnější průměr 11 mm a vnitřní 8 mm a menší trubkový vyhazovač má vnější průměr 9 mm a vnitřní 6 mm. Všechny tyto vyhazovací kolíky jsou nabízeny od firmy Hasco jako normalizované díly. Ze zadní strany opěrné desky jsou 4 dosedací podložky, které jsou k ní přišroubovány. Táhlo zajišťuje dopředný pohyb vyhazovacího systému a správné vedení zajišťují vodící pouzdra s vodícími čepy, které jsou ukotveny v levé upínací desce. Dále jsou zde dotlačecí kolíky, které jsou ukotveny v kotevní desce, a jejich koncová styčná plocha se dotýká pravé kotevní desky. Tyto kolíky slouží k navrácení vyhazovacího systému do původní polohy. Jakmile se výrobek vyhodí s formy a forma se začne zavírat, na dosedací kolíky začne tlačit pravá kotevní deska a tím začne posouvat vyhazovací desky zpět.

8.7 Ostatní komponenty

Mezi další komponenty formy, které ještě nebyly zmíněny, patří například vodící čepy, vodící pouzdra, šrouby, středící komponenty, dosedací kolíky a další díly. Tyto díly

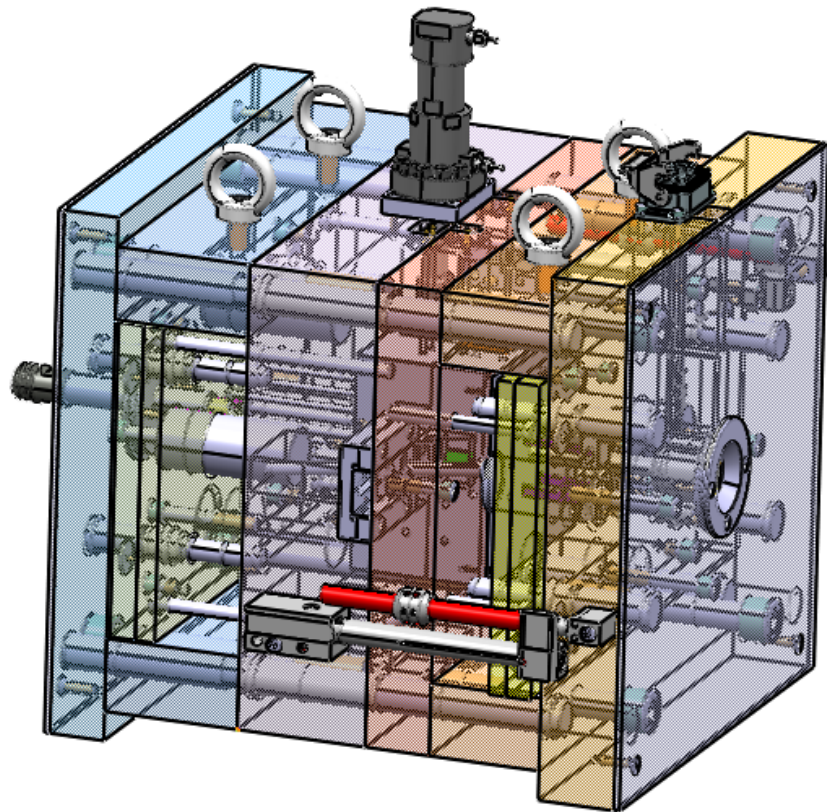
zajišťují správnou funkci vstřikovací formy během celého vstřikovacího cyklu. Většinou se jedná o normalizované díly, které byly vybrány od firmy Hasco. V kusovníku je vypsán jejich konkrétní typ a označení.

K vystředění jednotlivých desek formy se používají vodící čepy, vodící pouzdra a trubky. Dále se forma skládá ze čtyř funkčních částí (pravá strana, levá strana, levá vyhazovací a pravá vyhazovací část), jež jsou jejich jednotlivé desky k sobě přišroubovány. Oba vyhazovací systémy jsou také středěny pomocí vyhazovacích prvků. K vystředění vstřikovací formy se vstřikovacím strojem slouží středící kroužek. Pro zvýšení tuhosti formy jsou do ní přidány dosedací kolíky. Pro jednodušší manipulaci s formou je jsou z horní strany formy přišroubovány čtyři transportní oka.

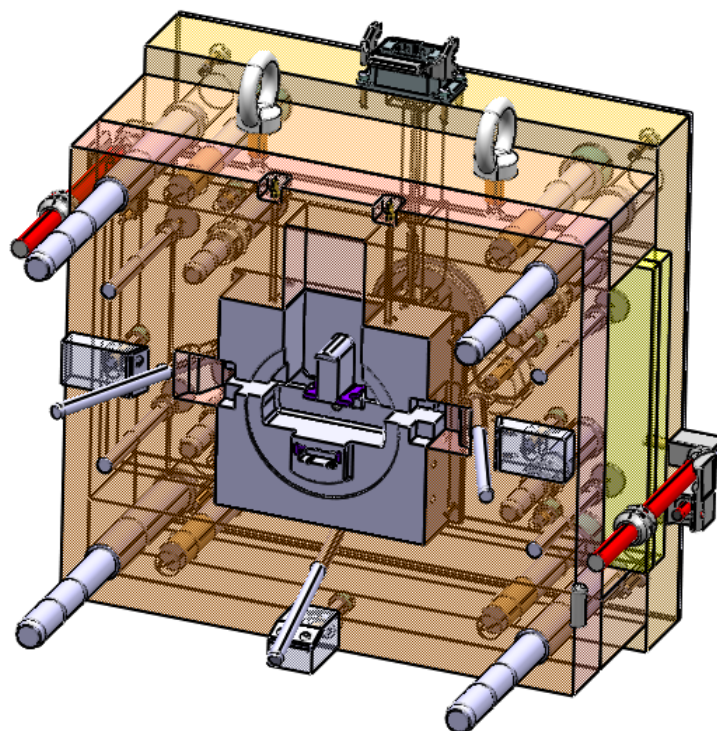


Obr. 34. Ostatní komponenty [36]

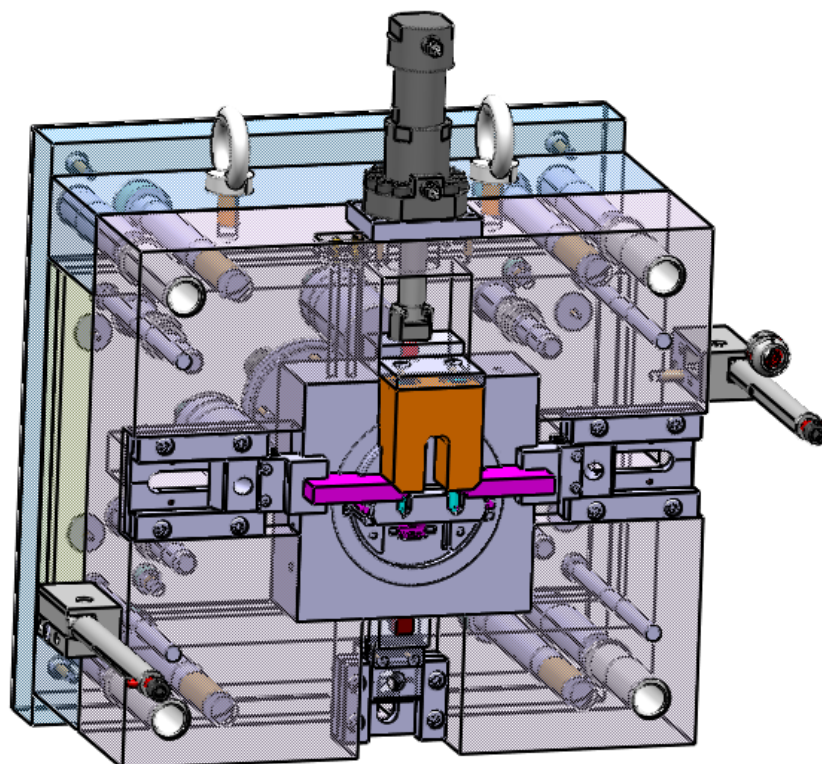
- A) vodící čep, B) vodící pouzdro, C) středící kroužek,
D) rychlospojka pro hadice, E) transportní oko*



Obr. 35. Celá sestava vstřikovací formy



Obr. 36. Pravá část vstřikovací formy



Obr. 37. Levá část vstřikovací formy

9 VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vzhledem k rozměrům a technickým parametrům navrhnuté vstřikovací formy byl vybrán vstřikovací stroj od firmy ARBURG, jež má označení ALLROUNDER 470 C 146 tons 7,4 oz (35mm).



Obr. 38. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 470 C [39]

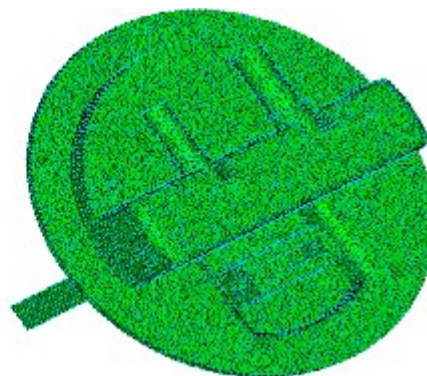
Tabulka 8 Srovnání parametrů formy a vstřikovacího stroje [38]

Parametry	Hodnoty formy	Hodnoty stroje
Uzavírací síla	339,9 kN	1500 kN
Objem dávky	89,29 cm ³	154 cm ³
Vstřikovací tlak	34,20 MPa	250 MPa
Velikost upínací desky	446 x 396 mm	650 x 650 mm (max)
Výška formy	494 mm	250 mm (min)
Vzdálenost mezi vod. sloupky		470 x 470 mm
Průměr šneku		35 mm

10 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Pro analýzu toku a kontrolu vhodnosti vstřikovací formy byl použit software Autodesk Moldflow Synergy 2016. Vstřikovaný díl byl vysítován za pomoci sítě Dual Domain, jehož celková délka hrany na povrchu byla vzhledem k rozměrům dílu zvolena 2 mm. Poté následovala kontrola kvality dané sítě. Maximum Aspect Ration (maximální poměr stran) by měl být do hodnoty 15 (20 krajní hranice), pokud by byla překročena tato hodnota, mohlo by dojít ke zkreslení některých výsledků. V tomto případě je jeho hodnota 9,42. Dále je nutné zkontrolovat hodnoty pro free edges (volné hrany), elements not oriented (nevhodně orientované elementy), element intersections (protínající se elementy) a fully overlapping elements (překrývající se elementy), jejichž hodnota by měla být nula.

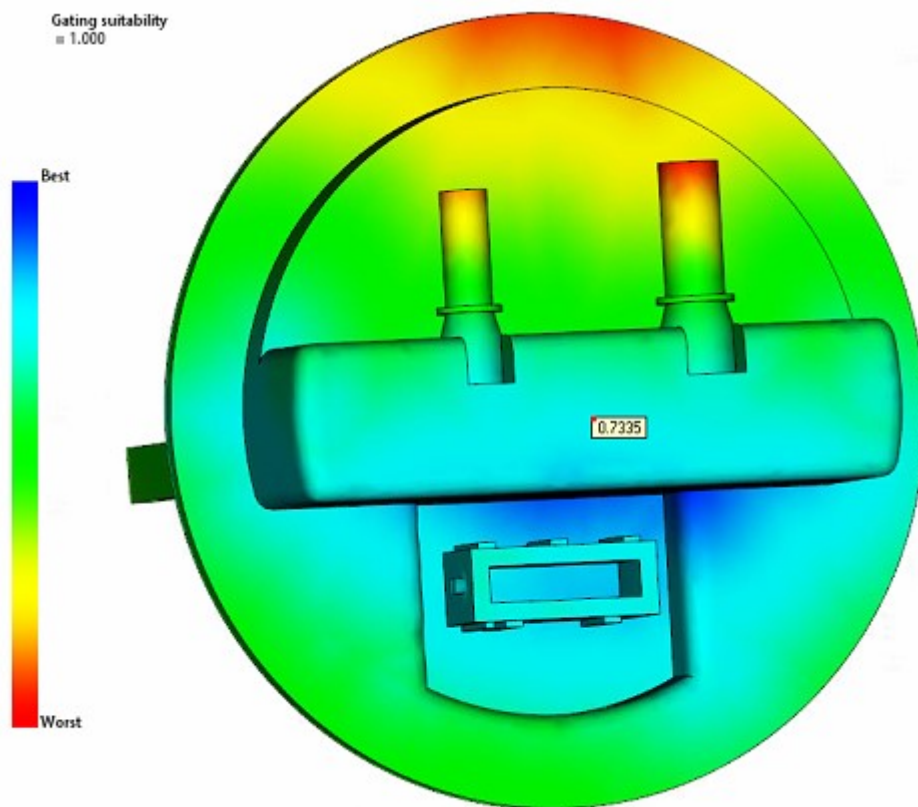
Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
9.42	1.61	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		74074
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		92.54
Reciprocal percentage		93.04



Obr. 39. Vysítovaný model se statistikou sítě

10.1 Analýza vhodného umístění vtokového ústí (Gate location)

Jakmile se vytvořil 3D model v programu CATIA V5R20, tak před konstrukcí samotné vstřikovací formy se provede analýza gate location, ve které budou popsány dva druhy výsledků. První část určí na výstřiku neoptimálnější místo pro vtokové ústí a druhá část zobrazí, jaký bude odpor v určitých místech tvarové dutiny formy. Jedná se o rychlou analýzu, při které se pouze model správně vysítuje a zvolí materiál vstřikovaného výrobku, kterým je polyoxymetylen s obchodním názvem Tenac LA 541 (viz. kapitola 7.1). Pro tuto analýzu byly ponechány výchozí procesní podmínky.



Obr. 40. Vhodnost umístění vtokového ústí

Na obrázku je výsledek graficky zobrazen podle barevné škály, kde je optimální místo zobrazeno modrou barvou a nejméně vhodné je zobrazeno barvou červenou. Těmto místům by se měl konstruktér pokusit vyhnout. Místo, které bylo zvoleno pro umístění vtokového ústí, lze vidět na výrobku. V tomto místě se vhodnost pohybuje okolo 73 %, což je vyhovující.

10.2 Nastavení analýzy

Po vytvoření návrhu vstřikovací formy v softwaru CATIA V5R20 se zkontroluje její vhodnost pomocí analýzy typu – Cool + Fill + Pack + Warp (Chlazení + Plnění + Dotlak + Smrštění) v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Opět jako při Gate analýze, se nejdříve vloží vstřikovaný díl ve formátu *.stp., který byl zbaven všech technologických rádiusů do a včetně velikosti 2 mm, dojde k jeho vysítování a zvolení materiálu.

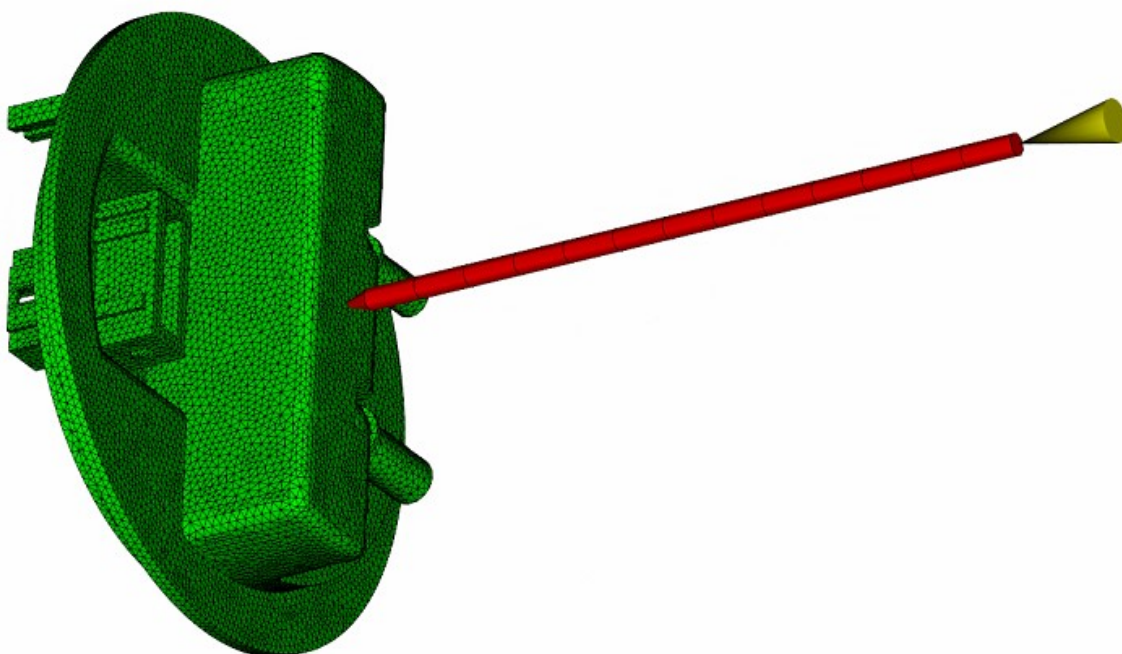
10.2.1 Vtokový systém

Dráha vtokového systému je vytvořena pomocí křivky v softwaru CATIA V5R20 a uložena ve formě *.igs. Tato křivka zobrazuje střednici vyhřívané trysky, která byla dle

zadání zvolena. Délka dráhy trysky a její rozměry jsou nadefinovány podle katalogu Meusburger, ze kterého byla vtoková tryska vybrána. Po nadefinování a zadání jejich rozměrů je trajektorie vtokového systému vysíťována.

Tabulka 9. Rozměry horkého vtokového systému

Část systému	Geometrie	Rozměry [mm]
Horká vtoková vložka	Válec	$\text{ØD} = 5$; $L=155$
Vtokové ústí	Kužel	$\text{ØD} = 5$; $\text{Ød} = 1,5$; $L = 5$



Obr. 41. Vysíťovaná trajektorie vtokového systému

10.2.2 Temperační systém

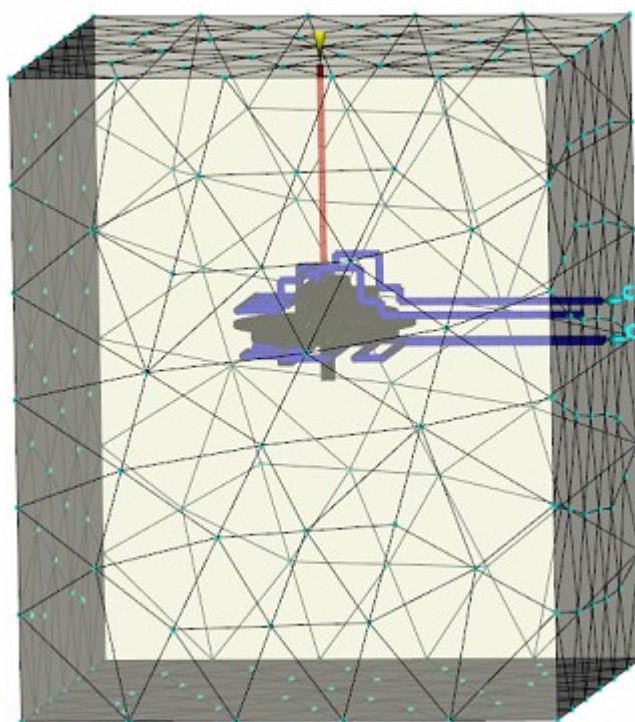
Hlavním úkolem temperace je odvod tepla z dutiny formy, udržení konstantního teplotního pole a dosažení poměrně krátkého cyklu. Stejně jako vtokový systém je temperační systém vytvořen pomocí jednotlivých trajektorií, které byly opět navrženy v softwaru CATIA V5R20 a uloženy ve formátu *.igs. Temperační systém se skládá ze dvou samostatných okruhů pro pravou část formy a levou část formy. V programu Moldflow jsou obou okruhům přiděleny dané vlastnosti, že se jedná o kanál o průměru 6 mm.

Následně byly jednotlivé trajektorie temperačního systému vysíťovány a každému okruhu byl přidělen vstupní otvor, kudy bude proudit chladicí médium. U obou okruhů je

chladící médium zvolena voda o teplotě 30 °C a vstupním tlaku 2,4 bar. Výhodou vody jako temperačního média je její nízká cena, vysoký koeficient přestupu tepla, nízká viskozita a ekologická nezávadnost. Její nevýhoda je, že se dá použít jen do 90 °C, což v tomto případě vyhovuje, a možný vznik koroze a vodního kamene.

10.2.3 Blok formy

Dalším krokem při nastavování analýzy je navrhnout blok vstřikovací formy, který svými rozměry odpovídá navržené vstřikovací formě v programu CATIA V5R20.



Obr. 42. Navržený blok formy pro provedení analýzy

Tabulka 10. Rozměry bloku vstřikovací formy

	Rozměr [mm]
Výška (osa x)	446
Šířka (osa y)	396
Délka (osa z)	494

10.2.4 Procesní podmínky

Před spuštěním celkové analýzy je potřeba ještě nastavit procesní podmínky, při kterých je nutné brát zřetel na objem výrobku, použitý materiál, násobnost formy a

vtokový systém. Mnoho procesních podmínek bylo zvoleno podle doporučených hodnot materiálového listu popřípadě ponecháno základní nastavení.

Tabulka 11. Nastavení procesní podmíněk

Nastavení procesních podmínek	
Teplota taveniny	200 °C
Doba otevření formy	5 s
Vstřík + dotlak + čas chlazení	Automatické
Teplota povrchu formy	90 °C
Vyhazovací teplota	135 °C
Minimální zatuhlá část pro vyhození	90 %
Nastavení Plnění + Dotlak	
Kontrola plnění	Automatické
Přepnutí na dotlak	99 % zaplnění
Dotlak bude trvat 10 s při tlaku 90% z celkového tlaku	
Rozšířené nastavení	
Materiál	Tenac LA 541
Vstříkovací stroj	Allrounder 470 C 143 tons 7,4 oz (35mm): Arburg
Materiál formy	Tool steel P-20
Nastavení deformací	
Zahrnutí teplotní roztažnosti formy	
Izolovat příčiny deformace	
Zahrnutí rohových efektů	
Automatická výpočtová matice	

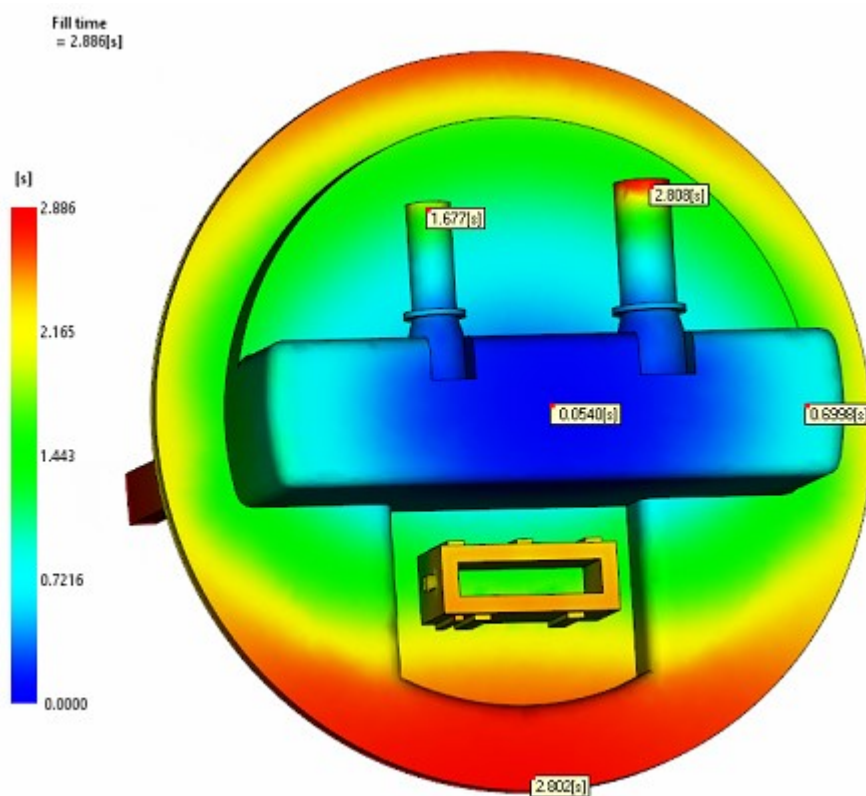
Po zvolení materiálu, nadefinování vtokových a temperačních systémů a nastavení všech procesních podmínek lze spustit analýzu.

10.3 Výsledky analýzy plnění a dotlaku (Flow)

V první část celkové analýzy se zabývá plněním tvarové dutiny formy a dotlaku. Zde se získají výsledky jako celkový čas plnění, potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty, požadovaná uzavírací síla anebo tlak v určitém místě na výrobku.

10.3.1 Čas plnění (Fill time)

Výsledkem této analýzy je čas, za který polymerní tavenina zaplní jednotlivá místa v dutině formy. Modrá barva charakterizuje místa, jež jsou zaplněna jako první a naopak červeně zbarvená místa budou zaplněna až jako poslední. Jestliže by se na výstřiku objevilo nějaké místo zbarvené šedou barvou, jednalo by se o místo v dutině formy, kde není polymer schopen dotéct. Tento problém se dá vyřešit několika způsoby. Jedním z nich může být změna vstřikovaného materiálu. Pokud ale nejde změnit vstřikovaný materiál, tak bude muset dojít k úpravě procesních podmínek nebo zvolit vhodnější místo vtokového ústí. K tomuto problému v tomto případě nedošlo, protože se celá dutina zaplní za 2,886 s.

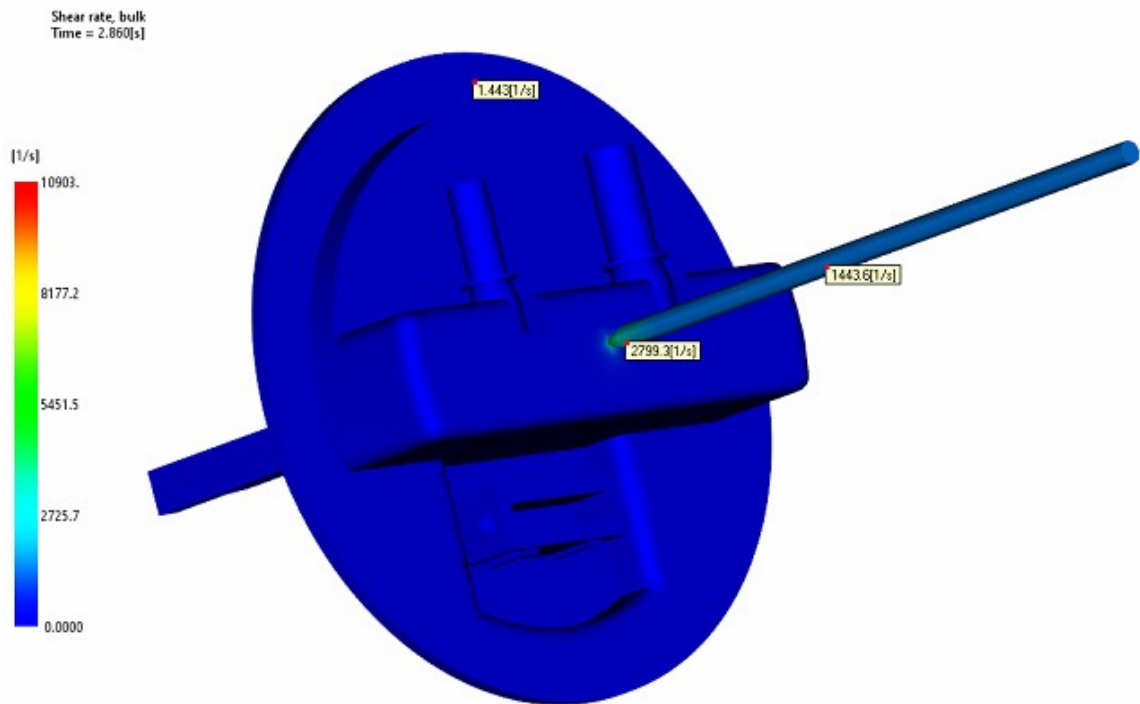


Obr. 43. Doba plnění

10.3.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk)

V materiálovém listu je pro zvolený materiál POM předepsaná maximální rychlost smykové deformace 40000 1/s. Tato hodnota není překročena během vstřikovacího cyklu. Z obrázku lze vyčíst, že největší rychlosti smykové deformace nastávají v kanálu horké trysky a čím více je tryska užší, tím větší je rychlost smykové deformace, tudíž maximální hodnota se pravděpodobně nachází ve vtokovém ústí. Pokud by došlo k překročení

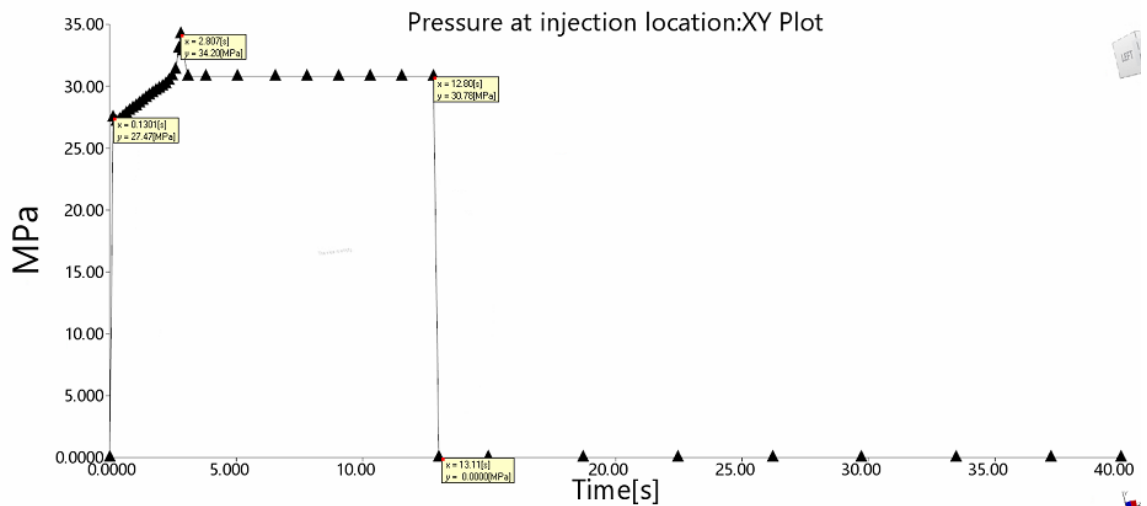
dovolené maximální rychlosti smykové deformace, může materiál degradovat a tím by se změnila vlastnosti výstříku.



Obr. 44. Rychlost smykové deformace

10.3.3 Tlak v místě výstříku (Pressure at injection location: XY plot)

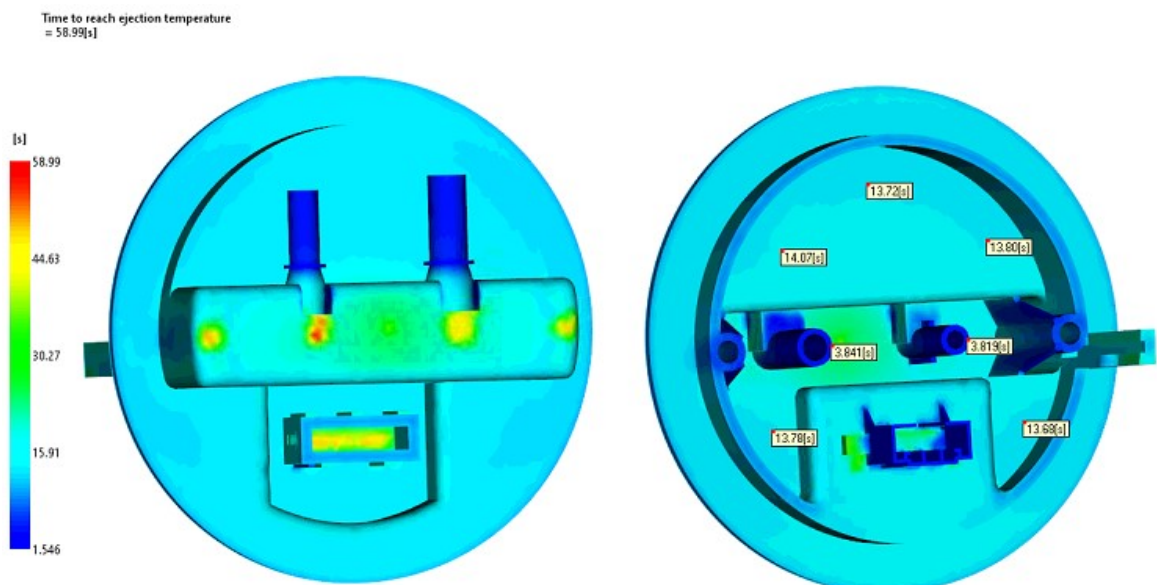
Na obrázku je zobrazen graf závislosti tlaku v místě vstříku na čase vstřikovacího cyklu. V procesních podmínkách se nastavilo, že k přepnutí na dotlak by mělo dojít, jakmile se dutina formy zaplní z 99 %. Podle výsledku analýzy dochází k přepnutí na dotlak v čase 2,807 s a hodnota tlaku v tomto čase je 34,20 MPa. Dotlaková fáze podle nastavení analýzy trvá 10 sekund při hodnotě 30,78 MPa. Po 13 sekundách tlak klesá na nulovou hodnotu. Zde již probíhá pouze proces chlazení bez tlakového působení.



Obr. 45. Graf závislosti tlaku na čase vstřikovacího cyklu

10.3.4 Potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

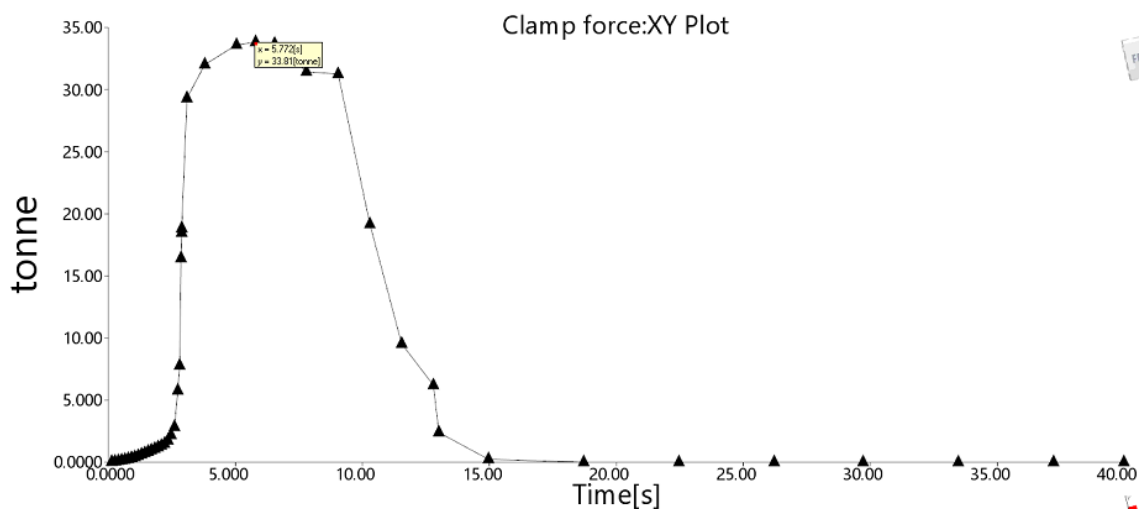
Barevné zobrazení vyjadřuje čas, kdy výrobek dosáhne vyhazovací teploty. Místo, které se ochlazuje nejpomaleji, je zbarveno červenou barvou na výrobku. Jsou to místa, kde dochází ke změně tloušťky stěny. Nejvyšší hodnota dosahuje 58,99 s. Jelikož v těchto místech nepůsobí žádný vyhazovač, je možné výrobek vyhodit z dutiny formy dříve, než je tahle hodnota. Umístění vyhazovacích kolíků je v místech, která jsou označena modrou barvou. Zde výrobek chladne nejrychleji.



Obr. 46. Potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty

10.3.5 Maximální uzavírací síla (Clamping force: XY Plot)

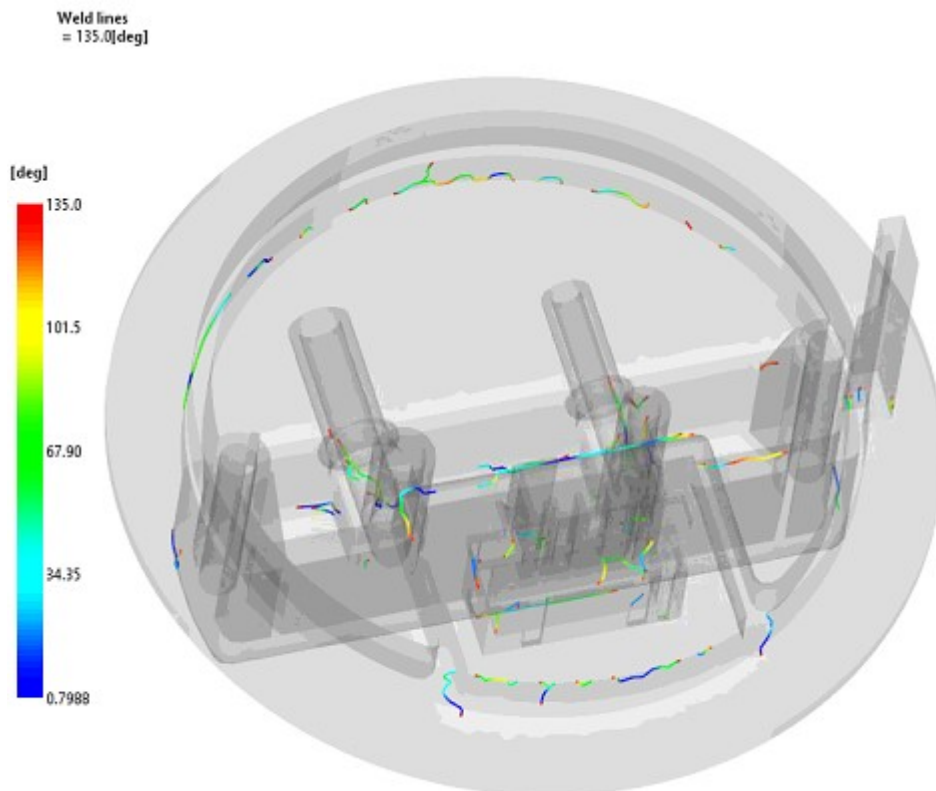
Jeden ze základních parametrů při volbě vstřikovacího stroje je hodnota maximální uzavírací síly. V tomto případě na počátku vstřikovacího cyklu uzavírací síla vzroste až na hodnotu 338,1 kN (33,81 t). Poté začne hodnota postupně klesat, protože větší část taveniny je už v tuhém stavu. Po skončení dotlaku hodnota uzavírací síly je téměř nulová, protože vstřikovací stroj už nepůsobí na polymerní taveninu v dutině vstřikovací formy. Při volbě vstřikovacího stroje se k maximální uzavírací síle připočítává bezpečnostní rezerva 20 %. Zvolený vstřikovací stroj má schopnost vyvinout uzavírací sílu až o hodnotě 1296,87 kN (129,687 t), což je více než je potřeba. Z tohoto důvodu se vstřikovací forma nemůže pootevřít během vstřikovacího procesu.



Obr. 47. Velikost uzavírací síly

10.3.6 Studené spoje (Weld line)

Na obrázku níže lze vidět výskyt míst, kde mohou vzniknout studené spoje, které jsou nežádoucími prvky ve výrobku. Vzniká spojením dvou čel tavenin v dutině formy. Mezi čely vzniká dutý prostor, kde dochází k uzavření vzduchu, který při vysokých teplotách a tlacích, může způsobit oxidaci polymeru, tudíž jeho degradaci. Úplná eliminace studených spojů nejde vždy uskutečnit, proto je snaha přesunout je do míst ve výrobku, kde nebude omezovat výsledné vlastnosti při jeho využití. Řešením je změna konstrukce formy a hlavně umístění vtokového systému.



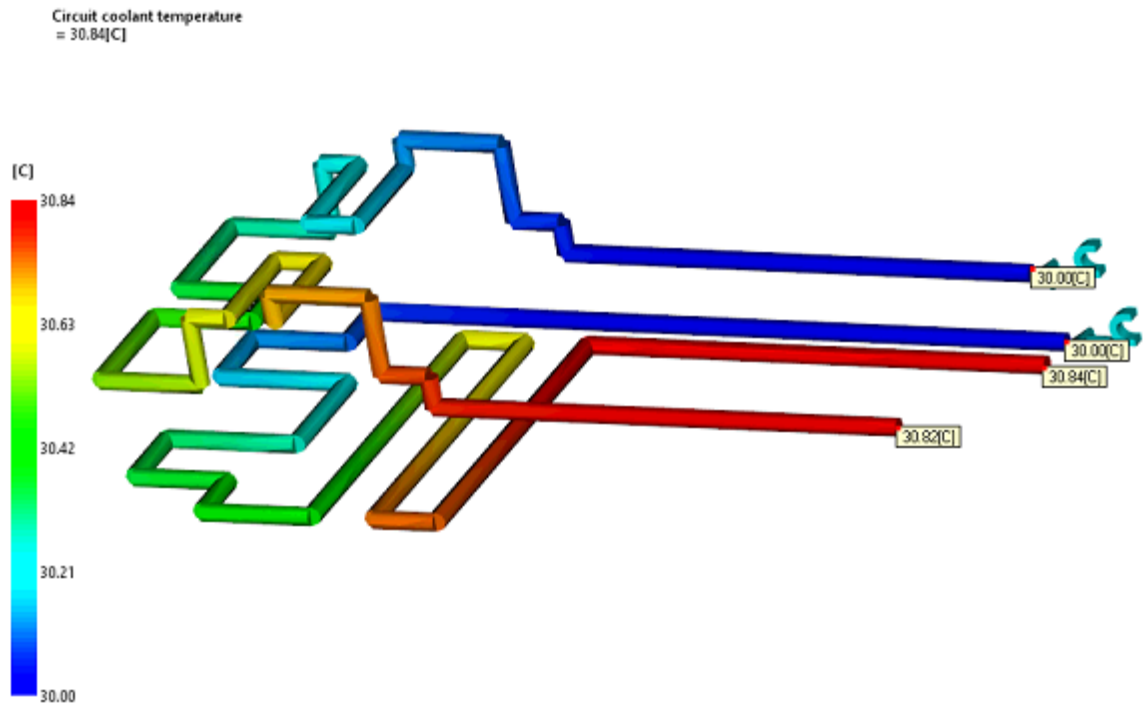
Obr. 48. Studené spoje na výrobku

10.4 Výsledky analýzy teploty (Cool)

Výsledky analýzy teploty se bude zabývat další kapitola. Data jsou k nalezení v softwaru Moldflow pod záložkou Cool. Jedná se o konkrétní analýzu například teploty a tlaku v temperačním okruhu, efektivitě odvodu tepla nebo jaká je teplota v určitých místech výrobku po skončení cyklu.

10.4.1 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

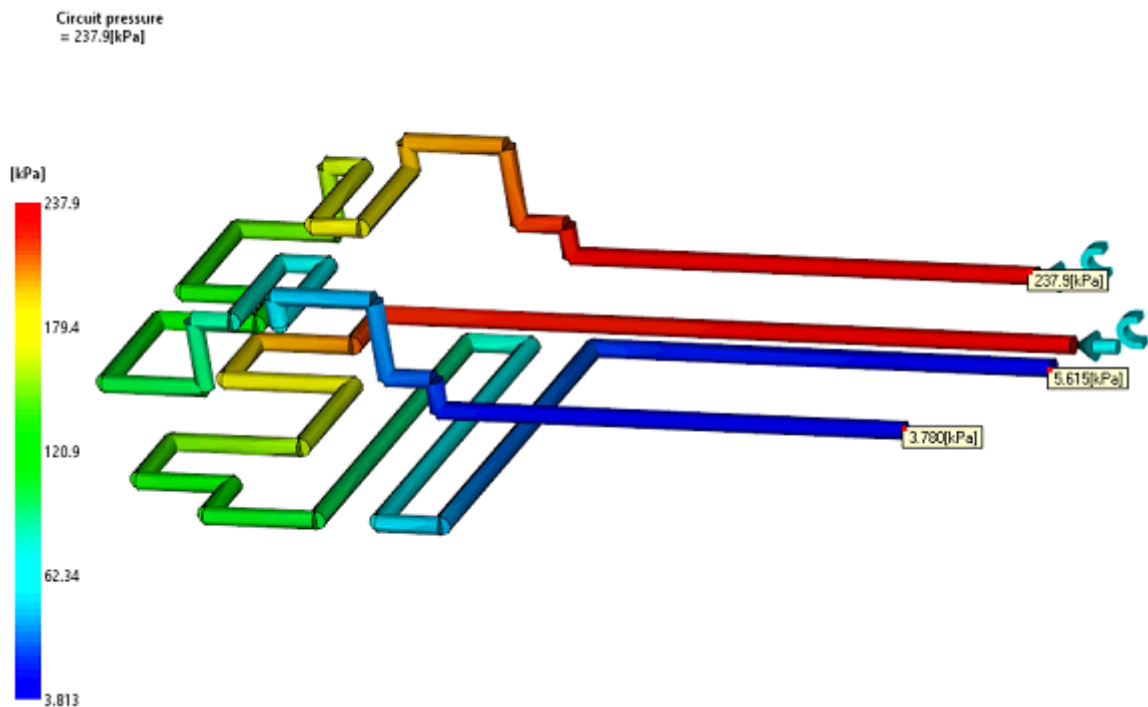
Tato analýza zobrazuje změnu teploty temperačního média při průchodu kanálem od místa vstupu do místa výstupu. Pokud by došlo k překročení teplotního spádu temperačního média mezi vstupem a výstupem o 3 °C, musely by se změnit procesní podmínky, nebo by se musela upravit trajektorie temperačních okruhů. Tento spád vzniká tím, že temperační médium odvádí teplo z formy a proto dohází k jeho ohřátí. V tomto případě je rozdíl teplot v pravém temperačním okruhu 0,82 °C a v levém temperačním okruhu 0,84 °C, což vyhovuje a nemusí tak docházet k žádným změnám.



Obr. 49. Teplota v temperačních kanálech

10.4.2 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

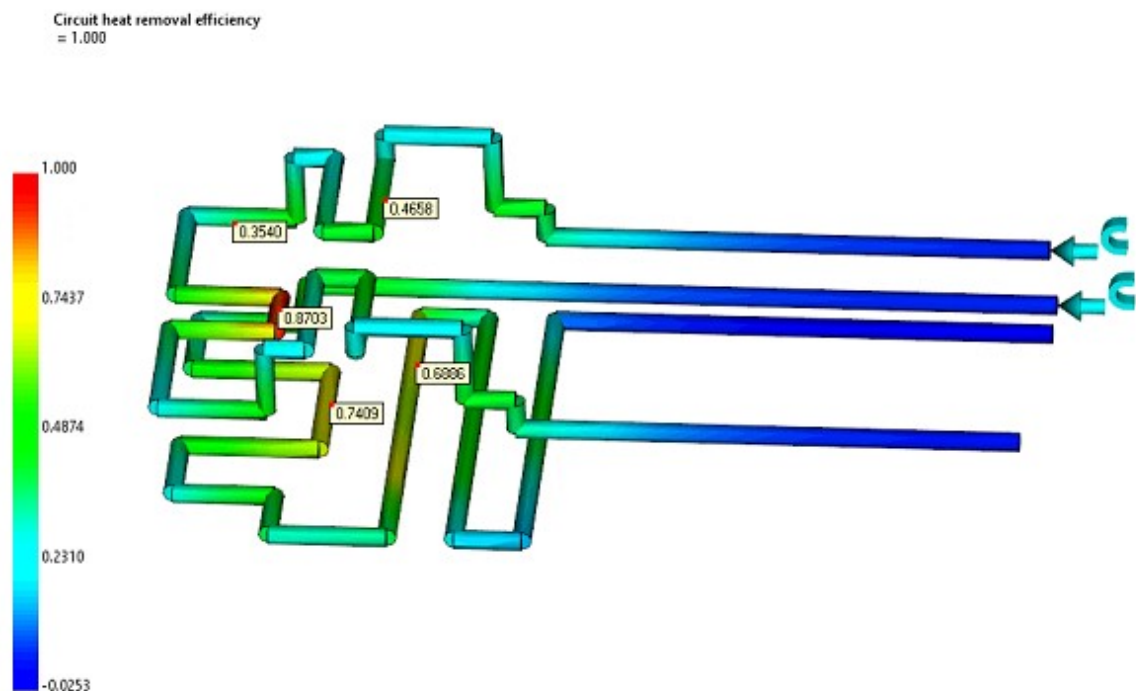
Další analýza v části temperace zjišťuje, zda má médium dostatečný tlak pro průchod temperačními kanály. Tlak se nesmí dostat pod hodnotu nula, protože by mohlo dojít k zastavení temperačního média a k vzniku tzv. mrtvých míst. Na vstupu obou temperačních okruhů má tlak hodnotu 237,9 kPa. Na výstupu temperačního okruhu na pravé straně formy je tlak 3,780 kPa. V druhém chladícím okruhu, který je na levé straně formy, je ztráta o něco menší, kdy tlak na výstupu je 5,615 kPa. I když je pokles obrovský, tak oba podmínku splňují.



Obr. 50. Tlak v temperačních kanálech

10.4.3 Efektivita odvodu tepla temperačním kanálem (Circuit heat removal efficiency)

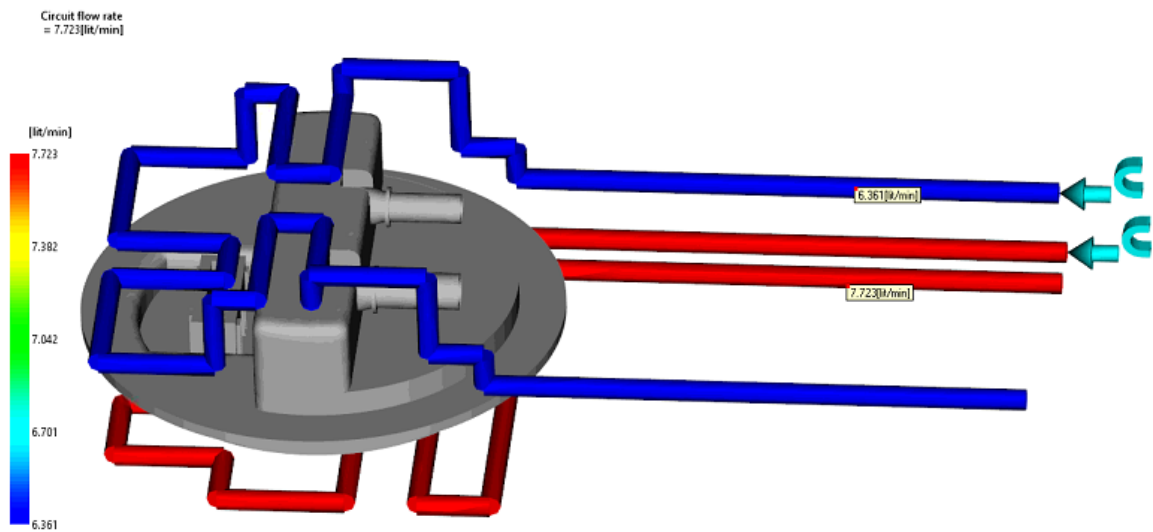
Efektivita odvodu tepla temperačním kanálem nám určuje účinnost navrženého temperačního systému. Podle zbarvení schéma lze určit efektivitu jednotlivých míst chladících okruhů. Nejvíce efektivní místa pro chlazení výrobku jsou ta, která jsou červeně. Na obrázku níže lze vyzorovat, že červených míst tam není moc, to je zapříčiněno, velkým počtem malých tvarových čelistí, které brání temperačním kanálkům k větší účinnosti. Tato analýza je jednou z hlavních ukazatelů vhodnosti volby temperačních okruhů.



Obr. 51. Efektivita odvodu tepla

10.4.4 Průtok temperačním kanálem (Circuit flow rate)

O objemovém průtoku jednotlivých temperačních okruhů informuje tato analýza. Rozdílné hodnoty průtoku jednotlivých temperačních okruhů je zapříčiněn jejich odlišnou geometrií a délkou. V chladícím okruhu pravé strany formy je průtok 6,361 l/min a výsledcích má barvu modrou. V chladícím okruhu levé strany formy znázorněný červeně je průtok vyšší 7,72 l/min, to je pravděpodobně způsobeno jednodušší geometrií temperačního okruhu. Zde platí stejné pravidlo jako při tlaku temperačního média. Pokud by měl průtok hodnotu nula, nedocházelo by k proudění temperačního média a vznikala by mrtvá místa, ve kterých by docházelo k usazování nečistot a zanášení kanálů.



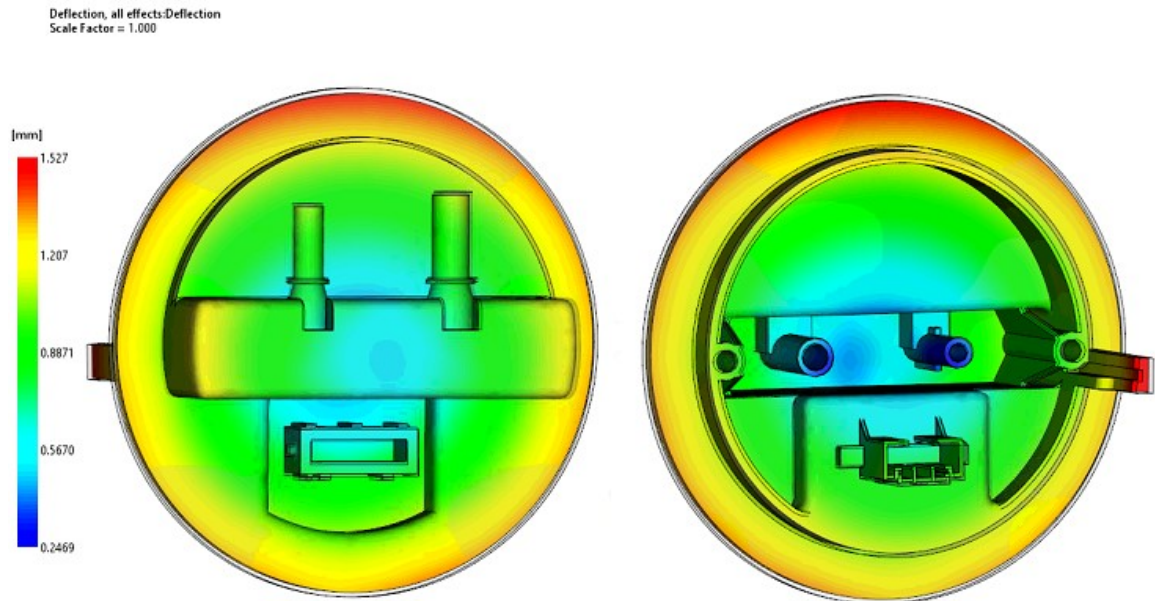
Obr. 52. Průtok temperačním kanálem

10.5 Výsledky analýzy deformace a smrštění

Poslední kapitola výsledků ze simulace vstřikovacího cyklu se zaměřuje na jednotlivé deformace a smrštění. V těchto výsledcích se nacházejí 3 analýzy, a to deformace všech vlivů, deformace vlivem chlazení a deformace vlivem smrštění. Jednak je zde popsána deformace celková, ale jsou zde i popsány deformace v požadovaných osách (x, y, z). Při deformaci se mění tvar při zachování stejného výrobku, oproti tomu u smrštění nastává změna objemová v čase tuhnutí vstřikovaného materiálu. To je hlavní rozdíl mezi těmito dvěma pojmy.

10.5.1 Celková deformace vlivem všech jevů (Deflection, all effects: Deflection)

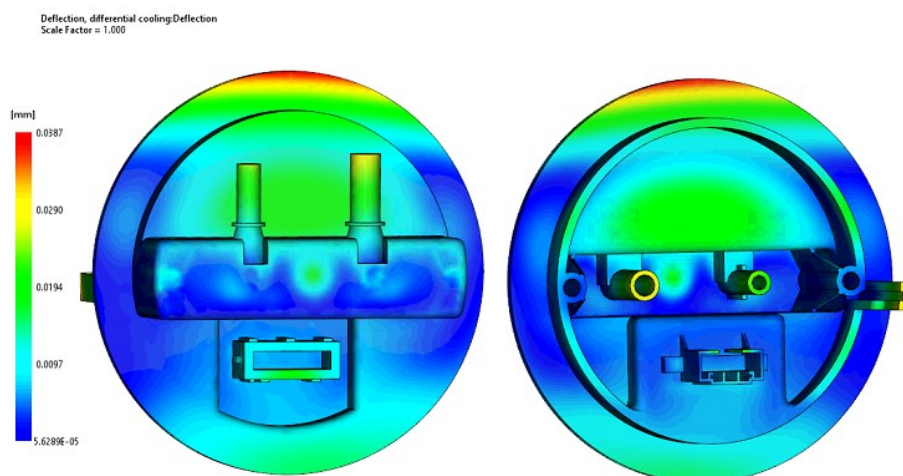
Na obrázku níže je zobrazena celková deformace vlivem všech jevů působící na výstřik. Červená místa na obrázku značí největší deformaci, která je v krajní poloze výrobku a má hodnotu 1,527 mm. Snížení maximální hodnoty deformace lze zvýšením doby dotlaku, úpravou temperačních parametrů nebo případnou změnou materiálu výrobku. Před zahájením konstrukce tvarových dutin, byl výrobek zvětšen o smrštění, tak výsledná deformace bude nakonec menší o tuto hodnotu.



Obr. 53. Celková deformace vlivem všech jevů

10.5.2 Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling)

Poslední výsledek analýzy deformace je způsobené vlivem chlazení. Při náhlém ochlazení by mohla deformace narůst a výrobek by nemusel dosahovat požadované kvality. V tomhle případě je velikost maximální deformace 0,0387 mm, což je zanedbatelné, proto není potřeba upravovat parametry temperačního systému. Tímto vlivem deformace jsou zasáhnutá téměř rovnoměrně všechna místa, až na jednu krajní oblast. Ale i přesto se jedná o zanedbatelný rozměr, tak není potřeba měnit geometrii temperace.



Obr. 54. Deformace vlivem chlazení

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro zadaný díl, kterým je víko od čerpadla u automobilu, byla navržena vstříkovací forma. Toto víko společně s čerpadlem bude uvnitř automobilu, takže se nemusí řešit estetický vzhled tohoto výrobku, ale pouze mechanické vlastnosti, které musí splňovat provozní podmínky. Z těchto důvodů byl vybrán materiál POM pod obchodním názvem Tenac LA 541 od firmy Asahi Kasei Chemicals Corporation.

3D model byl vymodelován podle skutečného výrobku. Vzhledem k tvarové složitosti zadaného dílu je potřeba k jeho odformování vstříkovací forma s pohyblivými tvarovými částmi. Tyto prvky jsou nutné k odformování dvou kanálků s kroužkem, které jsou kolmé k ose vyhození a k odformování otvorů, jež výrobek obsahuje. Kromě jedné tvarové části s jádry, která se pohybuje za pomoci hydraulického válce, se zbylé tvarové části odformovávají mechanicky pomocí šikmých válcových kolíků. Hydraulický válec je zvolen z důvodu velikého zdvihu tvarové části a zmenšení rozměrů desek vstříkovací formy. Celkovou dutinu formy tvoří tvárník, tvárnice a pohyblivé čelisti.

Tavenina je do dutiny formy vstříknuta přes vyhřívanou vtokovou trysku, jež byla zvolena na základě svých předností. Mezi tyto přednosti hlavně patří, že nezůstává vtokový zbytek, čímž se sníží spotřeba materiálu, snadná montáž a automatizace výroby. Jelikož se jedná o jednonásobnou formu, je vtokové ústí zvoleno uprostřed dílu, tak aby to mělo ke všem krajním polohám téměř stejně daleko.

Vstříkovací forma je na pravé i levé straně temperována. Je to z důvodu udržení konstantního teplotního pole a urychlení vstříkovacího cyklu. Temperace je tvořena dvěma samostatnými okruhy. Oba okruhy jsou tvořeny vrtanými kanálky, ve kterých jsou vnitřní ucpávky, které udávají temperačnímu médiu přesnou dráhu. Pomocí hadic, které jsou na vstupech a výstupech spojeny rychlospojkami, přivádí temperační jednotka temperační médium, kterým je voda. Její výhodou je nízká viskozita, vysoký koeficient přestupu tepla, ekologicky nezávadná a hlavně nízká cena.

Vyhazovací systém, který se používá k vyhození výrobku ze vstříkovací formy, je složen ze dvou desek. Tyto desky jsou spolu vystředěny pomocí vodících pouzder a pohybují se po čtyřech vodících čepech. Vyhození výrobku obstarává 5 válcových a 2 trubkové vyhazovače, které jsou ukotveny v deskách. Umístění vyhazovačů je zvoleno tak, aby byl výstřík z formy rovnoměrně vytlačen a nedošlo k jeho deformaci.

Dále se ve vstřikovací formě nachází dosedací kolíky, které zvyšují její tuhost a na horní straně jsou přišroubovány transportní oka, pro její snadnou manipulaci.

Ke zjištění vhodnosti konkrétní konstrukce je celkový návrh formy podroben tokovým analýzám. Vymodelovaný výrobek musel být upraven z důvodu vytvoření výpočtové sítě. Byl zbaven všech technologických rádiusů do a včetně 2 mm, aby proběhl výpočet a vysílání výrobku v pořádku.

V Catii byly nejdříve vytvořeny trajektorie vtokového a temperačního systému, které byly uloženy s příponou *.IGS, aby byly kompatibilní se softwarem, ve kterém proběhla analýza. Byly zadány rozměry kanálů, nastaveny vstupní teploty a označená místa pro přívod temperačního média a taveniny. Nastavení procesních podmínek bylo za pomoci materiálových listů, ve kterých jsou doporučené hodnoty teplot. Tyto teploty byly ponechány ve většině případů, menší změny nastaly až v nastavování dotlaku. Byla provedena analýza pro zvolený materiál POM s obchodním názvem Tenac LA 541. Z výsledků tokové analýzy lze vyčíst například, že za 2,886 s dojde k zaplnění celé dutiny formy. K ochlazení na vyhazovací teplotu dojde za 58,99 s, což je způsobenou změnou tloušťky stěny v některých místech na výrobku. K vyhození by mohlo dojít dříve než je tato hodnota, protože vyhazovací kolíky leží na výrobku v místech, kde chladne rychleji. Aby nedošlo k pootevření formy během vstřikování, musí být minimální uzavírací síla 33,81 tun, proto byl pro tento návrh vstřikovací formy zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 470 C 146 tons 7,4 oz (35mm) od firmy ARBURG, jež má uzavírací sílu až 146 tun. Vstupní teplota temperačního média je zvolena 30 °C. Během průchodu temperačním okruhem se nesmí tato hodnota zvýšit nebo snížit o 3 °C. V tomto případě se zvýšila pouze 0,84 °C. Dále bylo temperačnímu okruhu zadáno vstupní tlak 2,40 baru, aby docházelo stále k proudění, nesmí tato hodnota klesnout na nulu. Hodnota tlaku na výstupu je 3,78 kPa, i když je pokles obrovský, tak stále dochází v temperačním okruhu k proudění. Výsledky celkové deformace činí 1,527 mm. Vzhledem k tomu, že tvarová dutina formy byla zvětšena o procentuální hodnotu smrštění materiálu, bude výsledná velikost ještě menší. Výsledky analýzy jsou detailněji popsány a diskutovány v druhé polovině praktické části.

Z navržené vstřikovací formy byla vytvořena výkresová dokumentace, která obsahuje pohledy do pravé a levé strany formy a sestavu, ve které jsou vytvořeny řezy s opozicovanými díly a kusovníkem.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh vstřikovací formy pro automobilový díl, kterým je víko od čerpadla. V první části této práce byly prostudovány a následně sepsány potřebné materiály týkající se vstřikování plastů, jejich použití v automobilovém průmyslu, technologie vstřikování a konstrukce forem. Tyto poznatky byly následně využity u realizace vstřikovací formy.

V druhé části se řeší návrh konstrukce vstřikovací formy, jež byl poté podroben tokovým analýzám. Pro vymodelování zadaného dílu a návrh vstřikovací formy byl použit software CATIA V5R20, do kterého se vkládaly normalizované díly od firmy Hasco a Meusburger. Pro tokové analýzy uvnitř výstřiku byl použit software od firmy Autodesk Moldflow Synergy 2016. Nejdříve došlo k vymodelování zadaného dílu, který se zvětšil o hodnotu smrštění daného materiálu. Pro tento díl byl vybrán materiál POM s obchodním názvem Tenac LA 541. Na základě zvětšených rozměrů, tvarů a vlastnostech vybraného polymerního materiálu byl vytvořen návrh vstřikovací formy. Celý postup návrhu vstřikovací formy a všech systémů, které jsou ve formě, jsou popsány detailně v první polovině praktické části. Vhodnost návrhu vstřikovací formy se zjišťuje tokovými analýzami, které jsou podrobně popsány ve druhé polovině praktické části. Z výsledku analýz se získalo mnoho potřebných analýz k výběru vhodného vstřikovacího stroje. Od německé firmy ARBURG byl pro navrhnutou formu vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 470 C.

Na závěr se z návrhu 3D sestavy vstřikovací formy vytvoří výkresová dokumentace ve 2D, která je součástí diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd, přeprac. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 012. ISBN 80-7080-617-6
- [2] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie I* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/939/mod_resource/content/2/Skripta_MMCH_I.pdf
- [3] DAVIES, Geoff. *Materials for automobile bodies*. 2nd ed. Place of publication not identified: Butterworth-Heinemann, 2012, 1 online zdroj. ISBN 9780080969794
- [4] GARSIDE, Micke. *Global plastic production statistics*. Statista.com/ [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- [5] LEVICK, Richard. *Plastic Production Is On the Rise Worldwide — but Declining in Europe*. Brinknews.com [online] London, 2019. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.brinknews.com/quick-take/plastic-production-on-the-rise-worldwide-declining-in-europe/>
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN, 2009, 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [7] Technická univerzita v Liberci – Katedra materiálu. Dostupné z www: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/
- [8] LEWIS, Jennifer A., Hiro Matsuyama, Glen Kirby, Sherry Morissette, J. Francis Young. *Polyelectrolyte effects on the rheological properties of concentrated cement suspensions*. Austria, 2004. [cit. 2021-03-25] Dostupné online <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1151-2916.2000.tb01489.x>
- [9] CUTLER, Thomas, *How colorants affect plastic characteristics*. Manufacturingtomorrow.com [online]. New York 2018 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2018/05/how-colorants-affectplastic-characteristics/11518/>
- [10] NEUHÄUSL, Emil. *Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování*. mmspektrum.com [online]. Praha, 2012 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z:

- <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>
- [11] SOVA, Miloš, *Smrštění a dodatečné smrštění při vstřikování plastů*. Techportal.cz [online]. Brno, 2015. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/smrsteni-a-dodatecne-smrsteni-pri-vstrikovani-plastuuniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxXa2VafSdbW0/>
- [12] DOBRŇ, Martin. *Plasty v automobilovém průmyslu*. Mmspektrum.com [online]. [cit. 2021-03-25]. Praha, 2017. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [13] SNOW, Andrei, *Heat-resistant polyamide for automotive applications in the high temperature range*. Plastics-rubber.basf.com [online]. Shanghai, 2018. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.basf.com/global/en/products/plastics-rubber/fairs/BASFatK2016/must_sees/ultramid_endure.html
- [14] PlasticsNet. *Bosch ESP Control Module Housing Made From BASF's Ultradur PBT* [online]. 2011 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.plasticsnet.com/doc/bosch-esp-control-module-housing-made-from-0001>
- [15] KEM Konstruktion. *Manche mögen's feucht* [online]. 2011 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://automobilkonstruktion.industrie.de/allgemein/manche-moegens-feucht/>
- [16] LENFELD, P. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta*. Technologie II: Část II - Zpracování plastů. Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní - Katedra strojírenské technologie- Oddělení tváření kovů a plastů [online]. 2008 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [17] SEIDL, M. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2015 [cit. 2019-05-23]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [18] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4

- [19] Unger, Peter. (2006). *Gastrow Injection Molds - 130 Proven Designs (4th Edition)*. Hanser Publishers. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGIMPDE15/gastrow-injection-molds/gastrow-injection-molds>
- [20] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002. ISBN isbn3-446-21659-6.
- [21] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [22] Changhong technology. *China Plastic Molding: Getting the Color Right with Digital Control* [online]. 2020 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.sz-changhong.com/china-plastic-molding-getting-the-color-right-with-digital-control/>
- [23] PASTYŘÍK, Petr. *Středoškolská technika 2018. Výroba forem pro zpracování termoplastů* [online]. 2018 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: http://stretech.fs.cvut.cz/2018/sbornik_2018/pdf/9.pdf
- [24] Beaumont, John P.. (2019). *Runner and Gating Design Handbook - Tools for Successful Injection Molding (3rd Edition)*. Hanser Publishers. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRGDHTSI1/runner-gating-design/runner-gating-design>
- [25] HASCO. *Hasco* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.hasco.com/cs/Z/Vtoky/Vtokov%C3%A1-pouzdra/p/Z51_d2x11xd1#
- [26] HYNEK, Martin, Štěpán HELLER a Eduard MÜLLER, *Plastové díly* [online]. Plzeň. 2013. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [27] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2014. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [28] Moayyedian, Mehdi. 2019. *Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding*.
- [29] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2013. ISBN 978-80-86604-36-7.

- [30] Dokoupil, Daniel. *Konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl motoru včetně simulace funkčnosti*. Zlín, 2020. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [31] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134s.
- [32] Topworks Plastic. *Plastic Mould Ejection* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.plasticmoulds.net/ejection-system-plastic-mold.html>
- [33] Wit Mold. *Ways to Eject parts from a mold* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://witmold.wordpress.com/ways-to-eject-parts-from-a-mold/>
- [34] Live country. *Worldwide Automobile Productions* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.live-counter.com/number-of-cars/>
- [35] Statista. *Estimated worldwide automobile production from 2000 to 2020* [online]. 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.live-counter.com/number-of-cars/>
- [36] HASCO. *Hasco* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.hasco.com>
- [37] Software Autodesk Moldflow Synergy 2016
- [38] Internetové stránky firmy ARBURG: www.arburg.com
- [39] LUMIPLAST. *Lumiplast* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <http://www.lumiplast.cz/?site=Equipment>
- [40] Asahi Kasei plastics product information. *AKchem.com* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.akchem.com/en/enpla/products/tenac/grade.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**Zkratky polymerů**

PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
SAN	Styrén akrylonitril
PE	Polyethylen
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
PPA	Polyftalamid
NR	přírodní kaučuk
EPDM	Etylen-Propylen-Dienový-Kaučuk
PP	Polypropylen
TPE	Termoplastický elastomer
TES	Multiflex
SIR	Silikonový termoplastický elastomer
ABS	Akrylonitril butadien styren
SB	Styren-butadien
PA6	Polyamid 6
PBT	Polybutylentereftalát

Zkratky použitých veličin

T_m	teplota tání
T_g	teplota skelného přechodu
VS	výrobní smrštění

Zkratky použitých jednotek

kg	kilogram
----	----------

km	kilometr
°C	stupeň Celsia
%	procento
s	sekunda
mm	milimetr
cm ³	centimetr krychlový
min	minuta
g	gram
MPa	megapascal
m ²	metr čtvereční
kJ	kilojoule
°	stupeň
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
l	litr
m	metr

Další použité zkratky

SVS	studený vtokový systém
VVS	vyhříváný vtokový systém
2D	dvojměrný objekt
3D	trojměrný objekt

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vývoj výroby polymerů od roku 1950.....</i>	12
<i>Obr. 2. Základní rozdělení polymerních materiálů</i>	13
<i>Obr. 3. Rozdělení polymerních materiálů vhodných pro vstřikování</i>	14
<i>Obr. 4. Vývoj výroby automobilů od roku 2020 [35]</i>	20
<i>Obr. 5. Kryt elektronického stabilizačního systému ESP 9 od firmy Bosch [15]</i>	21
<i>Obr. 6. Světlovod pro koncové světlo Ford [10]</i>	23
<i>Obr. 7. Vstřikovací cyklus [31]</i>	25
<i>Obr. 8. Vstřikovací stroj [17]</i>	26
<i>Obr. 9. Vstřikovací stroj [17]</i>	27
<i>Obr. 10. Uzavírací jednotka – hydraulická [17]</i>	28
<i>Obr. 11. Vstřikovací forma [22]</i>	29
<i>Obr. 12. Rám vstřikovací formy [23]</i>	30
<i>Obr. 13. Ukázka rozdílných konstrukcí výstřiků z termoplastu a jejich změny vlastností ...</i>	32
<i>Obr. 14. Normalizovaná součást – vtoková vložka [25].....</i>	33
<i>Obr. 15. Tvary průřezů rozváděcích kanálů [24]</i>	34
<i>Obr. 16. Typy vtokových ústí [28]</i>	35
<i>Obr. 17. Základní provedení vyhřívaného rozvodu [27]</i>	36
<i>Obr. 18. Různé provedení vyhazovacích kolíků [33]</i>	39
<i>Obr. 19. Vzduchové vyhazovače [34]</i>	40
<i>Obr. 20. 3D model vstřikovaného dílu.....</i>	43
<i>Obr. 21. Hlavní a vedlejší dělicí roviny.....</i>	46
<i>Obr. 22. Tvarové části na pravé straně</i>	47
<i>Obr. 23. Tvarové části v levé straně formy.....</i>	48
<i>Obr. 24. Jádra zabezpečená proti pootočení a jádra tvořící kanálek</i>	48
<i>Obr. 25. První fáze odformování (pravá strana formy).....</i>	49
<i>Obr. 26. Druhá fáze odformování.....</i>	50
<i>Obr. 27. Hydraulické odformování.....</i>	50
<i>Obr. 28. Mechanické odformování</i>	51
<i>Obr. 29. Vyhřívaná tryska včetně kabeláže se zásuvkou</i>	52
<i>Obr. 30. Umístění vtokového ústí ve tvarové vložce</i>	52
<i>Obr. 31. Temperace na pravé straně formy.....</i>	53
<i>Obr. 32. Temperace na levé straně formy</i>	54
<i>Obr. 33. Vyhazovací systém</i>	55
<i>Obr. 34. Ostatní komponenty [36]</i>	56

<i>Obr. 35. Celá sestava vstřikovací formy</i>	57
<i>Obr. 36. Pravá část vstřikovací formy</i>	57
<i>Obr. 37. Levá část vstřikovací formy</i>	58
<i>Obr. 38. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 470 C [39]</i>	59
<i>Obr. 39. Vysíťovaný model se statistikou sítě</i>	60
<i>Obr. 40. Vhodnost umístění vtokového ústí</i>	61
<i>Obr. 41. Vysíťovaná trajektorie vtokového systému</i>	62
<i>Obr. 42. Navržený blok formy pro provedení analýzy</i>	63
<i>Obr. 43. Doba plnění</i>	65
<i>Obr. 44. Rychlost smykové deformace</i>	66
<i>Obr. 45. Graf závislosti tlaku na čase vstřikovacího cyklu</i>	67
<i>Obr. 46. Potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty</i>	67
<i>Obr. 47. Velikost uzavírací síly</i>	68
<i>Obr. 48. Studené spoje na výrobku</i>	69
<i>Obr. 49. Teplota v temperačních kanálech</i>	70
<i>Obr. 50. Tlak v temperačních kanálech</i>	71
<i>Obr. 51. Efektivita odvodu tepla</i>	72
<i>Obr. 52. Průtok temperačním kanálem</i>	73
<i>Obr. 53. Celková deformace vlivem všech jevů</i>	74
<i>Obr. 54. Deformace vlivem chlazení</i>	74

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Základní informace pro výběr amorfních nebo semikrystalický polymerů</i>	15
<i>Tabulka 2. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při vstřikování</i>	16
<i>Tabulka 3. Termoplasty a jejich smrštění</i>	19
<i>Tabulka 4. Vliv plniv na smrštění u materiálu PA6</i>	19
<i>Tabulka 5. Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálků [30]</i>	38
<i>Tabulka 6. Základní vlastnosti materiálu POM Tenac LA 541 [40]</i>	44
<i>Tabulka 7 Doporučené zpracovatelské teploty z Moldflow[37]</i>	44
<i>Tabulka 8 Srovnání parametrů formy a vstřikovacího stroje [38]</i>	59
<i>Tabulka 9. Rozměry horkého vtokového systému</i>	62
<i>Tabulka 10. Rozměry bloku vstřikovací formy</i>	63
<i>Tabulka 11. Nastavení procesní podmínek</i>	64

SEZNAM PŘÍLOH

P I Materiálový list

P II Zpracovatelské údaje materiálu Tenac LA 541

P III Parametry zvoleného vstřikovacího stroje

P IV Výkresová dokumentace:

- Sestava vstřikovací formy s kusovníkem
- Pohled do pravé strany
- Pohled do levé strany

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

AsahiKASEI

TENAC™ (Homopolymer) Datasheet-2

Item	Test Method	Unit	Low VOC			Lubricant						Glass fiber reinforced			Soft Medium viscosity			
			High viscosity	Medium viscosity	High viscosity	LT804	LT805	LT200	FS410	LP402	LAS43	LMS11	LS701	LL700		GA510	GA520	GN705
Melt Mass-Flow Rate	ISO 1133	g/10min	2.4	17	2.5	12	25	25	9	9	17	22	34	35	17	15	10	10
Density	ISO 1183	g/cm ³	1.42	1.42	1.42	1.42	1.40	1.40	1.46	1.42	1.38	1.42	1.42	1.39	1.50	1.56	1.59	1.42
Tensile Strain at Yield	ISO 527	MPa	70	70	68	68	69	61	65	61	63	65	65	64	62	54	—	66
Tensile Stress at Break	ISO 527	MPa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	110	—
Tensile Strain at Break	ISO 527	%	50	40	50	45	40	35	18	45	30	25	20	24	15	10	2	40
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	3000	3000	2700	2900	3100	2700	3100	2700	2800	3000	3100	2950	3400	4300	9000	2700
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	2800	2900	2600	2700	2800	2600	3000	2500	2600	2800	2700	2850	3200	4100	8500	2500
Charpy Notched Impact Strength	ISO 179	kJ/m ²	13	9	13	10	9	6	4	9	7	7	6	5	4	4	7	10
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ISO 11359	×10 ⁻⁵ /K	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	7	4~9	10
Deflection Temperature Under Load, 1.8MPa	ISO 75	deg.-C	100	100	90	90	90	92	100	85	100	95	100	102	110	118	171	80
Flame Rating	UL-94	—	—	—	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
Surface Resistivity	IEC 60093	ohms	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume Resistivity	IEC 60093	ohms · cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Molding Shrinkage (Flow / Across Flow)	Internal Method	%	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.8~2.2	1.5~1.8/ 1.0~1.3	1.5~1.8/ 1.0~1.3	0.4~0.6/ 1.0~1.2	1.8~2.2

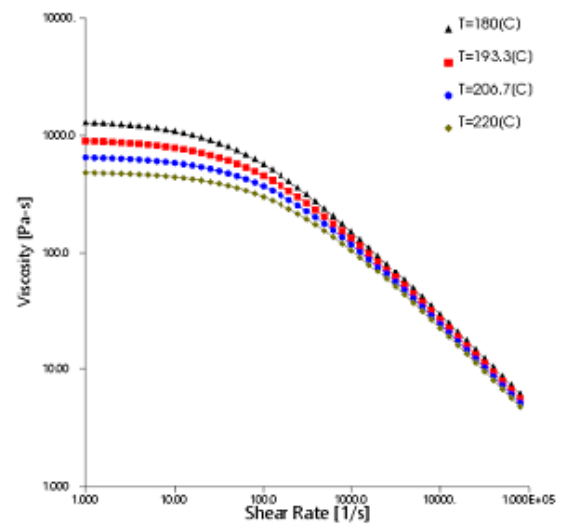
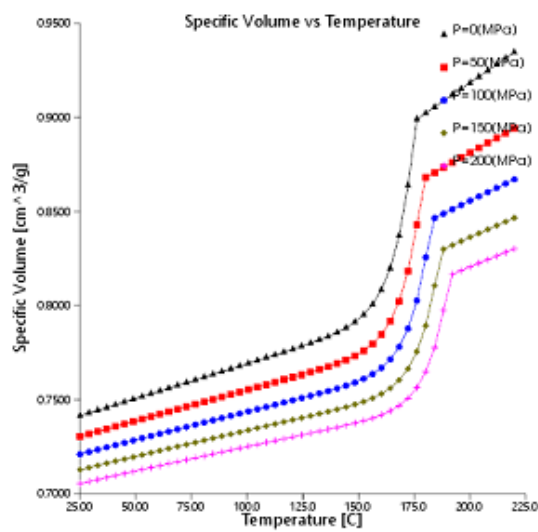
NOTICE TO USERS:

All figures in this document are the typical values of the material. It should not be construed as specifications. Please refer to the relevant safety data sheet (visit our web site) before using our products.

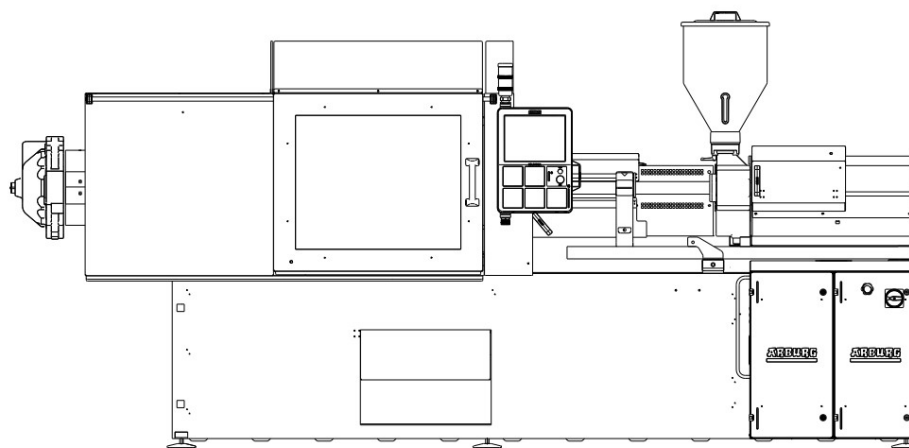
This brochure is based on reference literature, information and data currently available to us. The contents in this brochure are subject to change without notice.

PŘÍLOHA P II: ZPRACOVATELSKÉ ÚDAJE PRO TENAC LA 541

Family name	ACETALS (POM)	Mold surface temperature	90	C
Trade name	Tenac LA 541	Melt temperature	200	C
Manufacturer	Asahi Kasei Chemicals Corporation	Mold temperature range (recommended)		
Link		Minimum	60	C
Family abbreviation	POM	Maximum	120	C
Material structure	Crystalline	Melt temperature range (recommended)		
Data source	Moldflow Corporation : pvT-Measured : mech-Supplemental	Minimum	180	C
Date last modified	20-MAR-07	Maximum	220	C
Date tested	01-APR-96	Absolute maximum melt temperature	240	C
Data status	Non-Confidential	Ejection temperature	135	C
Material ID	50225			
Grade code	TE102	Maximum shear stress	0.45	MPa
Supplier code	ASAKAS	Maximum shear rate	40000	1/s
Fibers/fillers	Unfilled			



PŘÍLOHA P III: PARAMETRY ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE

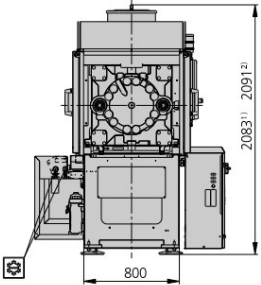
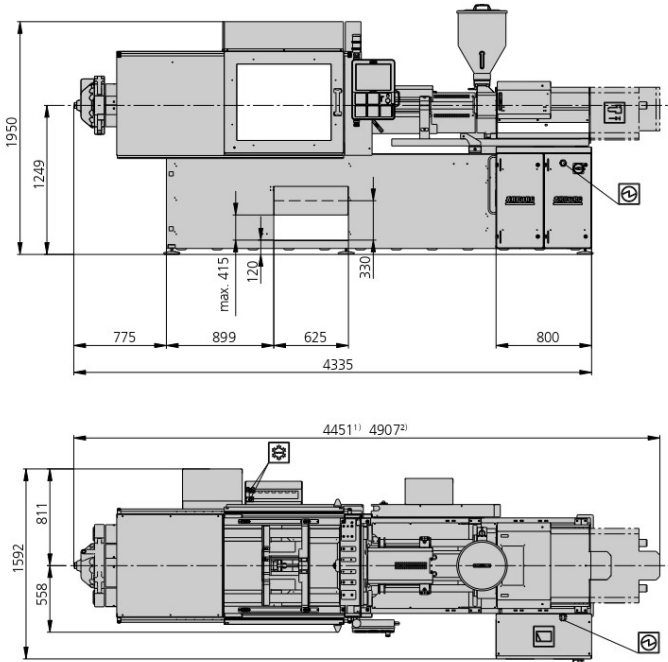




ALLROUNDER 470 C **GOLDEN EDITION**

Distance between tie bars: 470 x 470 mm
Clamping force: 1500 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 400, 800

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 470 C GOLDEN EDITION



-  Electrical connection
-  Cooling water connection

1) Injection unit 400
2) Injection unit 800

TECHNICAL DATA | 470 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		470 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	1500	
Opening force stroke	max. kN mm	350 500	
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---	
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	470 x 470	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	650 x 650	
Weight of movable mould half	max. kg	800	
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175	
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,8 - 329	

Injection unit		400			800		
with screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55
Effective screw length	L/D	23	20	18	22	20	18
Screw stroke	max. mm	160			200		
Calculated stroke volume	max. cm ³	154	201	254	318	392	474
Shot weight	max. g PS	141	184	232	291	359	434
Material throughput	max. kg/h PS	25	29	35	46	53	59
	max. kg/h PA6.6	12,5	15	17,5	23	27	30
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Injection flow ²	max. cm ³ /s	128	168	212	174	214	260
Screw circumferential speed ²	max. m/min	47	53	60	54	60	66
Screw torque	max. Nm	480	550	610	880		
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 300			70 400		
Heating capacity zones	kW	9,4 5			19,9 8		
Feed hopper	l	50			50		

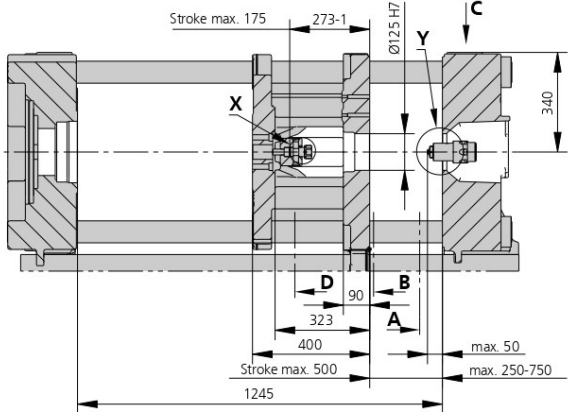
Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		400	800
Net weight of machine	kg	4850	5200
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	69 3	
Oil filling	l	235	
Drive power ²	max. kW	18,5	22
Electrical connection ³		30	44
	Total	A	80
	Machine	A	---
	Heating	A	---
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25	

Machine type
with EUROMAP size designation¹
470 C GOLDEN EDITION 1500-400 | 800

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.

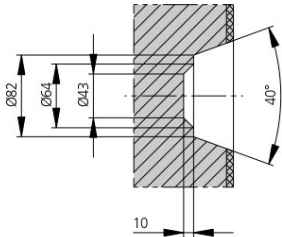
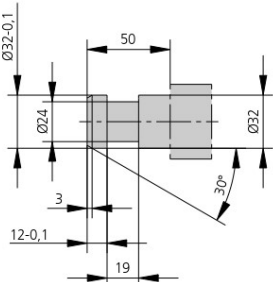
- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative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

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 470 C GOLDEN EDITION



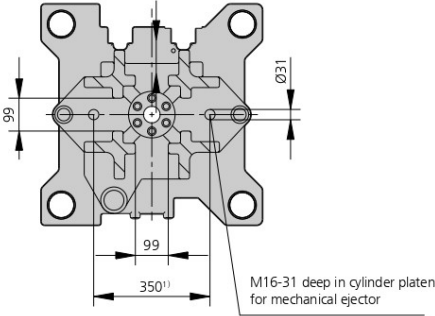
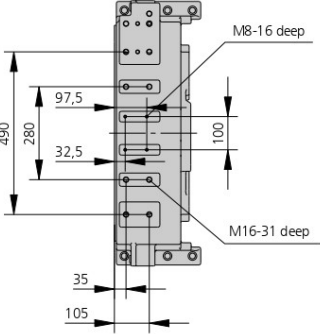
Ejector bolt | X

Bore in mould (if required) | Y



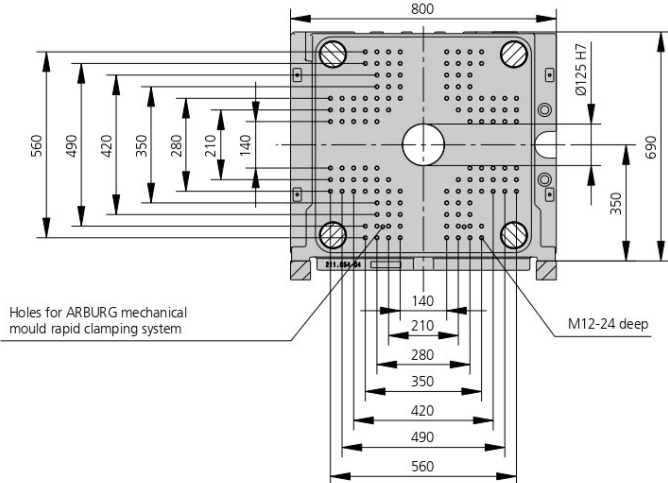
Robotic system mounting | C

D view

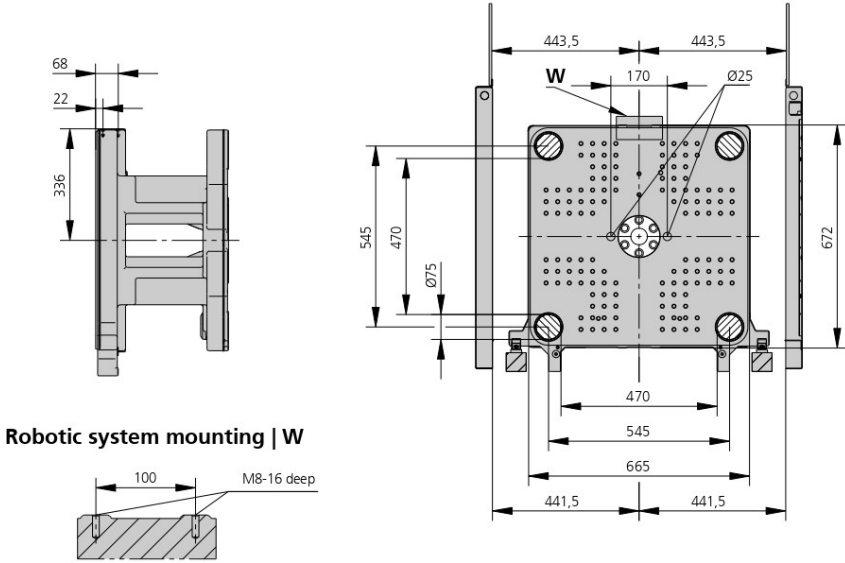


MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 470 C GOLDEN EDITION

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



SHOT WEIGHTS | 470 C GOLDEN EDITION

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		400			800		
Screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55
Polystyrene	max. g PS	141	184	232	291	359	434
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	137	179	227	284	350	424
	max. g SAN, ABS ¹⁾	135	176	223	278	344	416
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	158	207	262	327	404	488
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	147	192	243	304	375	454
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	145	190	240	300	371	449
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	131	171	216	270	333	403
Polycarbonate	max. g PC	148	193	244	305	377	456
Polysulphone	max. g PSU	153	199	252	316	390	471
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	140	183	231	289	357	431
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	131	171	216	270	333	403
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	174	227	287	359	443	536
Polyethylene terephthalate	max. g PET	167	219	277	346	427	517
Polyethylene	max. g PE-LD	106	139	176	219	271	328
	max. g PE-HD	110	143	181	227	280	339
Polypropylene	max. g PP	112	146	185	232	286	346
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	225	294	372	465	574	695
	max. g ETFE	196	256	324	408	504	609
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	170	222	281	351	434	525
	max. g PVC-P ¹⁾	157	205	260	324	401	485

1) average value

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

523679_EN_GB_032020 - Subject to alterations