

Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu světlometu

František Hanáček

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František Hanáček**

Osobní číslo: **T16066**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu světlometu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Připravte 3D model zadaného dílu
3. Proveďte konstrukční návrh 3D sestavy vstřikovací formy
4. Nakreslete 2D výkres sestavy vstřikovací formy

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.**
2. **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**
3. **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.**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 18. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezahnuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu dílu světlometu. Skládá se ze dvou hlavních částí. První částí je teoretická část, která se zabývá teoretickými informacemi z okruhu technologie vstřikování, vstřikovacích forem a s nimi spojených témat. Druhou částí je část praktická, kde je nejprve zvolena vhodná konstrukce a následně vytvořen 3D modely vstřikovací formy a dílu v programu Catia V5R20.

Klíčová slova: Vstřikovací forma, technologie vstřikování, konstrukce, Catia.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of the injection mold for the headlight part. It consists of two main parts. The first part is about theoretical informations from sphere of injection molding technology, injection molds and related topics. The second part is practical, where is chosen appropriate design at the first place and then created 3D models of injection mold and of the part in software Catia V5R20.

Keywords: Injection mold, injection molding technology, design, Catia.

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za pomoc, čas a vedení při tvorbě bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	11
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	11
1.2.1 Vstřikovací cyklus v diagramu p-t	12
1.2.2 Vstřikovací cyklus v diagramu p-v-T	14
1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
1.3.1 Hydraulicky poháněný vstřikovací stroj	18
1.3.2 Elektricky poháněný vstřikovací stroj.....	18
1.3.3 Hybridně poháněný vstřikovací stroj	19
1.3.4 Základní parametry vstřikovacích strojů.....	19
Vstřikovací kapacita.....	19
Plastikační kapacita.....	19
Uzavírací síla.....	19
1.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU A VLASTNOSTI VÝROBKU	20
2 TERMOPLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	21
2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PLASTŮ VHODNÝCH PRO VSTŘIKOVÁNÍ	21
2.1.1 Polymery	21
2.1.2 Reaktoplasty	21
2.1.3 Termoplasty.....	22
2.1.4 Elastomery.....	22
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	23
3.1 TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	24
3.2 RÁM FORMY	24
3.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	25
3.4 NÁSOBNOST FORMY	25
3.5 STUDENÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY	26
3.5.1 Plný kuželový vtok.....	27
3.5.2 Bodový vtok	28
3.5.3 Tunelový vtok	28
3.5.4 Boční vtok	29
3.5.5 Filmový vtok	30
3.6 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY	30
3.6.1 Vyhřívané trysky	31
3.6.2 Rozvodové bloky	31
3.7 VYHAZOVACÍ SOUSTAVY	32
3.7.1 Vyhazovací kolíky	32
3.7.2 Stírací desky	33
3.7.3 Trubkové vyhazovače	34
3.7.4 Šikmé vyhazovače.....	34
3.7.5 Pneumatické vyhazování.....	34

3.8	TEMPERACE FORMY	34
3.8.1	Aktivní temperace	34
3.8.2	Pasivní temperace.....	35
3.9	MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	36
3.9.1	Tepelné zpracování dílů formy	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
4	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
5	POUŽITÝ SOFTWARE	39
5.1	CATIA V5R20	39
5.2	HASCO DAKO MODUL 2018.....	39
6	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	40
6.1	MATERIÁL VÝROBKU	41
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	42
7.1	NÁSOBNOST FORMY	43
7.2	DĚLÍCÍ ROVINA	44
7.3	VTKOVÝ SYSTÉM FORMY	46
7.4	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	45
7.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	50
7.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY	50
7.7	MANIPULAČNÍ SYSTÉM.....	53
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ	54
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Rozvoj syntetických polymerů moderního smyslu přišel až ve dvacátém století. Některé polymerní materiály tu ale byli již před tím. Původně šlo pouze o přírodní polymery. Principy plastikářské technologie jsou mnohem starší, než se mnozí domnívají. Ve dvanáctém století byl v Anglii založen řemeslný cech zpracovatelů rohoviny. Zpracování rohoviny bylo tehdy založeno na poznatku, že rohovina zahřátá nad teplotu 125°C měkne a dá se poté tvarovat. Pojem plasty byl odvozen z řeckého slova „plastein“, což znamená „tvarovat“. [1]

Technologie vstřikování, včetně vstřikovacích strojů a zařízení urazila od svých počátků velice dlouhou a úspěšnou cestu. Díky velkému množství využití termoplastů, hlavně v automobilovém, elektronickém a v dalších oblastech průmyslu, je tato technologie stále velmi perspektivní. [1] Tvarové části formy

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Jedná se o nejpoužívanější technologii pro zpracování polymerů. Vychází z technologie tlakového lití, ale za podstatně rozdílných teplot a rychlostí. Technologie vstřikování je způsob zpracování plastů a kompozitních materiálů, při kterém je potřebný materiál v podobě taveniny vstříknut pomocí šnekového nebo pístového ústrojí velkou rychlostí z plastikační jednotky do uzavřené dutiny formy, ve které díky soustavě chladících kanálů ztuhne na konečný výrobek. Mezi výhody technologie vstřikování patří vysoká rozměrová přesnost pro sériovou výrobu, kvalita povrchu, možnost výroby výrobku složitých tvarů a krátké výrobní cykly. Nevýhodou jsou však velké pořizovací náklady strojů a forem pro vstřikování. Proto se jedná o vhodnou technologii zejména pro velkosériovou výrobu. [1, 3, 8]

Kromě vývoje materiálů pro vstřikování, hlavně směsí směřovaných na konkrétní výrobové skupiny, se jedná o různé modifikace vstřikovacího procesu. Prakticky všechny modifikace technologie vstřikování plastů vycházejí z poznatků klasického vstřikování. Kdy je potřeba připravit z předem upraveného (tj. vysušeného, smíchaného s aditivou atd.) granulátu teplotně co nejvíce homogenní taveninu, která je za působení vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti dopravována do temperované tvarové dutiny formy. Zde je následně působením dotlakové fáze vstřikovacího procesu snaha odstranit teplotní a objemovou kontrakci tak, aby výstřik po zchlazení a následném vyhození z dutiny formy měl požadované tvary a rozměry, včetně ostatních požadovaných parametrů. [1]

1.1 Princip technologie vstřikování plastů

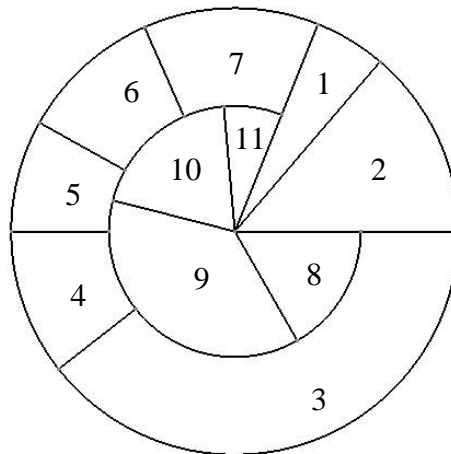
Plast nejčastěji ve formě granulí, je nasypán do násypky, ze které je odebírán vstřikovacím strojem. Následně hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za účinku tření a teploty plast taje a vzniká homogenní tavenina. Tavenina je poté dopravena do dutiny formy, kterou zaplní a její tvar. Následující dotlaková fáze pro snížení účinku smrštění a rozměrových změn. Tavenina formě předává svoje teplo a postupným ochlazováním ztuhne ve finální pevný výrobek. Potom se forma otevře, výrobek vyhodí vyhazovacím systémem formy a po následném uzavření formy se proces cyklicky opakuje. [8]

1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je tvořen přesně specifikovanými postupnými kroky, fázemi. Tyto fáze se podílí na výrobě konečného vstřikovaného dílu. Vstřikovací cyklus je proces,

kdy plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Pro popis vstřikovacího cyklu je potřeba definovat jeho počátek. Za počátek lze např. považovat okamžik začátku uzavírání vstřikovací formy. Vstřikovací cyklus je možno popsat z hlediska časového průběhu vstřikovacího tlaku nebo z hlediska p-v-T diagramu. [8]

Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různou dobu a ovlivňuje je vstřikovaný materiál, konstrukcí výrobku, zvolenou technologií, konstrukcí vstřikovací formy a typem vstřikovacího stroje. Pořadí kroků při procesu vstřikování lze vidět na obrázku 1. [2]

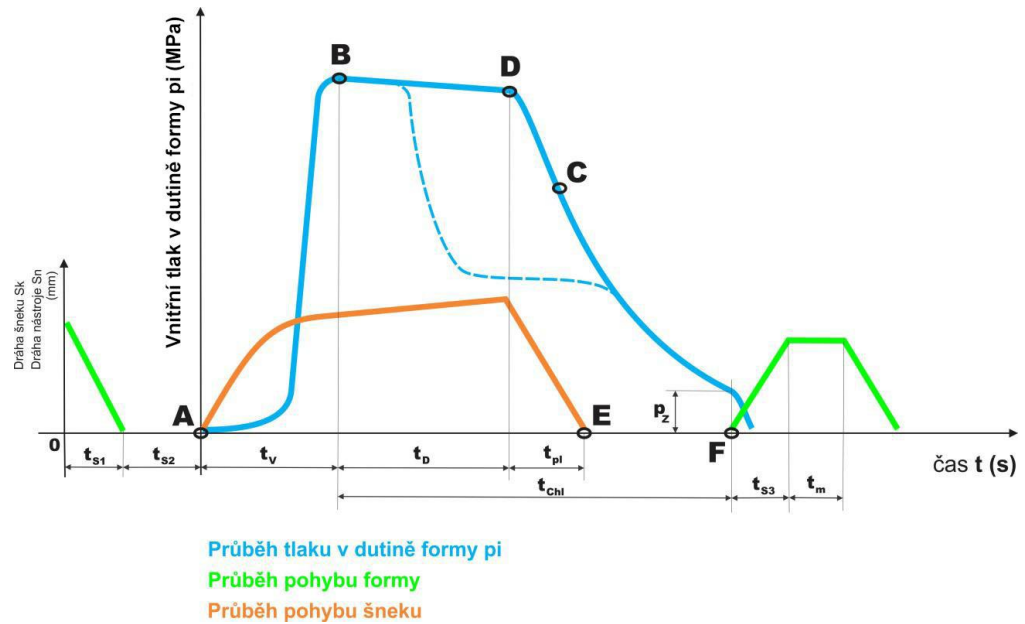


Obr. 1. Vstřikovací cyklus [4]

1- vstřikování, 2- dotlak a doplňování, 3- chlazení, 4- otevření formy, 5- vyprazdňování formy, 6- příprava formy, 7- uzavření formy, 8- vrácení plastikační jednotky, 9- plastikace, 10- prodleva, 11- přisunutí plastikační jednotky.

1.2.1 Vstřikovací cyklus v diagramu p-t

První možnost, jak popsat vstřikovací cyklus, je časová závislost vstřikovacího tlaku v dutině vstřikovací formy. Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k startu vstřikovacího cyklu. [8]



Obr. 2. $P-t$ diagram vstřikovacího cyklu [8]

V čase úseku t_{s1} pohyblivá část formy přijede k pevné, forma se uzavře a tzv. „uzamkne“. Příjezd vstřikovací jednotky stroje k formě je popsán časovým úsekem t_{s2} . Tyto časové úseky t_{s1} a t_{s2} jsou strojní časy. [8]

V prvním bodě označeném jako A se dává do pohybu šnek uvnitř tavicí komory a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny formy. Doba, během které pobíhá plnění formy, se nazývá doba plnění formy a je značena jako t_v . V této fázi vstřikování dosáhne tlak maximální hodnoty. Tento děj je ukončen v bodě B. Objem taveniny plastu dosahuje kolem 95-97% objemu dutiny vstřikovací formy. Tavenina při vtoku do formy ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a začne chladnout. V této fázi plní šnek funkci pístu, neotáčí se a vykonává pouze axiální pohyb. [8]

Chlazení probíhá až do otevření formy a vyhození výstřiku z formy. Doba chlazení je označena t_{ch} . V praxi je ji možné ještě rozdělit na dobu chlazení při plném tlaku vstřikování a při tlaku klesajícím. Po vyhození výrobku z dutiny formy pokračuje chlazení bez tlaku do vyrovnání teploty výrobku s teplotou okolí. [8]

Během chlazení se ztuhlý plast smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku neobjevovaly propadliny a sraženiny, musí se kompenzovat zmenšení objemu dotlakem do dutiny formy. Doba dotlaku se značí t_d . Dotlak může po celou dobu dosahovat stejně velkých hodnot tlaku jako maximální tlak nebo se může snížit po několika sekundách a

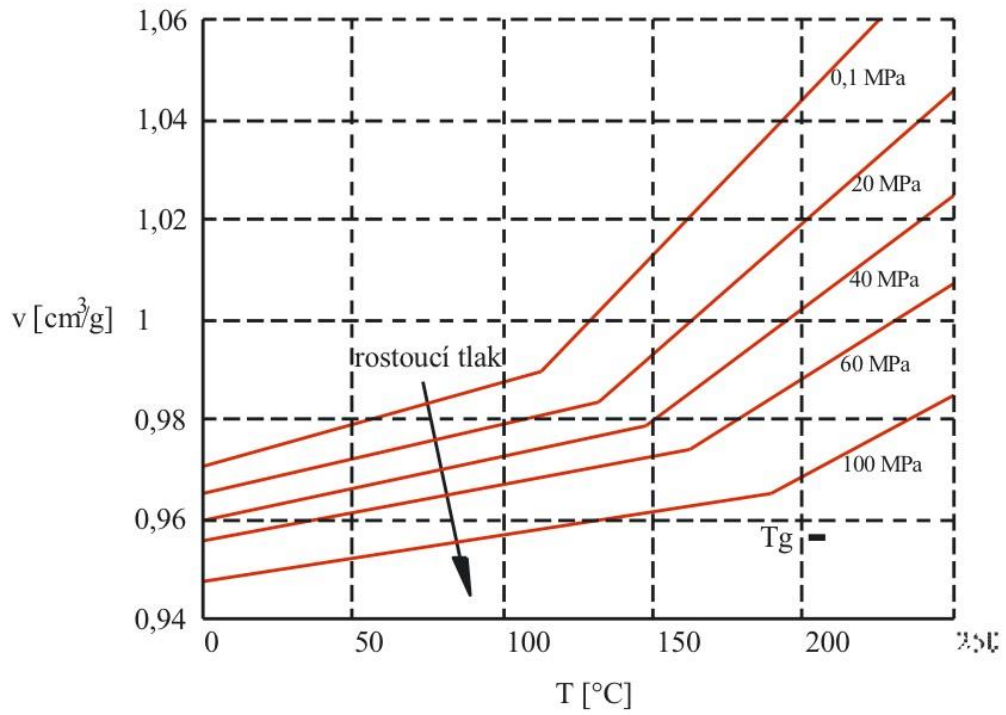
chladnutí následně probíhá za sníženého tlaku. Proto se dotlak dělí na tlak izobarický (konstantní tlak) a izochorický (konstantní objem). Doba dotlaku končí v bodě D. Bod C, značí okamžik, kdy roztavená hmota zatuhne ve vtokovém kanálu. Aby mohl být použit dotlak, musí před čelem šneku zůstat určitý objem roztaveného plastu tzv. polštář, na který bude šnek působit jako píst. Objem polštáře nesmí být příliš velký, aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Objem polštáře je závislý na velikosti výrobku. [8,5]

Po dotlaku začíná v plastikační jednotce vstřikovacího stroje plastikace nové dávky taveniny plastu. Plastikaci čas značíme t_{pl} , který končí v bodě E. Otáčením se, začne šnek nabírat granulovaný plast z násypky, plastikuje ho a vytlačuje před čelo šneku. Přitom koná posuvný pohyb směrem dozadu, kdy musí překonávat protitlak. Velikost protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím pádem i kvalitu plnění. Příliš vysoký protitlak by mohl způsobit dokonce degradaci plastu. Ohřev plastu při plastifikaci se děje pomocí převodu tepla ze stěn válce, teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a přeměnou hnětací práce šneku v teplo. [8]

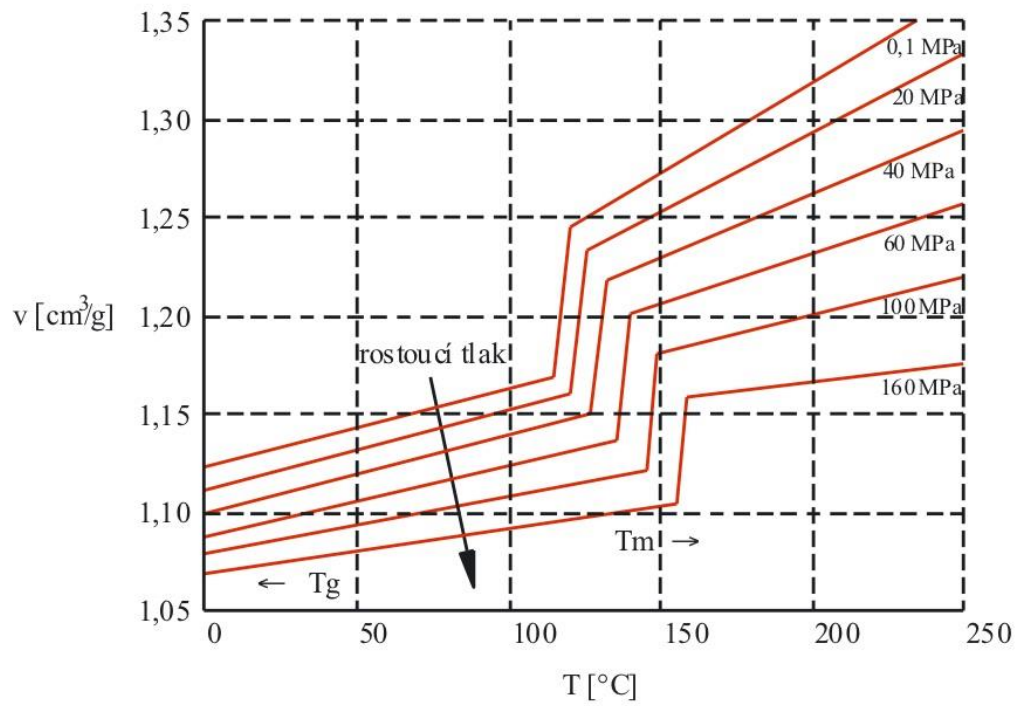
Poté může, ale nemusí následovat, odjetí plastikační jednotky od formy. Dále během probíhající fáze chlazení ve vstřikovací formě klesá tlak až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod kterým se nachází výrobek ve formě těsně před jejím otevřením. Deformace nebo samovolné praskání výstřiků nastává v důsledku vysokého pnutí, způsobeném příliš vysokým zbytkovým tlakem. V bodě F se forma otevře a vyhodí výrobek pomocí vyhazovacího systému z dutiny formy ven. Tuto operaci obsahuje strojní doba t_{s3} . Je-li výrobek vyjímán z formy manipulačním strojem, je tomu vymezena manipulační doba t_m . Tato doba je také určena dalším případným operacím, např. ke vkládání kovových výstřiků do dutiny formy, k aplikaci dávky separačního prostředku, čištění formy, atd. [8]

1.2.2 Vstřikovací cyklus v diagramu p-v-T

Vstřikovací cyklus může být také popsán pomocí stavových termodynamických veličin. Jedná se o tlak p , měrný objem v a teplotu hmoty T . Základní tvar p-v-T diagramů pro amorfní a semikrystalické plasty je znázorněn na následujících obr. 3 a obr. 4. [8]



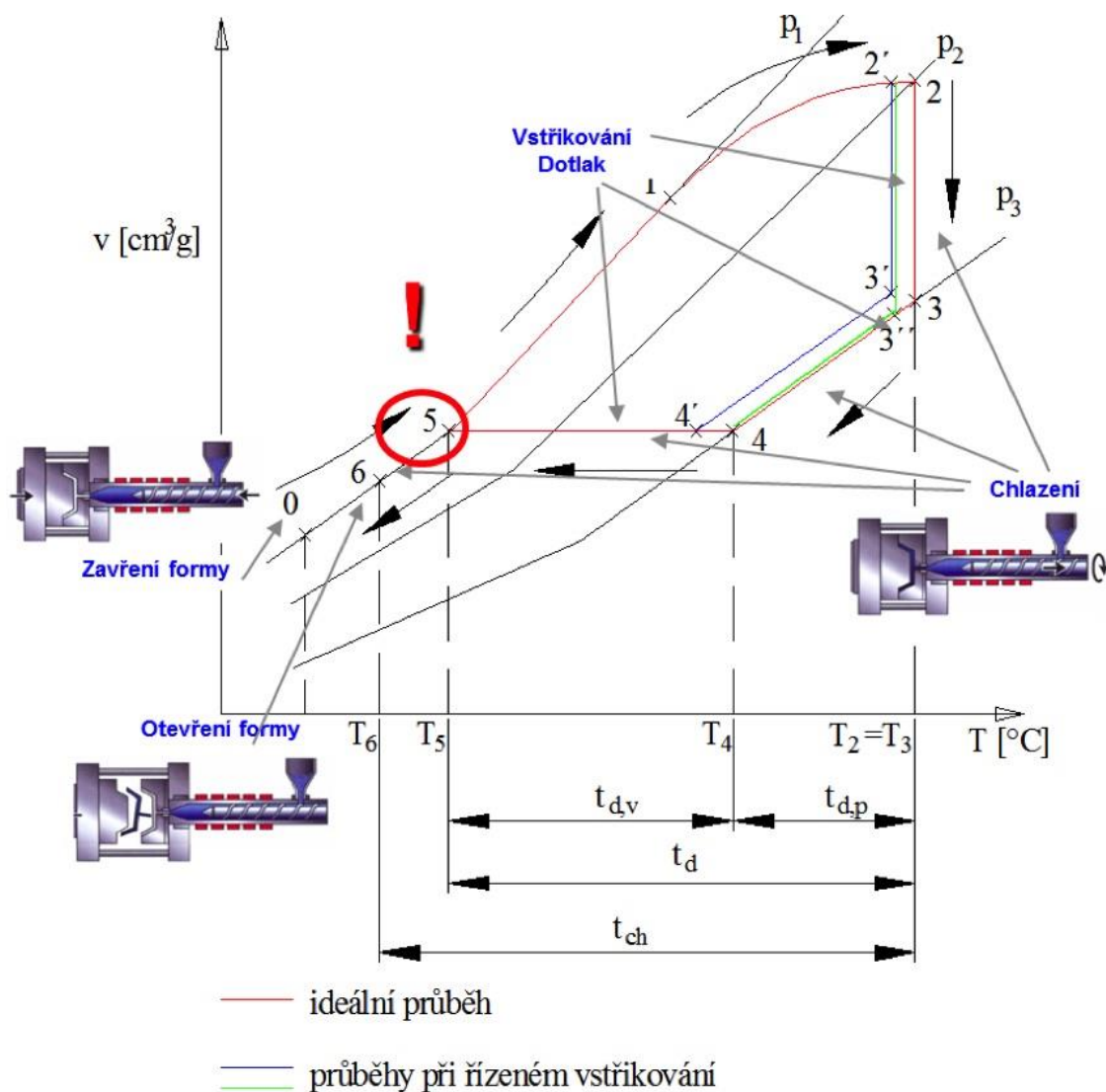
Obr. 3. Diagram p - v - T pro amorfni termoplast [8]



Obr. 4. Diagram p - v - T pro semikrystalický termoplast [8]

Průběh stavových veličin se v různých místech výstřiku liší a je ovlivněn zejména druhem vstřikovaného plastu, tvarem výstřiku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem, dotlakem, teplotou formy, teplotou taveniny a vstřikovací rychlostí. [2]

Změny stavových veličin určují vzniklou strukturu a ovlivňují hmotnost a rozměr výstřiku. Řízení vstřikovacího cyklu pomocí p-v-T diagramu náleží k moderním metodám zpracování termoplastů a je užíván současnými stroji, řízenými mikroprocesory. Zakreslený vstřikovací cyklus v p-v-T diagramu je znázorněn na obr. 5. [8, 5]



Obr. 5. Vstřikovací cyklus v p-v-T diagramu [8]

Vstřikovací forma se uzavře před začátkem vstřikování. Počátek vstřikování je v bodě 0 při pokojové teplotě a barometrickém tlaku označeném p_1 . Následný ohřev a

plastikace polymeru v plastikační komoře stroje, probíhají pro zjednodušení za barometrického tlaku. V bodě 1 probíhá hnětení plastu (tavení a komprese) a začíná nárůst tlaku až na hodnotu vstřikovacího tlaku p_2 . Topením a třením narůstá teplota taveniny, což je popsáno bodem 2. [8, 1]

Vlastní vstřikování započíná v p-v-T diagramu v bodě 2 prudkým nárustem tlaku způsobeným axiálním posuvem šneku, přitom uvažujeme pro zjednodušení děj izotermický. Tlak stoupá až na své maximum p_3 v bodě 3. Po zaplnění tvarové dutiny formy se tavenina stlačí a vstřikovací rychlost klesne. [8]

Vstřikovací tlak se přepne na dotlak po dosažení maxima tlaku. Dotlak probíhá ve dvou fázích. V oblasti mezi body 3 a 4 se jedná o dotlak izobarický, příslušné hodnoty p_3 . V bodě 4 se mění izobarický dotlak na dotlak izochorický. Konec této fáze značí bod 5, kde tlak dosahuje z důvodu zjednodušení počáteční hodnoty p_1 . Po tomto okamžiku už dotlak nemůže ovlivnit průběh tlaku v dutině formy. Poloha bodu 5 silně ovlivňuje kvalitu výsledného výrobku a jeho vlastnosti, jako hmotnost a smrštění. [8]

Chlazení ve formě probíhá už v době vstřikování a pokračuje i při dotlaku. Tato část chladicí fáze probíhá za současného působení tlaku, ale při procesu chladnutí taveniny klesá tlak v dutině až na hodnotu zbytkového tlaku. Mezi body 5 a 6 chladne výstřik ve formě bez působení dotlaku a dochází ke zvyšování tuhosti výsledného dílu. [8, 1]

Bod 6 nám označuje otevření formy a následně se výrobek vyhodí vyhazovacím systémem. V oblasti mezi body 6 a 0 výrobek chladne již mimo formu a postupně dosahuje teploty okolí, tedy teploty výchozího bodu 0. [8]

1.3 Vstřikovací stroj

Pro vstřikování se používají tzv. vstřikovací stroje, které se dělí podle typu pohonu na:

- hydraulické
- elektrické
- hybridní [10]

Vstřikovací stroje mají dvě na sobě nezávislé jednotky, vstřikovací a uzavírací, které řídí mikroprocesorem řízená řídicí jednotka. Vstřikovací jednotka se stará o dopravu plastu,

plastikaci, vstřikování a dotlak taveniny. Vstřikuje taveninu do dutiny formy velkým tlakem a rychlostí. Úkolem uzavírací jednotky je otevírání, zavírání a vyhazování hotového výrobku ze vstřikovací formy, držení uzavřené formy během vstřikování a dotlaku. Moderní vstřikovací stroje nejčastěji využívají šneku ve vstřikovací jednotce, který nabírá materiál z násypky do dutiny válce plastikační jednotky. [11]



Obr. 6. vstřikovací stroj [13]

1.3.1 Hydraulicky poháněný vstřikovací stroj

Zaručeno plynulé ovládání vstřikovacího procesu díky hydraulickému obvodu s regulací tlaku a objemovým průtokem. Poloha šneku lze nastavit oboustranným pístem, což umožňuje vyšší přesnost v ovládání rychlosti posuvu šneku při vstřikovacím procesu. Uzavírací síla se pohybuje v rozmezí 125 až 6000 kN v závislosti na výrobci. [12]

1.3.2 Elektricky poháněný vstřikovací stroj

Nižší ekologické zatížení než hydraulický. Má zároveň nižší hlučnost, rychlejší pohyblivou upínací desku a efektivnější využití energie. Rotace motoru je využívána k pohybu rotačních částí jako je šnek a kuličkový šroub vykonává lineární pohyb pohyblivé upínací desky. [12]

1.3.3 Hybridně poháněný vstřikovací stroj

Jedná se o spojení elektrického a hydraulického pohonu. Elektrický pohon nám zlepšuje rychlost a přesnost vstřikovacího procesu a vyšší uzavírací síly, lepší dynamiku nám přináší hydraulický pohon. [12]

1.3.4 Základní parametry vstřikovacích strojů

Vstřikovací kapacita

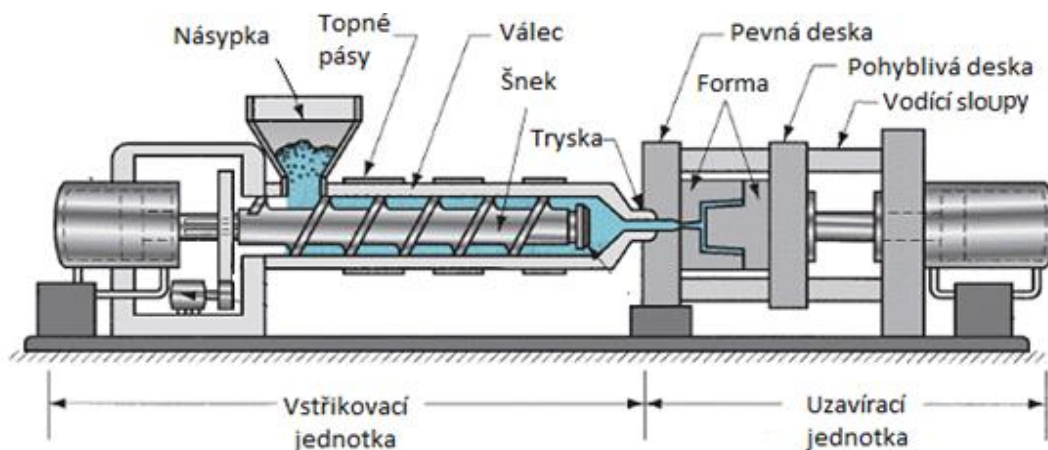
Maximální objem taveniny plastu, který je stroj schopen vstříknout na jeden posun šneku směrem k vstřikovací formě. Udává se v cm^3 . Vstřikovací kapacita je součtem objemů vtokového systému, tvarové dutiny formy a polštáře. [12]

Plastikační kapacita

Maximální hmotnost plastu, který je schopen zplastikovat za jednotku času. Nejčastěji se uvádí v kg/hod. [12]

Uzavírací síla

Síla, která drží jednotlivé části formy pohromadě v uzavřeném stavu během vstřikování a dotlaku. Uzavírací síla se vypočte jako součin průmětu plochy výrobku do dělicí roviny S a tlaku v dutině formy p . Nejčastěji uváděna v kN . [12]



Obr. 7. Schéma vstřikovacího stroje [12]

1.4 Faktory ovlivňující kvalitu a vlastnosti výrobku

O vlastnostech výstřiku jak mechanických, tak fyzických rozhoduje druh polymeru, technologické parametry, konstrukce samotné formy, včetně stroje použitého pro vstřikování. Výše zmíněné parametry nepůsobí jako samostatné faktory, ale ovlivňují se navzájem. [11]

Z hlediska volby druhu polymeru má na vlastnosti výrobku vliv:

- rychlost plastikace polymeru (měla by být co nejkratší),
- tekutost polymeru (nesmí být příliš malá a nesmí se prudce měnit s teplotou),
- tepelná stabilita polymeru v rozsahu zpracovatelských teplot (čím širší, tím lepší),
- uvolňování těkavých látek,
- velikost vnitřního pnutí (co nejnížší),
- smrštění polymeru. [11]

Z hlediska technologických parametrů, vzájemně se ovlivňujících, má na vlastnosti výrobku vliv:

- vstřikovací tlak (a sním spojená rychlost plnění, uzavírací síla, vnitřní pnutí, smrštění, orientaci),
- teplota taveniny (závislá na druhu plastu a ovlivňující jeho tekutost, vstřikovací tlak, dobu chlazení, tlakové ztráty, dotlak atd.),
- teplota formy (ovlivňuje tekutost polymeru, dobu chlazení, rychlost plnění formy, povrchovou kvalitu výrobku, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění atd. (u semikrystalických plastů co nejvyšší),
- rychlost plnění dutiny formy (co největší, je však nutno dávat pozor na teplotu taveniny, aby nedošlo k degradaci hmoty),
- síla a doba trvání dotlaku (ovlivňuje především smrštění, vnitřní pnutí). [11]

2 TERMOPLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Jejich parametry pro zpracování jsou odvozovány od jejich chování za tepla. Parametry jsou tedy závislé na vlastnostech spojených s přechodem termoplastů do tekutého stavu, vlastností jejich tavenin a vlastností vzhledem k přechodu do tuhého stavu. Naopak výběr termoplastu v závislosti na použití finálního výstřiku je vázán na jeho vlastnosti v tuhém stavu a pro požadovaný rozsah teplot. [1]

Kriticky důležité jsou v technologii vstřikování termoplastů především reologické vlastnosti vstřikované taveniny, které jsou odvozeny od chemického složení a molekulární struktury konkrétního polymeru. [1]

2.1 Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování

Tab. 1. Rozdělení polymerních materiálů [1]

POLYMERY			
REAKTOPLATY	ELASTOMERY	TERMOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY
Fenolické	NR	Částečně krystalické	S vysokou tvrdostí
Melaminové	SBR	Amorfni	S nízkou tvrdostí
Epoxidové	NBS		
Polyesterové	EPDM		
Další	Další		

2.1.1 Polymery

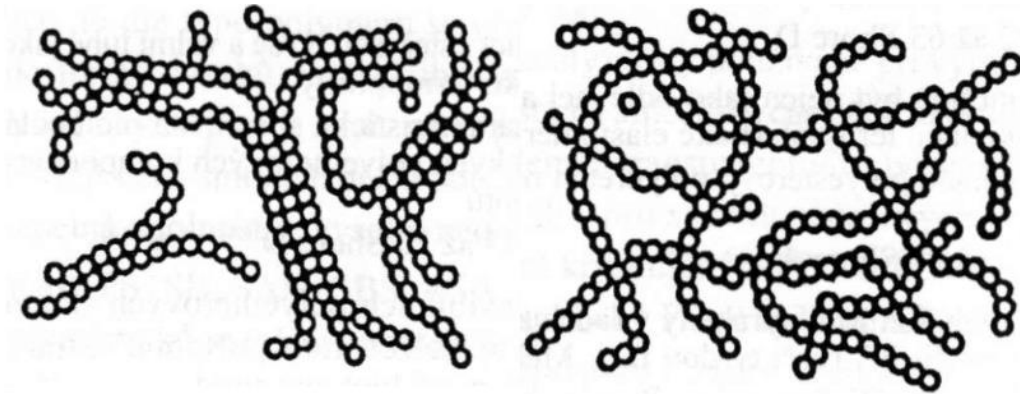
Substance obsahující mnoho individuálních molekulárních jednotek propojených do makromolekulárních řetězců. [1]

2.1.2 Reaktoplasty

Polymery s pevně propojenými řetězci vytvořeny síťováním. Řetězce nelze tepelně rozpojit. Při počátečním zahřívání měknou a jsou lehce tvarovatelné. Tento stav trvá ale jen omezenou dobu a při dalším zahřívání nastává vytvrzování. [1]

2.1.3 Termoplasty

Polymery měnící tvar za působení tepla a smykovými silami. Po ochlazení je možno polymer opětovným působením tepla znovu převést do taveniny. Jedná se o nejpoužívanější polymery z hlediska výroby. Dělí se podle struktury na amorfní a semikrystalické. [1]



Obr. 8. Částečně krystalická struktura (vlevo) a amorfní struktura (vpravo) [1]

2.1.4 Elastomery

Spojmem mezi jejich řetězci jsou iniciovány teplotou- vulkanizace. Okolo spojů se řetězce mohou pohybovat- elasticita. [1]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je složitý systém, který musí plnit mnoho požadavků vycházejících z procesu vstřikování. Hlavní funkcí formy je zabezpečení dopravy taveniny do dutiny formy a její plné naplnění. Tvar budoucího výstřiku je obrazem tvaru dutiny formy. Vedlejší funkcí vstřikovací formy je odvod tepla přivedeného do formy taveninou. Dále je nutno ve formě zabezpečit snadné, rychlé a bezpečné vyjmutí dílu. K zajištění těchto hlavních tří funkcí formy je potřebná i přítomnost dalších funkcí vstřikovací formy viz Obr. 8. Tyto další funkce mohou dále utvářet další požadavky na formu zejména v případě speciálních modifikací vstřikovacího procesu. Níže uvedený obrázek neuvádí seznam všech možností vstřikovací formy, ale jen základní hlavní a vedlejší funkce. [1, 4]

Materiál vstřikovací formy se volí v závislosti na druhu zpracovaného polymeru, na technologii, kterou použijeme, na velikosti výsledného výrobku a jeho tvarové složitosti, na velikosti série, na odolnosti proti opotřebení a korozivním účinkům a samozřejmě na ceně. Tepelné zpracování tvarových částí formy nám zásadně určuje její životnost. Další nutnou částí při tvorbě vstřikovací formy je stanovení rozměrů a toleranci tvarových částí formy. Pro jejich určení je zásadní smrštění, tolerance rozměrů vylisku a opotřebení pracovních částí formy. [11]

Vstřikovací formy lze dělit:

- dle násobností formy na jednonásobné a vícenásobné,
- dle zaformování a konstrukčního řešení formy na dvoudeskové, třideskové, etážové, vytáčecí, čelist'ové atd.,
- dle konstrukce použitého vstřikovacího stoje na formy s kolmým vstřikem na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [11]

VSTŘIKOVACÍ FORMA					
DOPRAVA TAVENINY		PŘENOS TEPLA		ODFORMOVÁNÍ DÍLU	
ODOLNOST PROTI DEFORMACIÍM	VEDENÍ TAVENINY	ODVOD TEPLA Z DÍLU	ODVOD TEPLA Z FORMY	OTEVŘENÍ FORMY	ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ
PODPĚRNÉ VÁLCE	VTOROVÝ SYSTÉM	POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ	RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY	DĚLÍCÍ ROVINA	VYHAZOVAČE
TLOUŠŤKA DESEK	ÚSTÍ VTOKU	ROZMĚRY CHLADÍCÍCH KANÁLŮ	PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY	VYTAŽENÍ JADER	ROBOTICKÉ VYJÍMÁNÍ
VÍ CENÁSOBNÁ PROPOJENÍ	-	TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY	-	-	TAHAČE JADER

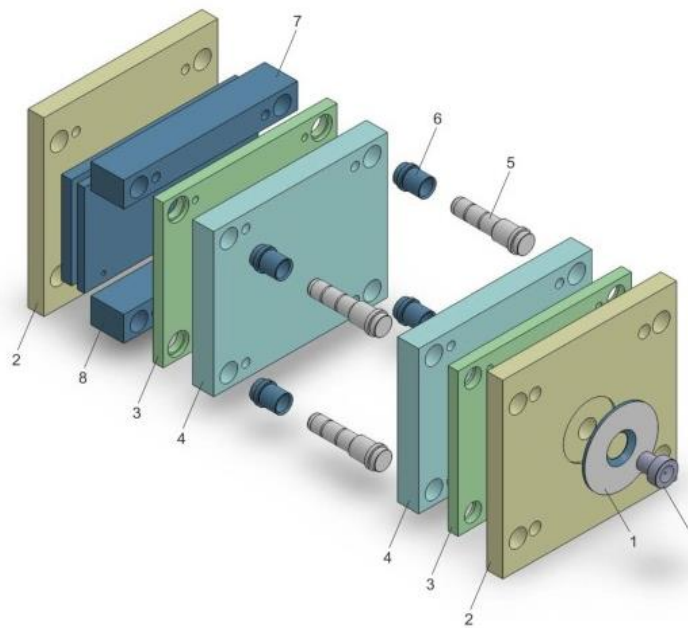
Obr. 9. Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [11]

3.1 Tvarové části formy

Tvarové části formy jsou takové, díky kterým získáváme finální tvar výrobku. Tyto části jsou nejvíce náročné na přesnost a kvalitu povrchu. Jedná se o tvárníky, tvárnice, různá tvarová jádra, závitové kolíky a kroužky atd. Kvalita povrchu konečného výrobku je odrazem kvality tvarových částí formy. [5, 3]

3.2 Rám formy

Do rámu formy patří ty části, které zastávají úlohu nosné konstrukce více zmíněných tvarových částí a vyhazovacího systému. Mezi rám patří kotevní desky k uložení tvarových částí formy, opěrné desky, upínací desky, vodící kolíky, šikmé čepy, chlazení formy atd. [5, 3]



Obr. 10. Základní části formy [8]

1– Středící kroužek, 2– Upínací desky, 3– Opěrné desky, 4– Kotevní desky, 5– Vodící čepy, 6- Pouzdra vodících čepů, 7– Rozpěrná deska, 8– rozpěrná deska, 9– Vtoková vložka

3.3 Vyhazovací systém

Do této skupiny patří vyhazovací kolíky různých druhů, stírací desky, kroužky a trubky. Vyhazovací systém zastává úlohu vyjmutí hotového výstřiku bezpečně bez nežádoucích deformací z formy ven. [5, 3]

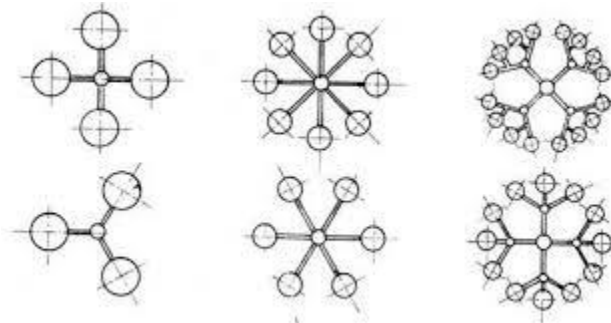
3.4 Násobnost formy

Násobnost formy říká, kolik dílů je možno vyrobit na jeden zdvih. Abychom dosáhli co největší přesnosti je důležité násobnost formy držet co nejmenší. Menší násobnost znamená jednodušší konstrukce, eliminace rozdílů v rozměrech jednotlivých výstřiků, vyloučení rozdílů teplot a tlaků v jednotlivých tvarových dutinách a lepší vystředění tvárníku a tvárnice. [5, 3]

Při velké násobnosti je také důležité dosažení stejné délky toku do každé dutiny formy. Jestliže nelze dosáhnout stejné délky toku je nutné upravit velikost vtokového ústí tak, aby bylo dosaženo stejného tlaku v každé dutině. [14]

Umístění dutin u vícenásobných forem je vhodné volit kruhového nebo hvězdicového tvaru než uspořádání do řady vedle sebe. U kruhového a hvězdicového tvaru

se nám lépe dosahuje předchozí zásady o stejné délce toku a tím pádem zaplnění ve stejném čase všech dutin formy. [14]



Obr. 11. Násobnost formy- schématické rozložení [14]

Násobnost ovlivňují různé faktory jako rozměry a hmotnost výrobku, požadavek na kvalitu a přesnost, typ vstřikovacího stroje, rozsah výroby, cenový limit a dodací lhůta. Pro menší série je zpravidla násobnost nižší než při hromadné výrobě kde je potřeba vyrobit velké množství výstřiků za o nejkratší dobu. [14]

3.5 Studené vtokové systémy

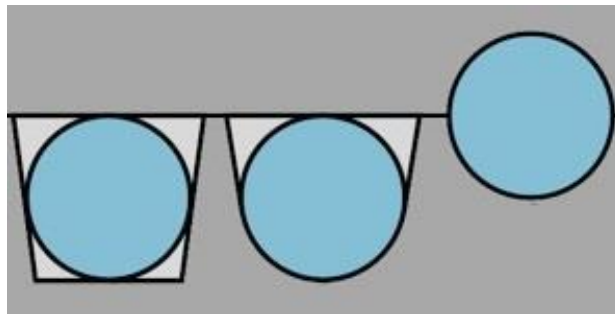
Zajišťuje plynulé zaplnění tvarové dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku. Vtoková soustava se odvíjí od násobnosti formy. Studené vtokové systémy jsou nejrozšířenější z vtokových systémů. [12, 13]

Řešení vtokových systémů je náročná a důležitá operace, při níž je nutné dodržovat tyto zásady:

- návrh vtoku tak, aby došlo při plnění k co nejrovnoměrnějšímu zaplnění tvarové dutiny formy,
- dráha toku od vstřikovací trysky k ústí do dutiny vstřikovací formy by mělo být co nejkratší,
- dráha toku stejně dlouhá ke všem dutinám,
- vtokové ústí volit tak, aby nevznikly studené spoje na finálním výrobku, zbytkové napětí ve výrobku bylo co nejmenší, vyhození co nejsnadnější a aby viditelnost vtoků na hotovém výrobku byla co nejmenší. [14]

Vtoková vložka je paralelní k ose vstřikovací jednotky a dopravuje taveninu do formy. Většinou dopravuje taveninu do dělicí roviny do rozváděcích vtokových kanálů, které dále vedou taveninu až do tvarové dutiny. U jednonásobných forem je možné taveninu do tvarové dutiny formy vést přímo z vtokové vložky. [13, 12]

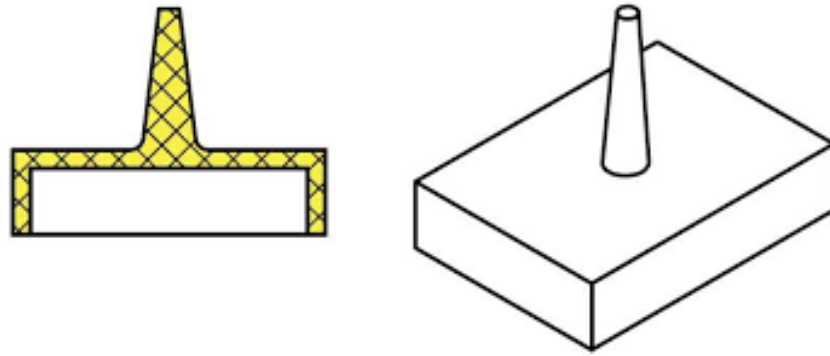
Vtokové kanály dopravují taveninu v dělicí rovině od jejího středu. Obvykle jsou obrobena do dělicí roviny vstřikovací plochy. Průřez kanálu má vliv na vstřikovací tlak, dobu cyklu, dotlak a objem materiálu v rozváděcím kanálu. Průřez vtokových kanálů by měl mít při minimálním povrchu co největší možný průřez. Tím se minimalizují ztráty tepla. Tomu odpovídá kruhový průřez, který je ale náročný na výrobu a proto se volí jemu podobný lichoběžníkový průřez. [13, 3]



Obr. 12. Vhodné tvary rozváděcích kanálů [13]

3.5.1 Plný kuželový vtok

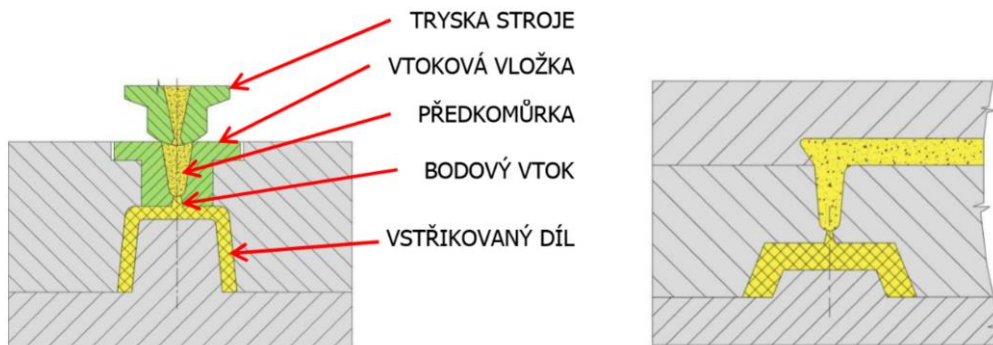
Používá se hlavně v jednonásobných formách se symetricky uloženou dutinou. Vhodný hlavně pro tlustostěnné výstřiky. Mezi jeho klady patří vysoká účinnost dotlaku. Mezi nevýhody naopak patří náročnost odstraňování plného kuželového vtoku zanechávání stop po vtoku na výstřiku. [12]



Obr. 13. Plný kuželový vtok řez (vlevo) a 3D náhled (vpravo) [12]

3.5.2 Bodový vtok

Náleží mezi nejznámější z vtokových ústí, které leží vně nebo mimo dělicí rovinu. Vyžaduje použití třideskového systému s přítomností přídržovače vtoku. Přídržovač vtoku zajišťuje, že se nejprve oddělí vtokové ústí a až poté se otevře dělicí rovina formy. Nejčastější použití bodového vtoku je u tenkostěnných výrobků. [3, 12]

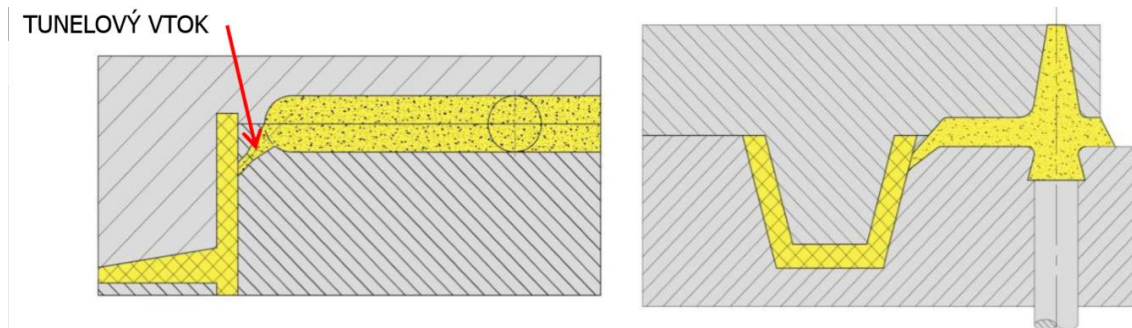


Obr. 14. Bodový vtok přímo do dutiny formy (vlevo) a v rozvodovém kanálu (vpravo) [12]

3.5.3 Tunelový vtok

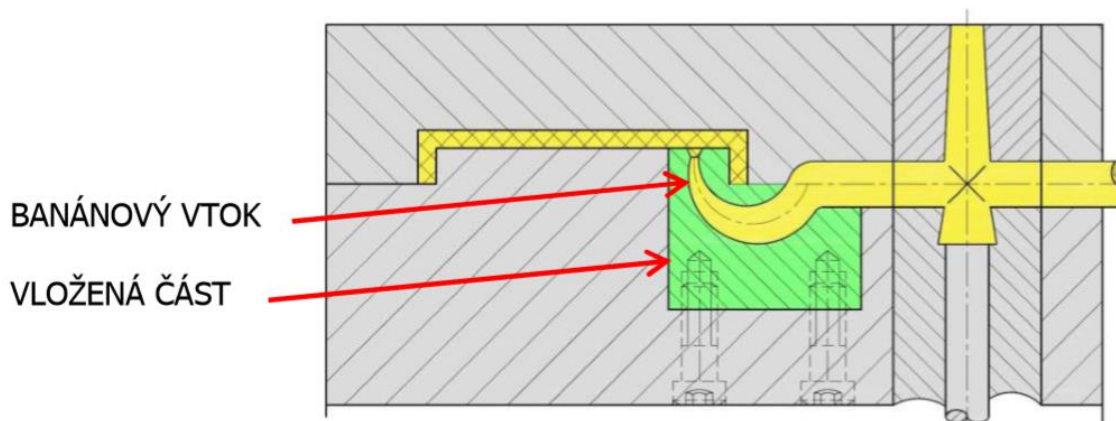
Tunelový vtok je zvláštním případem bodového vtoku. Jeho výhodou oproti klasickému bodovému vtoku je, že vtoková zbytek může být ve stejné dělicí rovině jako výstřik. Není vhodný pro plasty, které jsou vyztužené vláknitým plnivem. Vtok je možné umístit do pohyblivé i pevné části formy a není nutnost pro tunelový vtok konstruovat formu

s více dělicími rovinami. Vtokový zbytek se odděluje otevřením samotné formy, nebo vyhazovacími prvky. [3, 12]



Obr. 15. Tunelový vtok [12]

Zvláštním případem kuželového vtoku je banánový vtok. Jeho použití je stejné jako u kuželového vtoku pokud není možné ústít vtok do boku výstřiku. Nevýhodou banánového vtoku je náročnost výroby, náročnost na prostor ve formě a nutnost použití další součásti v podobě vložky s banánovým vtokem. [12, 6]



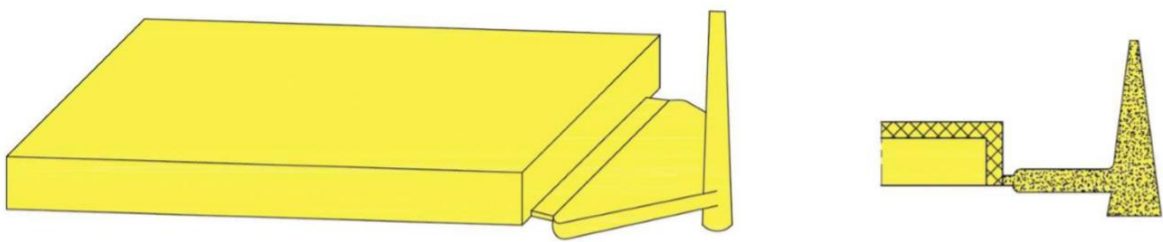
Obr. 16. Banánový vtok [12]

3.5.4 Boční vtok

Nejpoužívanější a nejrozšířenější z vtokových ústí. Boční vtokové ústí jako takové leží v rovině a při odformování je výstřik pevně spojen s vtokovým zbytkem. Průřez bočního vtoku je nejčastěji obdelníkového tvaru al využívají se také kruhový a lichoběžníkový. [3, 12]

3.5.5 Filmový vtok

Jedná se nečastější případ bočního vtoku. Je používán především k plnění kruhových a trubicových dutin s vysokými požadavky na kvalitu výrobku. Patří sem vtoky diskové, deštníkové, prstencové atd. Nezaručuje rovnoměrné rozvedení taveniny. S větší vzdáleností od rozváděcího kanálu klesá tlak ve vtokovém ústí. Tento pokles tlaku řeším různou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu. U výrobků obdelníkového tvaru se vtokové ústí umísťuje do kratší hrany. [5, 3, 12]



Obr. 17. Filmový vtok [12]

3.6 Vyhříváné vtokové systémy

Sestava vyhříváných komponent, které drží vsřikovaný polymer na konstantní teplotě a tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí do tvarové části formy v plastickém stavu. Zaručuje tím polymeru stálou viskozitu v celém průřezu. Snižují spotřebu polymeru díky tomu, že odpadá přítomnost vtokového zbytku. [12]

Mezi výhody vyhříváných vtokových systému patří:

- časové zkrácení výrobního cyklu,
- odpadá nutnost výroby vtokových kanálů,
- menší náklady na dokončovací operace díky nepřítomnosti vtokového zbytku,
- zmenšení tlakových ztrát v důsledku dopravy taveniny do dutiny formy,
- tavenina je do dutiny formy vsřikována pod menším tlakem než v případě studeného vtoku,
- možnost regulace teploty a tím pádem možnost ovlivnit vlastnosti výstřiku,
- modularita jednotlivých systémů,
- relativně jednoduchý servis poškozených částí vtoku,
- menší uzavírací síla stroje. [12]

Naopak mezi nevýhody patří:

- náročnější vestavění do formy,
- vyšší pořizovací náklady,
- vyšší provozní náklady,
- nelze použít u všech materiálů, zejména těch citlivějších na teplo. [12]

3.6.1 Vyhřívání trysky

Trysky jsou vyhřívány pomocí přivedeného elektrického kabelu. Trysky se dělí na přímo vyhřívání a nepřímo vyhřívání. Nepřímo vyhřívání trysky fungují na principu přenosu tepla z vyhřívání rozvodu na trysky. Přímě vyhřívání trysky se dále dělí podle ohřevu na ty s vnějším ohřevem a vnitřním ohřevem. [12]

Trysky s vnějším ohřevem jsou konstrukčně řešeny tak, že ohřev zajišťuje topný svazek a tavenina prochází středem. [13]

V tryskách s vnějším ohřevem dochází k menším úbytkům tlaku. Trysky s vnitřním ohřevem mají uprostřed topné těleso, které tavenina obtéká. V tryskách s vnitřním ohřevem se lépe reguluje teplota taveniny u špičky a je lépe tepelně izolovaná od okolí. [12]



Obr. 18. Vyhřívání trysky [12]

3.6.2 Rozvodové bloky

Rozvodové bloky slouží k rozvodu taveniny ve vícenásobných formách do všech dutin formy. Blok je uložen mezi upínací a kotevní deskou v pevné části formy. Ke kontaktu mezi blokem a deskami formy dochází pouze určitých místech. Ve zbytku míst je mezi blokem a formou mezera z důvodu tepelné izolace. Tvary bloků jsou různé a jejich tvar a velikost je závislí na tvaru a velikosti vyráběného dílu. Nejčastějšími tvary jsou I, H, X, Y,

T apod. Bloky jsou vyhřívány elektrickými odporovými vodiči, umístěnými v drážkách na povrchu rozvodového bloku. [12, 6, 3]



Obr. 19. Rozvodový blok tvaru T [12]

3.7 Vyhazovací soustavy

Vyhazovací soustavy slouží k vyhození výstřiku z dutiny nebo tvárníku otevřené formy. Vyhazovací soustava se skládá z vyhazovacích prvků. Mezi vyhazovací prvky patří vyhazovací kolíky, stírací desky, šikmé vyhazovací kolíky, trubkové vyhazovače, pneumatické vyhazovací systémy atd. Vyhazování výstřiků má dvě fáze. První fází je pohyb vyhazovací soustavy dopředu a druhá fáze je zpětný pohyb do původní polohy vyhazovacího systému. Umístění vyhazovacích prvků může být různé a jejich tvar rozmanitý. Vyhazovací prvky mohou být použity i jako funkční části dutiny formy. [6, 3]

3.7.1 Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky jsou nejčastějším a zároveň nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiků z formy. Způsob vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je výrobně méně náročný. Při řešení umístění kolíků je důležité dbát na základní zásady. Kolíky by se měli čelem opírat o nepohledovou část výstřiku nebo žebro výrobku, které se při vyhazování nebude bortit. Povrchovou úpravou vyhazovacích kolíků je cementace a kalení. Vyhazovací

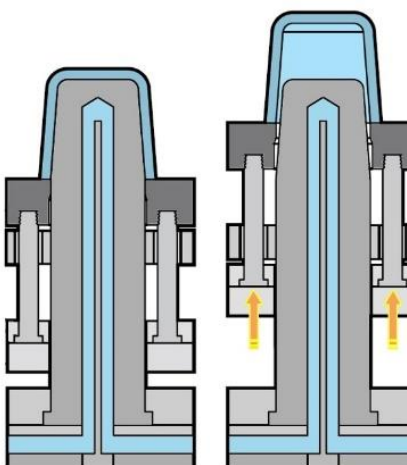
kolíky lze dále dělit podle tvaru funkční části kolíku na prizmatické, válcové atd. Prizmatické kolíky jsou speciálním případem válcových kolíků a mají zúženou funkční část. [4]



Obr. 20. Vyhazovací kolíky [17]

3.7.2 Stírací desky

Je bezpečnějším způsobem vyhození než vyhazovací kolíky z důvodu větší stykové plochy a lepšího rozložení tlaku po ploše výstřiku. Nezanedbává na výrobku stopy jako trubkové vyhazovače. Omezením použití stírací desky je tvar výrobku. Styčná plocha výrobku a stírací desky musí být ve stejné rovině. [4]



Obr. 21. Stírací deska [17]

3.7.3 Trubkové vyhazovače

Využívá stejný princip vyhazování jako stírací deska. Působí na velké styčné ploše po celém obvodu výstřiku a díky vnitřní díře je schopen utvářet jádro. [5]

3.7.4 Šikmé vyhazovače

Jedná se o speciální případ vyhazování, kdy kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod úhlem. [4]

3.7.5 Pneumatické vyhazování

Funguje na principu stlačeného vzduchu mezi výstřikem a lícem formy. Vylučuje místní přetížení a na výrobku nevznikají stopy po vhození z formy. Používá se především u tenkostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádoby, která jsou potřeba zavzdušnit tak, aby se předešlo deformacím. [12]

3.8 Temperace formy

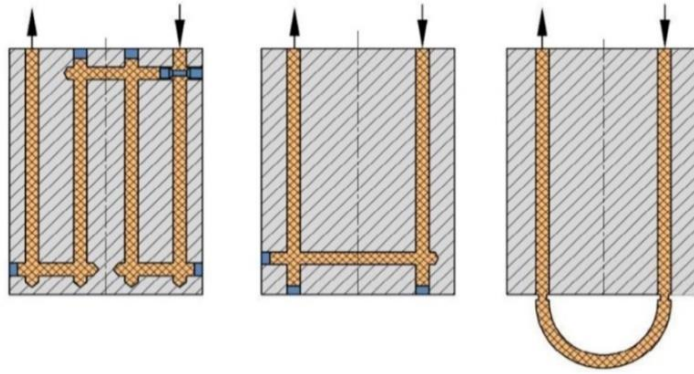
Temperace formy je důležitou částí konstrukce formy. Chlazení je nejdelší částí vstřikovacího cyklu a proto optimální temperace může zásadně snížit délku vstřikovacího cyklu a tím zvýšit produkci. Temperaci lze provádět jako aktivní a pasivní temperaci. [4]

3.8.1 Aktivní temperace

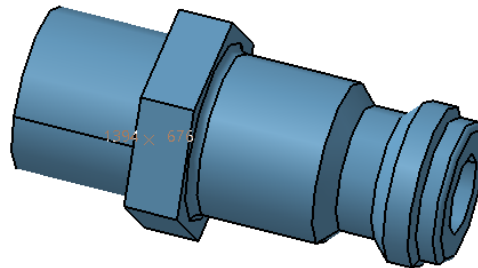
Aktivní temperační systém se skládá z kanálů a dutin, kterými proudí temperační médium, pomocí kterého je možno udržovat konstantní teplotu formy. Temperační médium musí být do formy přiváděno a drženo formou aby neunikalo z formy ven. Jako temperační médium se nejčastěji používá voda a olej. Temperace se nachází v jak v pohyblivé, tak v pevné části formy. Pro efektivnější chlazení je vhodné volit větší počet menších rozvodných kanálů radši, než menší počet větších. Průřez rozvodných kanálů se pohybuje mezi 6- 20 mm a používá se především kruhový průřez. [4, 13]

Obvykle se temperační systém skládá z:

- temperační řídicí jednotka,
- temperační kanály,
- spojovací prvky,
- temperační médium. [13]



Obr. 22. Příklady jednoduchých temperačních obvodů [12]



Obr. 23. Ústí temperačního systému pro připojení hadice. [15]

3.8.2 Pasivní temperace

Pasivní temperace je zaručena pomocí kombinace vodivých a izolačních materiálů. Používány jsou často slitiny mědi a hliníku. Tepelně vodivé vložky musí být doplněny aktivním chlazením. [12]

U forem, kde je předeřtím nutno dosáhnout požadované teploty je využíváno izolačních materiálů. Tyto materiály zabraňují únikům tepla vedením a sáláním. O izolaci se starají především izolační desky, které nejčastěji izolují upínací desky. Mohou se ale využívat i k izolaci boků formy. [12]

3.9 Materiály vstřikovacích forem

Cena vstřikovací formy je z určité části závislá na ceně a množství materiálu, spotřebovaného na její výrobu. Vstřikovací forma je složena z různě namáhaných dílů a nikdy se neskládá pouze z jednoho druhu materiálu. Materiál formy je volen dle namáhání jednotlivých součástí formy, druhu vstřikovaného polymeru, velikosti a tvarové složitosti výrobku, odolnosti proti opotřebení, množství vyráběných kusů a ceny. Konstrukční části formy, jako např. opěrné nebo kotevní desky jsou méně náročné na kvalitu materiálu než části funkční, které jsou více namáhané na opotřebení, tlak a na korozi. Mezi funkční části patří např. tvarové vložky, vyhazovače, vodící trny atd. [13]

Nejčastější a nejdůležitější materiály pro výrobu vstřikovacích forem jsou oceli. Druhů ocelí je velké množství a každá má své specifické vlastnosti, které určují její použití. Tvarové dutiny a mechanicky namáhané části vstřikovací formy jsou často vyráběné z nástrojových, legovaných a cementačních ocelí. [4, 13]

Mimo oceli se při výrobě vstřikovacích forem používají i materiály jako hliník, dural, mosaz, měď a různé izolační a ochranné materiály. [4]

3.9.1 Tepelné zpracování dílů formy

K získání požadovaných vlastností materiálu nám pomáhá tepelné zpracování. Tepelné zpracování mění strukturu materiálu a ovlivňuje tím především mechanické vlastnosti. Nejdůležitější typy tepelného zpracování při konstrukci formy jsou:

- žíhání,
- kalení,
- popouštění v návaznosti na kalení,
- chemicko-tepelné zpracování. [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma
- připravit 3D model zadaného dílu
- provést konstrukční návrh 3D sestavy vstřikovací formy
- nakreslit 2D výkres sestavy vstřikovací formy

V teoretické části bakalářské práce byly popsány základní informace a principy technologie vstřikování a byly popsány jednotlivé části vstřikovací formy a jejího příslušenství.

Praktická část se bude zabývat tvorbou 3D modelu zadaného výrobku a následně 3D modelu dvounásobné vstřikovací formy pro výrobu tohoto výrobku. Dále se praktická část bude zabývat tvorbou 2D výkresu formy s pozicemi jednotlivých částí formy, 2D výkresy pravé a levé části formy a kusovníku.

5 POUŽITÝ SOFTWARE

5.1 Catia V5R20

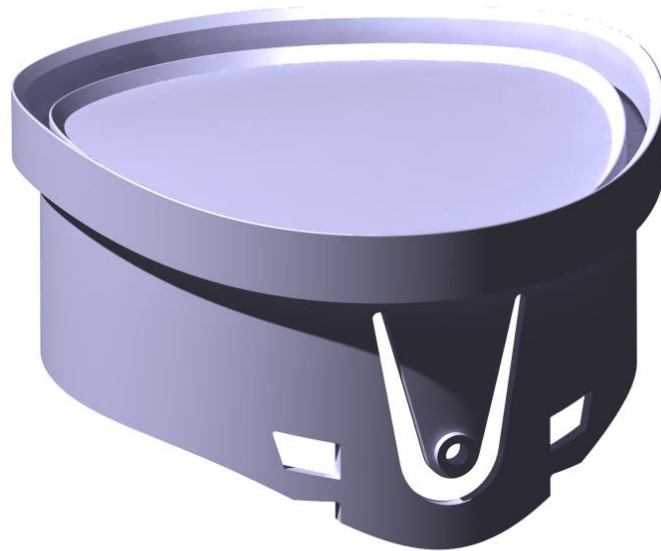
Software Catia V5R20 byl použit k tvorbě 3D modelu zadaného dílu a formy pro jeho výrobu technologií vstřikování plastů.

5.2 Hasco Dako modul 2018

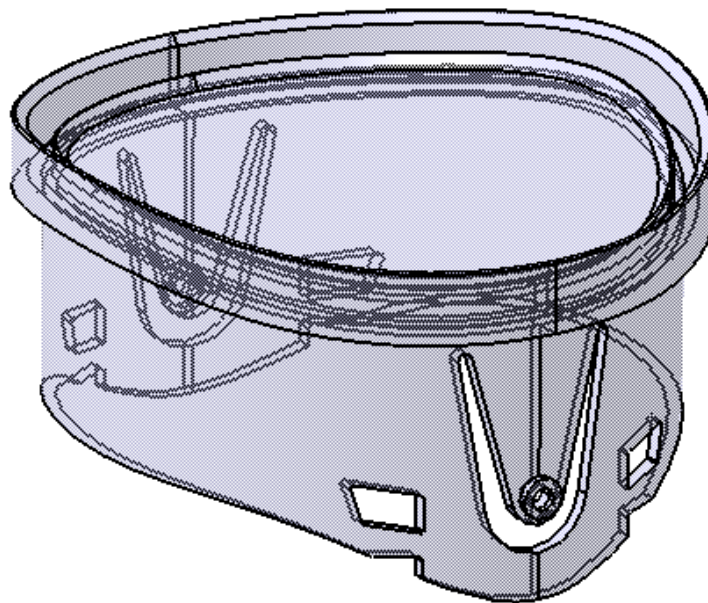
Hasco Dako modul je software s rozsáhlou databází normalizovaných dílů a produktů pro konstrukci vstřikovací formy. Tento software byl použit pro některé normalizované díly v následující práci.

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný díl, pro který je tvořena vstřikovací forma, je část světloometu. Přesněji se jedná o rozptylovou část mlhovky. Model byl vytvořen v Catii V5R20 v modulu generative shape design. Rozměry dílu jsou 53x56x50 mm.



Obr. 24. Vstřikovaný výrobek



Obr. 25. Vstřikovaný výrobek (transparentní)

6.1 Materiál výrobku

Použitým granulátem je PC-ISO. Jedná se velmi trvanlivý materiál. Má vysokou pevnost proti nárazu, ale nízkou odolnost proti poškrábání. Z toho důvodu se na polykarbonátové automobilové komponenty aplikuje tvrdý povlak. PC je vysoce transparentní a má vysokou propustnost světla. Dále se používá na elektronické součástky, ukládání dat (CD, DVD), jako stavební materiál atd.

Teplota skelného přechodu je u polykarbonátu asi 147°C. Druhy polykarbonátu s nízkou molekulovou hmotností se lépe formují, ale jejich pevnost je nižší. Oproti většině termoplastů může polykarbonát procházet velkými plastickými deformacemi, aniž by popraskal nebo se zlomil.

Jako materiál byl zvolen polykarbonát Lean 125 firmy SABIC Innovative Plastic

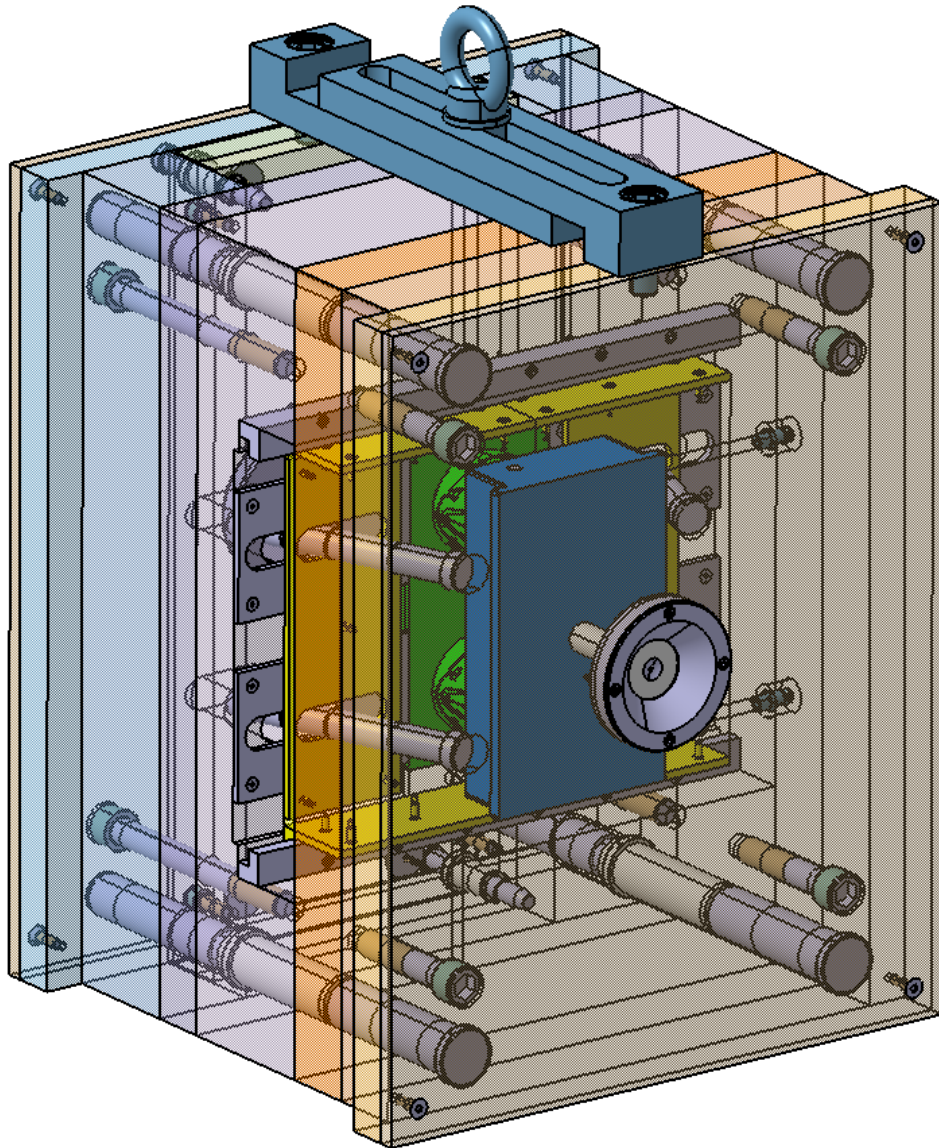
Se smrštěním 0,5-0,7 %.

Vhodné podmínky pro spracování:

- Teplota povrchu formy 104°C
- Teplota taeniny 282°C
- Max. teplota taveniny 333°C
- Vyhazovací teplota 135°C
- Max. smykové napětí 0,5 Mpa
- Max. rychlost smyk. Deformace $40\ 000\text{s}^{-1}$

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

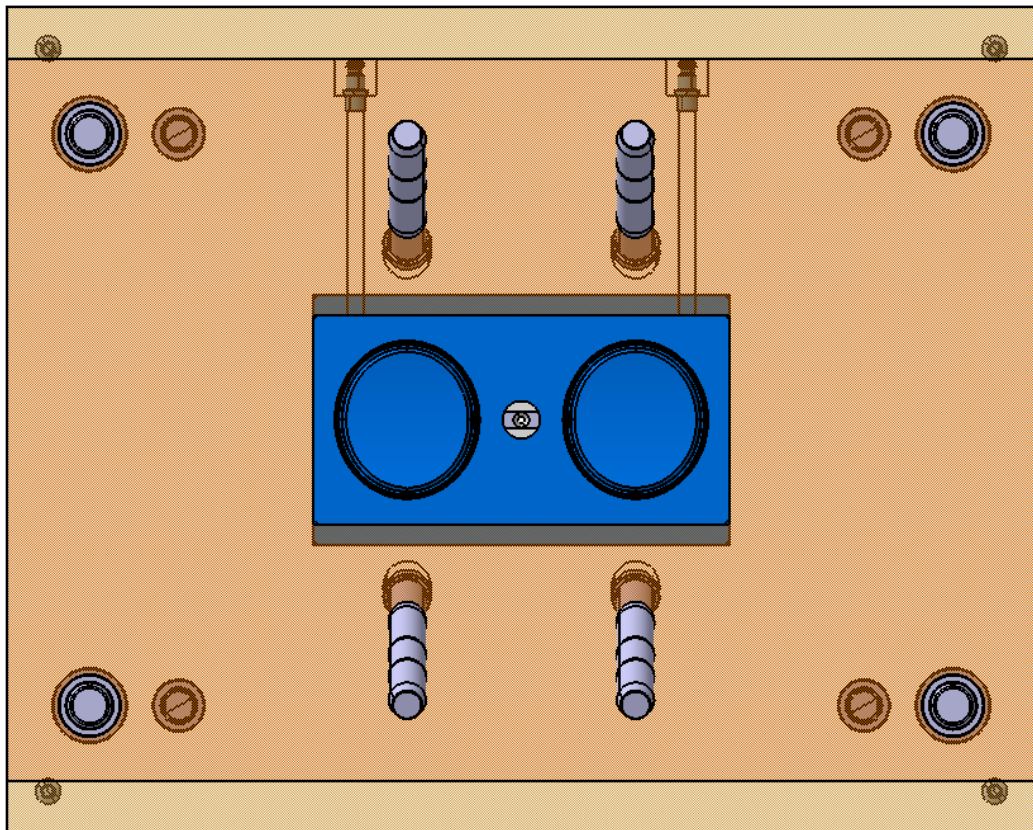
Konstrukce byla provedena převážně za použití modulu Mold tooling design. Forma obsahuje velké množství komponentů, na kterých závisí její funkce. Jednotlivé komponenty byly nejčastěji použity z katalogů firmy HASCO. Nenormalizované díly byly vytvořeny v modulu Part design.



Obr. 26. Vstřikovací forma

7.1 Násobnost formy

Navrhovaná forma byla zadána jako dvojnásobná, tudíž je forma schopna vyrobit dva kusy výrobku na jeden zdvih. Umístění tvarových dutin je pod sebou na výšku. Umístění tvarových dutin je vhodnější volit vedle sebe raději než na výšku. Z důvodů zaformování bočními čelistmi však více vyhovuje rozložení na výšku.

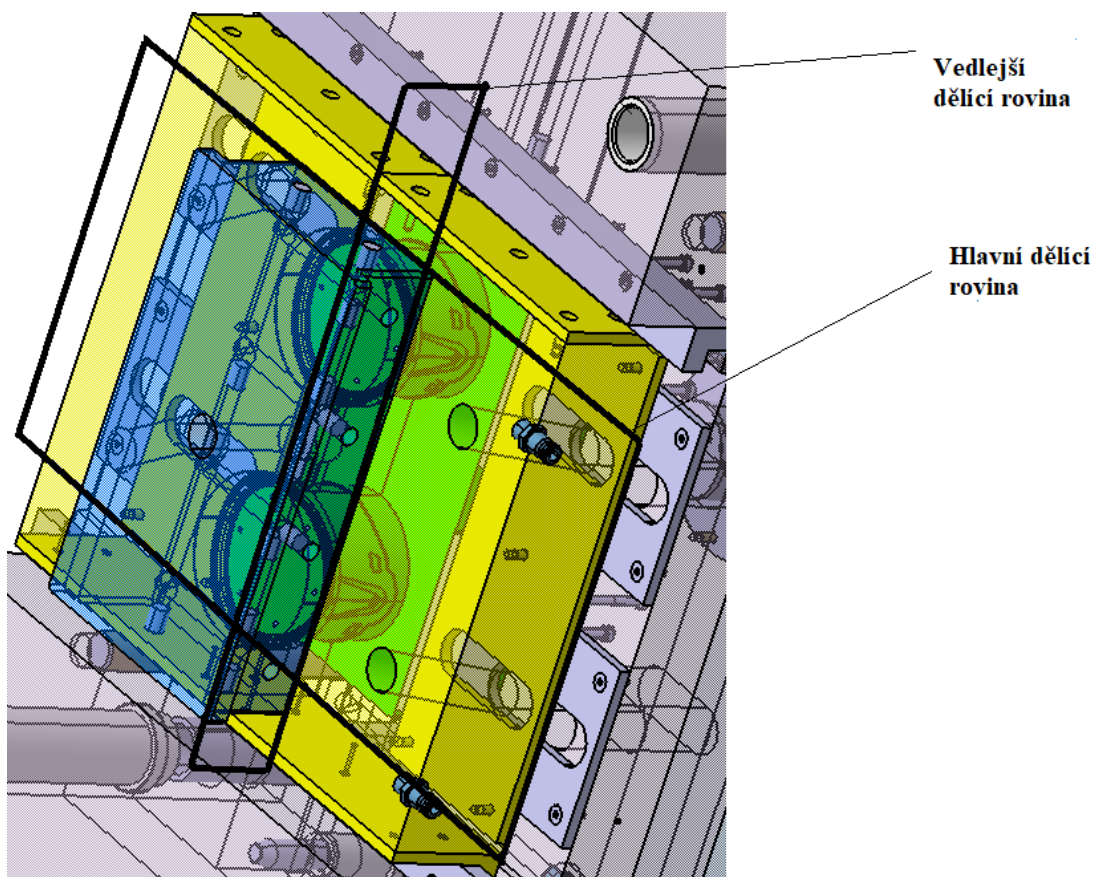


Obr. 27. Pohled na tvárnici a násobnost formy

7.2 Dělicí rovina

Umístění dělicí roviny, popřípadě množství dělicích rovin je závislé na tvarové náročnosti výrobku, který je vstřikován. Dělicí rovina má vliv především na vyhazování výrobku.

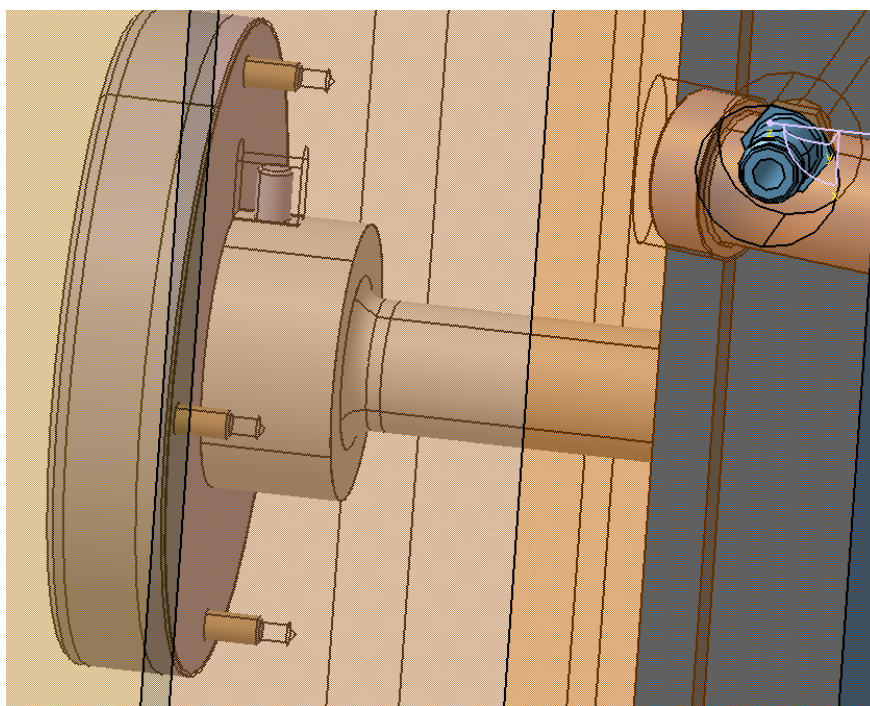
V tomto případě bylo nutno použít dvě dělicí roviny. S množstvím dělicích rovin rostou většinou také výrobní náklady formy a je komplikovanější dodržet požadované rozměry. Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru pohybu pohyblivé části formy. Vedlejší dělicí rovina je rovnoběžná se směrem pohybu pohyblivé části formy. Vedlejší dělicí rovina je zavedena z důvodu odformování tvarových vybrání a děr po obvodu výrobku, které by nebylo možné bez vedlejší dělicí roviny odformovat.



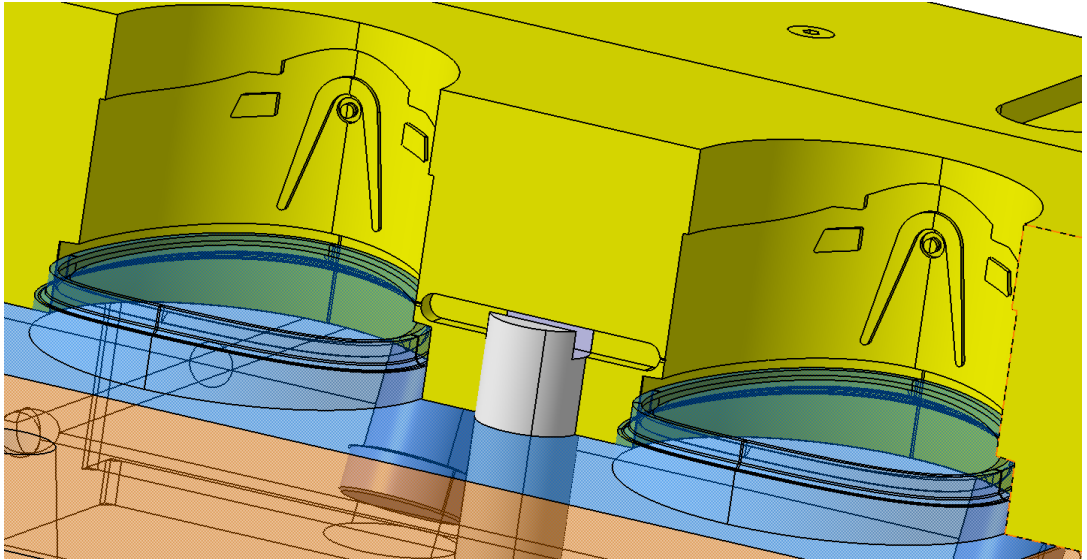
Obr. 28. Dělicí roviny

7.3 Vtokový systém formy

Jeho úkolem je dopravit roztavený polymer ze vstřikovací trysky do tvarové dutiny formy. V této formě se nachází studený vtokový systém, který zvyšuje náročnost na spotřebu materiálu, ale naopak snižuje pořizovací cenu formy. Tavenina je vedena vtokovou vložkou středem formy přes tvárnici až do bočních čelistí, kterými je pomocí kanálku dopravena až do tvarové části formy. Vtoková vložka je zabezpečena proti pootočení zajišťovacím kolíkem. Polymerní tavenina je přiváděna do dutiny formy jen jednou stranou, tudíž je možnost vzniku studeného spoje na jedné straně výrobku, což může způsobit snížení mechanických vlastností v onom místě. Zadaný výrobek ale nemá příliš velké rozměry a nejedná se o příliš mechanicky namáhaný díl, tudíž studený spoj by neměl způsobovat příliš problémů.



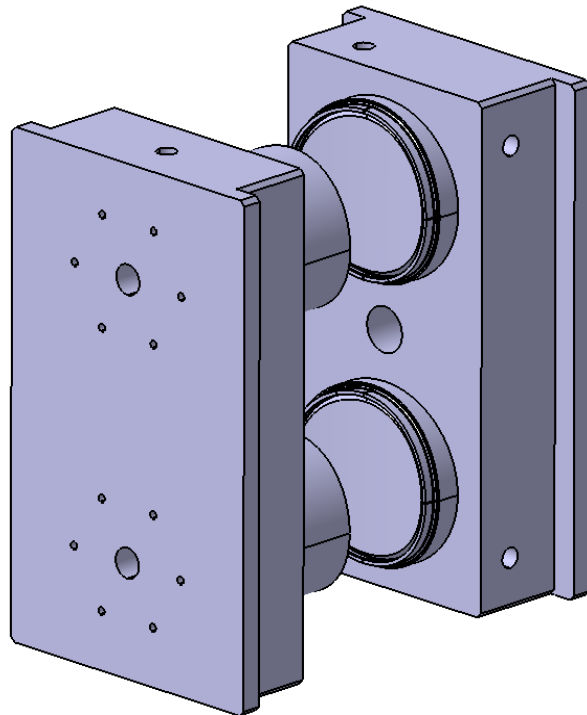
Obr. 29. Vtoková vložka



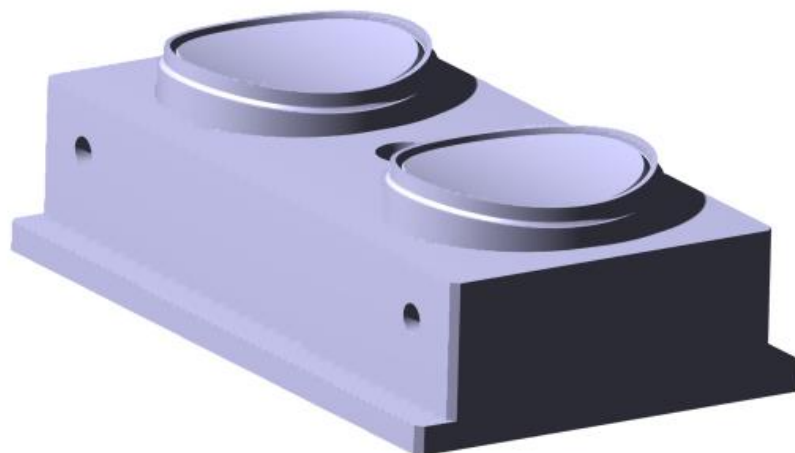
Obr. 30. Vtokový systém

7.4 Tvarové části formy

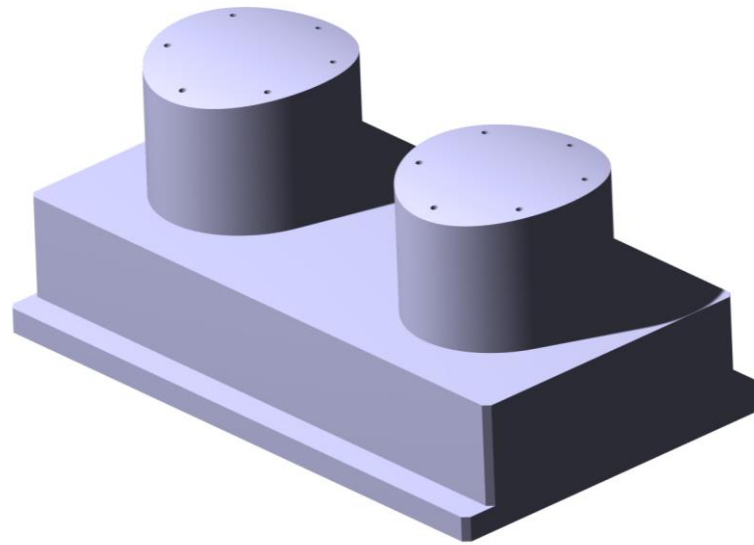
Tvarové části jsou v přímém kontaktu s polymerem a tvarují výsledný tvar výrobku. Tvarová část těchto dílů je negativním obrazem výsledného výrobku, zvětšený o velikost smrštění polymeru 0,5-0,7%. V tomto případě se nachází čtyři tvarové části formy. Jsou to tvárník, tvárnice a dvě boční posuvné čelisti na šikmých kolících. Konstrukce formy po otevření zajišťuje setrvání výstřiku na levé části formy, kde je poté pomocí vyhazovacích kolíků vyhozen z formy ven. Boční posuvné čelisti jsou usazeny v pohyblivé části formy a díky šikmým kolíkům se při otevírání hlavní dělicí roviny otvírá i ta vedlejší. Tyto kolíky jsou ukotveny pod úhlem 20° v pravé části formy. Boční posuvné čelisti jsou opatřeny třecími destičkami pro lepší vzájemný pohyb čelistí a kotevní desky. Boční čelisti formují celý obvod výrobku. Tvárník nám tvaruje vnitřní dutinu válcové části a tvárnice tvaruje čelní tvarovou část výrobku.



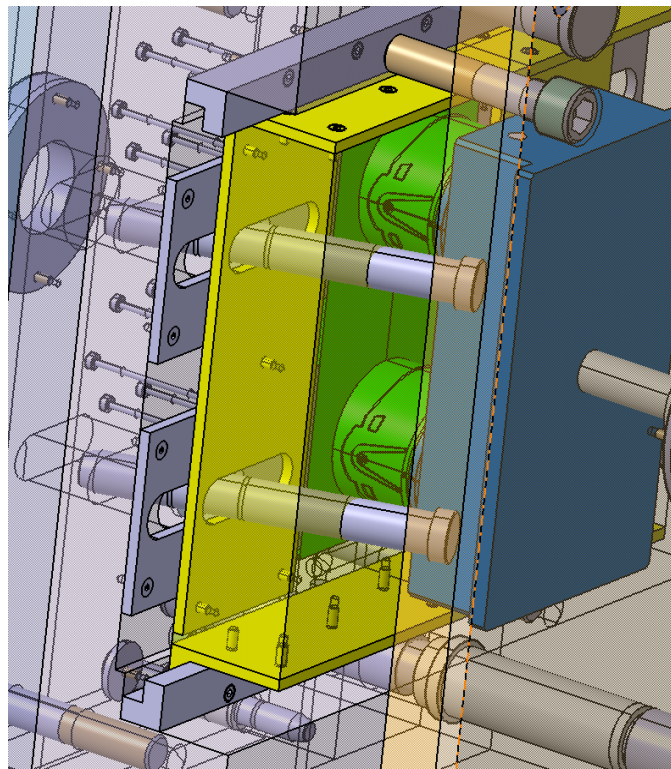
Obr. 31 *Tvárník a tvárnice*



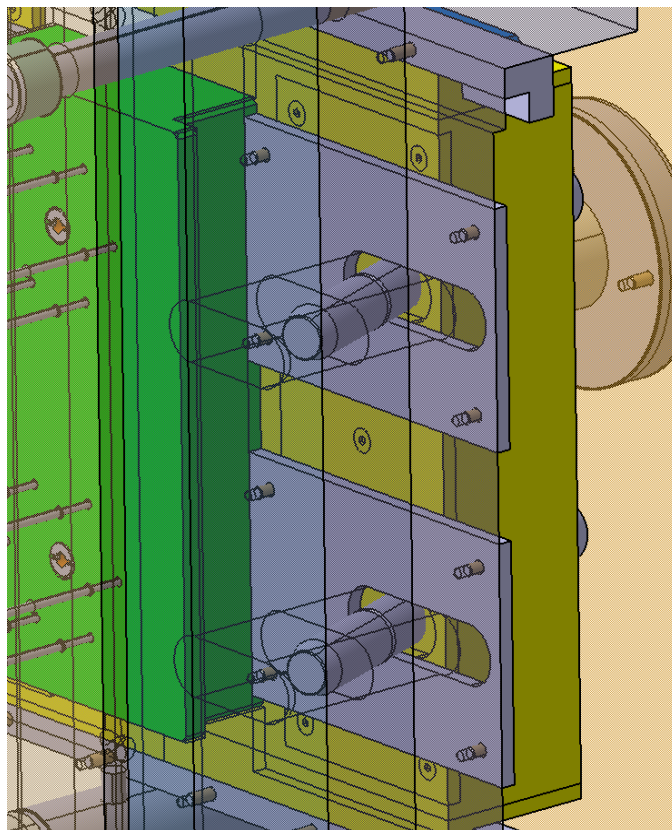
Obr. 32. *Tvárnice*



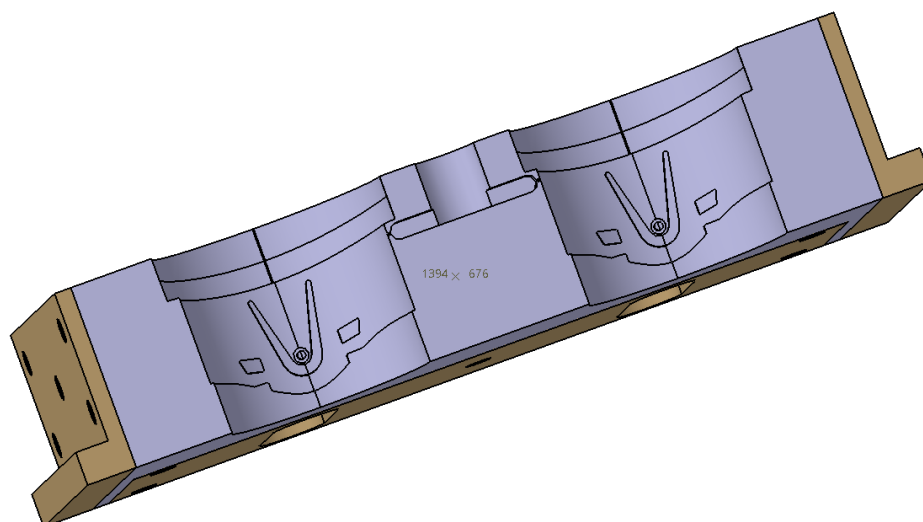
Obr. 33. Tvárník



Obr. 34. Boční čelist (přední pohled)



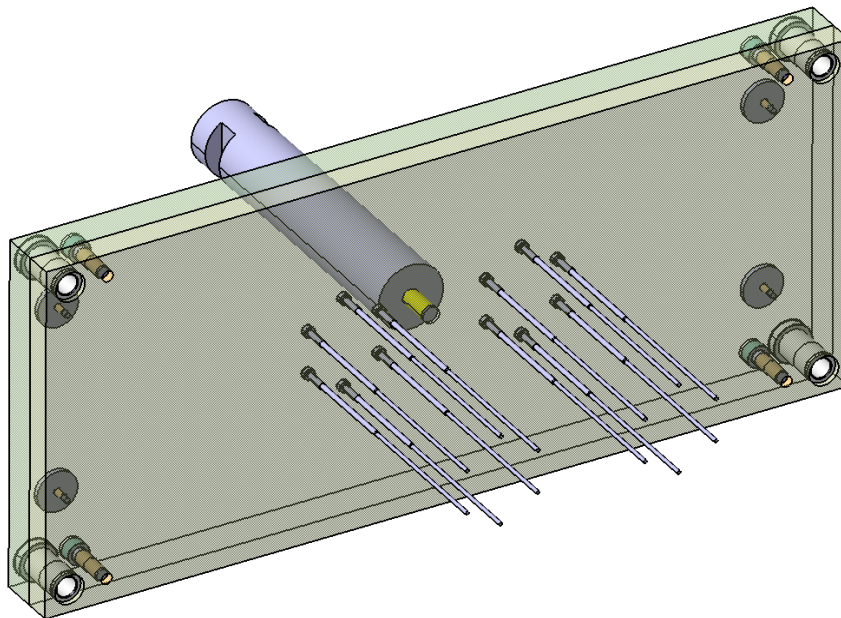
Obr. 35. Boční čelist (zadní pohled)



Obr. 36. Boční čelist- tvarová část

7.5 Vyhazovací systém formy

Po odformování obou dělicích rovin přichází na řadu vyhození výstřiku pomocí válcových vyhazovacích kolíků Z44/2,2x200. Průměr vyhazovacích kolíků je 2,2 mm. Celkem se ve formě nachází dvanáct vyhazovacích kolíků, šest pro každý díl. Vyhazovací kolíky jsou normalizované díly HASCO. Kolíky jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce, zkráceny dle čelní tvarové části tvárníku a jsou zabezpečeny proti pootočení. Opěrná a kotevní vyhazovací deska jsou spojeny šrouby. Pohyb vyhazovacího systému zaručují vodící čepy ukotveny v levé upínací desce, které prochází vodícími pouzdry uloženými ve vyhazovacích deskách. Táhlo je připevněno pomocí závitu k opěrné vyhazovací desce.



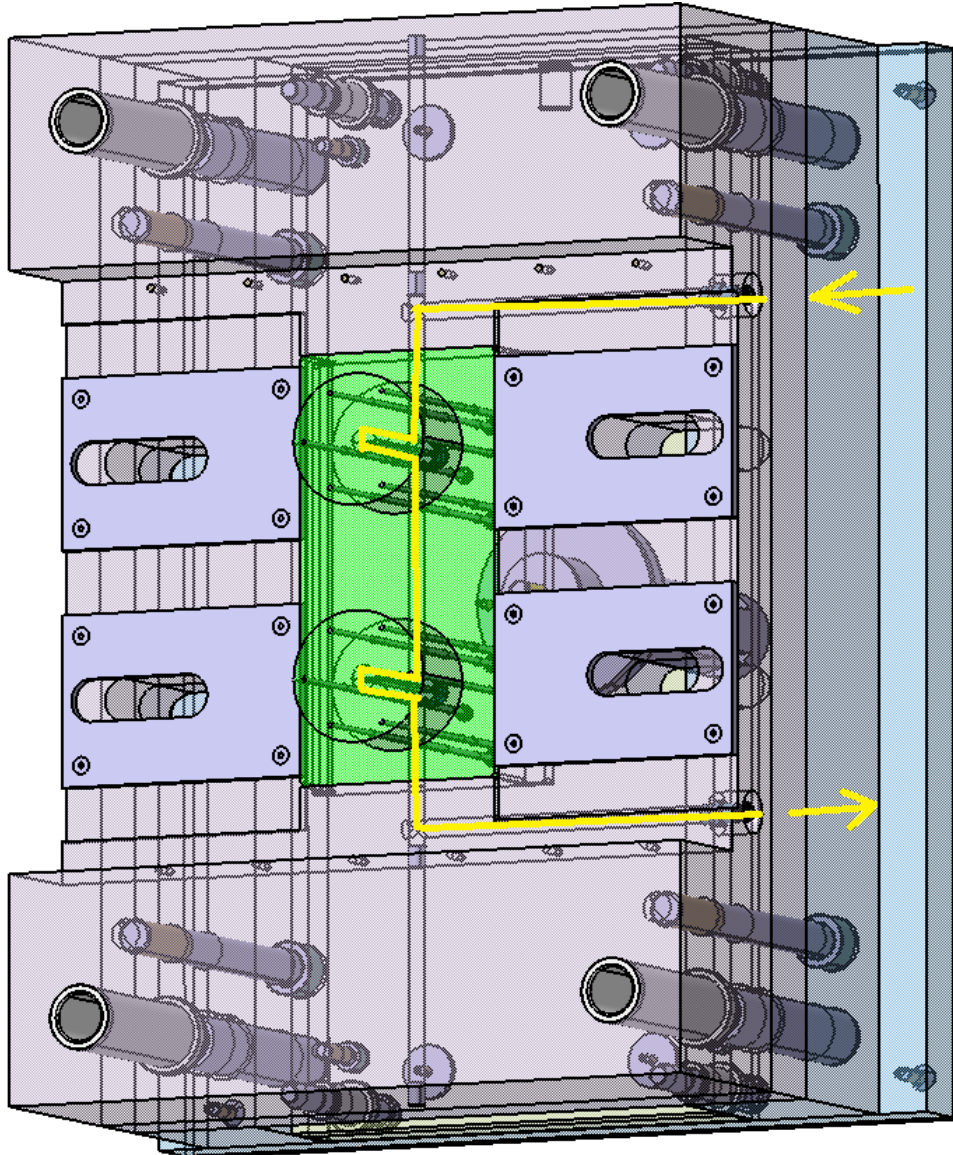
Obr. 37. Vyhazovací systém

7.6 Temperační systém formy

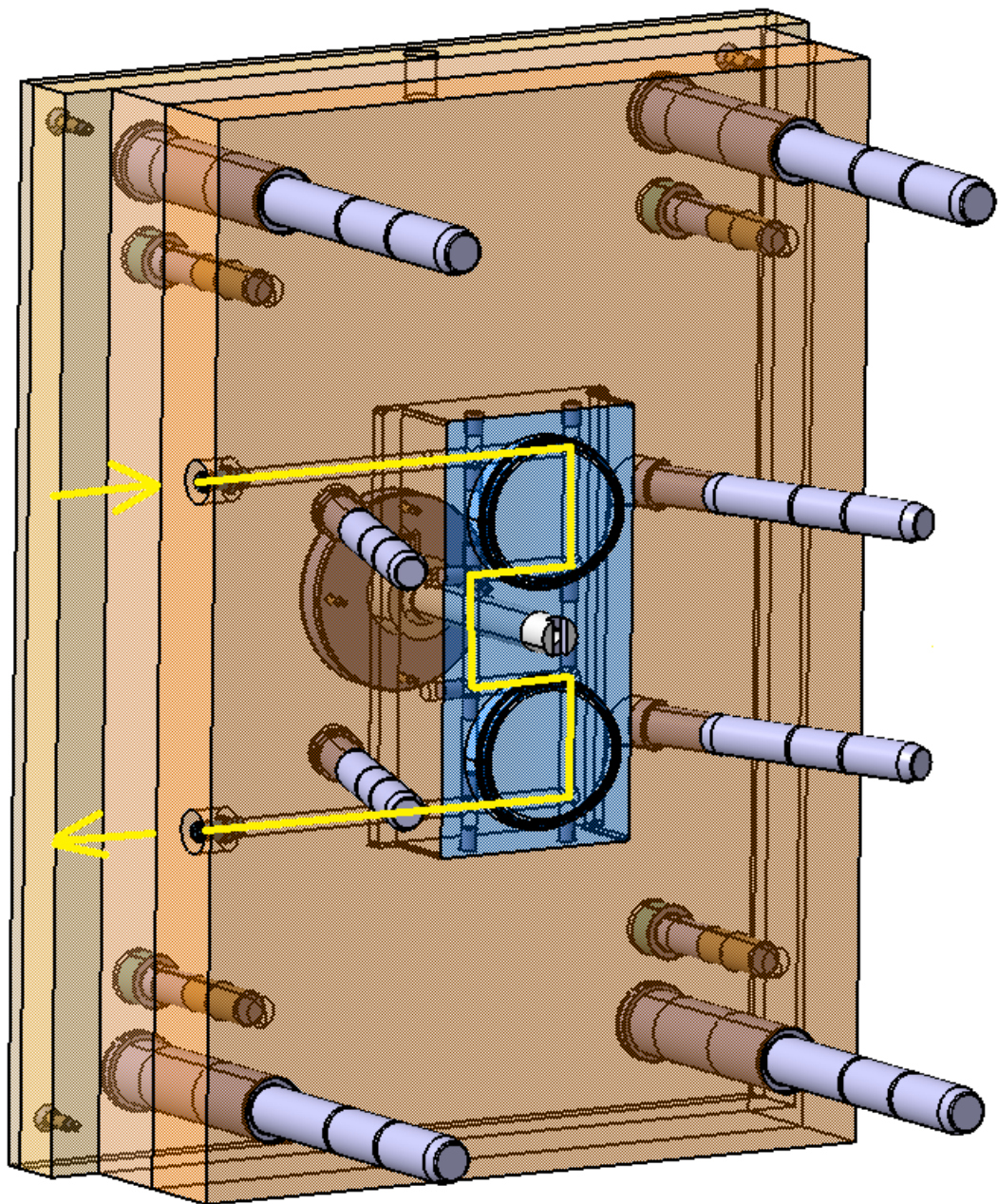
Temperační systém se skládá celkem ze dvou okruhů. Okruhy jsou tvořeny soustavou vrtaných kanálů. Kanály jsou vrtány na průměr 8 mm. V temperačním systému jsou použity ucpávky, spojky a přepážky.

První okruh prochází levou kotevní deskou a tvárníkem, kde jsou použity přepážky pro přívod chladícího média blíže k tvarové dutině formy. Druhý okruh prochází pravou

kotevní deskou do tvárnice, kde je vrtán systém temperačních kanálů tak, aby došlo k vhodnějšímu rozložení chladicího účinku po ploše tvárnice.



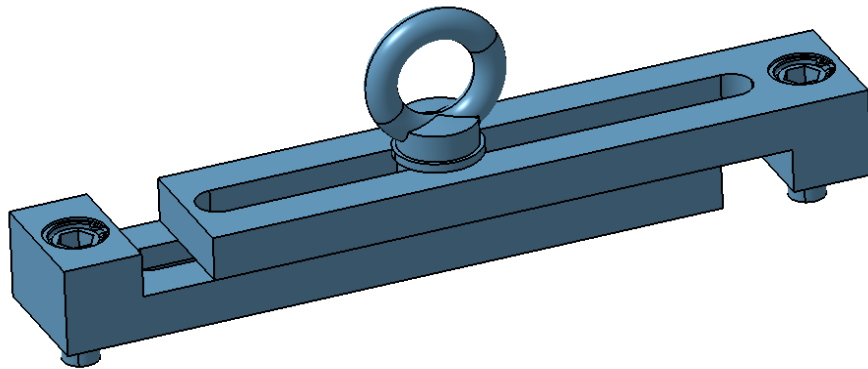
Obr. 38. První temperační okruh



Obr. 39. Druhý temperační okruh

7.7 Manipulační systém

Forma je pro lepší manipulaci opatřena transportní sestavou s okem z normálií. Sestava se skládá ze dvou do sebe zapadajících částí a oka. Je připevněna k formě pomocí dvou šroubů, které jsou uchyceny k pravé a levé upínací desce a zaručují tak bezpečnou manipulaci bez hrozby rozevření formy a poškození tvarových částí.



Obr. 40. Manipulační sestava

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Jako vstřikovací stroj byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj firmy Arburg. Jedná se o model Allrounder 470 C Golden Edition. Vstřikovací stroj byl zvolen tak, aby se forma dala do tohoto stroje upnout a splňovala tak jeho rozměrové požadavky na formu.



Obr. 41. Vstřikovaný stroj Arburg

Tab. 2. Specifikace vstřikovacího stroje

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální uzavírací síla	1500	kN
Maximální délka otevření	500	mm
Minimální výška formy	250	mm
Velikost upínací desky	650x650	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	470x470	mm
Maximální vyhazovací síla	40	kN
Maximální zdvih vyhazovacího systému	175	mm
Celkový výkon stroje	30,4	kW
Průměr šneku	35	mm
Poměr šneku	23	L/D
Maximální objem vstřikované dávky	154	cm ³
Maximální vstřikovací tlak	2500	bar
Maximální krouticí moment šneku	47	m/min

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala vstřikovací technologií a především konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.

V úvodní části nachází seznámení se základními informacemi týkajícími se konstrukce a funkce vstřikovacích forem. Byl popsán vstřikovací cyklus a jeho jednotlivé součásti. Dále byli představeny jednotlivé části užívané při konstrukci dle použití a druhu formy.

Praktická část se už týká převážně konstrukce vstřikovací formy pro zadaný výrobek. Jako první byl vymodelován díl za pomoci programu CATIA V5R20. Následně byla zvolena funkce a mechanismus formy, vytvořeny tvarové součásti a poté vloženy do sestavy formy. Dále byli do sestavy vloženy všechny příslušné komponenty pro správnou funkci formy. Vše za pomoci programu CATIA V5R20. Pokud bylo možno, tak normalizované díly byli opatřeny z katalogu normálií HASCO. Vybrali jsme vstřikovací stroj vhodný pro vytvořenou formu Arburg Allrounder 470 C Golden Edition.

Po zhotovení modelu dílu a vytvoření sestavy vstřikovací formy se všemi náležitými částmi jsme opět za pomoci již zmíněného programu zhotovili výkresy sestavy formy, pohledy do levé a pravé části formy a kusovník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. 2009. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009. 248s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [2] M. BRYCE, Douglas. 1999. *Plastic injection molding: manufacturing processes fundamentals*. SME, 269s, ISBN 10: 0872635031
- [3] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2.upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [5] Materiály z předmětu T5KF
- [6] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2007, xvi, 308s. ISBN 978-1-56990-421-3
- [7] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764s. ISBN 9781-56990-420-6.
- [8] LENFELD Petr. 2016. *Technologie vstřikování*. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [9] *Fakulta strojní technické univerzity v Liberci*. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1916>
- [10] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. ISBN 978-156990-434-3.
- [11] *Katedra tváření kovů a plastů – Skripta*. Dostupný z <http://www.ksp.vslib.cz/>
- [12] *Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni- materiály*. Dostupné z: http://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/
- [13] BOBEK Jiří. 2016. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html>
- [14] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977, 278 s
- [15] HASCO

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

t_{ch}	Doba chlazení.
t_v	Doba plnění formy.
t_d	Doba dotlaku.
t_{pl}	Plastikační doba.
p-v-t	Závislost tlaku, teploty a měrného objemu.
2D	Dvojměrný prostor.
3D	Trojměrný prostor
PC	Polycarbonate

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus [4]</i>	12
<i>Obr. 2. P-t diagram vstřikovacího cyklu [8]</i>	13
<i>Obr. 3. Diagram p-v-T pro amorfni termoplast [8]</i>	15
<i>Obr. 4. Diagram p-v-T pro semikrystalický termoplast [8]</i>	15
<i>Obr. 5. Vstřikovací cyklus v p-v-T diagramu [8]</i>	16
<i>Obr. 6. vstřikovací stroj [13]</i>	18
<i>Obr. 7. Schéma vstřikovacího stroje [12]</i>	19
<i>Obr. 8. Částečně krystalická struktura (vlevo) a amorfni struktura (vpravo) [1]</i>	22
<i>Obr. 9. Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [11]</i>	24
<i>Obr. 10. Základní části formy [8]</i>	25
<i>Obr. 11. Násobnost formy- schématické rozložení [14]</i>	26
<i>Obr. 12. Vhodné tvary rozváděcích kanálů [13]</i>	27
<i>Obr. 13. Plný kuželový vtok řez (vlevo) a 3D náhled (vpravo) [12]</i>	28
<i>Obr. 14. Bodový vtok přímo do dutiny formy (vlevo) a v rozvodovém kanálu (vpravo) [12]</i>	28
<i>Obr. 15. Tunelový vtok [12]</i>	29
<i>Obr. 16. Banánový vtok [12]</i>	29
<i>Obr. 17. Filmový vtok [12]</i>	30
<i>Obr. 18. Vyhřívaná tryska [12]</i>	31
<i>Obr. 19. Rozvodový blok tvaru T [12]</i>	32
<i>Obr. 20. Vyhazovací kolíky [17]</i>	33
<i>Obr. 21. Stírací deska [17]</i>	33
<i>Obr. 22. Příklady jednoduchých temperačních obvodů [12]</i>	35
<i>Obr. 23. Ústí temperačního systému pro připojení hadice. [15]</i>	35
<i>Obr. 24. Vstřikovaný výrobek</i>	40
<i>Obr. 25. Vstřikovaný výrobek (transparentní)</i>	40
<i>Obr. 26. Vstřikovací forma</i>	42
<i>Obr. 27. Pohled na tvárnici a násobnost formy</i>	43
<i>Obr. 28. Dělicí roviny</i>	44
<i>Obr. 29. Vtoková vložka</i>	45
<i>Obr. 30. Vtokový systém</i>	46
<i>Obr. 31. Tvárník a tvárnice</i>	47

<i>Obr. 32. Tvárnice</i>	47
<i>Obr. 33. Tvárník</i>	48
<i>Obr. 34. Boční čelist (přední pohled)</i>	48
<i>Obr. 35. Boční čelist (zadní pohled)</i>	49
<i>Obr. 36. Boční čelist- tvarová část</i>	49
<i>Obr. 37. Vyhazovací systém</i>	50
<i>Obr. 38. První temperační okruh</i>	51
<i>Obr. 39. Druhý temperační okruh</i>	52
<i>Obr. 40. Manipulační sestava</i>	53
<i>Obr. 41. Vstříkovaný stroj Arburg</i>	54

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení polymerních materiálů [1]</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2. Specifikace vstříkovacího stroje</i>	<i>54</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Technické specifikace stroje

PII: Výkresová dokumentace:

- výkres sestavy formy a bočním pohledem s vyznačenými řezy
- výkres pohledu na pravou stranu formy z dělicí roviny
- výkres pohledu na levou stranu formy z dělicí roviny
- kusovník

PIII: CD disk:

- bakalářská práce v elektronické podobě
- výkresy v elektronické podobě

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ SPECIFIKA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Machine model		470 C GOLDEN EDITION
EUROMAP size indication ¹⁾		1500-400
Clamping unit		
Clamping force	max. kN	1500
Closing force	max. kN	50
Opening force / increased	max. kN	35 / 350
Opening stroke	max. mm	500
Mould height	min. mm	250
Daylight	max. mm	750
Distance between tie bars	mm	470 x 470
Platen size (hor. x vert.)	mm	650 x 650
Weight of mov. mould half	max. kg	800
Ejector force	max. kN	40
Ejector stroke	max. mm	175
Hydraulics, drive, general		
Drive power of the hydraulic pump	kW	18,5
Dry cycle time for opening stroke ³⁾	s-mm	1,8-329
Total connected load ²⁾	kW	30,4
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		
400		
Screw diameter	mm	35 / 40 / 45
Effective screw length	L/D	23 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	160
Calculated injection volume	max. cm ³	154 / 201 / 254
Shot weight	max. g PS	141 / 184 / 232
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	25 / 29 / 35
	max. kg/h PA 6.6	12,5 / 15 / 17,5
Injection pressure ²⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1580
Injection flow ²⁾	max. cm ³ /s	128 / 168 / 212
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 160
Circumferential screw speed	max. m/min	47 / 53 / 60
Screw torque	max. Nm	480 / 550 / 610
Nozzle contact force	max. kN	60
Nozzle retraction stroke	max. mm	300
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	8,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,6
Material hopper capacity	l	50
Machine dimensions and weights of the basic machine		
Oil capacity	l	235
Net weight	kg	4850
Electrical connection (pre-fused) ²⁾	A	80

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)				
Injection units according to EUROMAP		400		
Screw diameter	mm	35	40	45
Polystyrene	PS	141	184	232
Styrene heteropolymerizates	SB	137	179	227
	SAN, ABS ¹⁾	135	176	223
Cellulose acetate	CA ¹⁾	158	207	262
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	147	192	243
Polymethyl methacrylate	PMMA	145	190	240
Polyphenylene ether, mod.	PPE	131	171	216
Polycarbonate	PC	148	193	244
Polysulphone	PSU	153	199	252
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	140	183	231
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	131	171	216
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	174	227	287
Polyethylene terephthalate	PET	167	219	277
Polyethylene	PE-LD	106	139	176
	PE-HD	110	143	181
Polypropylene	PP	112	146	185
Fluoropolymerides	FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	225	294	372
	ETFE	196	256	324
Polyvinyl chloride	PVC-U	170	222	281
	PVC-P ¹⁾	157	205	260