

Návrh vstřikovací formy pro výrobu části světloometu

David Vajdák

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	David Vajdák
Osobní číslo:	T19265
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh vstříkovací formy pro výrobu části světlometu.

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti.
3. Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl.
4. Nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

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

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: David Vajdák

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh vstříkovací formy pro výrobu části světlometu. Vstříkovaným dílem je krytka mlhovky předního světlometu. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o polymerech, technologii vstříkování a vstříkovacích formách. V praktické části je vytvořen model krytky a návrh vstříkovací formy. Konstrukce je provedena v programu CATIA V5R19 s využitím normálí od firmy HASCO.

Klíčová slova: polymery, technologie vstříkování, vstříkovací forma, CATIA

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to design an injection mold for production of a headlight. The injection moulded part is a cover of a front fog light. The work is further divided into theoretical and practical part. Theoretical part summarizes polymer properties as well as injection molding technology and injection molds. The practical part contains the model of the cover itself and an injection mold design. The construction is achieved through CATIA V5R19 software using the standards of the HASCO company.

Keywords: polymers, injection moulding technology, injection mold, CATIA

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY	11
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.1.1 Rozdělení podle chování polymeru za zvýšené teploty	13
1.1.2 Rozdělení podle uspořádání makromolekul	14
1.2 ÚPRAVA POLYMERŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	14
1.2.1 Stabilizátory	15
1.2.2 Změkčovadla	15
1.2.3 Plniva.....	15
1.2.4 Barviva	16
1.2.5 Retardéry	16
1.2.6 Maziva	16
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	17
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	17
2.1.1 Plastikace.....	18
2.1.2 Uzavření formy	18
2.1.3 Vstřikování a dotlak	18
2.1.4 Chlazení.....	19
2.1.5 Vyhození výrobku	20
2.2 TOK MATERIÁLU	20
2.3 CHOVÁNÍ POLYMERU.....	21
2.3.1 Orientace	21
2.3.2 Smrštění.....	21
2.3.3 Deformace	22
2.3.4 Pnutí	22
2.3.5 Krystalizace	22
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	22
2.4.1 Pístové vstřikovací stroje	23
2.4.2 Šnekové vstřikovací stroje	23
2.4.3 Vstřikovací jednotka	23
2.4.4 Uzavírací jednotka	25
2.4.5 Řízení a regulace	27
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	28
3.1 NÁSOBNOST FORMY	28
3.2 RÁM FORMY	29
3.3 VTOKOVÉ SYSTÉMY	30
3.3.1 Studené vtokové systémy	30
3.3.2 Vyhřívané vtokové systémy	32

3.4	TEMPERACE FORMY	33
3.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	34
3.5.1	Mechanické vyhazovače	35
3.5.2	Pneumatické vyhazovače	36
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ.....	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
4	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
5	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	39
5.1	MATERIÁL VÝROBKU	40
6	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	41
6.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	42
6.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	42
6.3	NÁSOBNOST FORMY	44
6.4	VTKOVÝ SYSTÉM	44
6.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	45
6.6	RÁM FORMY	48
6.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	49
6.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	50
6.9	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ	51
7	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	52
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Polymerní materiály jsou v současné době velmi používané a postupně nahrazují kovy, dřevo, keramiku a sklo. V dnešní době je velké množství polymerů, které můžeme přidáním přísad modifikovat a tím získat potřebné vlastnosti materiálu. Z tohoto důvodu jsou polymery používány téměř ve všech průmyslových odvětvích.

Mezi nejvíce používané technologie zpracování polymerů patří vstřikování. Jedná se o proces vstříknutí roztaveného polymeru do dutiny formy. Výhodou vstřikování je možnost výroby i velice složitých součástí za krátkou dobu, s kvalitním povrchem a vysokou rozměrovou přesností.

Nástrojem při vstřikování je forma, která je složena z několika dílů a musí být vyrobena s vysokou přesností. Pro snížení nákladů na výrobu a zjednodušení konstrukce se využívají normalizované součásti. Konstrukce forem a výrobku se provádí v softwaru s 3D prostředím. Cílem bakalářské práce je návrh formy pro výrobu krytky mlhovky předního světlometu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou z chemického hlediska především organické látky. Mohou být přírodního nebo syntetického původu. Polymery mají velkou šíři vlastností, většinou se skládají z atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku a chloru. Všechny syntetické polymery jsou tvořeny makromolekulami, které se skládají z mnohokrát se opakující základní jednotky „meru“. Syntetické polymery vznikají chemickými reakcemi, jako je polymerace, polykondenzace nebo polyadice. Polymerace je řetězová reakce monomeru, při které vznikají dlouhé makromolekuly. Při této chemické reakci nevzniká vedlejší produkt. Polymer má stejné chemické složení jako monomer. Pro zahájení polymerace je potřeba aktivační energie, např. teplo, záření, přidáním iniciátoru. Polykondenzace je stupňovitá reakce, při které se molekuly spojují do dlouhých řetězců a vzniká vedlejší produkt (většinou voda). Polymer má jiné chemické složení než látky, ze kterých vznikl. Polyadice je stupňovitá reakce dvou odlišných monomerů. Nevzniká vedlejší produkt. Probíhá slučování atomů. Složení produktu se od výchozích látek neliší, ale liší se struktura. [3,4,5]

Průmyslově se polymery vyrábějí několika základními způsoby, mezi které patří bloková, roztoková, suspenzní a emulzní polymerace. Nejjednodušší je bloková polymerace, jedná se o polymeraci čistého monomeru s iniciátorem. Vzniká nám velice čistý produkt. Pokud je polymer rozpustný v monomeru, vzniká stále viskóznější roztok, který ztuhne do polymerního bloku ve tvaru reakční nádoby. Největší nevýhodou blokové polymerace je obtížné míchání ve viskózním reakčním systému, které nám komplikuje odvod reakčního tepla. Tento způsob polymerace se používá k výrobě desek z polymethylmethakrylátu. [4,5]

U roztokové polymerace dochází k reakci mezi monomerem a iniciátorem v prostředí rozpouštědla. Rozpouštědlo odstraňuje problémy s odvodem reakčního tepla, nízká viskozita dovoluje účinné míchání. Jedná se o drahou metodu polymerace z důvodu ceny rozpouštědla a nákladů na jeho odstranění. Roztokovou polymerací se vyrábí lepidla a laky. [4,5]

Suspenzní polymerace probíhá nejčastěji ve vodě, která zaručí dobrý odvod reakčního tepla. Monomer s iniciátorem se rozptýlí mícháním na malé částičky. Každá kapička je miniaturním reaktorem, ve kterém dochází k blokové polymeraci. S postupující polymerací se zvyšuje viskozita i lepkavost částiček a nebezpečí jejich slepení. Suspenzní polymerací se vyrábí polyvinylchlorid nebo polystyren. [4,5]

U emulzní polymerace vzniká polymer ve vodě, stejně jako u suspenzní, ale průběh polymerace a produkt je odlišný. Polymer vzniká z částic monomeru mechanicky

rozptýlených ve vodě, ve které je emulgátor a iniciátor. Každá částice monomeru je chráněna obalem emulgátoru a tím je zaručen růst na vysokou molekulovou hmotnost. Emulzní polymerací se získává polymer ve formě latexu. Latex se používá přímo pro zpracování nebo se koagulací získává suchý polymer. Emulzně se polymerují syntetické kaučuky a polyvinylacetát. [4,5]

Makromolekuly polymerů mohou být lineární, rozvětvené nebo síťované. Lineární vznikají spojováním monomerů s dvěma funkčními skupinami. Rozvětvené mají na řetězci krátké substituenty, které zapříčiní zhoršení tvrdosti, mechanické pevnosti, modul pružnosti a další vlastnosti polymeru. Síťované vznikají spojením sousedních řetězců lineárních makromolekul příčnými chemickými vazbami. Tyto polymery mají lepší tvrdost, modul pružnosti a teplotní odolnost, ale ztrácí rozpustnost, tavitelnost a zhoršuje se jejich houževnatost. [4,5]



Obrázek 1 Molekulární struktura polymerů [3]

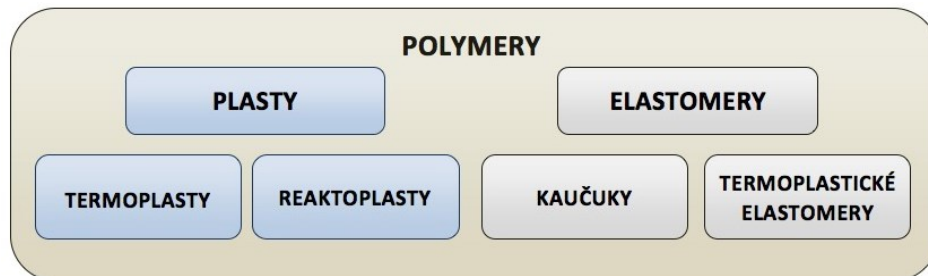
1.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery můžeme rozdělit podle:

- Chování polymeru za zvýšené teploty.
- Uspořádání makromolekul.

1.1.1 Rozdělení podle chování polymeru za zvýšené teploty

Základní skupiny jsou plasty a elastomery. Plasty se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery se dále dělí na kaučuky a termoplastické elastomery. [3]



Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [3]

Plasty jsou polymery, u kterých při vnějším namáhání dochází převážně k deformaci nevratného charakteru. Při běžných podmínkách jsou tvrdé a často i křehké, za zvýšené teploty se stávají plastickými a tvarovatelnými. Dělí se na termoplasty a reaktoplasty. [1,3]

Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání měknou a při překročení teploty tání přechází do oblasti taveniny. Zpětným ochlazením přechází zpět do tuhého stavu. Při zahřívání nedochází k chemické reakci, změny jsou pouze fyzikálního charakteru a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Typickými představiteli jsou polypropylen, polymethylmethakrylát, polyethylen, polystyren. Termoplasty jsou amorfni i semikrystalické. [3,5]

Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Poté dochází k chemické změně (molekuly sesít'ují – vytvrzování) a od tohoto okamžiku jsou netavitelné a nerozpustné. Výrobky z reaktoplastů mají vysokou tepelnou a chemickou odolnost, tuhost a tvrdost. Reaktoplasty jsou amorfni. Typickými představiteli jsou epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice. [3]

Elastomery jsou vysoce pružné materiály s nízkou tuhostí, které lze již malou silou značně deformovat. Deformace je převážně vratného charakteru. Typickým představitelem elastomerů je kaučuk. Vulkanizací kaučuku se vyrábí pryž, je to vysoce pružný materiál, který je odolný trvalé deformaci. [1,3]

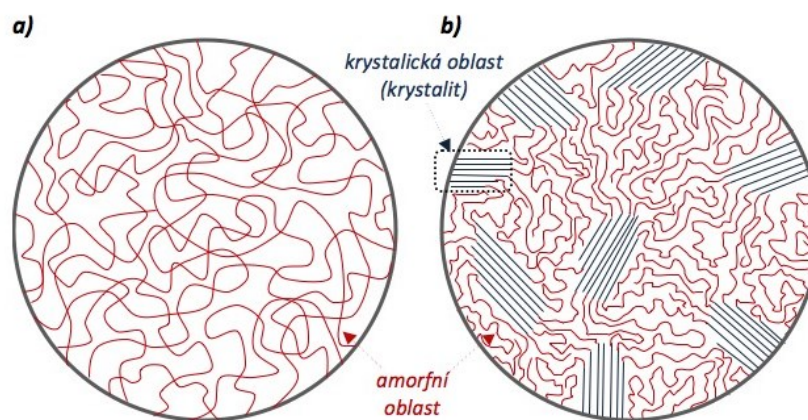
Termoplastické elastomery mají velmi podobné vlastnosti jako pryže. Struktura je tvořena tvrdými segmenty (termoplasty) a měkkými segmenty (elastomery). Zvýšením teploty přechází do tekutého stavu a lze je zpracovávat podobně jako termoplasty. Termoplastické elastomery nemají tak dobré elastické vlastnosti jako pryže, ale jejich

výhodou je možnost vstřikování na strojích určených pro termoplasty a možnost recyklace. [3]

1.1.2 Rozdělení podle uspořádání makromolekul

Při ochlazování taveniny se makromolekuly polymerů mohou více nebo méně pravidelně uspořádat. Může nastat uspořádání amorfnní nebo semikrystalické. Amorfnní mají makromolekuly nepravidelně uspořádané, mohou být i propletené. Semikrystalické jsou částečně uspořádané. Vytváří se oblasti uspořádaných makromolekul, které jsou obklopené amorfnní oblastí. Úplné krystalizace za reálných podmínek nelze docílit, lze pouze za příznivých laboratorních podmínek. [1,3]

Amorfnní polymery jsou tvrdé, křehké, dobře rozpustné v organických rozpouštědlech a jsou transparentní. Semikrystalické polymery jsou houževnaté, mléčně zakalené až neprůhledné, s rostoucí krystalinitou se zvyšuje pevnost. Amorfnní i semikrystalický polymer se může pohybovat v teplotních mezích: teploty skelného přechodu (T_g), teploty toku (T_f) a semikrystalický i teploty tání (T_m). [1,3,5]



Obrázek 3 Schéma struktury polymerů a) amorfnní; b) semikrystalické [3]

1.2 Úprava polymerů před vstřikováním

Polymery v čistém stavu se používají jen zřídka, protože nemají řadu vlastností vhodných pro vstřikování. Přísady mohou tyto vlastnosti zlepšit, chránit před degradací anebo jen snížit cenu. [2]

1.2.1 Stabilizátory

Úkolem stabilizátorů je zpomalit degradaci vlivem tepla nebo slunečního záření. Degradace se projevuje zhoršením vlastností polymeru a jeho zbarvením. Tepelné stabilizátory zvyšují teplotu jejich použití a dobu použití na této teplotě. Světelné stabilizátory absorbují nebo nepropouštějí světlo o vlnové délce 300 až 400 nm, které zapříčiňuje degradaci. Jako UV stabilizátory se používají saze. Stabilizátory se specifickým účinkem zpomalují degradaci polymeru v důsledku působení ostatních vnějších vlivů v atmosféře. [2,3]

1.2.2 Změkčovadla

Změkčovadla jsou málo těkavé organické látky s vysokým bodem varu, které zlepšují ohebnost, elasticitu a tekutost taveniny. Přidáním změkčovadel se snižuje tvrdost a tuhost materiálu. Princip působení změkčovadel na polymer je zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekulárních řetězců a pokles sil mezi nimi. Změkčovadla musí mít schopnost pronikat mezi makromolekulární řetězce a oddělovat je od sebe, aby k tomu docházelo, musí být pro daný polymer rozpouštědlem. Uplatňují se především při přípravě kaučukových směsí, usnadňují míchání, válcování a vytlačování. Do termoplastů se přidávají především za účelem ovlivnění vlastností výsledného produktu. Nejčastěji se snižuje teplota skelného přechodu, většinou o desítky stupňů. [3,4]

1.2.3 Plniva

Plniva jsou látky organického nebo anorganického původu. Používají se v podobě prášku, částic malých rozměrů nebo různě dlouhá vlákna. Z důvodu snížení prášivosti a automatického navažování se prášková plniva často granulují. Plnivy lze zlepšovat mechanické vlastnosti materiálu, odolnost vůči teple, stárnutí, ohni, ovlivňovat vzhled výrobku a jejich cenu. Plniva se dají rozdělit na částicové, vyztužující a nanoplniva. [3,4]

Mezi částicové plniva patří velká řada minerálních plniv o různé velikosti a tvaru. Tyto plniva zvyšují tvrdost, tuhost, viskozitu taveniny a zmenšují smrštění. Mezi částicová plniva se řadí skleněné mikrokuličky, koks, saze, práškové kovy a jejich slitiny, dřevo. [2]

Vyztužující plniva jsou používána za účelem zvýšení tuhosti, pevnosti, tvarové stálosti. Dochází ke snížení ohebnosti, houževnatosti a smrštění, ale podstatně se zvyšuje anizotropie smrštění. K nejdůležitějším vyztužujícím plnivům patří vlákna, jejich délka se pohybuje od

jednotek milimetrů do několika desítek milimetrů. Používají se skleněná, uhlíková, aramidová, kovová, minerální, přírodní a další vlákna. [2,3]

Nejčastěji používaným nanoplnivem jsou vrstevnaté jíly. Velikost částic je v nanometrech a řádově se tedy blíží k velikosti molekuly termoplastu. Nanoplniva zlepšují mechanické vlastnosti, odolnost vůči chemikáliím a navlhavost. [2]

1.2.4 Barviva

Barviva dávají polymerům požadovaný barevný odstín a musí zajistit i kryvost. Jedná se o pigmenty organického nebo anorganického původu. Organická barviva jsou rozpustná v polymeru a zachovávají jeho průhlednost. Pigment musí být odolný vůči zpracovatelským teplotám daného polymeru. [3]

1.2.5 Retardéry

Retardéry jsou látky, které zpomalují proces hoření. Mají negativní vliv na zpracovatelské vlastnosti, taveniny se teplotně dříve rozkládají a zkracuje se výdrž taveniny na zpracovatelské teplotě, zhoršuje se i vzhled výrobků. [2]

1.2.6 Maziva

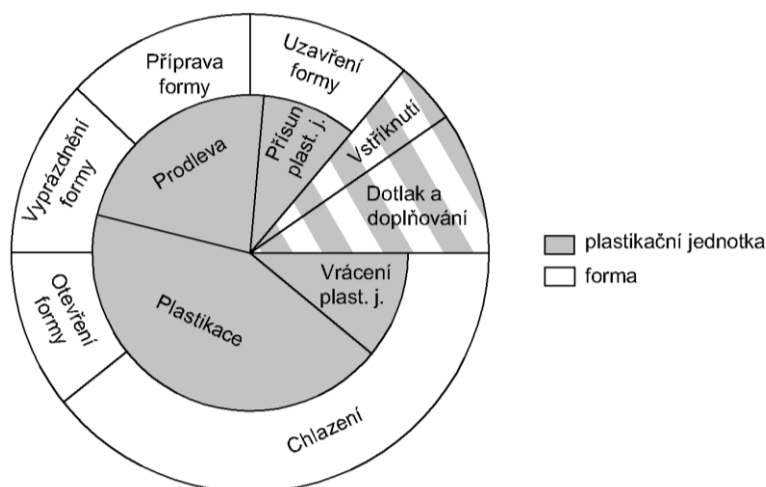
Maziva usnadňují zpracovatelský proces a zlepšují vlastnosti výrobků (tepelnou a světelnou stabilitu, vzhled povrchu). Podle účinku se maziva rozdělují do dvou skupin, na maziva s vnějším a vnitřním účinkem. Maziva s vnějším účinkem jsou málo rozpustné v polymeru, proto vystupují na povrch a vytvářejí vrstvu. Tato vrstva usnadňuje vyjmutí výrobku z formy. Maziva s vnitřním účinkem jsou dobře rozpustná v polymeru, proto snižují viskozitu taveniny a snižují množství vznikajícího tepla třením při zpracování směsi. [3,4]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejpoužívanější technologie pro zpracování polymerů. Je to způsob tváření, při kterém je zpracovávaný materiál vstříknut do uzavřené dutiny formy. K tomu musí dojít co nejrychleji, aby materiál nez tuhnul během vstřikování a nevzniklo prázdné místo ve formě. Při vstřikování vznikají vysoké tlaky kvůli viskozitě materiálu. Podstata vstřikování je založena na cyklickém opakování jednotlivých částí výrobního cyklu. Tímto způsobem se vyrábějí konečné výrobky, polotovary nebo díly pro zkompletování výrobního celku. Technologie vstřikování je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Výhodou vstřikování je, že na jeden výrobní cyklus lze získat konečný díl, schopnost vyrábět tvarově složité výrobky s vysokou rozměrovou i tvarovou přesností, dobrá kvalita povrchu a velmi krátké výrobní cykly. Nevýhodami vstřikování jsou vysoké investiční náklady na nákup strojů a forem, nutná dlouhá doba pro výrobu forem a používání strojů, které jsou neúměrně velké v porovnání s vyráběným výrobkem. [6,7,8]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se skládá z jednotlivých přesně specifikovaných fází, které na sebe navazují a svou činností se podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Ve většině případů se cyklus automaticky opakuje, ale za určitých podmínek může být nutné, aby se stroj po každém cyklu zastavil. Po zásahu obsluhy je stroj připraven na další cyklus, může se jednat o ruční vyjmutí výrobku z formy nebo vkládání kovových insertů. Před začátkem cyklu je nutno upnutou formu vytemperovat na provozní teplotu. [6,7]



Obrázek 4 Schéma vstřikovacího cyklu

Nejdelsí část cyklu u termoplastů je chlazení, které je u elastomerů nahrazeno ohřevem a vulkanizací. Pro popis vstřikovacího cyklu je nutné definovat jeho začátek, za který lze považovat uzavření vstřikovací formy. Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou ovlivněny konstrukcí výstřiku, materiálem, technologickými podmínkami vstřikování, typem stroje a konstrukcí vstřikovací formy. [7,9]

2.1.1 Plastikace

Polymer nejčastěji v podobě granulí je nasypán do násypky, z ní vstupuje do podávací zóny šneku. Před vstřikováním se granule suší, aby byl zajištěn nízký obsah vlhkosti. Rotující šnek dopravuje granule k trysce, opakovaně přivádí materiál do kontaktu s horkou stěnou válce a také vzniká teplo třením. Důležitým faktorem pro získání kvalitních výrobků je teplotní a viskozitní homogenita taveniny, která je ovlivněna teplotou stěny válce a rychlostí otáčení šneku. Případná nehomogenita taveniny ve vstřikované dávce se negativně projeví zejména na povrchu výstřiku, vznikají například tokové čáry. Teplota taveniny má vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku. Se zvyšující se teplotou taveniny orientace klesá a vlastnosti výstřiku se stávají více izotropní. Zároveň se ve směru toku taveniny zhoršují některé mechanické vlastnosti, ale zlepšuje se pevnost studených spojů a snižuje se vnitřní pnutí. [2,9,10]

2.1.2 Uzavření formy

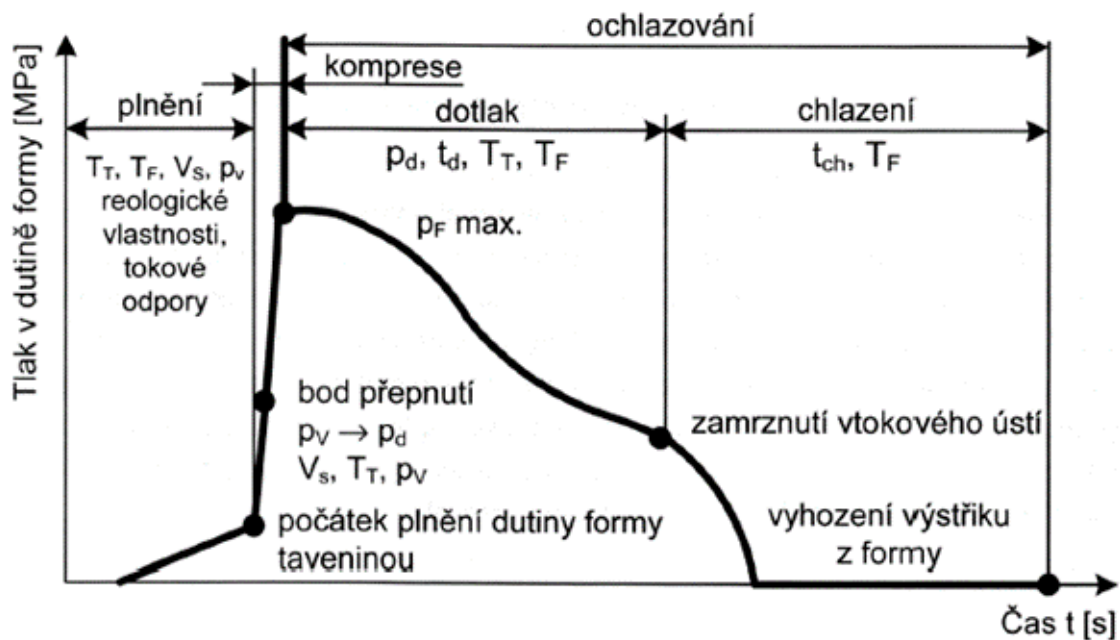
První fází vstřikovacího cyklu je uzavření formy, které by mělo být z hlediska výrobního času co nejkratší. Rychlost zavírání formy není po celé dráze konstantní, z počátku se forma pohybuje velkou rychlostí a těsně před dosednutím formy se rychlost sníží, aby nedošlo k poškození dosedacích ploch obou částí formy. Forma musí být uzavřena takovou silou, aby se během vstřikování a dotlaku nepootevřela a nedostala se tavenina do dělicí roviny. [7,8]

2.1.3 Vstřikování a dotlak

Hlavním úkolem vstřikovací fáze je naplnění tvarové dutiny formy homogenní taveninou tak, aby rychlost čela taveniny byla v celém průřezu dutiny konstantní. U jednoduchých výrobků s konstantní tloušťkou stěny je možné tento úkol víceméně splnit, ale u tvarově členitých výrobků s různou tloušťkou stěny je to velice problematické i při použití výsledků z počítačové simulace. Rychlost vstřikování má vliv na povrchové defekty

výstřiku, proto je nutné rychlost vstřikování, teplotu taveniny a formy optimalizovat tak, aby na povrchu výrobků nevznikala vysoká smyková napětí. Doba plnění se pohybuje od zlomku sekundy až do několika sekund u výrobků s velkou hmotností. Při přechodu z vstřikovacího tlaku na dotlak nesmí být ovlivněna plynulost tlakové odezvy v průběhu plnění tvarové dutiny formy (nesmí být na tlakové křivce propad nebo výrazné zvýšení tlaku). To je důležité z důvodu dosažení co největší izotropie vlastností a minimalizace vnitřního pnutí. [2,7]

Při působení dotlaku dojde ke snížení tlaku v dutině formy, pokud by se tlak nezmenšoval, došlo by k přeplnění formy. Průběh dotlaku se musí volit tak, aby byly dosaženy požadované rozměry, tvary a hmotnost výstřiku. Působení dotlaku způsobuje zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výstřiku. Dotlak zmenšuje smrštění, odstraňuje lunkry, propadliny, bubliny a trhliny. Pomocí polštáře je možné kontrolovat působení dotlaku na výstřik. Polštář je množství taveniny, která zůstane před čelem šneku po skončení dotlaku. [6,10]



Obrázek 5 Průběh tlaků v dutině formy [1]

2.1.4 Chlazení

Ochlazování výstřiku v dutině formy začíná už na začátku plnění dutiny formy polymerem. Parametry ochlazování jsou teplota formy a doba chlazení. Minimální doba chlazení polymeru musí zajistit ztuhnutí výstřiku, aby byl vyhozen z formy bez vzniku deformací nebo vad od vyhazovacího systému. Teplota výstřiku je stále vyšší, než je teplota

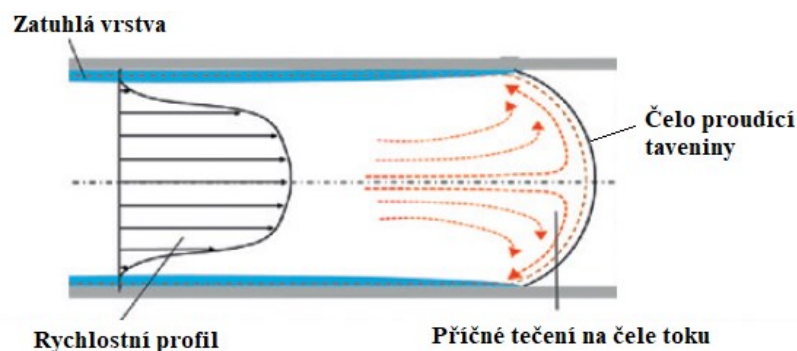
okolí, k chladnutí na teplotu okolí dochází již mimo dutinu vstřikovací formy. Nejdelsí fází cyklu je chlazení, protože polymery jsou tepelné izolanty. Pohybuje se od několika sekund pro tenkostěnné výstřiky, pro tlustostěnné výstřiky může probíhat i několik minut. Formy se obvykle chladí průtokem chladicího média (voda, olej). Z ekonomického hlediska by měla být doba chlazení co nejkratší, ale z hlediska kvalitativních požadavků by měla být co nejdelsí. Je nutné volit kompromis vycházející z cenových požadavků odběratele a kvalitativních parametrů výstřiku. [2,10]

2.1.5 Vyhození výrobku

Cyklus končí otevřením formy a vyhozením výstřiku. Je snaha snížit strojní časy na minimum, dosahuje se toho stejně jako u zavírání formy. Nejdříve se forma otevírá rychle a před dojezdem na doraz se rychlost sníží. Dráha otevření je dána rozměrem výstřiku ve směru otevírání formy. Tato dráha musí být minimálně tak velká, aby bylo možno výstřik z formy vyhodit bez nebezpečí vzpříčení v dělicí rovině nebo aby bylo dostatek prostoru pro činnost robota nebo manipulátoru. Po otevření formy dojde k vyhození výstřiku. Pro zkrácení výrobního času umožňují moderní vstřikovací stroje pohyb vyhazovačů již během částečného otevření formy. [6,7]

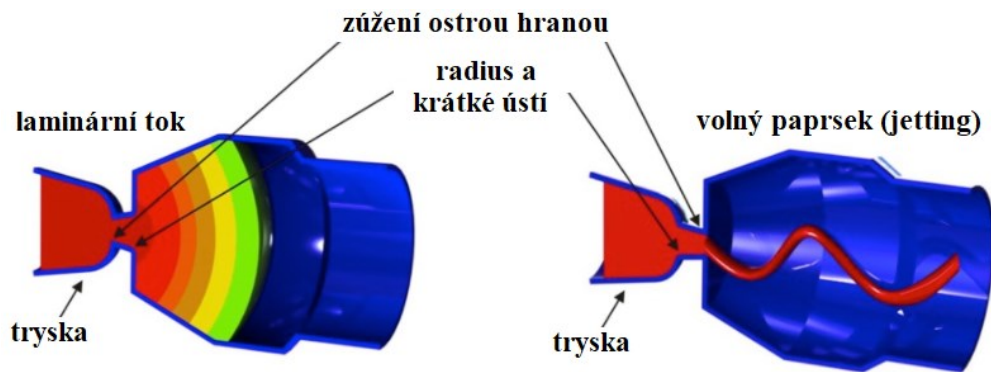
2.2 Tok materiálu

Teplota vstřikovací formy je v případě termoplastů mnohem menší, než teplota taveniny. Proto při styku stěny formy a taveniny dochází k okamžitému ztuhnutí polymeru a vytvoření nepohyblivé vrstvy. Tloušťka zatuhlé vrstvy je závislá na rychlosti taveniny. Při vstupu do dutiny je vysoká rychlost a zamrzlá vrstva je tenká, se snižující rychlostí se zvětšuje zamrzlá vrstva. V oblasti čela taveniny vzniká efekt fontánového toku (tavenina se převrací ze středu toku k povrchu dutiny). [10]



Obrázek 6 Fontánový tok taveniny [10]

Za čelem taveniny je laminární rychlostní profil s největší rychlostí ve středu dutiny a nulovou rychlostí na povrchu zamrzlé vrstvy. Tavenina nesmí do dutiny vstřikovací formy vstupovat volným tokem. Vznikal by špatný povrch a vlastnosti výstřiku. Tavenina musí do formy vstupovat laminárním tokem, aby došlo k plnění od trysky. Je vhodné zaoblit všechny hrany na výrobku, aby polymer lépe zatekl a nevznikaly v rozích bubliny. [8,10]



Obrázek 7 Plnění volným tokem [7]

2.3 Chování polymeru

Během vstřikování probíhají procesy, které mají vliv na kvalitu výstřiku. Jedná se o pokles teploty a tlaku s časem, orientace makromolekul a plniva. Po dokončení vstřikování dochází k smrštění, krystalizaci, deformaci a vzniku pnutí ve výstřiku. [7]

2.3.1 Orientace

Pokud tavenina polymeru proudí, makromolekuly mají tendenci se orientovat ve směru proudění. Čím více se makromolekuly narovnají ve směru proudění, tím je větší stupeň orientace a stoupne i anizotropie. Orientaci lze ovlivnit pomocí tlaku a rychlosti nebo teploty taveniny a formy. Snížit ji můžeme i relaxací, např. dodatečným ohřevem. Orientace plniv a vláken je podobná makromolekulární orientaci. Orientace vede k anizotropnímu chování, jako je anizotropní smrštění a mechanické vlastnosti, které vedou k obtížím při minimalizaci deformací výstřiku a zajištění rozměrové přesnosti a stability. [10,11]

2.3.2 Smrštění

Konečné rozměry polymerních výstřiků jsou závislé na velikosti smrštění. Smrštění je změna objemu výstřiku, ke které dochází v důsledku chlazení výstřiku bez působení tlaku. Smrštění je možné posuzovat z hlediska změny objemu v určitém místě výstřiku a vzniká

lokální smrštění, které může vést k vzniku lunek nebo propadlin. Anebo je možné smrštění posuzovat jako celek a měřítkem je hodnota smrštění. Tato hodnota udává, o kolik je rozměr výrobku menší, než rozměr formy. Jsou dva druhy smrštění, výrobní a dodatečné. Výrobní smrštění je podstatně větší, přibližně 90% celkového smrštění. Na velikost smrštění mají velký vliv nejen technologické parametry, ale i konstrukce dílu, umístění vtoku a materiál výrobku. Obecně platí, že s rostoucí teplotou je i větší smrštění. [7,10]

2.3.3 Deformace

Deformaci lze považovat jako odchylku od zamýšleného tvaru výstřiku. V některých případech mohou být větší rozměrové změny v důsledku deformace než změny od smrštění. Kromě toho může být deformace stejně nebo i obtížněji opravitelná a předvídatelná. Deformace vzniká ze zbytkových napětí. Mezi hlavní důvody deformace patří anizotropní orientace způsobující nerovnoměrné smršťování a rozložení napětí, různá tloušťka průřezu součástí, nerovnoměrná rychlost chlazení a asymetrie v geometrii součástí. [11]

2.3.4 Pnutí

Pnutí může ovlivnit pevnostní a deformační chování výstřiku. Vzniku pnutí nelze zabránit, ale je možné úpravou vstřikovacího procesu snížit velikost pnutí. Velikost pnutí se časem a teplotou snižuje. Za účelem snížení pnutí se výstřiky ohřívají, tento proces se nazývá temperace výstřiků. [11]

2.3.5 Krystalizace

Krystalizace může nastat jen u semikrystalických polymerů. Semikrystalické polymery krystalizují odlišnou rychlostí a při standardních podmínkách mají rozdílný objem krystalické fáze. Ke krystalizaci dochází během tuhnutí taveniny ve formě. Po vyhození výstřiku z formy nebo při dodatečném ohřevu dochází ještě k pozvolné dodatečné krystalizaci. U chladnějších forem a tenkostěnných výstřiků dochází k rychlému ztuhnutí a nedojde ke krystalizaci. Z tohoto důvodu zůstává povrchová vrstva amorfni. Tyto rozdílné oblasti mají různé smrštění a dochází ke vzniku pnutí. [7,11]

2.4 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje jsou určeny na zpracování polymerních materiálů, především ve formě granulí. Tyto stroje se skládají ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, z řízení a

regulace. Vstřikovací stroje mohou být pístové nebo šnekové. Důležitá je pravidelná údržba vstřikovacích strojů pro zajištění požadované kvality výroby, provozu s co nejmenšími náklady a zajištění bezproblémový, stabilní provoz s co nejmenším počtem neplánovaných odstávek. [12,14]

2.4.1 Pístové vstřikovací stroje

Vstřikovací jednotka je píst, který má omezený pohyb jen ve své ose. Pístové vstřikovací stroje jsou nejstarším typem. Pohybem pístu dochází k posunu granulátu do vyhřívané komory, kde se granulát přemění na viskózní taveninu. Tlakem pístu se tavenina dostává až k trysce a do vstřikovací formy. Před tryskou je umístěno torpédo, které musí tavenina obtéct a tím je zajištěno částečné promíchání taveniny. V současné době se pístové vstřikovací stroje používají jen na speciální aplikace, většina vstřikovacích strojů jsou osazeny šnekovou vstřikovací jednotkou. [8,12]

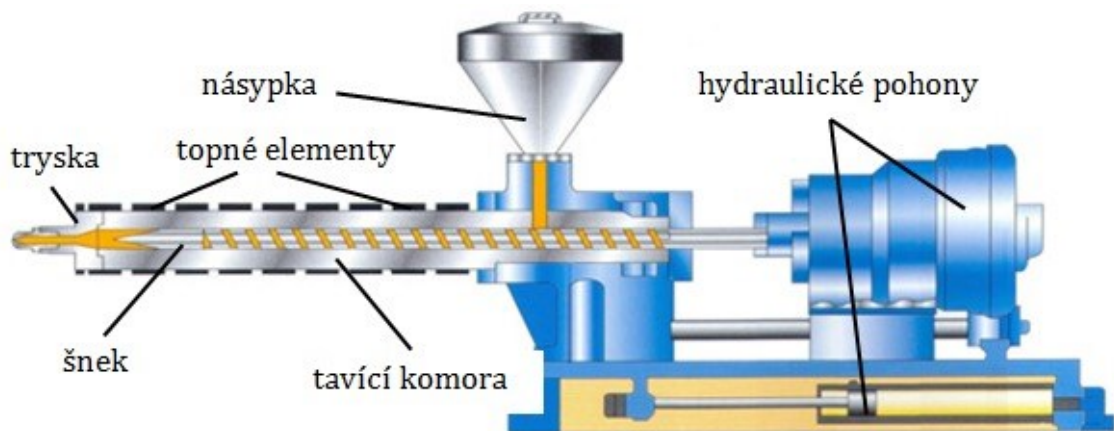
2.4.2 Šnekové vstřikovací stroje

Šnekové vstřikovací stroje mají kromě základního pohybu vpřed a vzad i rotační pohyb, který zajišťuje lepší promíchání taveniny polymeru, před jejím vstříknutím do dutiny formy. Vstřikovací jednotka může být orientovaná libovolně. Nejběžnější je horizontální a vertikální orientace, při používání více vstřikovacích jednotek na jednom stroji je možné použít vstřikovací jednotku orientovanou pod úhlem (nejčastěji 45°). Mezi základní parametry patří plastikační kapacita, vstřikovací kapacita a parametry šneku (uváděné jako poměr L/D), u uzavírací jednotky je důležitá maximální velikost uzavírací síly, velikost upínacích desek nebo vzdálenost mezi sloupky, minimální a maximální velikost formy. [8,12]

2.4.3 Vstřikovací jednotka

Základní funkcí vstřikovací jednotky je převedení granulátu na vysoce viskózní taveninu a vstříknutí taveniny do dutiny formy, musí být zajištěna rozměrová a tvarová přesnost. Výkon vstřikovací jednotky se udává vstřikovací a plastikační kapacita. Vstřikovací kapacita je maximální objem taveniny, který je možné vystříknout do volného prostoru během jednoho pracovního zdvihu šneku. Vstřikovací kapacita udává maximální objem výstřiku a vtokového systému. Plastikační kapacita udává množství taveniny, kterou stroj vytvoří za jednotku času. Tato informace se používá ke kalkulaci doby potřebné pro

plastikaci určitého množství materiálu. Vstřikovací jednotka se skládá z násypky, tavicí komory, šneku, trysky a posuvné konzoly. [12,13]



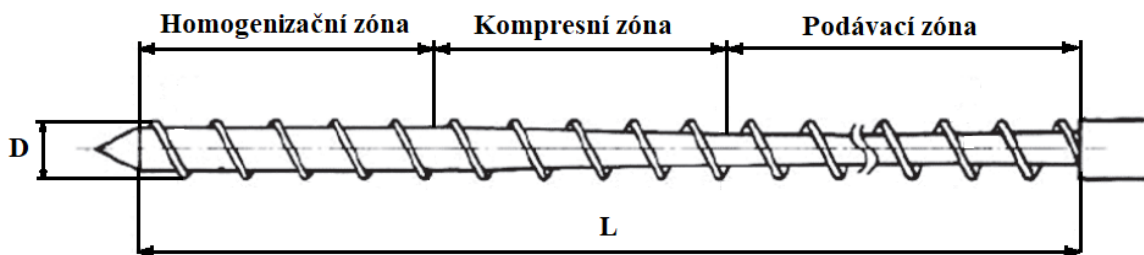
Obrázek 8 Vstřikovací jednotka [12]

Násypka tvoří vstupní část plastikační jednotky. Standartní násypka je konstruovaná tak, aby se polymerní materiál dopravoval samospádem do tavicí komory. Pokud jsou k polymeru přidávány aditiva, která mají jinou geometrii a hmotnost než polymer, může docházet k jejich shlukování a přísady nebudou rovnoměrně rozptýlené v tavenině. Je důležité zabránit ohřevu tavicí komory v těsné blízkosti násypky, aby nedocházelo k natavení granulátu už v ústí násypky. [12]

Tavicí komora je válec nejčastěji z nitridované oceli, protože má vysoce tvrdou povrchovou vrstvu a odolává abrazi. Na povrchu jsou elektrické topné pásy s nezávisle nastavitelnými zónami, jejich počet je dán především délkou tavicí komory. Modifikovanou konstrukcí je úprava s odplyňovací zónou, která umožňuje odvod plynů a par z taveniny. Při této úpravě je možné zpracovávat i ne zcela suchý materiál. Uvnitř tavicí komory je šnek. Aby byl zajištěný plynulý tok uvnitř tavicí komory, je potřeba hrubý povrch válce tavicí komory. [13]

Šnek je pracovním členem vstřikovací jednotky. Profil šneku není po celé jeho délce stejný, mění se hloubka i stoupání šroubovice. Standartní šneky pro zpracování termoplastů se skládají ze tří odlišných zón. První je podávací a hloubka závitů šroubovice je největší. Tato zóna je pod násypkou a slouží k dopravě granulátu z násypky do tavicí komory, důležitý je koeficient tření mezi granulami a šnekem. Druhá zóna je kompresní, hloubka šroubovice šneku se postupně zmenšuje a dochází ke stlačování materiálu. V této zóně dochází k ohřívání od topných pásů a třením mezi granulami, šnekem a válcem. Přibližně 70% tepla vzniká třením. Poslední zóna je homogenizační, jejím úkolem je intenzivně promíchat

taveninu a tím zajistit rovnoměrné rozložení teploty. Ideální délka každé z těchto oblastí je v závislosti na použitém polymeru, zejména kompresní zóna. U amorfních polymerů bude délka této zóny delší než u semikrystalických. Aby byl zajištěn plynulý tok taveniny, je potřeba velmi hladký povrch šneku. Mezi nejdůležitější parametry šneku patří poměr délky a průměru šneku. Tento poměr je specifický pro různé typy materiálů. [13]



Obrázek 9 Zóny šneku [13]

Funkcí trysky je zajistit přesné dosednutí vstříkovací jednotky na vtokovou vložku formy, k tomu slouží rádius na špičce trysky. Uvnitř trysky je kanál, který se směrem ke špičce rozšiřuje. Trysky jsou ohřívány, aby nedocházelo k tuhnutí taveniny. Uchycení trysky k tavící komoře je realizováno pomocí šroubů nebo závitů přímo na trysce. Používají se dva základní typy trysek, otevřené a uzavíratelné. [12,13]

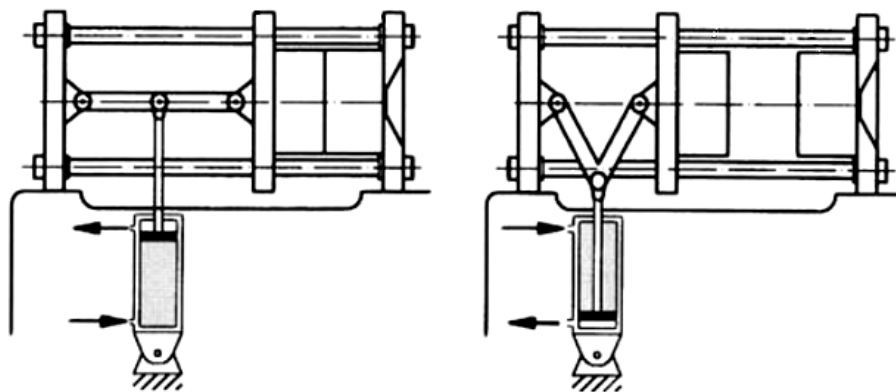
Na posuvné konzole je připevněna vstříkovací jednotka. Posuvná konzole zajišťuje přísun trysky ke vtokové vložce formy a udržení potřebné přitlačné síly. Pohyb konzole je zajištěn elektrickým nebo hydraulickým pohonem. [12]

2.4.4 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka musí udržet formu uzavřenou během vstříkování, zajišťuje pohyb a upnutí vstříkovací formy. Skládá se z vodících sloupků, pevné a pohyblivé upínací desky. Upínací jednotka může být konstruována jako mechanická, hydraulická nebo kombinace obou systémů. [9,13]

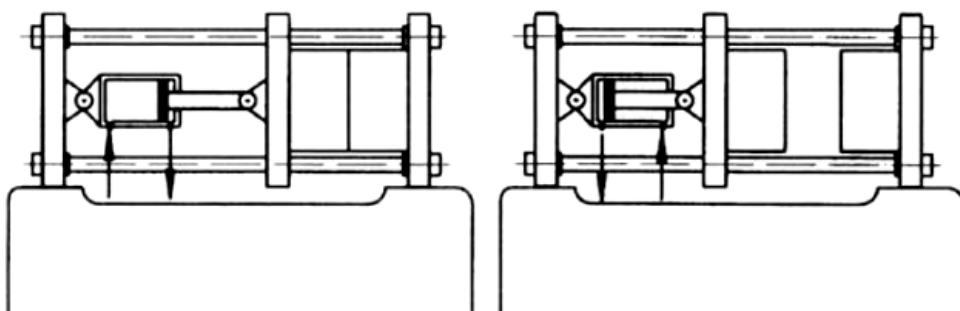
Formy se upínají na upínací desky, které musí mít požadovanou tuhost. Je několik způsobů jak uchytnout formy na desky, např. pomocí upínek, bajonetového, magnetického a hydraulického upínacího systému. Vodící sloupky zajišťují rovnoběžnost funkčních ploch upínacích desek. Většina strojů je vybavena čtyřmi vodícími sloupky, malé stroje mohou mít pouze dva. Vzdálenost mezi sloupky určuje maximální velikost formy, kterou lze na stroji upnout bez odmontování jednoho ze sloupků. [13]

Kloubový mechanismus je jeden z neúčinnějších uzavíracích systémů. Tyto mechanismy mají velmi dobře regulovatelnou rychlost pohybů. Nejedná se čistě o mechanický systém, protože je kloubový mechanismus aktivován hydraulickým nebo elektrickým pohonem. Nejjednodušší kloubové mechanismy jsou používány u malých vstřikovacích strojů, při potřebné větší uzavírací síle se používají vícebodové kloubové mechanismy. Tento systém je rychlý, ale zároveň chrání formu před kolizí a je energeticky úsporný. [9,20]



Obrázek 10 Kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem [9]

V hydraulickém uzavíracím systému je hydraulický píst přímo zodpovědný za pohyb formy a požadovanou upínací sílu. Výhodou je rychlé přizpůsobení různým rozměrům formy. Zatímco kloubový mechanismus dokáže vyvinout maximální sílu jen v zcela vysunutě poloze, hydraulický píst může přenášet sílu v jakémkoliv požadovaném bodě. Nevýhodou je velké množství hydraulické kapaliny potřebné k naplnění válce, pokud je potřeba velká dráha pohybu. [9,20]



Obrázek 11 Hydraulická uzavírací jednotka [9]

Pro maximální zefektivnění se používají kombinované uzavírací systémy. Hlavní posuv desky je řízen kloubovým mechanismem a hydraulický válec v kombinaci s mechanickým

zajištěním slouží k vybudování a udržení uzamykací síly. Každý z uvedených systémů má výhody i nevýhody a neexistuje optimální univerzální konstrukce uzavíracího systému. [9]

2.4.5 Řízení a regulace

Regulátor zpracovává hodnoty sledovaných parametrů, které získává ze systému stroje a porovnává je se zadanými hodnotami. Pokud zaznamená nějakou odchylku, tak pomocí regulačních prvků dorovná aktuální hodnotu parametru na požadovanou úroveň. Celý systém je řízen mikroprocesory. Průběh vstřikovacího cyklu je programovatelný, během programování se za sebe řadí jednotlivé operace cyklu do blokového schématu. Stroj může pracovat ve třech režimech. První režim je zcela manuální a používá se na seřizování stroje. Druhý režim je poloautomatický. Stroj vykoná podle programu celý cyklus, ale každý cyklus je potřeba spustit ručně. Využívá se při ručním odebírání výrobků nebo při vkládání kovových insertů. Poslední režim je plně automatický, jeden výrobní cyklus navazuje na druhý bez nutnosti přítomnosti obsluhy.

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí splňovat mnoho požadavků. Hlavní funkcí forem je dopravení taveniny do dutiny formy a vznik výstřiku, který kopíruje dutinu formy. Další důležitou funkcí formy je účinné přenášení tepla z taveniny polymeru do chladící kapaliny (nejčastěji voda nebo olej) a vyhazovat výstřiky z formy bez nadměrného namáhání. Při návrhu forem musí docházet ke kompromisům. Levnější formy někdy vedou k neefektivním procesům nebo horší kvalitě výrobků. Formy by měly být navrženy tak, aby produkovali výrobky přijatelné kvality s minimálními náklady na cyklus. Přičemž vývoj vyžaduje minimální náklady a čas. [11,15]

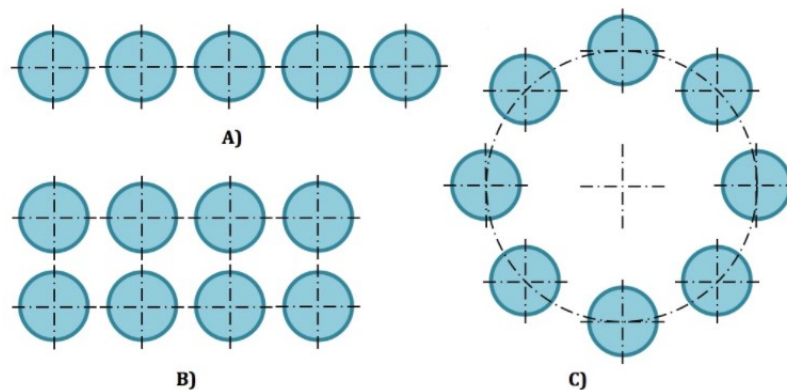
Při navrhování formy je potřeba zvolit násobnost formy, rám formy, vtokový systém, temperaci, vyhazovací systém, odvzdušnění, materiál jednotlivých částí a polohu dělicí roviny. Všechny tyto části by měly být navrženy co nejjednodušeji a s co nejmenšími rozměry. Dutina formy se skládá ze dvou částí, jedná se o tvárník a tvárnici. Vzniklá dutina odpovídá negativu vstřikovaného výrobku před jeho smrštěním. [15,16]

Údržba vstřikovacích forem je velice důležitá pro jejich výrobní výkon. Pravidelnou údržbou se minimalizují nebo úplně odstraní neplánované opravy, výroba zmetků a úniky kapalin. Formy musí být vybaveny prostředky pro bezpečnou manipulaci. Nejčastěji jsou vybaveny závěsnými oky nebo třmeny s oky. Vždy se musí s formou manipulovat ve vodorovné poloze a je nutno zajistit vyhazovací systém proti pohybu, aby nedošlo k poškození dutiny formy. [14]

3.1 Násobnost formy

Násobnost formy udává kolik se vyrobí výstřiků při jednom cyklu. Forma je pojmenovaná podle počtu dutin, např. jednonásobná, dvojnásobná nebo čtyřnásobná. Forma může mít i dvě různé dutiny, např. pravé a levé zrcátko od auta. Rozložení dutin musí být kompaktní, snadno vyrobitelné a poskytující produktivní výrobu. U forem s jednou dutinou se nejčastěji umísťuje do středu formy. Pro vícenásobné formy se dutiny uspořádávají do tří základních rozmístění. První z nich je umístění v řadě vedle sebe, které je jednoduché, ale není vhodné. Pokud nejsou výrobky dlouhé destičky. Kromě toho může použití takového uspořádání dutin vést k nevyváženému systému s nerovnoměrným plněním dutin. Alternativa k umístění v řadě je uspořádání dutin do mřížky. Toto rozmístění je nejběžnější pro velké objemy výroby, kdy je počet dutin násobkem 2. Výhodou tohoto rozvržení je

kompaktní uspořádání ve formě s přijatelným poměrem stran a vyvážený systém s rovnoměrným plněním. Pro snížení složitosti vtokového systému a vyváženějšímu plnění dutin se někdy používá kruhové uspořádání, pokud jsou vstřikované výrobky malé nebo je nízký počet dutin. Nevýhodou je potřebná větší plocha formy než u uspořádání do mřížky. [11,15]



Obrázek 12 Umístění dutin [15]

A) umístění v řadě, B) umístění do mřížky, C) umístění v kruhu

Velikost formy je určena především plochou požadovanou pro umístění všech dutin, ale problém je v umístění dalších součástí formy. Pro stanovení počtu dutin se bere v úvahu několik faktorů. Klíčovým údajem je plánované množství výrobků za celou dobu životnosti vstřikovací formy. Při malém množství se většinou vyrábí jednonásobné formy. Pokud je potřeba velké množství, např. víčka lahví pro nápoje, je někdy i přes 100 dutin. Při návrhu počtu dutin záleží i na složitosti výrobku. Čím je složitější, tím je dražší forma. U složitých výrobků se konstruuje pouze jednonásobná forma. Na množství dutin má vliv i velikost stroje, na kterém bude zákazník vyrábět výrobky. Záleží nejen na velikosti upínací plochy, ale i na uzavírací síle a výkonu plastikační jednotky. [11,17]

3.2 Rám formy

Rám formy se skládá z jednotlivých desek, spojovacích prvků, vodících a středících částí. Při navrhování rámu se často používají normálie od specializovaných výrobců, např. HASCO. Celá forma je rozdělena na dvě hlavní části, označují se jako levá a pravá strana formy. Desky v každé z částí jsou k sobě spojeny pomocí šroubů. Upínací desky na obou stranách formy slouží k upnutí formy na vstřikovací stroj. Je vhodné na upínací desky připevnit izolační desky, aby se z části zabránilo přestupu tepla z formy do stroje. Tvarové

desky slouží k vytvoření dutiny nebo k ukotvení tvárníku a tvárnice. Díly, které tvoří dutinu formy musí být z odolnějších a tím pádem i dražších materiálů, použitím tvárníku a tvárnice dochází k významné úspoře nákladů na výrobu formy (pro ukotvení lze použít levnější materiál). Rozpěrné desky vytvářejí ve formě prostor pro pohyb vyhazovacího systému a jejich výška se volí podle potřebného zdvihu pro vyhození výstřiku. Vyhazovací deska kotevní slouží k ustavení vyhazovačů ve správné poloze. Vyhazovače jsou opřeny o vyhazovací desku opěrnou a jsou mezi deskami vyhazovacího systému pevně sevřeny. K vystředění formy na stroji slouží středící kroužky. Středící trubky slouží k vystředění jednotlivých desek. K vedení pohyblivých částí formy slouží vodící čepy, které bývají vybaveny mazacími drážkami. V pohyblivých částech je umístěno vodící pouzdro, které umožňuje pohyb po vodícím čepu. [15,16,18]

3.3 Vtokové systémy

Existuje mnoho způsobů jak vstříkovat výrobek. Nejdůležitější je při výběru typu a provedení vtokového systému, aby bylo možné optimálně naplnit taveninou dutinu formy. Existují dva typy vtokových systémů, studený a horký. [17]

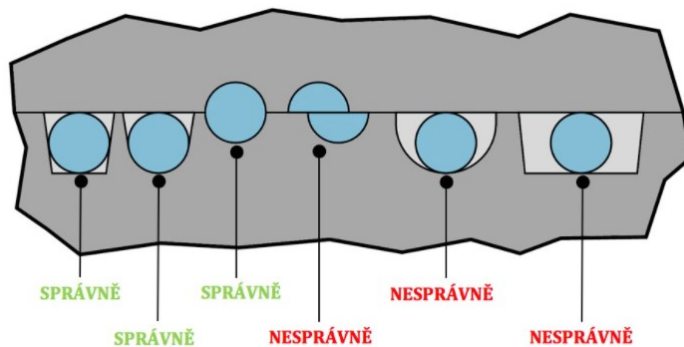
3.3.1 Studené vtokové systémy

Tavenina je vstříknuta do vtokového systému formy a je pomocí rozváděcích kanálů distribuována přes vtokové ústí do dutiny. Vtokový systém musí být navržen tak, aby se všechny dutiny formy naplnily současně a rovnoměrně při stejném tlaku. Takový systém se nazývá vyvážený. [9,20]

Jako první vstupuje tavenina z trysky stroje do vtokové vložky. Vtoková vložka je dodávána jako normálie. Je v ní vytvořena dutina kruhového průřezu a směrem od trysky se rozšiřuje. Vtokový kanál dopravuje taveninu přímo do dutiny formy nebo do rozváděcího kanálu. Po vychladnutí výstřiku je nutné, aby při otevírání formy zůstal celý vtokový systém na pohyblivé části formy. Z tohoto důvodu se používají přidržovače vtoku, které pomůžou vytáhnou zatuhlý vtokový systém z vtokové vložky. [17]

Rozváděcí kanály dopravují taveninu v dělicí rovině. Konstrukce a rozměry ovlivňují efektivitu celého procesu a kvalitu výstřiků. Příliš malé rozváděcí kanály mohou způsobovat velký nárůst vstřikovacích tlaků. Naopak příliš velké rozváděcí kanály mohou prodlužovat cyklus a zvětšovat množství odpadu a tím i zvyšovat náklady. Optimální tvar vtokového

kanálu je kruhový, ale musel by se obrábět do obou stran dělicí roviny a to zvyšuje riziko vzniku nepřesného tvaru. Vhodnou alternativou je vtokový kanál ve tvaru lichoběžníku, který lze obrábět pouze do jedné strany dělicí roviny. Mezi základní vtoky patří plný kuželový, bodový, tunelový, banánový, filmový, boční, deštníkový, talířový a prstencový. [15,17]

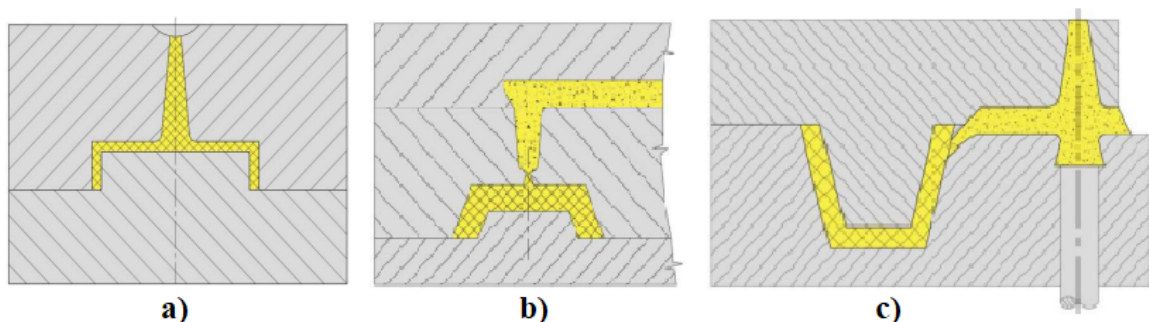


Obrázek 13 Druhy rozvodných kanálů [15]

Plný kuželový vtok je vhodný pro tlustostěnné výrobky nebo vysoce viskózní taveniny. Je to vtok přímo z vtokového kanálu do dutiny formy. Nevýhodou je nutnost odstranění vtokového kanálku, který zůstane na výrobku. Jedná se o nejjednodušší způsob vtoku. [19]

Bodový vtok je na rozdíl od plného kuželového vtoku oddělen od výrobku, na kterém zanechá pouze malou stopu. U tenkostěnných výrobků se v místě vtoku vytváří čočkovité zhloubení, aby nedošlo k vytržení materiálu. Nevýhodou je potřeba třídeskového systému formy. [9,19]

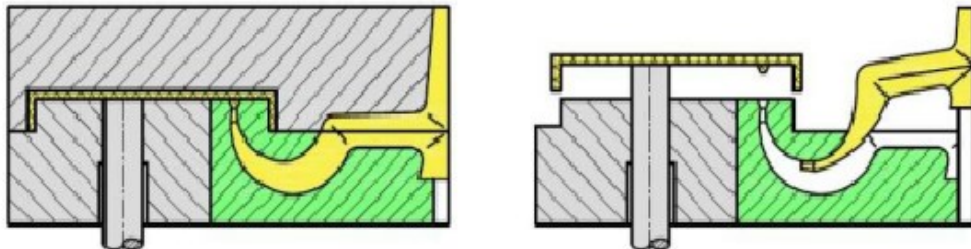
Pomocí tunelového ústí vtoku je možné plnit dutinu formy mimo dělicí rovinu. Tunel je veden pod úhlem. Prostřednictvím tohoto úhlu se vytvoří řezná hrana, která odstříhne tunel při otevírání formy nebo vyhazování. Tunel je směrem k výrobku zúžený, aby došlo k odtržení v nejtenčím místě a vznikala nejmenší stopa. [19]



Obrázek 14 Ústí vtoků [16]

a) plný kuželový vtok, b) bodový vtok, c) tunelový vtok

Banánové ústí vtoku umožňuje plnění dutiny formy z nepohledové strany výstřiku. Nevýhodou je náročná výroba elektroerozivním obráběním a nelze ho použít na křehké materiály. Kanál je stejně jako u tunelového ústí směrem k výrobku zúžený a odděluje je při vyhazování výrobku z formy. [15]



Obrázek 15 Banánový vtok [16]

Filmový vtok se používá u tenkostěnných výrobků. Na rozdíl od tunelového vtoku není dutina plněna jen v jednom bodě, ale plochým, tenkým a širokým ústím. Vtok se neodstraní automaticky a je ho potřeba po vyhození z formy odřezat. [19]

3.3.2 Vyhřívání vtokových systémů

U vyhřívání vtoků je teplota taveniny udržována až k vstupu do dutiny formy, jedná se prakticky o prodloužení trysky stroje (bezvtokové vstřikování). Při správné konstrukci lze dosáhnout nižších tlakových ztrát než u SVS. Jednoduché vyhřívání vtoků lze zakoupit jako normálie, ale pro vícenásobné formy jsou vyráběny na zakázku. U vyhřívání vtoků nevzniká odpad a jsou sníženy náklady na dokončovací operace. Mezi další výhody patří zkrácení výrobního cyklu a regulace teploty všech částí vyhřívání vtoků. Nevýhodou je náročnější konstrukce vstřikovací formy, nelze vstřikovat teplotně citlivé materiály, vysoké pořizovací a provozní náklady. Vyhřívání vtoků musí být dobře izolované od zbytku formy. [16,19,20]

Trysky jsou ohřívány pomocí topného článku s regulací. Podle konstrukce jsou rozděleny na trysky s vnitřním a vnějším ohřevem. U vnitřního ohřevu tavenina obtéká vyhřívání vložky, lépe se reguluje teplota taveniny a je lépe tepelně izolovaná od okolí. Vnější ohřev je zajištěn navinutým topným svazkem, tavenina protéká středem trysky a je menší úbytek tlaku než u trysek s vnitřním ohřevem. Ústí trysek může být s hrotem, bez hrotu, s více otvory. Rozšířením systému vyhřívání vtoků je tryska s uzavírací jehlou. V trysce je umístěna jehla, kterou lze ovládat pružinou, pákou, pneumaticky nebo hydraulicky. Výhodou je odstranění stopy po vtoků a rychlejší plnění dutiny díky

zvětšenému ústí vtoku. Nevýhodou jsou zvýšené nároky na údržbu a seřízení. Při použití vyhřívaných vtokových systémů u vícenásobných forem se používají vyhřívané rozvodné bloky. Tvary bloků jsou závislé na velikosti a tvaru vyráběných dílů, nejčastěji jsou ve tvaru I, H, X, Y a hvězdice. Ohřev rozvodného bloku je pomocí topných hadů zalitých v mědi nebo topných patron. Z důvodu minimalizace přestupu tepla jsou rozvodné bloky izolovány vzduchovou mezenou od ostatních částí formy. [16,17,19]

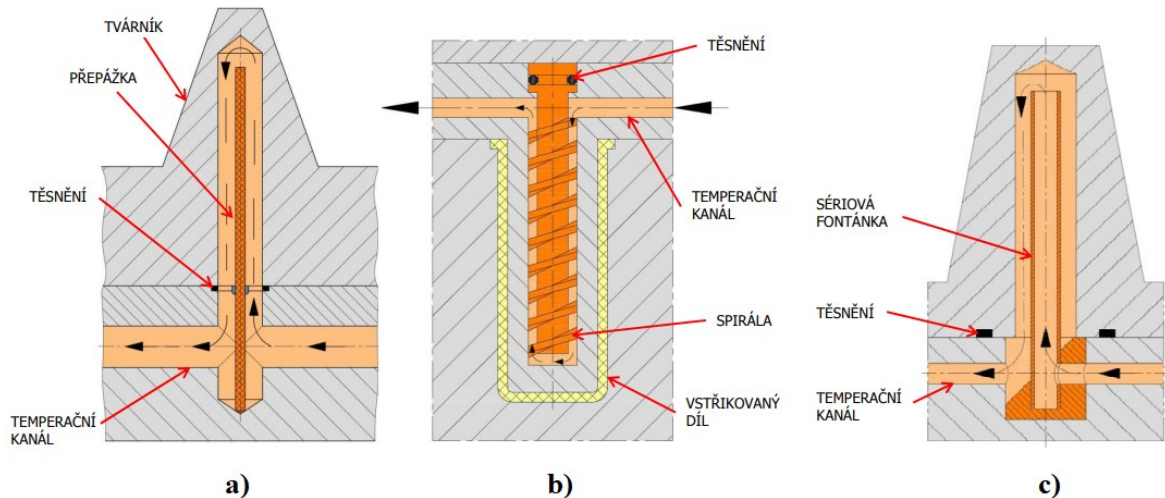
3.4 Temperace formy

Významným faktorem ovlivňující proces vstřikování je způsob a podmínky temperace formy. Temperace má vliv na kvalitu vyráběných výstřiků, dobu výrobního cyklu, na velikost výrobního a dodatečného smrštění. Základním úkolem temperace je udržovat konstantní teplotu vstřikovací formy po celou dobu výroby. Při každém vstříknutí se forma ohřívá a přebytečné teplo je potřeba odvést pomocí temperační soustavy. Před začátkem výroby se musí forma vyhřát na požadovanou teplotu. Teplota forem pro výrobu termoplastu se pohybuje mezi 30 a 100°C. Při výrobě výrobků z elastomeru je teplota od 150 do 200°C. [2,15,17]

Nejrozšířenější způsob temperace je pomocí temperačních kanálů s proudícím médiem. Průměr kanálů by neměl být menší než 6 mm, protože hrozí nebezpečí ucpání nečistotami a náročnost vrtání příliš malých průměrů. Kanály jsou v blízkosti dutiny, je vhodné volit větší počet menších kanálů než menší počet větších kanálů. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu nesmí překročit 3°C, při větším rozdílu je potřeba vytvořit více temperačních okruhů. Temperační okruh nesmí obsahovat mrtvá místa, kde neproudí kapalina a může docházet k zanášení nečistotami. [13,18]

Temperaci lze provádět i pomocí přepážkového systému. Umožňují rozvod média i do míst, které nelze temperovat klasickými temperačními kanály. Podle typu přepážky lze dosáhnout různého efektu temperace. Používají se tři základní konstrukce přepážkových systémů. Systém ploché přepážky je vedlejší temperační kanál, který je orientovaný kolmo k hlavnímu temperačnímu kánálu a je v něm přepážka. Přepážka rozdělí kanál na dva menší, médium tak proudí kolem přepážky. Jedná se o jednoduchý způsob přepážkového systému. Nevýhodou je nutnost přesně umístit přepážku do středu kanálu. Systém spirálové přepážky funguje na stejném principu, jen je odlišný tvar přepážky. Oproti plochým přepážkám lze dosáhnout rovnoměrnějšího teplotního pole. Poslední typ přepážkového systému je systém

fontánek. Přepážka je ve tvaru malé trubičky, kterou proudí temperační médium směrem od hlavního kanálu ke dnu vedlejšího kanálu a po stěnách vedlejšího kanálu se vrací zpět do hlavního kanálu. [15,18]



Obrázek 16 Přepážkové systémy [16]

a) systém plochých přepážek, b) systém spirálových přepážek, c) systém fontánek

Pro chlazení vstřikovacích forem se nejčastěji používá voda nebo olej. Voda se používá z důvodu vysokého přestupu tepla, ekonomické nezávadnosti, nízké ceny a viskozity, ale nelze je použít při teplotách nad 90°C, vzniká koroze a vodní kámen. Olejem lze temperovat i nad 100°C a nevzniká koroze, ale je zhoršený přestup tepla, životnost, není ekologický a je potřeba používat uzavíratelná hrdla. [17]

3.5 Vyhazovací systém

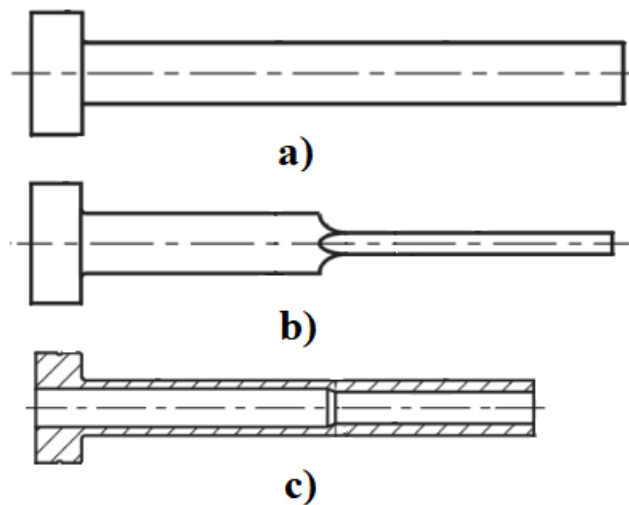
Po ztuhnutí výstřiku a otevření formy je výstřik vyjmut z formy. Lze to provádět ručně, ale vstřikování je navrženo pro hromadnou výrobu s vysokou rychlostí. Z tohoto důvodu jsou používány vyhazovací systémy, které fungují automaticky nebo poloautomaticky. Mezi podmínky pro správné vyhození patří úkosovitost stěn alespoň 0,5° ve směru vyhazování, hladké stěny, stopy po vyhazovacím zařízení musí být co nejmenší a vyhazovací síla musí působit na výrobek rovnoměrně. Potřebná vyhazovací síla závisí na složitosti výrobku, povrchu dutiny formy, technologických podmínkách vstřikování a velikosti smrštění. Zjistit konkrétní velikost potřebné vyhazovací síly je v podstatě nemožné a v praxi se tato síla nezjišťuje, protože síla vyhazovacího systému je vždy značně předimenzovaná a potřebná síla se pro správnou funkci odzkouší. Většina výrobků může po vyhození spadnout na pás nebo do nádoby, ale přesné výrobky s kvalitním povrchem (např. nárazníky automobilů) je

nutné vyjmout z formy pomocí manipulátoru nebo robotem. Vyhazovací systém může být mechanický, pneumatický a hydraulický. [9,20]

3.5.1 Mechanické vyhazovače

Mechanické vyhazování je nejrozšířenější vyhazovací systém. Mezi mechanické vyhazovače patří vyhazovací kolíky, stírací desky, šikmé vyhazovače, vícestupňové vyhazování.

Mezi válcové kolíky patří válcový, trubkový a prizmatický vyhazovač. Vyhazovače nechávají na výrobku stopu, kvůli tomu by se měli opírat o nepohledovou plochu. Nejpoužívanější je válcový vyhazovač. Prizmatické vyhazovače se používají na žebra nebo tenké stěny. Výhodou je možnost obdélníkového tvaru hlavy s kulatou stopkou. Trubkové vyhazovače se používají, pokud má výrobek vnitřní otvor. Výhodou je velká styčná plocha. Jedná se o speciální případ stírací desky. Prizmatické vyhazovače a vyhazovače s upraveným čelem je důležité polohově ukotvit, aby nedošlo k pootočení. [17,18]



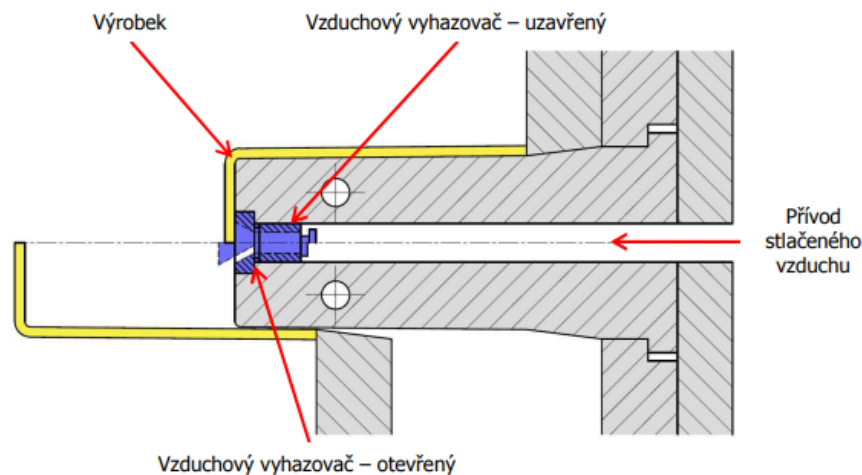
Obrázek 17 Mechanické vyhazovače [21]

a) Válcový vyhazovač, b) Prizmatický vyhazovač, c) Trubkový vyhazovač

Stírací deska působí na výrobek velkou styčnou plochou. Deformace výrobku je minimální a nezanechává stopy na výrobku. Využívá se pro vyhazování výrobků s obvodovým okrajem, který musí být umístěn v dělicí rovině. Pohyb stírací desky může být zajištěn pomocí vyhazovací desky, odpruženého kolíku, pružiny a západky. Pro zvýšení životnosti se používají stírací kroužky. [11,17]

3.5.2 Pneumatické vyhazovače

Používá se pro tenkostěnné výstříky velkých rozměrů, které by se mechanickým vyhazováním zdeformovali, a také by byla potřeba velký zdvih. Často se používá v kombinaci s mechanickými vyhazovači. Mezi výhody patří minimální stopa po vyhazovači a možnost eliminovat vyhazovací systém. Nevýhodou je potřeba vzduchového příslušenství a nutnost vytvoření přívodového kanálu pro vzduch. [16]



Obrázek 18 Pneumatický vyhazovač [16]

3.6 Odvzdušnění

Při vstříknutí taveniny do dutiny formy se vzduch začne stlačovat. Část vzduchu unikne přes vůli v dělicí rovině nebo kolem vyhazovačů, ale v některých místech vzduch zůstane a nedošlo by k zaplnění celé formy nebo k vzniku spáleného místa na výstříku (Dieselův efekt). Takové místa je potřeba opatřit odvzdušňovacími kanály. Průřez kanálu musí účinně odvádět vzduch a zároveň nesmí docházet k zatékání polymeru. Potíže s odvzdušněním jsou zejména u nových forem, které mají dobře těsnící dělicí rovinu a vyhazovače. Provozem vznikají větší vůle a vzduch lépe uniká. [15,18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro bakalářskou práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti.
- Navrhnu 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

K vytvoření 3D modelu vstříkované součásti, 3D konstrukci vstříkovací formy a výkresové dokumentaci bude použit program CATIA V5R19. Při konstrukci vstříkovací formy se bude využívat také program HASCO DAKO Modul. Jedná se o katalog normalizovaných dílů, z kterého lze importovat součásti přímo do programu CATIA.

5 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný výrobek je krytka mlhovky předního světlometu vozu Škoda Octavia. Výrobek má největší rozměry $\varnothing 97 \times 47,5$ mm, jeho objem je $30,8 \text{ cm}^3$ a hmotnost je 32 g. Pro lepší plnění dutiny formy jsou hrany zaobleny a pro snazší odformování jsou stěny úkosovány.



Obrázek 19 Vstříkovaný výrobek

5.1 Materiál výrobku

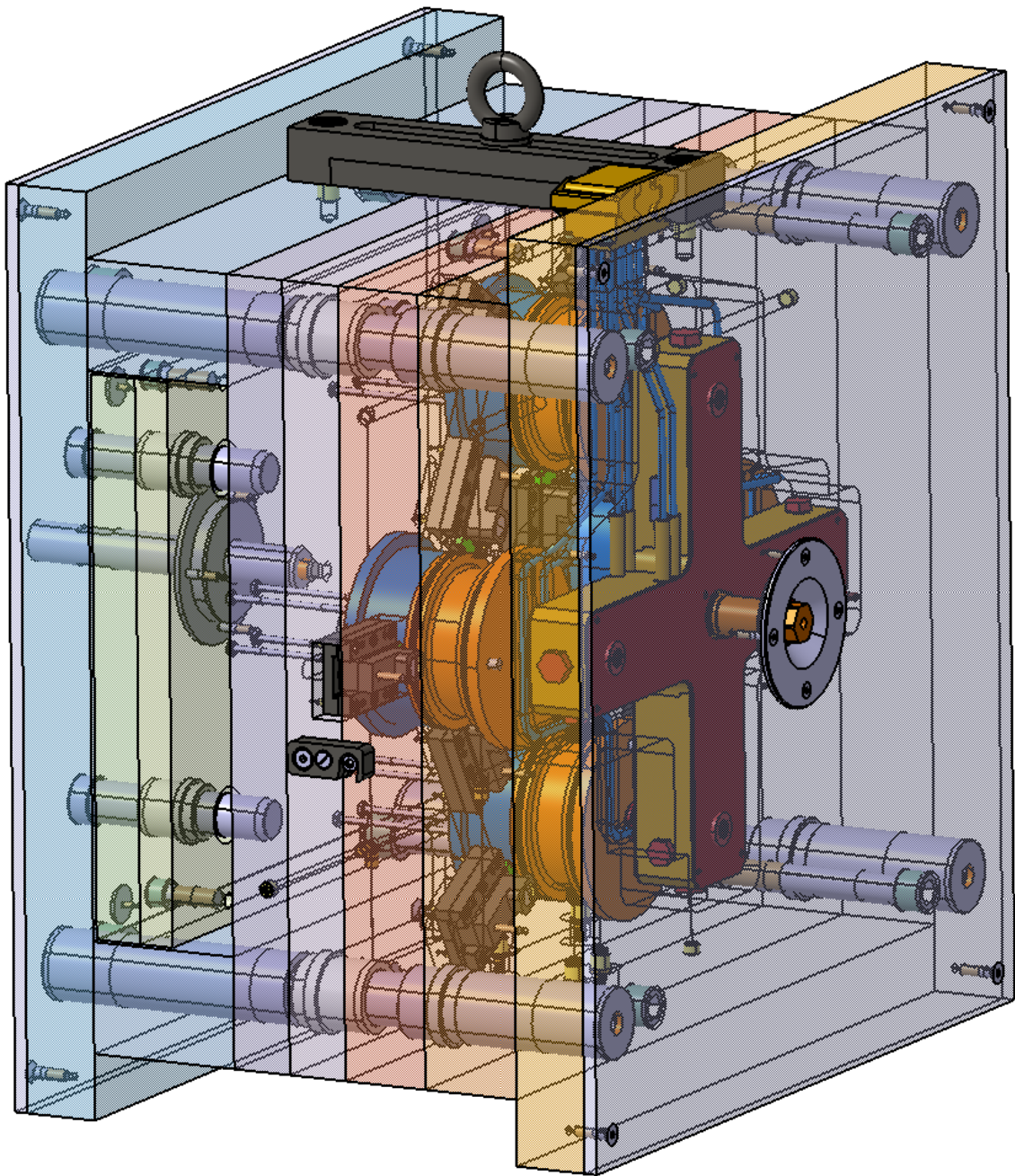
Jako materiál výrobku byl zvolen PP-TD20 od firmy RTP s obchodním názvem RTP PP 20 TALC. Jedná se o polypropylen plněný z 20% mastkem. Má zvýšený modul pružnosti v ohybu, vysokou tepelnou odolnost, rozměrovou stálost a snadnou zpracovatelnost. Tento materiál je vhodný zejména pro automobilový průmysl, ale i elektrotechniku a domácí potřeby. Základní vlastnosti zvoleného materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 1. Veškeré technické parametry jsou uvedeny v příloze P I. [22]

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu PP-TD20 [22]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,05	g/cm ³
Smrštění	1,1 - 1,5	%
Vstřikovací tlak	69 - 103	MPa
Teplota taveniny	191 - 232	°C
Teplota formy	32 - 66	°C
Teplota sušení	79	°C
Čas sušení	2	h
Index toku taveniny	10	g/10min
Pevnost v tahu	33	MPa
Pevnost v ohybu	52	MPa

6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

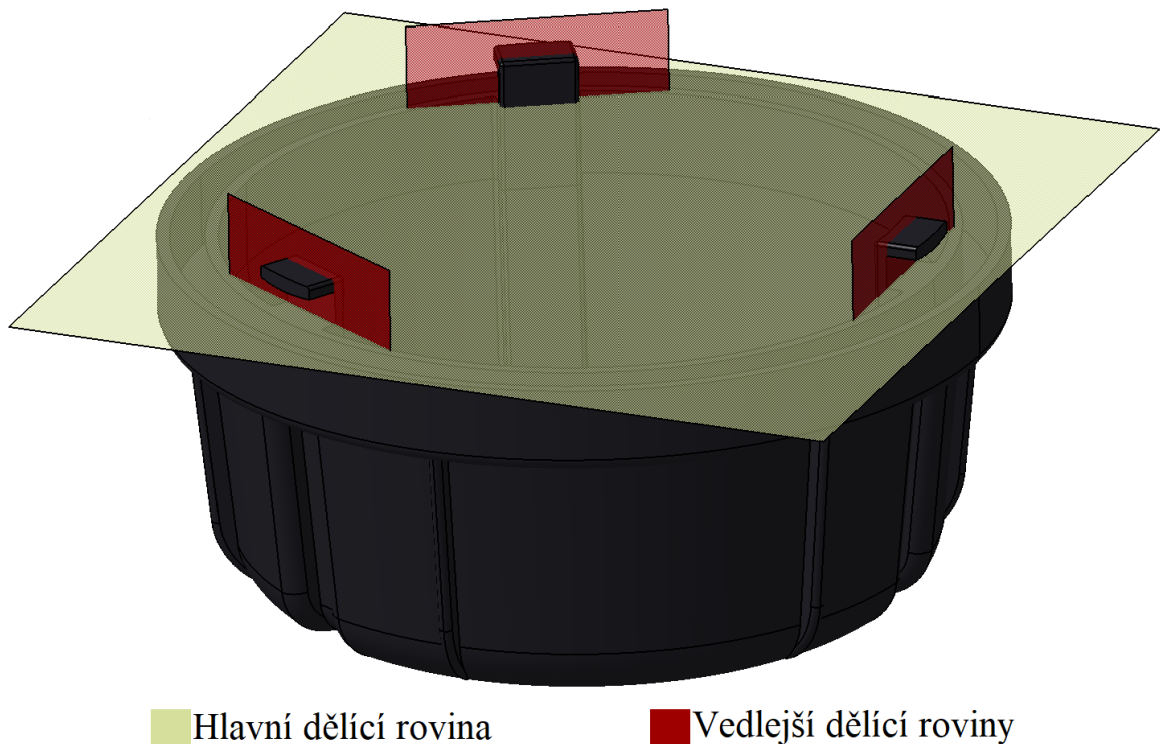
Konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od tvaru a rozměrů vstřikovaného dílu. Forma se skládá z levé a pravé strany formy. Při konstrukci bylo používáno normálií od firmy HASCO. To vede k snížení nákladů na výrobu formy, zjednodušení a urychlení návrhu. Konstrukce byla provedena pomocí modulu Mold Tooling Design a nenormalizované součásti byly vytvořeny v modulu Part Design.



Obrázek 20 Vstřikovací forma

6.1 Zaformování výrobku

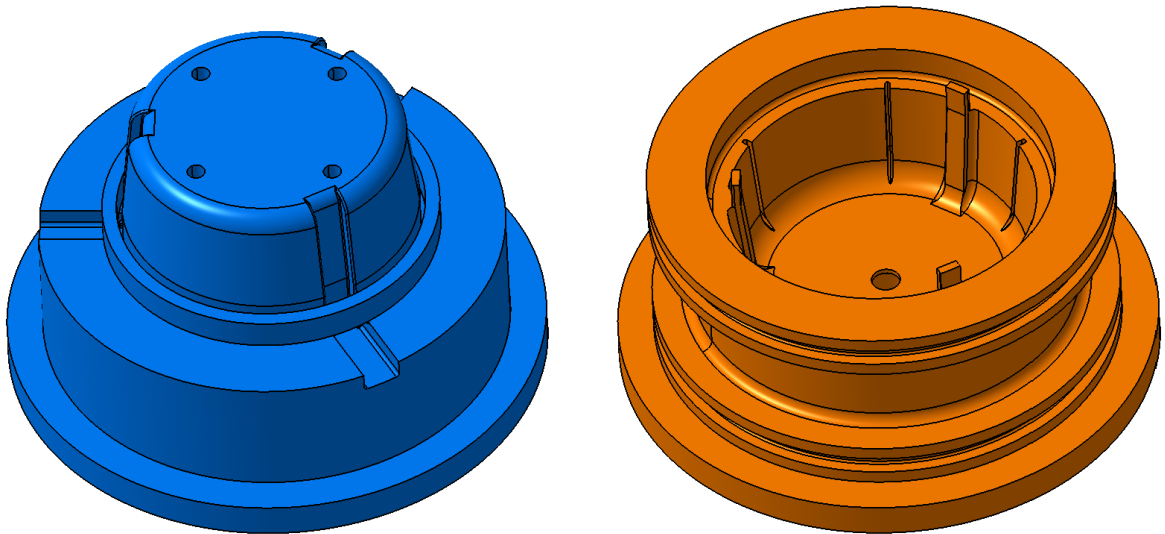
Velký vliv na návrh vstřikovací formy má volba hlavní a případně i vedlejších dělicích rovin. Zaformování výrobku bylo provedeno jednou hlavní a třemi vedlejšími dělicími rovinami. Hlavní dělicí rovina je kolmá na směr vyhazování a vedlejší dělicí roviny jsou rovnoběžné se směrem vyhazování. Dělicí roviny byly navrženy tak, aby byla forma co nejjednodušší a zároveň aby stopa po dělicí rovině a vyhazovačích byla na nepohledové straně výrobku. Dělicí roviny jsou zobrazeny na obrázku 21.



Obrázek 21 Znárodnění dělicích rovin

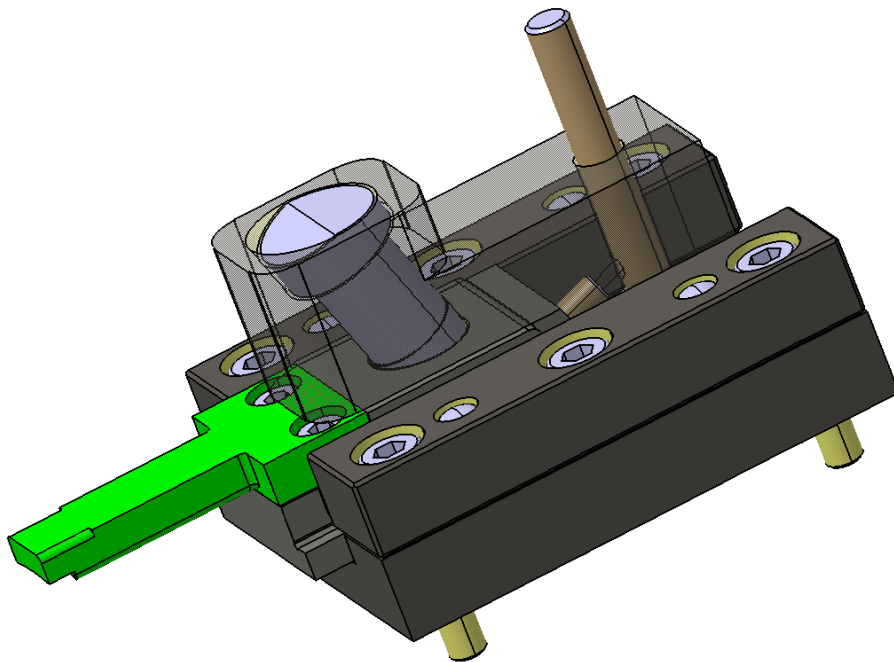
6.2 Tvarové části formy

Dutina formy se skládá z tvárníku, tvárnice a bočního odformování. Vzniklá dutina odpovídá negativu vstřikovaného výrobku a je zvětšena o hodnotu smrštění. Všechny tvarové části formy jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343, jsou kaleny na HRC 55 a popouštěny. Tvárník udává vnitřní tvar výstřiku a nachází se na levé straně formy. Tvárnice udává vnější tvar výstřiku a nachází se na pravé straně formy. Tvárník a tvárnice jsou kruhového průřezu, proto jsou pomocí kolíků zajištěny proti pootočení a zároveň kolík slouží pro snadnější ustavení dílů ve formě.



Obrázek 22 Tvárník a tvárnice

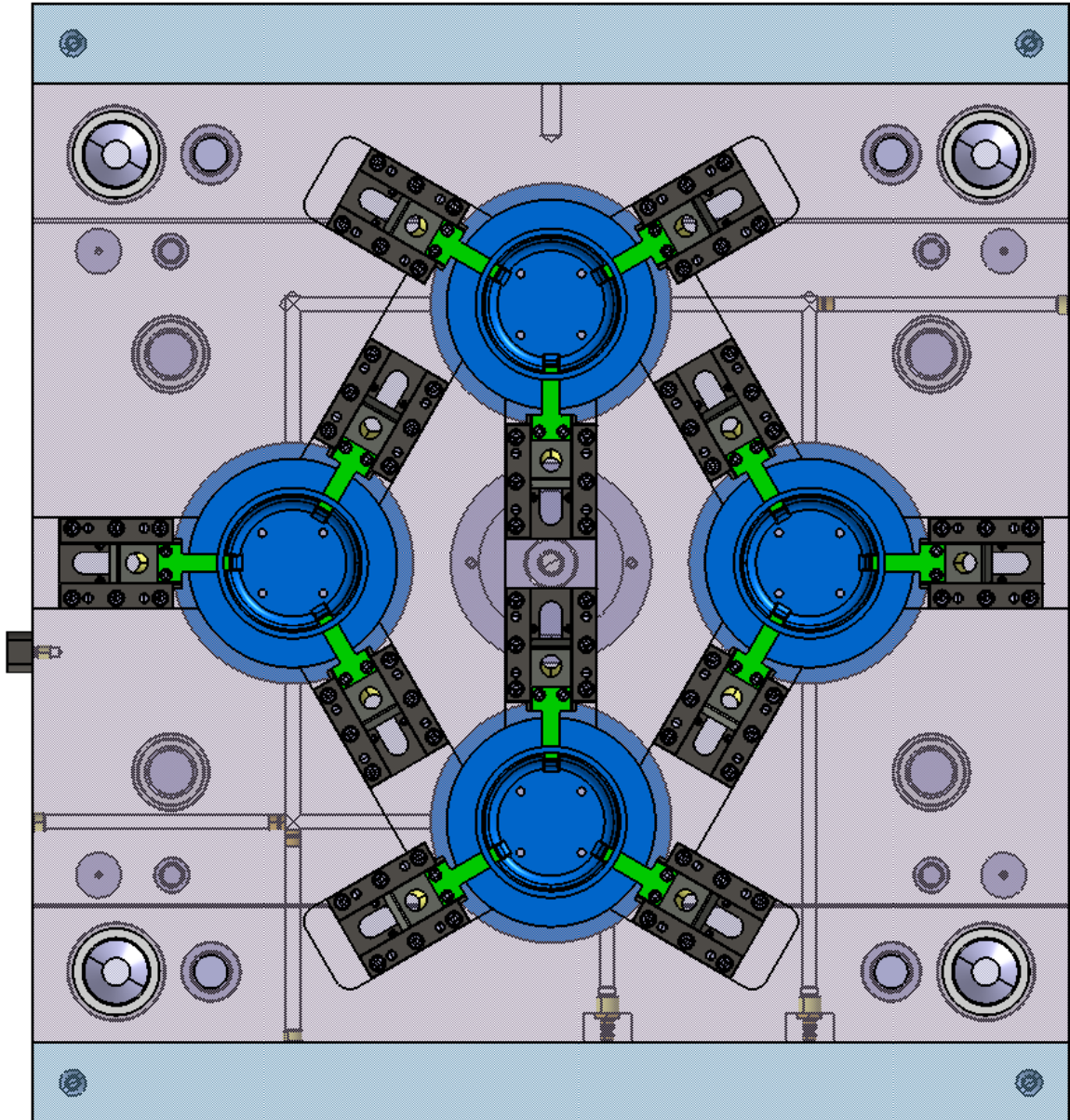
Posuvné čelisti forem slouží k odformování bočních drážek na výrobku. Posuvná jednotka je připevněna na levou stranu formy a pomocí šikmých kolíků se při otevírání hlavní dělicí roviny otevírá i vedlejší dělicí rovina. Šikmé kolíky jsou ukotveny na pravé straně formy pod úhlem 18° . Po vyjetí čepu z posuvné čelisti, dojde pomocí pružného přitlačného elementu k zajištění čelisti proti pohybu. Během vstřikování vznikají velké tlaky, a proto je potřeba čelisti zabezpečit proti pootevření. K tomu slouží zámek, o který se čelist opře a nemůže dojít k pohybu. Všechny komponenty bočního odformování, kromě tvarové části, jsou normálně od firmy HASCO.



Obrázek 23 Boční odformování

6.3 Násobnost formy

Násobnost formy udává, kolik výstřiků se vyrobí na jeden vstřikovací cyklus. V tomto případě byla s ohledem na velikost, složitost a přesnost výrobku zvolena čtyřnásobná forma. Pro snížení velikosti formy jsou jednotlivé dutiny vůči sobě pootočený.

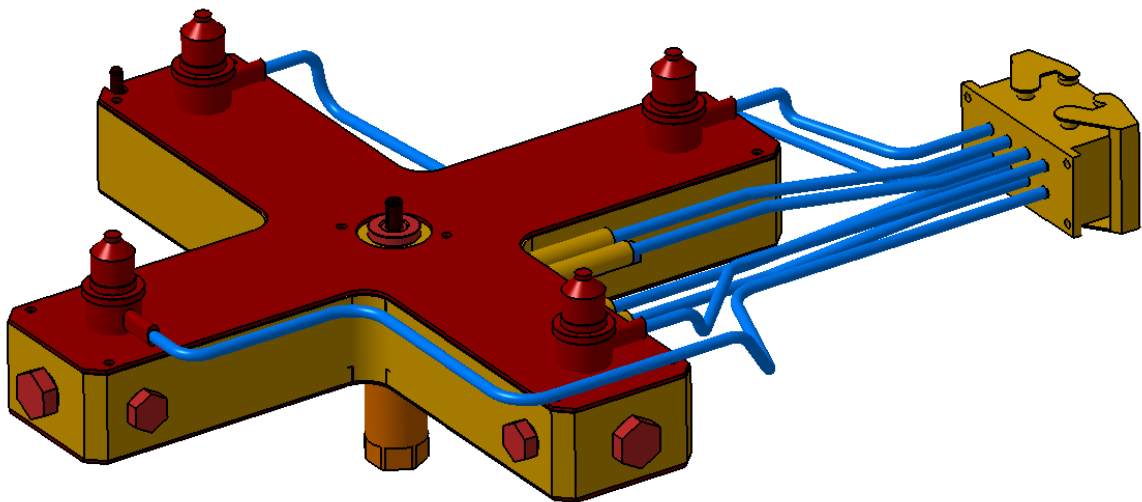


Obrázek 24 Násobnost vstřikovací formy

6.4 Vtokový systém

Při výběru typu a provedení vtokového systému je důležité, aby bylo možné optimálně naplnit dutinu formy taveninou. Existují dva typy vtokových systémů, studený a horký. Pro

tuto konstrukci byl zvolen VVS. Je umístěn v opěrné desce tvárnice a má rozvodný blok ve tvaru X. Výhodou VVS je snížení tlakových ztrát, zkrácení výrobního cyklu, nevzniká odpad a jsou sníženy náklady na dokončovací operace. Mezi nevýhody patří náročnější konstrukce, vysoké pořizovací a provozní náklady. Ohřev rozvodného bloku je zajištěn pomocí topných hadů, díky kterým je teplota taveniny udržována až k vstupu do dutiny formy. K tryskám a rozvodnému bloku je pomocí kabelů přiveden elektrický proud. Kabely vedou do zásuvky, která je připevněna na vrchní straně formy. Rozvodný blok je z důvodu minimalizace přestupu tepla izolován vzduchovou mezerou od zbytku formy.

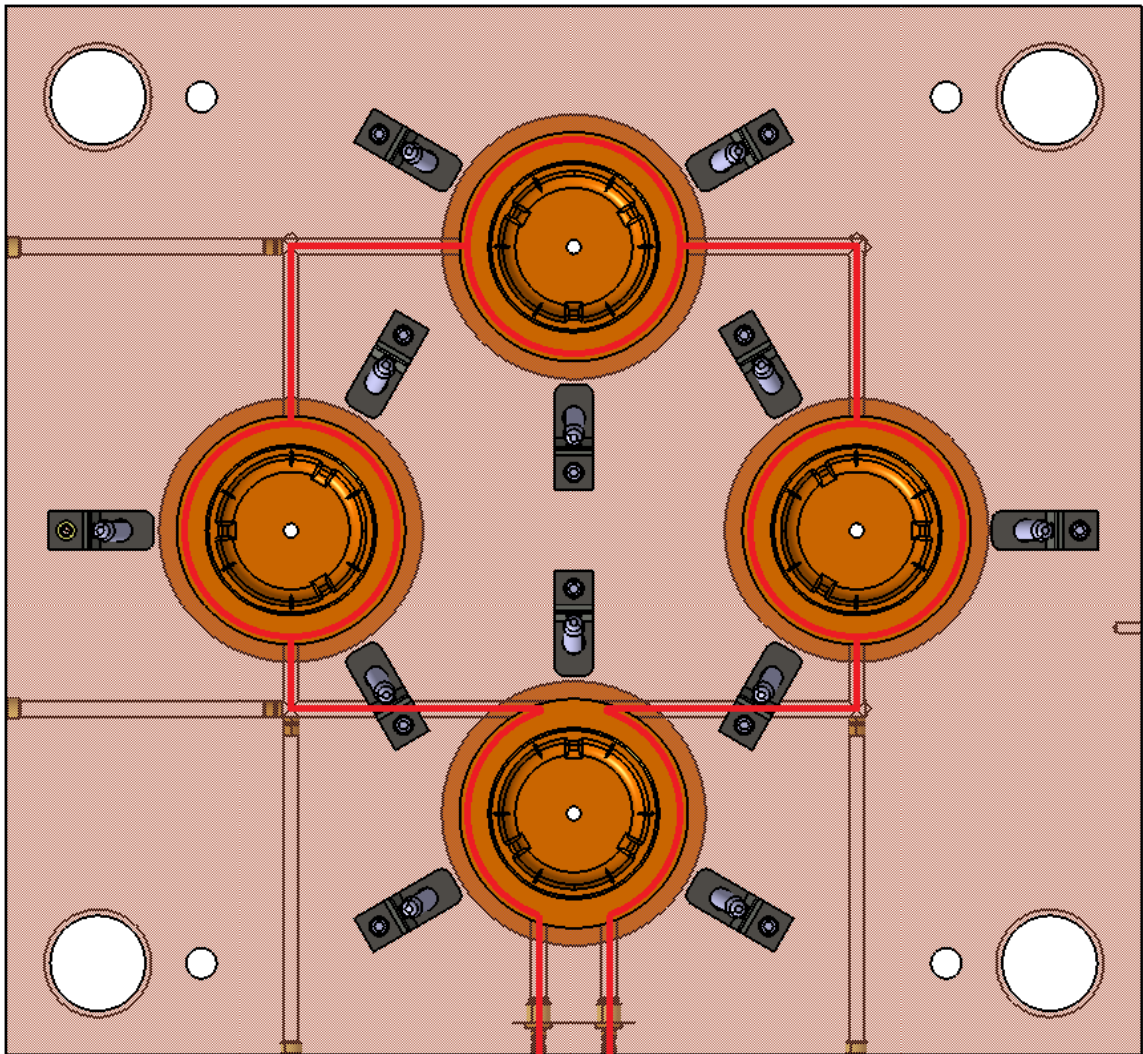


Obrázek 25 Horký vtokový systém

6.5 Temperační systém

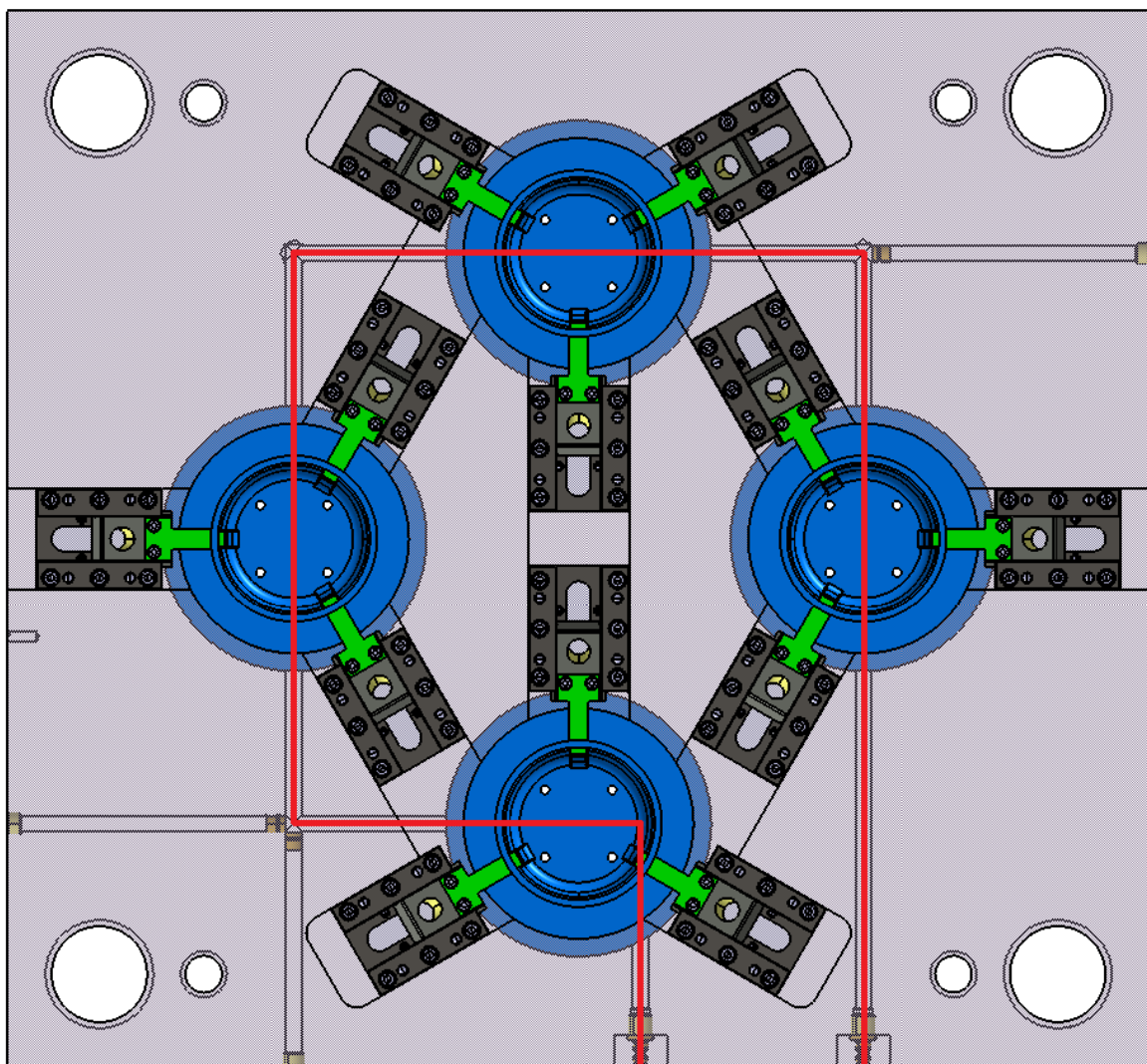
Temperace má vliv na kvalitu vyráběných výstřiků, dobu výrobního cyklu a na velikost smrštní. Při vstříknutí taveniny do dutiny se forma ohřívá a přebytečné teplo je potřeba odvést pomocí temperační soustavy. Základním úkolem temperačního systému je udržovat konstantní teplotu formy po celou dobu výroby.

Ve formě se nacházejí dva temperační okruhy, jeden je pro tvárnice a druhý pro tvárníky. Temperace je vytvořena pomocí vyvrtaných kanálků o průměru 10 mm. Na vstupu a výstupu kanálků jsou zapuštěné přípojky s uzavíracím ventilem pro připojení hadic. Z důvodu bezpečnosti obsluhy a jednoduchého vypouštění temperačního média jsou přípojky umístěny na spodní straně formy. Pro vytvoření temperačního okruhu byly vloženy vnitřní ucpávky. Vnější ucpávky zabráňují vstupu nečistot do jednotlivých kanálků.

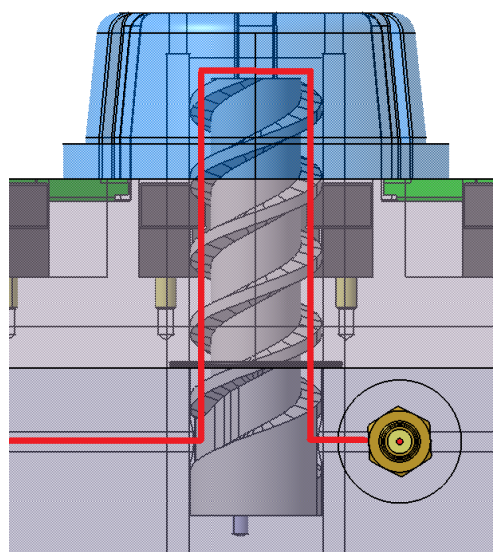


Obrázek 26 Temperace pravé strany formy

Tvárnice jsou kruhového průřezu, proto byla vytvořena na jejich obvodu drážka a temperační médium tvárnice obtéká. K chlazení tvárníků dochází pomocí přepážkového systému. Přepážkou je dvouchodý spirálový trn, který dosahuje rovnoměrného teplotního pole. O-kroužky utěsňují přechody mezi deskami formy a tvárnicí nebo tvárníkem. Jako chladicí médium je z důvodu vysokého přestupu tepla, ekonomické nezávadnosti a nízké ceny zvolena voda.



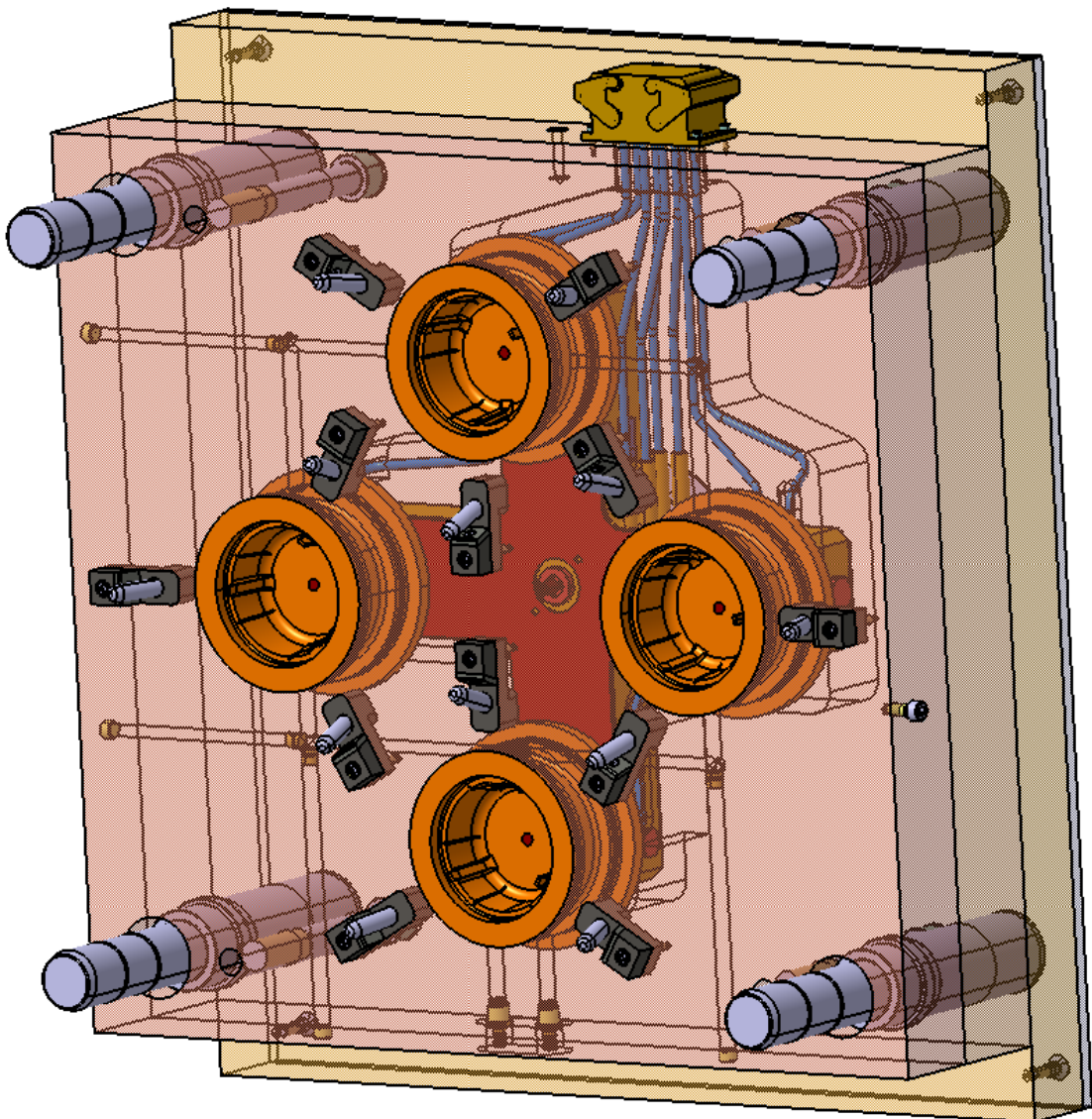
Obrázek 27 Temperace levé strany formy



Obrázek 28 Umístění spirálového trnu

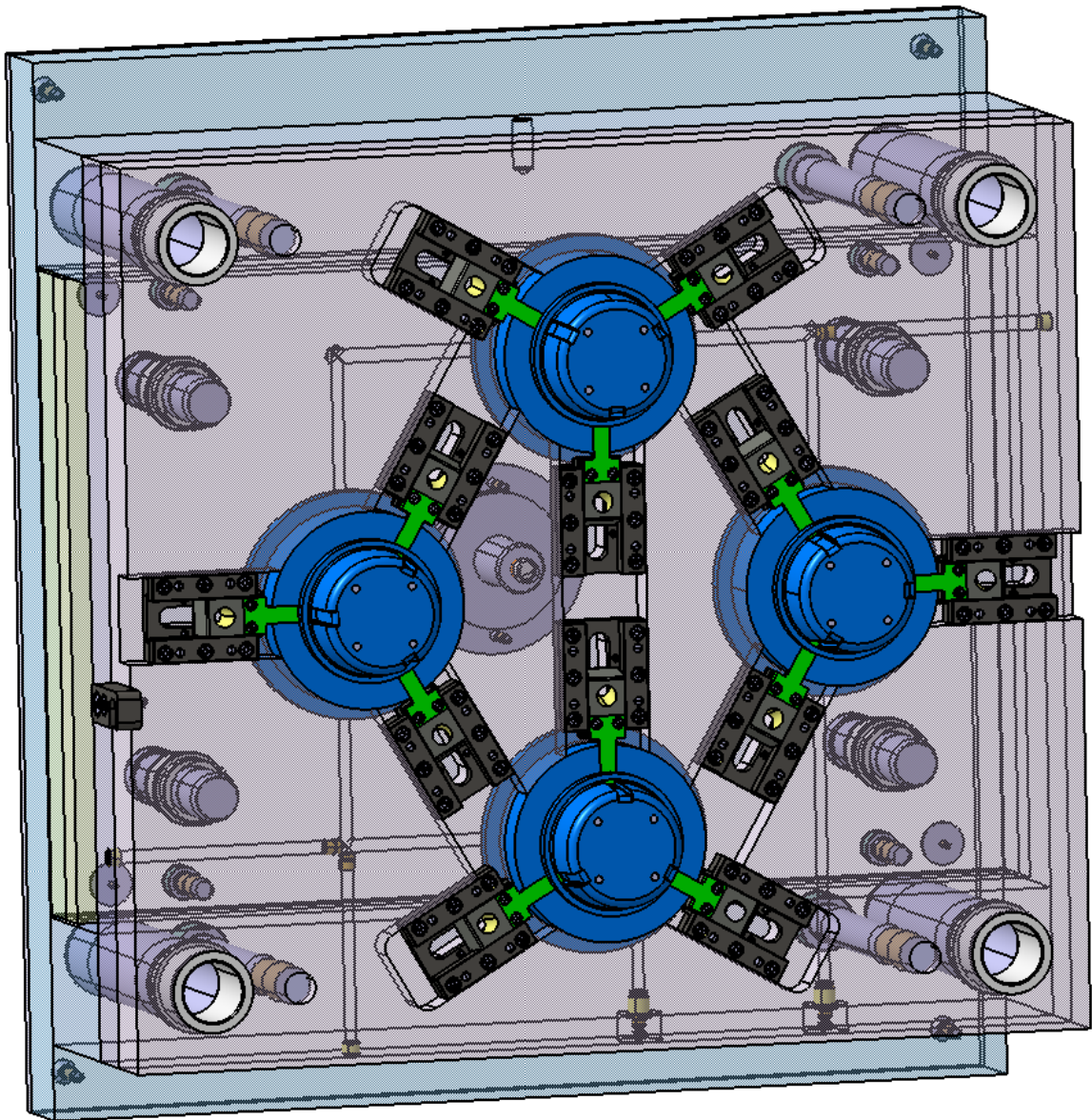
6.6 Rám formy

Rám formy byl zvolen z normálí od firmy HASCO. Jednotlivé desky jsou spojeny šrouby a vystředěny pomocí středící trubky, vodícího čepu a pouzdra. K vystředění formy na vstřikovacím stroji slouží středící kroužek, který se nachází na pravé i levé straně. Pravá strana je nepohyblivá, někdy je také označována jako pevná. Skládá se z izolační desky, upínací desky, opěrné desky a tvarové desky.



Obrázek 29 Pravá strana formy

Levá strana rámu je pohyblivá, zajišťuje otevírání a zavírání formy. Skládá se z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrných desek, opěrné desky a tvarové desky. V levé straně se nachází i vyhazovací systém. Rozpěrné desky definují prostor pro pohyb vyhazovacího systému.

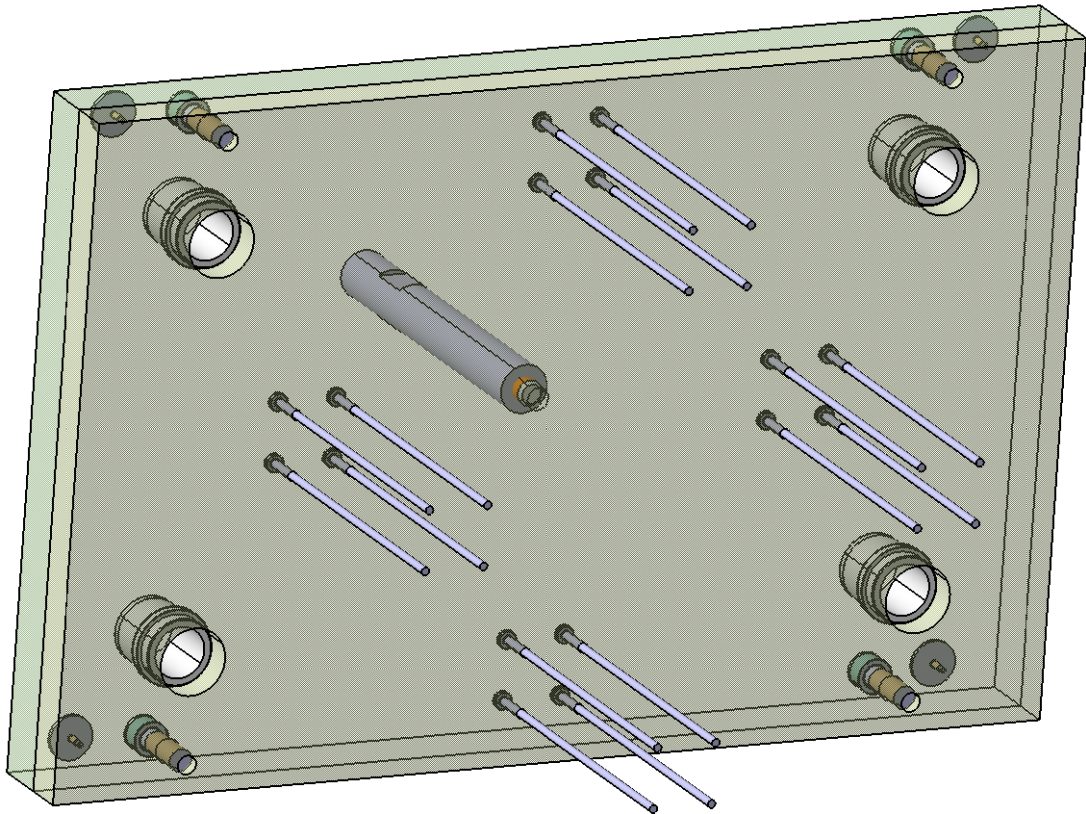


Obrázek 30 Levá strana formy

6.7 Vyhazovací systém

Po ztuhnutí výrobku a otevření formy je potřeba výrobek vyjmout z formy. K tomu v tomto případě slouží mechanický vyhazovací systém, vyhození výrobku zajišťuje šestnáct válcových vyhazovačů o průměru 5 mm. Každá dutina má čtyři vyhazovače. Umístění vyhazovačů bylo zvoleno tak, aby vyhazovací síla působila na výrobek rovnoměrně a nedocházelo k jeho deformaci. Vzniklé stopy od vyhazovačů jsou na nepohledové straně výrobku a nezhoršují tak jeho vzhled. Vyhazovače mají rovné čelo a není potřeba je zajistit proti pootočení. Vyhazovače jsou umístěny v kotevní desce a opěrná deska zajišťuje vyhazovače proti posunutí. Tyto dvě desky jsou k sobě přišroubovány čtyřmi šrouby. Na

opěrné desce jsou přišroubovány dosedky, které slouží k tlumení nárazů vznikající při dosednutí vyhazovacího systému na upínací desku. Vedení vyhazovacího systému zajišťují vodící pouzdra a čepy. Pouzdra jsou umístěny v deskách vyhazovacího systému a čepy jsou ukotveny v levé upínací desce. Táhlo zajišťuje pohyb celého vyhazovacího systému a je přišroubováno k opěrné desce. Válcové vyhazovače jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343, jsou kaleny na HRC 55 a popouštěny.



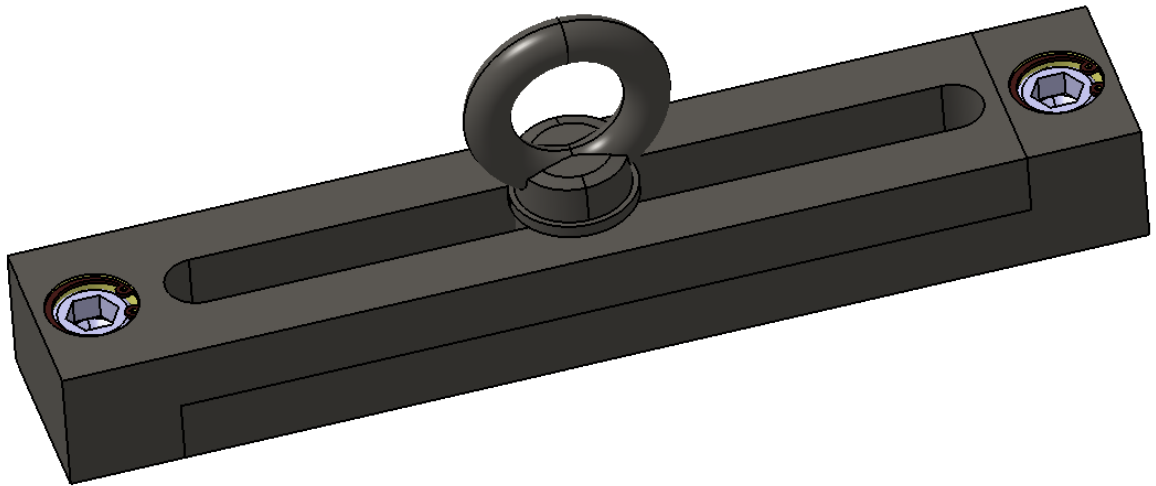
Obrázek 31 Vyhazovací systém

6.8 Odvzdušnění

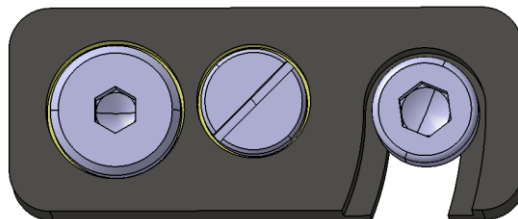
Při vstřikování taveniny do dutiny formy dochází k stlačování a zahřívání vzduchu. Je podstatné, aby vzduch mohl z dutiny formy unikat a nevznikaly vady na výstřiku. Mezi vady patří, vznik spáleného místa (Dieselův efekt) nebo nezaplnění celé dutiny formy. U navržené formy se předpokládá únik vzduchu vůlemi v dělicí rovině a mezi vyhazovači. Pokud se prokáže tento způsob odvzdušnění jako nedostatečný, bude potřeba vytvořit odvzdušňovací kanálky. Problém s odvzdušněním je převážně u nových forem, protože mají dobře těsnící dělicí rovinu a vyhazovače. Provozem vznikají větší vůle a vzduch lépe uniká.

6.9 Transportní zařízení

Forma je pro snadnou a bezpečnou manipulaci vybavena transportním můstkem, který je připevněn pomocí dvou šroubů na horní straně formy. Jeho součástí je šroub s okem, který se může pohybovat v drážce a být tak umístěn do těžiště formy. Proti pootevření formy během manipulace, jsou po stranách formy umístěny transportní pojistky.



Obrázek 32 Transportní můstek



Obrázek 33 Transportní pojistka

7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací stroj je volen podle parametrů vstřikovací formy. Hlavními parametry jsou:

- Rozměry formy: 696 x 646 x 482 mm (výška x šířka x délka).
- Objem vstřikovaného výrobku je 30,8 cm³, celkový objem dutin je 123,2 cm³.

Podle parametrů byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj Allrounder 720 S Golden Edition s průměrem šneku 55 mm od firmy Arburg.



Obrázek 34 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 720 S Golden Edition [23]

Hlavními parametry zvoleného stroje jsou uvedeny v tabulce č. 2. Veškeré parametry jsou uvedeny v příloze P II.

Tabulka 2 Základní parametry vstřikovacího stroje [23]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	720 x 720	mm
Maximální objem vstřikované dávky	558	cm ³
Rozměry upínací desky	1040 x 1040	mm
Maximální délka otevření	850	mm
Minimální výška formy	400	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	250	mm
Maximální uzavírací síla	3000	kN
Maximální otevírací síla	70	kN
Maximální vyhazovací síla	76	kN
Maximální vstřikovací tlak	2380	bar

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat literární studii pro zadané téma, provést 3D konstrukci vstřikovaného dílu, pro tento díl navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy a následně vytvořit výkresovou dokumentaci. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část se zaměřuje na polymery, technologii vstřikování a vstřikovací formy. V kapitole o polymerech je popsána jejich struktura, výroba, základní rozdělení a úprava před vstřikováním. V další kapitole je popsán vstřikovací cyklus, tok materiálu a různé druhy vstřikovacích strojů, včetně popisu jednotlivých částí. Poslední kapitola je zaměřena na vstřikovací formy, jejich konstrukci a údržbu.

V praktické části byl nejdříve vytvořen 3D model krytky mlhovky předního světlometu. Pro tento díl byl zvolen materiál PP-TD20 od firmy RTP s obchodním názvem RTP PP 20 TALC. Jedná se o PP s 20% obsahem mastku. Objem vstřikovaného výrobku je $30,8 \text{ cm}^3$ a hmotnost je 32g. U tohoto výrobku byla zvolena hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny. Následně byla provedena konstrukce čtyřnásobné formy, s použitím horkého vtokového systému. Odformování vedlejších dělicích rovin je zajištěno pomocí šikmých čepů. Temperace je řešena pomocí vrtaných kanálků. Tvárnice je kruhového průřezu, proto byla vytvořena na jejich obvodu drážka a temperační médium tvárnice obtéká. K chlazení tvárníků dochází pomocí spirálové přepážky. Jako chladicí médium je zvolena voda. Vyhození výrobku u formy zajišťuje šestnáct válcových vyhazovačů. U navržené formy se předpokládá únik vzduchu vůlemi v dělicí rovině a mezi vyhazovači. Pro manipulaci je forma vybavena transportním můstkem a zajištěna proti pootevření pomocí transportní pojistky. Při konstrukci byly využívány normalizované díly od firmy HASCO. Podle parametrů vstřikovací formy byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj Allrounder 720 S Golden Edition s průměrem šneku 55 mm od firmy Arburg.

Dále byla vytvořena výkresová dokumentace, která je obsažena v příloze. Veškeré modelování i tvorba výkresové dokumentace probíhala v programu CATIA V5R19.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [3] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2015, Brno: Code Creator [cit. 2021-10-16]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 9788070807880.
- [5] ŠVORČÍK, Václav. *Polymery stručně* [online]. 2011, Praha [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4894705-V-svorcik-polymery-polymery-strucne.html>
- [6] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015, Brno: Code Creator [cit. 2021-11-06]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [7] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015, Brno: Code Creator [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [8] LENFELD, Petr. *Zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita liberec [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [9] MICHAELI, Walter. *Training in injection molding: a text- and workbook*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2001, x, 154 s. ISBN 1569903026. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTIMATWE5/training-in-injection>
- [10] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033.

- [11] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708.
- [12] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015, Brno: Code Creator [cit. 2021-11-27]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [13] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Munich: Hanser publications, [2020], xxiii, 400 s. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [14] ZEMAN, Lubomír. *Studie proveditelnosti a výroba výstřiků z termoplastů* [online]. 2016, PlasticPortal.eu [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.sk/sk/studie-proveditelnosti-a-vyroba-vystriku-z-termoplastu-1-cast/c/4057/>
- [15] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015, Brno: Code Creator [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [16] HYNEK, Martin. *Plastové díly* [online]. 2013, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05/
- [17] DANGEL, Rainer. *Injection Molds for Beginners*. 2nd ed. Hanser Publishers. 2020, 312s. ISBN 978-1-56990-818-1. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMBE000A/injection-molds-beginners/injection-molds-beginners>
- [18] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2002, xxiii, 688 s. ISBN 1569903220.
- [19] GASTROW, Hans, P(PETER), Peter a E. LINDNER, ed. *Gastrow injection molds: 130 proven designs*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2002, x, 313 s. ISBN 3446214488. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGIMPDE07/gastrow-injection-molds-2>
- [20] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.

[21] HASCO [online] Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>

[22] RTP Company [online] Dostupné z: <https://www.rtpcompany.com/>

[23] ARBURG [online] Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T _g	Teplota skelného přechodu
T _f	Teplota toku
T _m	Teplota tání
nm	Nanometr
UV	Ultrafialové záření
L	Délka šneku
D	Průměr šneku
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
°C	Stupeň celsia
mm	Milimetr
3D	Trojrozměrný
2D	Dvojrzměrný
∅	Průměr
cm ³	Centimetr krychlový
g	Gram
PP-TD20	Polypropylen plněný z 20% mastkem
PP	Polypropylen
MPa	Megapascal
HRC	Tvrдость podle Rockwella
kN	Kilonewton

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Molekulární struktura polymerů [3]	12
Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [3]	13
Obrázek 3 Schéma struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické [3]	14
Obrázek 4 Schéma vstřikovacího cyklu	17
Obrázek 5 Průběh tlaků v dutině formy [1]	19
Obrázek 6 Fontánový tok taveniny [10]	20
Obrázek 7 Plnění volným tokem [7]	21
Obrázek 8 Vstřikovací jednotka [12]	24
Obrázek 9 Zóny šneku [13]	25
Obrázek 10 Kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem [9]	26
Obrázek 11 Hydraulická uzavírací jednotka [9]	26
Obrázek 12 Umístění dutin [15]	29
Obrázek 13 Druhy rozvodných kanálů [15]	31
Obrázek 14 Ústí vtoků [16]	31
Obrázek 15 Banánový vtok [16]	32
Obrázek 16 Přepážkové systémy [16]	34
Obrázek 17 Mechanické vyhazovače [21]	35
Obrázek 18 Pneumatický vyhazovač [16]	36
Obrázek 19 Vstřikovaný výrobek	39
Obrázek 20 Vstřikovací forma	41
Obrázek 21 Znázornění dělicích rovin	42
Obrázek 22 Tvárník a tvárnice	43
Obrázek 23 Boční odformování	43
Obrázek 24 Násobnost vstřikovací formy	44
Obrázek 25 Horký vtokový systém	45
Obrázek 26 Temperace pravé strany formy	46
Obrázek 27 Temperace levé strany formy	47
Obrázek 28 Umístění spirálového trnu	47
Obrázek 29 Pravá strana formy	48
Obrázek 30 Levá strana formy	49
Obrázek 31 Vyhazovací systém	50
Obrázek 32 Transportní můstek	51

Obrázek 33 Transportní pojistka.....	51
Obrázek 34 Vstříkovací stroj Arburg Allrounder 720 S Golden Edition [23].....	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu PP-TD20 [22]	40
Tabulka 2 Základní parametry vstřikovacího stroje [23].....	52

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list RTP PP 20 TALC

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 720 S Golden Edition

Příloha P III: Výkresová dokumentace

Příloha P IV: CD disk

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST RTP PP 20 TALC



Product Data Sheet & General Processing Conditions

RTP PP 20 TALC Polypropylene (PP) Value Product Mineral

PROPERTIES & AVERAGE VALUES OF INJECTION MOLDED SPECIMENS

PERMANENCE	English	SI Metric	ASTM TEST
Primary Additive	20 %	20 %	
Specific Gravity	1.05	1.05	D 792
Melt Flow Rate			
@ 230 °C, / 2.16 kg	10.00 g/10 min	10.00 g/10 min	D 1238
Molding Shrinkage			
1/8 in (3.2 mm) section	0.0110 - 0.0150 in/in	1.10 - 1.50 %	D 955

MECHANICAL

Impact Strength, Izod			
notched 1/8 in (3.2 mm) section	0.8 ft-lbs/in	43 J/m	D 256
unnotched 1/8 in (3.2 mm) section	13.0 ft-lbs/in	694 J/m	D 4812
Tensile Strength	4800 psi	33 MPa	D 638
Tensile Elongation	> 10.0 %	> 10.0 %	D 638
Tensile Modulus	0.45 x 10 ⁶ psi	3103 MPa	D 638
Flexural Strength	7500 psi	52 MPa	D 790
Flexural Modulus	0.35 x 10 ⁶ psi	2413 MPa	D 790

THERMAL

Deflection Temperature			
@ 264 psi (1820 kPa)	160 °F	71 °C	D 648
@ 66 psi (455 kPa)	265 °F	129 °C	D 648
Ignition Resistance*			
Flammability**	HB @ 1/16 in	HB @ 1.5 mm	D 635

PROPERTY NOTES

Data herein is typical and not to be construed as specifications.

Unless otherwise specified, all data listed is for natural or black colored materials. Pigments can affect properties.

* This rating is not intended to reflect hazards of this or any other material under actual fire conditions.

** Values per RTP Company testing.

GENERAL PROCESSING FOR INJECTION MOLDING

	English	SI Metric
Injection Pressure	10000 - 15000 psi	69 - 103 MPa
Melt Temperature	375 - 450 °F	191 - 232 °C
Mold Temperature	90 - 150 °F	32 - 66 °C
Drying	2 hrs @ 175 °F	2 hrs @ 79 °C

PROCESSING NOTES

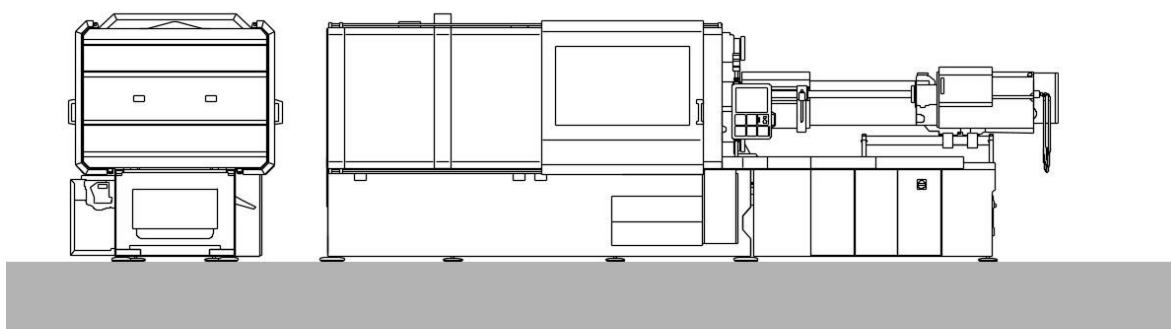
21 Apr 2009 BDK

This information is intended to be used only as a guideline for designers and processors of modified thermoplastics. Because design and processing is complex, a set solution will not solve all problems. Observation on a "trial and error" basis may be required to achieve desired results.

Data are obtained from specimens molded under carefully controlled conditions from representative samples of the compound described herein. Properties may be materially affected by molding techniques applied and by the size and shape of the item molded. No assurance can be implied that all molded articles will have the same properties as those listed.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE ARBURG ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION

Facts and figures



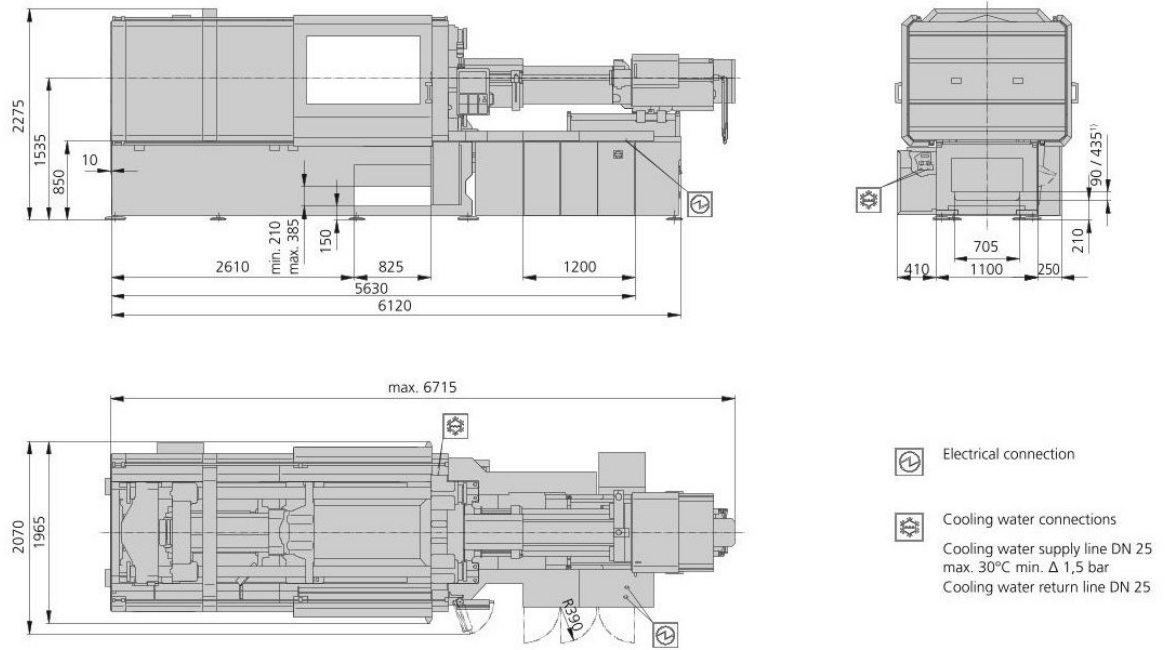
ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION

Tie bar distance: 720 x 720 mm

Clamping force: 3000 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 1300

ARBURG



1) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		720 S GOLDEN EDITION
EUROMAP size indication ¹⁾		3000-1300
Clamping unit		
Clamping force	max. kN	3000
Closing force	max. kN	110
Opening force / increased	max. kN	70 / 800
Opening stroke	max. mm	850
Mould height	min. mm	400
Daylight	mm	1250
Distance between tie bars	mm	720 x 720
Platen size (hor. x vert.)	mm	1040 x 1040
Weight of mov. mould half	max. kg	3200
Ejector force	max. kN	76
Ejector stroke	max. mm	250
Hydraulics, drive, general		
Drive power of the hydraulic pump	kW	37
Dry cycle time for opening stroke	s-mm	3,5-504
Total connected load ²⁾	kW	63
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow		
Control cabinet		
Safety standard according to		DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A
Injection unit		
		1300
Screw diameter	mm	55 / 60 / 70
Effective screw length	L/D	22 / 20 / 17
Screw stroke	max. mm	235
Calculated injection volume	max. cm ³	558 / 664 / 904
Shot weight	max. g PS	510 / 607 / 826
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	86 / 96 / 115
	max. kg/h PA 6.6	43 / 48 / 58
Injection pressure ³⁾	max. bar	2380 / 2000 / 1470
Injection flow ³⁾	max. cm ³ /s	238 / 284 / 388
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 190
Circumferential screw speed	max. m/min	40 / 43 / 51
Screw torque	max. Nm	1510 / 1640 / 1920
Nozzle contact force	max. kN	90
Nozzle retraction stroke	max. mm	550
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	21,9 / 7
Installed nozzle heating power	kW	1,0
Machine dimensions and weights of the basic machine		
Oil capacity	l	390
Net weight	kg	15500
Electrical connection (pre-fused) ²⁾	motor + heating	A
Electrical connection (pre-fused) ²⁾	motor	A
	heating	A

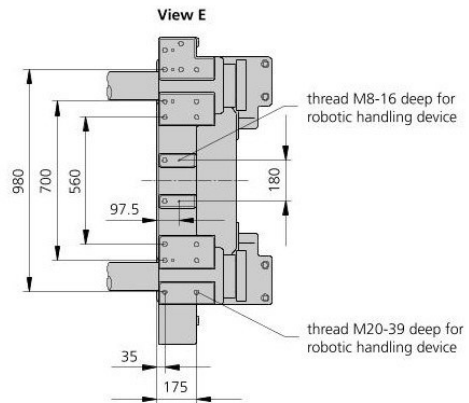
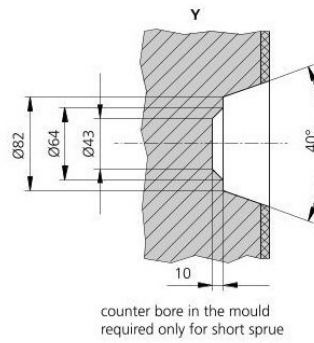
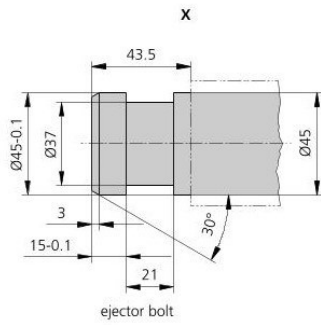
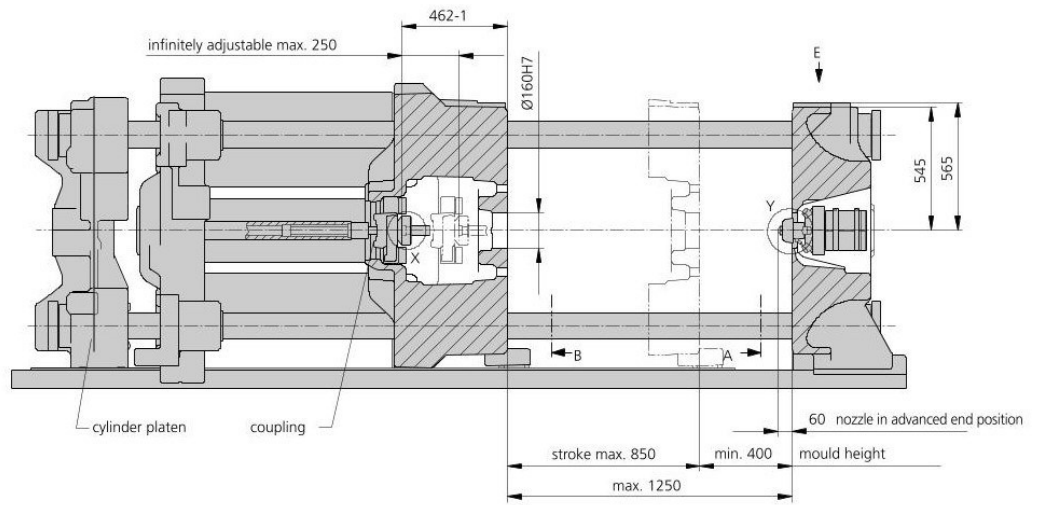
1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment)

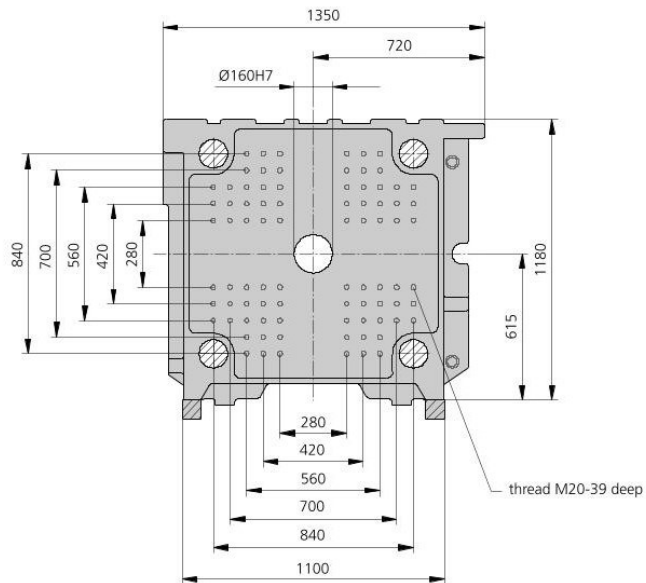
3) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output

4) Deviations are possible depending upon process settings and material type

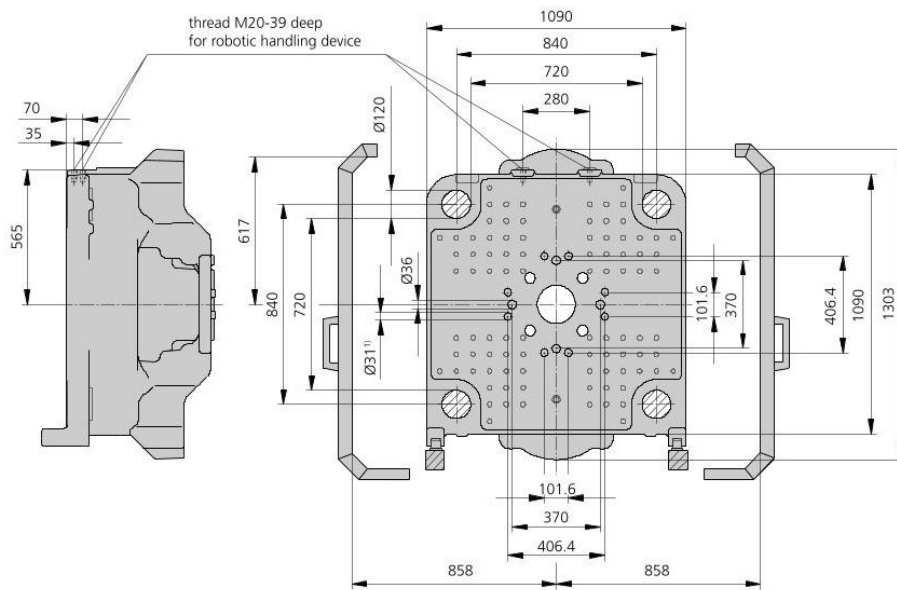
These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



Fixed platen
View A



Movable platen
View B



1) Prepared for guidance $\text{Ø}27$

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)				
Injection units according to EUROMAP		1300		
Screw diameter	mm	55	60	70
Polystyrene	PS	510	607	826
Styrene heteropolymerizates	SB	498	593	807
	SAN, ABS ¹⁾	488	581	791
Cellulose acetate	CA ¹⁾	574	683	930
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	534	635	865
Polymethyl methacrylate	PMMA	527	627	854
Polyphenylene ether, mod.	PPE	473	563	767
Polycarbonate	PC	536	638	868
Polysulphone	PSU	554	659	897
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	507	603	821
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	473	563	767
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	630	749	1020
Polyethylene terephthalate	PET	607	723	984
Polyethylene	PE-LD	385	458	624
	PE-HD	398	473	644
Polypropylene	PP	406	484	658
Fluoropolymerides	FEF, PFA, PCTFE ¹⁾	816	971	1322
	ETFE	716	852	1160
Polyvinyl chloride	PVC-U	616	734	998
	PVC-P ¹⁾	569	678	922

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG

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

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia,

Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to www.arburg.com.

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

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

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



ARBURG GmbH + Co KG

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

