

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu

Tomáš Zvoníček

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: **Tomáš Zvoníček**
Osobní číslo: **T16703**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proveďte konstrukci 3D modelu zadaného dílu
3. Navrhněte 3D model vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu
4. Nakrelejte 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 15. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

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 23. 5. 2019

.....

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 nevyjádřeně 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 nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-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 vzdělávacího 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií vstřikování pro výrobu plastových dílů. V teoretické části je zpracována tato technologie včetně problematiky konstrukčních řešení výroby vstřikovacích forem. V praktické části byl zadán výrobek, pro který byla navržena vstřikovací forma na jeho výrobu. Součástí práce je 3D model výrobku i formy a výkresová dokumentace vstřikovací formy s kusovníkem. Ke splnění cílů bakalářské práce bylo využito programu Autodesk Inventor Professional 2018.

Klíčová slova: technologie, konstrukce, vstřikování, vstřikovací forma, plasty

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the injection molding technology for plastic part production. In the theoretical part of this thesis, the injection molding technology is described with examples of problem solving during the process of designing a mold. In the practical part, an injection mold assembly design was created for a specific part, which was given in advance. This thesis also involves 3D model of the part and the injection mold assembly with 2D drawings of the assembly with parts list. Software Autodesk Inventor 2018 was used in order to successfully meet the requirements.

Keywords: technology, design, injection molding, injection mold technology, plastics

Tímto děkuji Ústavu výrobního inženýrství Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za poskytnuté vzdělání a umožnění dokončení této bakalářské práce pod mým jménem. Zejména děkuji doc. Ing. Michalu Staňkovi PhD. za odborné rady a celkovou podporu při tvorbě práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. Dále prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahrána do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.1 PLASTY	12
1.1.1 Termoplasty.....	12
1.1.2 Reaktoplasty.....	13
1.2 ELASTOMERY	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.1.1 Vstřikování termoplastů	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	19
2.2.1 Vstřikovací jednotka	20
2.2.2 Uzavírací jednotka	20
2.3 REOLOGIE POLYMERNÍCH TAVENIN, DISIPAČNÍ OHŘEV A FONTÁNOVÝ TOK	21
3 VÝROBEK – KONSTRUKCE A POŽADAVKY.....	23
3.1 VLIV SMRŠTĚNÍ	23
3.2 PŘESNOST ROZMĚRŮ	23
3.3 JAKOST POVRCHU	24
3.4 KONSTRUKCE SOUČÁSTI.....	24
3.4.1 Tloušťka stěny.....	24
3.4.2 Zaoblení hran a rohů	24
3.4.3 Úkoso a podkoso	25
3.4.4 Žebra	26
3.4.5 Otvory a drážky.....	26
3.4.6 Závity	26
4 PRINCIPY VÝROBY FORMY.....	27
4.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY	27
4.1.1 Horké vtoky.....	27
4.1.2 Studené vtoky.....	28
4.2 TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	32
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	33
4.4 TYPY VYHAZOVAČŮ	34
4.5 VYUŽITÍ PODKOSŮ.....	34
4.6 VOLBA MATERIÁLU VÝROBKU	35
4.7 MATERIÁLY VYUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	37

6	POUŽITÝ SOFTWARE	38
6.1.1	Autodesk Inventor Professional 2018	38
6.1.2	HASCO DAKO Modul R2/2012	38
6.2	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	38
6.2.1	Materiál	39
6.3	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	40
7	VSTŘIKOVACÍ FORMA	41
7.1	NÁSOBNOST FORMY	41
7.2	DĚLÍCÍ ROVINY	41
7.3	UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	42
7.4	ODFORMOVÁNÍ.....	42
7.4.1	Tvárník	43
7.4.2	Tvárnice.....	43
7.4.3	Boční tvárník	44
7.5	VTOKOVÝ SYSTÉM	46
7.6	VYHAZOVARACÍ SYSTÉM	47
7.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	49
7.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	50
7.9	OSTATNÍ KOMPONENTY	50
7.9.1	Vodící čepy a vložky.....	50
7.9.2	Středící kroužky	51
7.9.3	Manipulační zařízení	52
7.10	SESTAVA FORMY	52
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	60

ÚVOD

V průběhu 20. století došlo k zásadnímu zastoupení polymerních materiálů v odvětví výrobního průmyslu. Rozšířené možnosti použití, dobré mechanické vlastnosti a nízká pořizovací cena se stala velkou motivací pro aplikaci těchto materiálů do praktického použití. Světová produkce sice ještě nepřesahuje úroveň výroby oceli, ale již byla překonána úroveň světové výroby barevných kovů o více jak polovinu. Důvodem je hlavně fakt, že náklady na zpracování plastů jsou v mnoha případech několikanásobně nižší než u kovů. Dále s tím související spotřeba energií potřebná k výrobě, která je taktéž nižší než u zpracování kovů.

Největším problémem velkovýroby plastů v současnosti, tak jako už po dlouhou dobu, zůstává regenerace a zpracování použitých plastů.

Technologie vstřikování je velmi produktivní metoda zpracování polymerů pro výrobu plastových dílů. Používá se hlavně pro sériové výroby, kde hlavním lákadlem pro využití této technologie je rychlost, přesnost i možnost výroby tvarově složitých dílů. [1]

Počátek plastového materiálu se datuje k roku 1865. S potřebou vyvinutí nového materiálu přišel výrobce biliardových koulí Phelan & Collendar s tím, že vystoupil s reklamou nabízející 10 000 dolarů tomu, kdo najde náhradu za slonovinu potřebnou k výrobě koulí. V té době totiž docházelo k porážce 70 000 slonů za rok kvůli slonovině a to už by jistě vedlo k vyhynutí tohoto zvířete a tím také ke snížení profitu pro průmysl výroby biliardových koulí. Vypsaná odměna zaujala dvaceti-osmi letého muže příjmením Hyatt, který se živil jako tiskař. Po návratu domů z práce pracoval každý den na tomto projektu a eventuálně v roce 1869 narazil na nitrocelulózu. Po smíchání s různými komponenty a vypaření rozpouštědel z celé hmoty před ztuhnutím byl brzy schopen vyrábět vysoce kvalitní biliardové koule. Ovšem místo toho, aby si vybral odměnu, kvůli které z počátku začal na projektu pracovat, John Hyatt a jeho bratr Isaiah založili vlastní společnost a tím se stali přímou konkurencí pro Phelan & Collendar, čímž zároveň odstartovali plastikářský průmysl. [8]

Obsahem teoretické části této bakalářské práce budou vlastnosti polymerů využívaných pro vstřikování, technologie vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Základní jednotka mer, odvozená od výchozí molekuly – monomeru, při opakovaném spojování vytváří makromolekuly, které tvoří všechny syntetické polymery. Spojováním dvou nebo více druhů základních jednotek vznikají kopolymery.

Struktura řetězců tvořených z makromolekul pak rozděluje polymery na lineární, rozvětvené a síťované. Jejich chemické složení jako druh atomu a chemických vazeb určuje chemické a fyzikálně chemické vlastnosti polymeru. Charakteristika polymeru je přesněji určena distribuční křivkou molekulárních hmotností.

Při rostoucí střední molární hmotnosti polymeru se zlepšují jeho mechanické vlastnosti a zároveň dochází ke zvýšení viskozity jeho taveniny. To ovšem znamená zhoršení tekutosti a s tím zhoršení zpracovatelnosti.

Polymery lze dále rozdělit na plasty a elastomery. [2]

1.1 Plasty

Proces vstřikování pak začíná nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji, kde se pak dále dopravuje při určité teplotě a tlaku do dutiny formy. Jakmile je výrobek ochlazen následuje vyhození z formy.

Při volbě konkrétního materiálu pro výrobu plastového dílu se přihlíží na funkčnost výsledného výrobku z několika hledisek.

Podstatné jsou vlastnosti jako mechanická pevnost, elektrické vlastnosti, chemická odolnost a dále také optické vlastnosti jako průhlednost, barva, lesk apod.

Z hlediska zpracování jsou to pak reologické vlastnosti daného polymeru.

Plasty lze dále rozdělit na termoplasty a reaktoplasty. [1]

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které jsou schopny měnit svůj tvar vlivem tepla a smykovými silami. Výsledný výrobek z termoplastu je po zahřátí možno opakovaně uvést zpět do stavu taveniny a tím pádem znovu tvarovat.

Způsob zpracování termoplastů se odvozuje od jejich chování za tepla. S tím souvisí vlastnosti spojené s jejich přechodem do tekutého stavu, vlastnosti jejich tavenin a vlastnosti

spojené s přechodem do stavu tuhého. Použití konkrétního termoplastu pro výrobu daného výtříku je vázáno na vlastnosti v tuhém stavu a pro požadovaný rozsah teplot.

Reologické vlastnosti tavenin daného polymeru jsou však nejpodstatnější v procesu vstřikování termoplastů. Jejich závislost je odvozena, tak jako všechny jiné vlastnosti, od chemického složení a molekulární struktury.

Změna vlastností termoplastického materiálu je při zpracování vázána na zvýšenou teplotu. Dochází ke změně z křehkého sklovitého chování na chování viskoelastické. Teplota na hranici mezi těmito stavy se nazývá teplota skelného přechodu a je označována T_g .

Při dalším zvyšování teploty a hlavně při působení vnější síly dochází k toku. Teplota této změny je označována T_f – teplota tečení. Vyskytuje se však pouze u polymerů s amorfním uspořádáním částic, které nad touto teplotou udržují stav viskózní taveniny.

U krystalických polymerů v této fázi nedochází k pohybu segmentů z důvodu větších mezimolekulárních sil. Až při dalším zvyšování teploty dojde k uvolnění těchto sil a pravidelná krystalická struktura se rozpadne do stavu viskózní taveniny. Tato teplota se označuje T_m – teplota tání krystalického podílu. Reálný polymer ovšem krystalizuje jen částečně, proto z hlediska uspořádání mřížky zavádíme semikrystalické polymery, které obsahují amorfni části a tím pádem mají svou teplotu skelného přechodu T_g .

V další fázi zvyšování teploty dochází k rozpadu řetězců vlivem intenzivního tepelného pohybu, což vede k destrukci polymeru. Tato teplota je nazývána teplotou rozkladu polymeru T_c . [2]

Teplota taveniny vstřikovaných termoplastů se obvykle pohybuje v rozmezí 200 - 300 °C. [6]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty v první fázi zahřívání měknou a po omezenou dobu je možné měnit jejich tvar. Při dalším zahřívání dochází k síťování struktury, což se nazývá vytvrzování. Po zpracování nejdou zesíťované řetězce teplem rozpojit, což je jeden z hlavních rozdílů oproti termoplastům. V další části zahřívání dochází pouze k rozkladu (degradaci) hmoty. [5]

1.2 Elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které za normálních podmínek lze malou silou deformovat bez porušení. V tomto případě se jedná o deformaci vratnou. V první fázi zahřívání, stejně jako reaktoplasty, měknou a lze je tvářet po omezenou dobu, avšak během dalšího zahřívání dochází k prostorovému síťování struktury, tzv. vulkanizace. Tváření elastomerů po tomto procesu není dále možné. [5]

U elastomerů na bázi termoplastů nedochází k chemickým změnám struktury, ale pouze k fyzikálním. Proces měknutí a tuhnutí lze tedy opakovat teoreticky bez omezení. [5]

Teplota taveniny vstřikovaných elastomerů se obvykle pohybuje v rozmezí 80 – 100°C. [6]

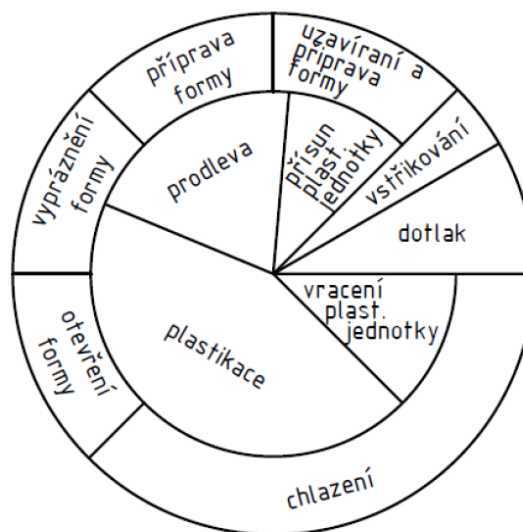
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenější způsob výroby plastů. Skládá se z poměrně složitých fyzikálních procesů, kde celý proces výroby je ovlivněn každým rozhodnutím. Je nutné znát dokonale celý proces, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma, aby bylo dosaženo požadovaného výstřiku.

Tato technologie spočívá v tom, že roztavený polymer je dopraven do dutiny formy a následně ochlazen do požadovaného tvaru. Plasty pro vstřikování jsou nejčastěji dodávány ve formě granulátu a před zpracováním se často zařazuje proces sušení mezi první úkony celého procesu. [1]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus popisuje průběh vstřikování na vstřikovacím stroji.



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [1]

V průběhu vstřikování se uplatňuje celá řada technologických parametrů.

Množství dodávaného materiálu se volí tak, aby došlo k naplnění dutiny formy i vtokového rozvodu a zároveň se přičítá objemový úbytek, vzniklý v důsledku smrštění během ochlazení plastu.

Teplota taveniny se měří při výstupu ze vstřikovací trysky stroje a její hodnota se optimalizuje, aby měla tavenina správnou viskozitu. Nízká teplota zhoršuje zatékavost a vysoká může vést k degradaci materiálu a prodloužení chladicí části vstřikovacího cyklu. [1]

Druh plastu i forma ovlivňuje hodnotu vstřikovacího tlaku a délku jeho působení během plnění dutiny formy taveninou. Tento tlak způsobuje průměr šneku, který působí jako píst. Vstřikovací tlak spolu s časem dále souvisí se vstřikovací rychlostí. Je potřeba dutinu formy dokonale naplnit tak, aby nedošlo k předčasnému zchlazení taveniny. Nízká vstřikovací rychlost obvykle vyvolává nutnost zvýšení teploty taveniny, čímž se zlepšuje přenos tlaku a smrštění se zmenšuje. Vysoká vstřikovací rychlost vede ke zvýšení teploty taveniny vlivem smykového namáhání a to zvyšuje tlak v dutině formy. [1], [2]

Dalším z částí vstřikovacího cyklu je dotlak. Jedná se o obvykle snížený tlak po naplnění formy. Zabraňuje vytékání materiálu a jeho hlavní funkcí je doplnění taveniny o zmenšený objem způsobený poklesem taveniny. Doba dotlaku je omezena zatuhnutím vtokového ústí.

Vstřikovací cyklus podstatně ovlivňuje chladicí čas. Chlazení probíhá v dutině formy bez působení vstřikovacího tlaku. Délka chlazení je ovlivněna druhem materiálu, konstrukcí výstřiku, temperací nástroje apod. [1]

2.1.1 Vstřikování termoplastů

Při vstřikování amorfních či semi-krystalických termoplastů platí, že rozměry výstřiku po vyhození z formy se liší od rozměrů po uplynutí nějaké doby od jeho výroby. Je nutno rozlišovat zda jde o smrštění či o deformaci. Smrštění je objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin. Deformace je změna tvaru při zachování objemu výstřiku. Na objemovou změnu mají vliv vlastnosti termoplastu jako je navlhavost a nasákavost.

Při konstrukci formy se musí se smrštěním počítat, jelikož hlavním požadavkem zákazníka je rozměr výrobku v určité toleranci. Tvarová dutina formy tedy musí být o příslušné smrštění v daném místě větší. Tento požadavek avšak není tak jednoduchý jak se na první pohled může zdát. [2]

Parametry ovlivňující smrštění:

- procesní parametry výroby (tlak, teplota, čas),

- druh termoplastu a jeho vlastnosti,
- tvar výstřiku.

Smrštění je v základě teplená kontrakce, ale z praxe vyplývá, že skutečné zmenšení rozměrů je menší, než by odpovídalo čisté tepelné kontrakci. To je způsobeno několika faktory ovlivňujícími mechanismy, které ji ovlivňují.

Vlivem měnícího se teplotního profilu v době chlazení a teploty stěny tvarové dutiny formy vzniká vnitřní pnutí ve výstřiku.

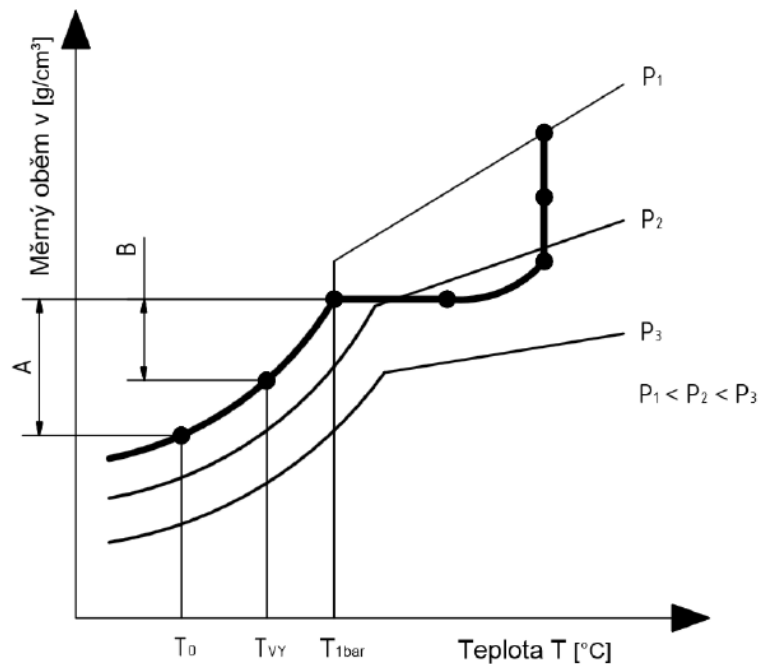
Na krystalizační pochody u částečně krystalických termoplastů má vliv teplota stěny tvarové dutiny formy a chladicí profil.

Tvar výrobku v určitých částech se dá vynutit mechanickými překážkami ve formě, což zajistí tvar v daném místě a ovlivní kontrakci.

Dále na tepelnou kontrakci působí termodynamické procesy v tavenině prostřednictvím tlakového profilu v průřezu dílu po dobu jeho chladnutí na teplotu okolí, působením tlaku a smykového napětí v závislosti na konstrukci a umístění vtoku a prostřednictvím teploty taveniny.

Vliv termodynamických pochodů popisuje $p-v-T$ diagram příslušného materiálu. Tento diagram zobrazuje kompresibilitu a tepelné chování, neboli změnu objemu v závislosti na tlaku a změnu objemu v závislosti na změně teploty, dle označení p – tlak, v – měrný objem, T – teplota.

Uvedené závislosti schématicky znázorňuje obr. 2., kde je znázorněno působení $p-v-T$ chování při vstřikování termoplastů. [2]



Obr. 2. Schématické znázornění vstřikovacího cyklu v $p-v-T$ diagramu [2]

Popis:

Bod 0 – tavenina je stlačena v plastikační komoře vstřikovacího stroje a vzniká vstřikovací tlak, který požadovanou rychlostí dopraví taveninu do ústí vtoku na výstřiku

Bod 0-1 – probíhá naplnění dutiny formy, v bodě 1 je dutina objemově naplněna

Bod 1-2 – tavenina je v dutině formy stlačována, v bodě 2 dosahuje vnitřní tlak při optimálním procesu svého maxima

Bod 2 – změna ze vstřikovacího tlaku na dotlak

Bod 2-3 – dotlaková fáze – tavenina se chladí, tlak a objem se zmenšují, dotlak přivádí malý objem nové taveniny, aby vykompenzoval objemovou ztrátu

Bod 3 – zamrznutí vtokového ústí, zde už dotlak ztrácí smysl, jelikož přes zamrznutí vtokového ústí, není možné dodat další taveninu

Bod 3-4 – tlak klesá beze změny objemu v počátku, v bodě 4 dosahuje tlak v dutině atmosférického tlaku, povrch výstřiku se smršťuje a tím se oddělí od stěn dutiny formy

Bod 4-5 – za konstantního tlaku se výstřik chladí, aby v bodě 5 mohl být vyhozen z formy.

Bod 5-6 – výstřik se chladí mimo formu [2]

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj má kvalitou svých parametrů a dokonalým řízením zajistit výrobu výstřiků v žádané jakosti. Pro konstrukci stroje jsou charakteristickými znaky vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a ovládání stroje.

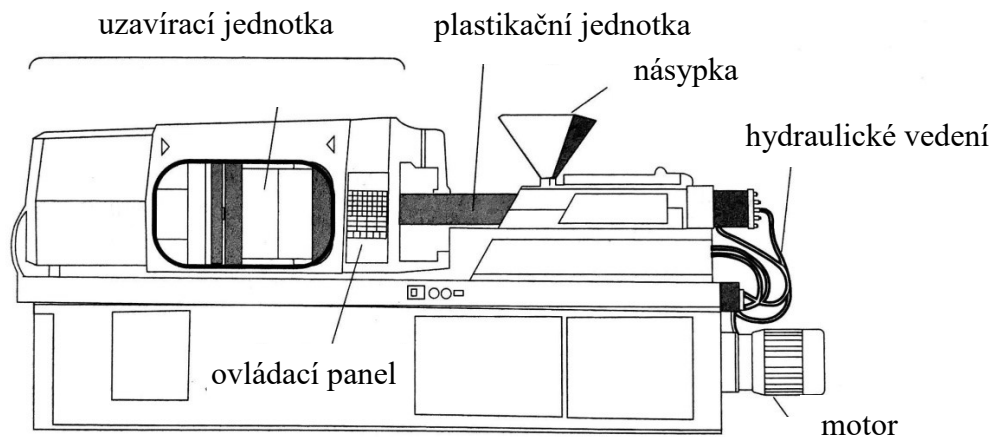
V současné době se staví především hydraulické nebo hydraulicko-mechanické stroje. Ovládací a řídicí prvky jsou umístěny na panelu vstřikovacího stroje, nebo v elektrorozvodné skříni. [1]

Předpokladem pro optimalizaci celého procesu je pravidelná údržba, včetně čištění olejové náplně vstřikovacího stroje.

Stroj se volí s ohledem na uzavírací sílu a kapacitu plastikační jednotky tak, aby bylo dosaženo stejných parametrů při každém cyklu. [2]

Při volbě stroje se dále přihlíží na hmotnost a rozměry výrobku, požadovanou přesnost a kvalitu. [6]

Další z parametrů, na který je při volbě brán zřetel je zpětný uzávěr na plastikačním a vstřikovacím šneku. [2]



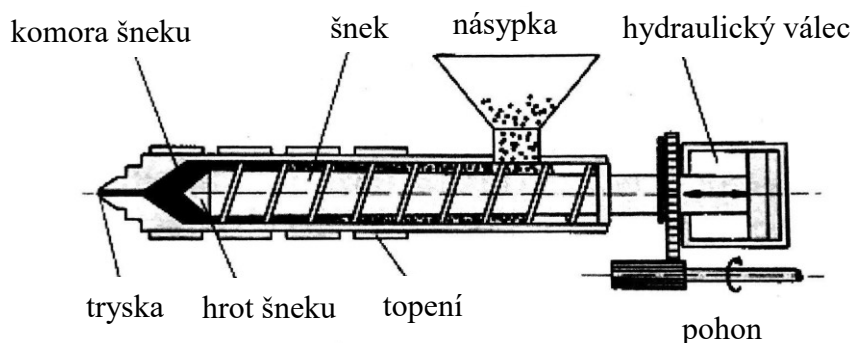
Obr. 3. Schématické znázornění vstřikovacího stroje [7]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací, neboli plastikační jednotka je součástí vstřikovacího stroje a cílem má dopravit požadované množství roztaveného plastu do formy. Maximální množství dopravovaného materiálu nemá překročit 90% kapacity jednotky a optimální množství se udává 80% kapacity.

Práci vstřikovací jednotky zastává nejčastěji šnek, případně píst, který svým pohybem zpracovává dopravovaný plast z násypky. Častěji je plast posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásma. Probíhá postupná plastikace, homogenizace a plast se následně hromadí před šnekem, kde je připraven ke vstříknutí do formy. Šnek současně odjíždí dozadu.

Tavnou komoru zakončuje vyhřívaná tryska, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Tryska má kulové zakončení, aby se zajistilo přesného dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Jejich souosost je podmínkou správné funkce. [1]



Obr. 4. Schématické znázornění vstřikovací jednotky [7]

2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá pohyby formy jako je otevření, uzavření, případně vyprázdnění. Uzavírací tlak je přímo závislý na vstřikovacím tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

- upínací deska pevná,
- posuvná deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus.

Uzavírací mechanismy mohou být hydraulické, hydraulicko – mechanické, nebo elektricko - mechanické. Výhoda použití hydraulických uzavíracích jednotek je, že umožňují nastavení libovolné hloubky otevření nástroje. U strojů malých hmotností se častěji používá hydraulicko – mechanická jednotka, která zaručuje rychlejší uzavírání s potřebným zpomalením před uzavřením formy a dostatečnou tuhost. Je konstruována jako kloubový mechanismus ovládaný hydraulickým válcem. Při seřizování uzavíracích a otevíracích pohybů platí, že tlak na zkrácení výrobního cyklu pomocí rychlých pohybů formy není obvykle produktivní volba, jelikož dochází ke zvýšení nebezpečí poruchy formy. [1], [2]

Ve středním úseku otevíracího nebo uzavíracího pohybu je možné zachovat vyšší rychlosti při nižším tlaku. Snížit rychlost je pak potřeba při přechodu na vodících kolících, či šikmých vedeních čelistí formy.

Součástí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je vyhazovací systém. [2]

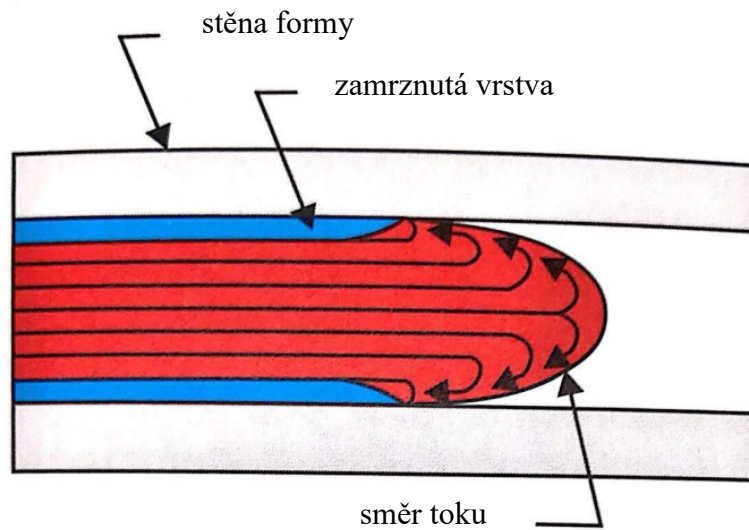
2.3 Reologie polymerních tavenin, disipační ohřev a fontánový tok

Tok polymerních tavenin je značně odlišný od toku nízkomolekulárních kapalin. Nízkomolekulární kapaliny vykazují tzv. newtonské chování a polymerní taveniny vykazují naopak nenewtonské, pseudoplastické chování. K popisu polymerního toku tavenin se používá empirický vztah – mocninový zákon.

Experimentálně se tokové vlastnosti konkrétního polymeru vyjadřují v rozsahu smykových napětí pomocí tokových křivek. Grafem závislosti experimentálně měřených smykových napětí na rychlosti smykové deformace v daném místě se nejlépe vyjadřují tokové vlastnosti polymeru.

Účinkem vnější síly dochází k přeskokům částic a tím změně tvaru. Práce spojená s tímto jevem se obecně mění v teplo. Tento jev se nazývá disipace mechanické energie na energii tepelnou. Při toku taveniny k tomuto dochází neřízeně a je jen otázkou kvantitativních poměrů, kdy se projeví dodatečným zvýšením teploty v daném místě. Disipační výkon je v daném místě úměrný součinu smykového napětí a smykové rychlosti. V místě s největším zúžením tokové dráhy bude dosaženo nejrychlejšího proudění a tedy k reálnému ohřevu polymerní taveniny při jejím toku. Ohřev může způsobit dosažení příliš vysokých teplot a degradovat zpracovávaný materiál. Při vstřikování má stěna tokového kanálu nižší teplotu než teplota tání, resp. tečení. Proto dochází k časově neustálému toku, kdy tavenina tuh-

ne postupně v rostoucí vrstvě na stěně tokového kanálu. Rychlost tuhnoucí taveniny na povrchu chladnoucí vrstvy je nenulová a směrem ke středu se zvyšuje. Takový tok se nazývá fontánový a je to nejvhodnější způsob toku při plnění tvarových dutin forem. [2]



Obr. 5. Schématické znázornění fontánového vtoku [8]

3 VÝROBEK – KONSTRUKCE A POŽADAVKY

Znalost technologie zpracování plastů je zásadní při konstrukci plastového dílu pro vstříkování. Při konstrukčním návrhu je třeba se řídit úplně jinými zásadami, než u součástí tvářených z kovů. [1]

3.1 Vliv smrštění

Na výsledné velikosti rozměrů výstřiku má vliv smrštění. V této části bude věnována pozornost tomuto jevu a jak ho ovlivnit při konstrukci výrobku.

Ke smrštění dochází už během zpracování a to při ochlazení ve formě. Velikost tohoto smrštění se odvíjí od druhu plastu, technologie vstříkování a právě také od konstrukce součástí.

Dodatečně smrštění probíhá po vyjmutí z formy a může se ustálit až po době v řádech měsíců. Toto smrštění bývá několikanásobně menší než smrštění během zpracování. [1]

Jedním ze základních prvků ovlivňujících smrštění je tloušťka jeho stěny. Tloušťka stěny má zásadní vliv na smrštění. Obecně lze říci, že čím větší tloušťka stěny, tím větší smrštění.

Tavenina o stejné teplotě při stejné teplotě stěny formy chladne rychleji v průřezu stěny s menší tloušťkou než v průřezu stěny s větší tloušťkou. V případě menších tlouštěk stěn působí procesy vedení tepla, krystalizační procesy i procesy vedoucí ke vzniku vnitřního pnutí při chlazení kratší dobu. Přesné specifikování vlivu rozdílných tlouštěk na smrštění není možné a z hlediska technologičnosti konstrukce výstřiků by měli být navrženy bez výrazných změn. [2]

3.2 Přesnost rozměrů

Rozměr výrobku je přímým ukazatelem jakosti a proto se stanovuje podle potřebných funkcí s ohledem na vlastnosti plastu. S rostoucí přesností rostou náklady na požadovaný rozměr. Rozměry se stanovují dle normy. Tolerované rozměry podle normy ČSN 014265 a netolerované rozměry dle normy ČSN 640006. [1]

3.3 Jakost povrchu

Při výrobě plastového dílu se dále po požadovaných rozměrech bere ohled na vzhled a jakost. Estetika výstřiku se upravuje dle účelového využití. Hotové součásti tak mohou mít vhodnou barvu, případně transparentnost, hladkost a lesk. Na jakost povrchu výstřiku má přímý vliv povrch dutiny formy.

Matné plochy jsou na výrobu nejjednodušší a proto také ekonomicky nejvýhodnější. V mnoha případech je výhodou, že zakryjí některé vzhledové nedostatky na hotovém výrobku.

Lesklé plochy jsou naopak nejnáročnější a ekonomicky nejnákladnější. Dutina formy musí být zpracovaná tak dokonale, aby splnila požadovanou jakost výstřiku. Lesklý povrch pak naopak od matných zvýrazňuje nedostatky vzniklé během procesu vstřikování.

Pro odstranění těchto nepříznivě vzhledových ploch se často využívá dezénování. Tvar dezénu je omezen pouze možností jeho zhotovení ve formě. [1]

3.4 Konstrukce součásti

Tvar konstruované součásti má být řešen z funkčního a ekonomického hlediska a zároveň podle způsobu výroby. Především je důležité správně polohovat dělicí rovinu, jelikož ta rozhoduje dále o způsobu zaformování, vyhazování, odvzdušnění, úkosování apod. [1]

3.4.1 Tloušťka stěny

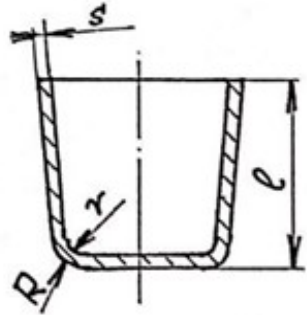
Volba tohoto rozměru je závislá na délce toku plastu a na uzavíracím tlaku. U správné konstrukce by měla být tloušťka stěny jednotná na celém výstřiku. Tam, kde se nedá vyhnout přechodu na tlustší stěnu, se provede odlehčení, nejčastěji na opačné straně. Tloušťka bočních stěn nebo žeber by neměla překročit 80% tloušťky hlavní stěny. [1]

3.4.2 Zaoblení hran a rohů

Zaoblení se využívá pro usnadnění toku taveniny, jelikož zabraňuje koncentraci napětí v těchto místech, čím snižuje opotřebení formy. Ostré hrany jsou možné, ale vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. [1]

Doporučené poloměry zaoblení se liší dle druhu plastu:

Tab. 1. Doporučené poloměry zaoblení [1]

Minimální poloměr			Doporučený poloměr		
Plast	r	R		l	r
Plněné PA, PC	1,5	r+s		>50	1,6
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r+s		50-100	2,5
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, ABS, SAN	0,5	r+s		100-150	4
				150-200	5
			200-250	6	
250-300	8				
300-400	12				
400-500	20				

3.4.3 Úkosy a podkosy

Úkosy a podkosy umožňují nebo zabraňují vyjímání výstřiku z dutiny formy. Velikost se stanovuje podle požadované funkce. Volba velikosti je ovlivněna smrštěním, elasticitou, povrchem stěny formy a automatizací výroby.

Výstřiky bez podkosu jsou výrobně jednodušší, výstřiky s podkosem mají vliv na obtížnost odformování. [1]

Doporučené velikosti úkosů:

Tab. 2. Doporučené velikosti úkosů [1]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' -2° (1°)
Vnitřní plochy	30' -3° (2°)
Otvory do hloubky 2D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°

3.4.4 Žebra

Technická žebra se používají pro zvýšení tuhosti a pevnosti. Technologická žebra se používají pro lepší plnění dutiny nebo brání deformaci stěn. Případně mohou být zvoleny pro zlepšení vzhledových vlastností výrobku. [1]

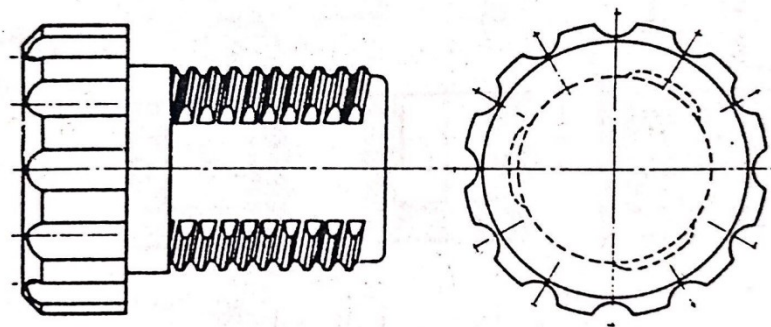
3.4.5 Otvory a drážky

Otvory a drážky je potřeba umístit vzhledem k zaformování. Zhotovení takovýchto prvků se realizuje pomocí čelisti, nebo výsuvných jader. [1]

K výrobě otvorů a drážek se používá pevných kolíků a trnů, jejichž průměr nesmí být menší než 1 mm. Hloubka slepých děr bývá maximálně 5d. U průchozích otvorů je trn opřen z obou stran, může být délka podstatně větší. [1]

3.4.6 Závity

Dalším z prvků, který se může objevit mezi požadavky na výrobu výstřiku, jsou závity. Ty mohou být zhotoveny několika způsoby, s ohledem na vyhození závitu z formy je nejjednodušší způsob ten, když čelisti ve formě mohou být dělené. Trochu složitější a pracnější je metoda nedělené formy, kde se závit musí vytáčet za pomoci různých vytáčecích mechanismů. Závity malých průměrů s malým stoupáním se doporučuje řezat dodatečně na již vyrobené součásti. [1]



Obr. 6. Umístění závitu u výrobku [1]

4 PRINCIPY VÝROBY FORMY

Existuje velké množství vstřikovacích forem pro plastové součásti. Jejich rozlišení lze rozdělit dle několika základních předpokladů. Obecně ovšem nelze klasifikovat jedno vhodné řešení na výrobu vstřikovací formy, jelikož požadavky na výrobu výstřiku se liší v každé zakázce. Je také nutno poznamenat, že je potřeba uplatňovat nové znalosti a získané zkušenosti v praxi. [3]

Při práci na novém problému může designer nahlédnout na podobné případy, jak byly řešeny a co vše bylo potřeba k úspěšné výrobě formy. Avšak pokaždé by mělo proběhnout zhodnocení této předešlé zkušenosti a snaha o inovaci v řešení současného problému. Jeden ze základních požadavků, které je nutno splnit při výrobě formy, která je určena k práci na automatickém vstřikovacím stroji, je aby vystříknuté výrobky byly vyhozeny z formy bez potřeby sekundárních dokončovacích operací. [3]

Z praktického hlediska, volba typu vstřikovací formy se odvíjí od několika základních konstrukčních prvků:

- typ vtokového systému a způsob jeho oddělení,
- typ vyhazovacího systému,
- přítomnost vnitřních či vnějších podkosů na výstřiku,
- způsob otevírání formy.

V dnešní době lze využít několika softwarových programů, které umožňují nejen 3D model vstřikovací formy, ale i simulaci celého procesu. Díky tomu lze ušetřit čas a také výdaje, zatímco funkčnost a efektivita výroby zůstane optimalizována.

Závěrečný návrh konstrukce vstřikovací formy může být zhotoven až po specifikaci požadavků na hotový výstřik a splnění všech kritérií ovlivňujících konstrukci formy. [3]

4.1 Vtokové systémy

4.1.1 Horké vtoky

Při vstřikování termoplastů se často používají horké vtoky či částečně vyhřívané vtokové systémy. Při správném konstrukčním provedení je dosaženo menších tlakových změn než u běžného tuhnutí vtokových systémů, a proto je možné produkovat velké součástky, jako jsou například automobilové nárazníky.

Použití horkého vtokového systému je ekonomicky pro výrobu z hlediska celého výrobního procesu velmi výhodné.

S kompletní eliminací tuhoucích sekundárních vtoků může být celý proces vstřikování dále lépe optimalizován. To totiž může vést ke zkrácení vstřikovacího času a tudíž ke zkrácení vstřikovacího cyklu. [3]

Používání vyhřívaných vtokových systémů v praxi stále narůstá, jelikož umožňuje automatizaci výroby, zkracuje výrobní cyklus, snižuje spotřebu plastu tím, že eliminuje zbytky po vtoku, snižuje náklady na dokončovací práce spojené s odstraňováním vtokových zbytků a odpadá veškerá manipulace se zbytky vtoků, s čímž souvisí hlavně jejich recyklace.

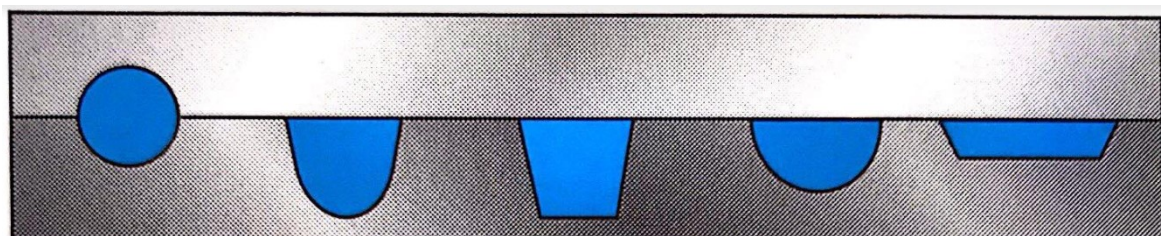
Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [1]

4.1.2 Studené vtoky

Studené vtokové systémy se používají při zpracování některých termoplastů, reaktoplastů a elastomerů.

Cílem studených vtoků je zajistit, aby nedošlo k síťování reaktoplastu či termoplastu ve vtoku, jelikož takový polymer nelze vrátit do stavu granulátu. Tedy teplota vtoků musí být taková, aby nedošlo k síťování. Při volbě studených vtoků je potřeba tento fakt zohlednit v konstrukci vstřikovací formy. [3]

Studené vtokové systémy musí zajistit, aby dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší a byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá. Průřez vtokových kanálů má být dostatečně velký při minimálním povrchu. Tomu nejlépe odpovídá kruhový průřez, nicméně z výrobních důvodů se volí jemu podobný lichoběžníkový tvar. [1]



Obr. 7. Průřezy vhodných vtokových kanálů [8]

Vtoková soustava je tvořena jedním nebo více vtokových kanálů z vstřikovací trysky do dutiny formy. Volba vtokové soustavy se odvíjí od násobnosti formy a tak, aby umístění vtoku umožnilo snadné od-formování výrobku. [1]

Pro jednonásobné formy je nejpoužívanější kuželový vtok, kdy vtok ústí přímo do dutiny formy. Využívá se u výrobků, kde je zapotřebí delší doby dotlaku. K odstranění vtoků po zatuhnutí se používají přídržovače vtoků nebo tří deskový vyhazovací systém.

Kuželový vtok je ideální volba pro cylindrické nebo symetricky tvarované součásti jako jsou například kbelíky, helmy, trubky, tuby, diskovité tvary apod. [8]

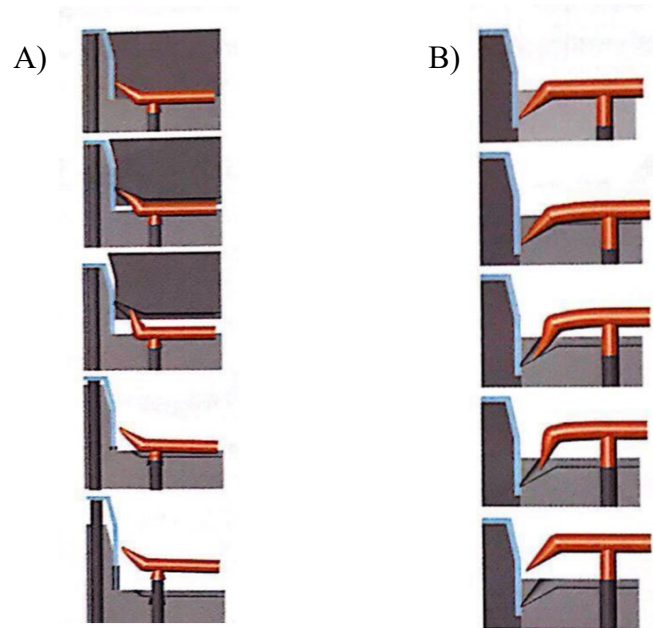


Obr. 8. Kuželový vtok [8]

Tunelový vtok je typický svým kuželovým tvarem, který je u kontaktu se vstřikovanou součástí nejmenší. Během vyhazování vtokového zbytku je ústí vtoků od součásti odtrženo samočinně působením přídržovače vtoků dvěma způsoby (viz. obr. 10.). Tento typ je používán právě pro tuto funkci u standardních dvou deskových forem se studenými vtoky. Avšak může se vyskytovat i v různých variacích. [8]

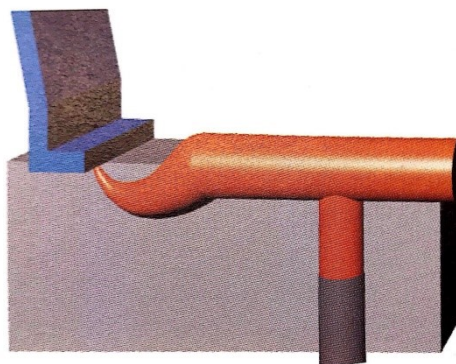


Obr. 9. Tunelový vtok [8]



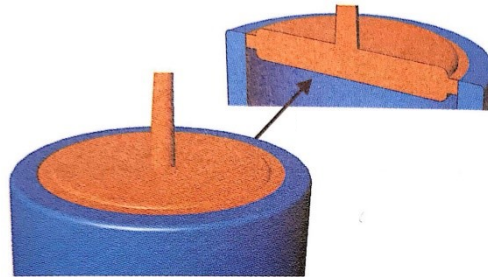
Obr. 10. Samočinné odtržení tunelového vtoku [8]

Banánový vtok je speciálním typem tunelového vtoku. Oproti tunelovému vtoku má výhodu, že se se svým ústím dostane do míst, kterých standardní tunelový vtok nedosáhne. K vyhození je opět potřeba přidržovače vtoku.



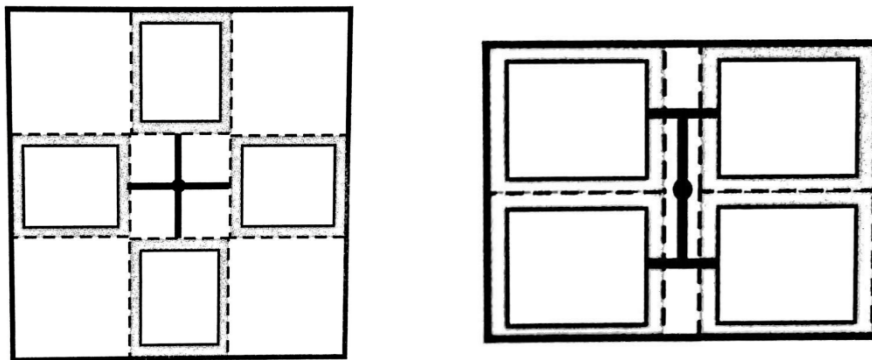
Obr. 11. Banánový vtok [8]

Membránový vtok je vhodná volba u cylindrických součástí, které mají otvor z obou stran (trubky, tuby) a rozměrovým požadavkem je soustřednost. Používá se u tří deskového systému studených či horkých vtoků. Nevýhodou je složité odstranění vtoků.

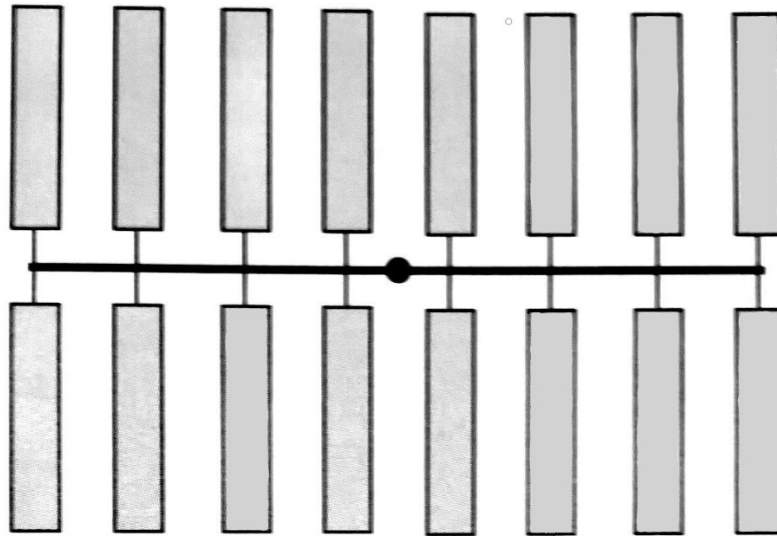


Obr. 12. Membránový vtok [8]

Vícenásobné formy vyžadují různé vtokové systémy, které mají zajišťovat dopravení taveniny do všech výrobku rovnoměrně a ve stejný čas, což zajišťuje geometricky vyrovnaná vtoková soustava. Geometricky nevyrovnané vtokové soustavy nejsou vhodné ve velké většině případů. [8]



Obr. 13. Příklady vyrovnaných vtokových soustav pro čtyřnásobnou formu [8]



Obr. 14. Příklad geometricky nevyvážené vtokové soustavy pro 16 - ti násobnou formu [8]

4.2 Teplota vstřikovacích forem

V závislosti na zpracovávaném polymeru musí být teplo do formy buď přiváděno, nebo z formy odváděno. O tuto úlohu se stará temperační systém. Nejčastěji se využívá olej nebo voda. Podstatnou roli hraje optimalizace teploty chladicího média, jelikož přímo ovlivňuje funkčnost výstřiku. [3]

Konstrukce a typ temperačního systému hlavně ovlivňuje:

- deformaci výstřiku a to hlavně u semi - krystalických termoplastů,
- velikost vnitřního pnutí ve výstřiku, a tedy citlivost k prasknutí. U amorfních termoplastů může být tato citlivost vyšší,
- čas potřebný ke chlazení a tedy čas vstřikovacího cyklu.

Tyto skutečnosti mají velký vliv hlavně z ekonomického hlediska výroby.

Z toho vyplývá, že formy určené pro zpracování amorfních termoplastů nelze bez úpravy temperačního systému vhodně použít pro zpracování semi - krystalických termoplastů, jelikož semi - krystalické termoplasty mají během zpracování větší smrštění. [3]

Zvyšování teploty formy zvyšuje výrobní smrštění a tím snižuje dodatečné smrštění. Teplota formy se zvyšuje k dosažení lepšího povrchového vzhledu výstřiku. Tím, že je stěna formy vyhřívána se také prodlužuje délka tečení taveniny v tokovém kanálu. U amorfních materiálů je dosaženo nižšího vnitřního pnutí a u semi - krystalických materiálů je dosaže-

no zvýšené krystalinity, což má za následek vznik rovnoměrnější vnitřní struktury. Dochází také ke zlepšení některých mechanických vlastností (tuhost, tvrdost, odolnost proti otěru). V neposlední řadě má teplota formy vliv na absorpci vody, zejména u polyamidu.

Zvýšená teplota formy však prodlužuje dobu ochlazování. [2]

Tab. 3. Tabulka doporučených teplot pro vybrané materiály [9]

Materiál	Doporučená teplota formy [°C]	Teplota taveniny [°C]	Doporučená teplota dílu při odformování [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

4.3 Odvzdušnění forem

Do procesu vstřikování zasahuje vzduch, který se uzavře v dutině formy při adiabatickém stlačení, čímž může při vstřikování dosáhnout vysokých teplot a poškodit výstřik lokálním spálením. Veškeré tlaky vzniklé v průběhu vstřikování mohou negativně ovlivňovat celý proces, a proto je v některých případech nutné formu odvzdušnit. Toho se docílí tak, že se v dělicí rovině vytvoří jemné drážky, které umožní unikání vzduchu, ale nikoliv taveniny. K odvzdušnění se také využívají vyhazovací kolíky, které se po části průřezu zploští a vzniklá vůle umožňuje unikání vzduchu. [4]

Umístění místa pro odvzdušnění se volí úvahou na základě získaných znalostí v procesu vstřikování. Je třeba zohlednit jakým způsobem a kterými směry naplňuje tavenina dutinu formy. [6]

4.4 Typy vyhazovačů

Vyhazovače jsou součástí vyhazovacího systému. Zvolený vyhazovací systém by měl zajistit potřebné vyhazovací síly. Vyhazovací síla je přenášena na výrobek právě přes vyhazovače, které mají tuto sílu rozdělit tak, aby došlo k vyhození výstřiku z formy bez znatelné deformace jak výstřiku, tak vyhazovače. Stopy po vyhazovačích by měly být minimální. [6]

Důsledkem smrštění výstřiku při zpracování polymerů mají vystříknuté součásti tendenci se držet v dutině formy (vyjma reaktoplastů). Snahou je aby zůstaly na straně vyhazovacího systému (na straně tvárníku).

Pro vyhození vystříknuté součásti se používají různé typy vyhazovačů:

- vyhazovací kolíky,
- trubkové vyhazovače,
- stírací desky, mříže, kroužky,
- vzduchové vyhazovače, atd.

Volba typu vyhazovačů závisí na tvaru výstřiku. Tlak působící na plochu vystříknuté součásti by měl být co nejmenší, aby nedošlo k deformaci vystříknutého výrobku.

Vyhazovací mechanismus je většinou umístěn na pohyblivé desce v levé straně formy. [3]

4.5 Využití podkosů

Uvolnění podkosů vyžaduje další konstrukční prvky jako například otevírání formy podél několika rovin za využití vodících sloupků.

Podkos lze rozdělit na vnitřní a vnější.

Vnější podkosy lze z formy uvolnit za pomoci:

- kolíků umístěných pod úhlem,
- hydraulických či pneumatických mechanismů.

Vnitřní podkosy pak za pomoci:

- zvedáků,
- samostatných jader připevněných klínem.
- rozkládajícími jádry při rozkladu zmenšujícími průměr oproti původnímu stavu. [2]

4.6 Volba materiálu výrobku

S cílem dosáhnout vysoké funkčnosti jsou vyžadovány různé nároky na volbu materiálu dle požadavků:

- vysoká odolnost proti opotřebení,
- odolnost proti korozi,
- rozměrová stabilita,
- tepelná vodivost.

Ke zvýšení tvrdosti výsledné součásti lze využít různých výplní, jako jsou skelná vlákna nebo různé minerální výplně. Volba vhodného materiálu a povrchová úprava je důležitou částí celého procesu.

Pro odolnost proti korozi se doporučuje použití korozi-vzdorných ocelí jako výplně, nebo povrchové úpravy.

Rozměrovou stabilitu zajišťuje správná volba temperačního systému.

K ovlivnění tepelné vodivosti se používá různých výplní. S každou změnou se mění nejen tepelná vodivost, ale i mechanické vlastnosti. [3]

4.7 Materiály využívané při výrobě forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Mezi základní nároky na výrobu vstřikovací formy patří kvalita výrobku, vysoká životnost a nízké pořizovací náklady. Materiály použité pro konstrukci formy musí dále splňovat nároky jako odolnost proti určitým tlakovým silám vzniklých během procesu, odolnost proti opotřebení, dobré tepelné vlastnosti pro tepelnou výměnu a dobrou obrobiteľnosť. Proto je běžné, že různé části formy jsou z rozdílných ocelí. Tvárník a tvárnice musí být vyrobeny z oceli vhodné jakosti – nejčastěji z oceli třídy 19. Rám formy může být vyroben z nižších tříd oceli, jelikož potřebuje pouze vysokou tvrdost a obrobiteľnosť – například třída 12. [6], [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- proveďte konstrukci 3D modelu zadaného dílu,
- navrhňte 3D model vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu,
- nakreslete 2D výkres sestavy vstřikovací formy.

V teoretické části byla shrnuta technologie vstřikování včetně volby polymerního materiálu i poznatků z konstrukce forem. Získané informace byly dále použity v praktické části bakalářské práce.

Praktická část obsahuje vstřikovaný model zobrazený v 3D softwaru. Předlohou tohoto modelu byl skutečný objekt majáku. Dále je praktická část zaměřena na konstrukci vstřikovací formy pro daný výrobek v programu Autodesk Inventor Professional 2018.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1.1 Autodesk Inventor Professional 2018

Jedná se o 3D CAD software velmi populární na strojírenském trhu pro své rozmanité vlastnosti a poměrně intuitivní, uživatelsky příjemné prostředí. Nabízí mnoho možností simulací a analýz, které lze využít třeba právě při konstrukci vstříkovací formy. Součástí programu je také rozsáhlá databáze normalizovaných součástí, pro použití v 3D sestavě. Po výsledném sestavení 3D modelu, Inventor nabízí vytvoření adaptivní 2D výkresové dokumentace.

6.1.2 HASCO DAKO Modul R2/2012

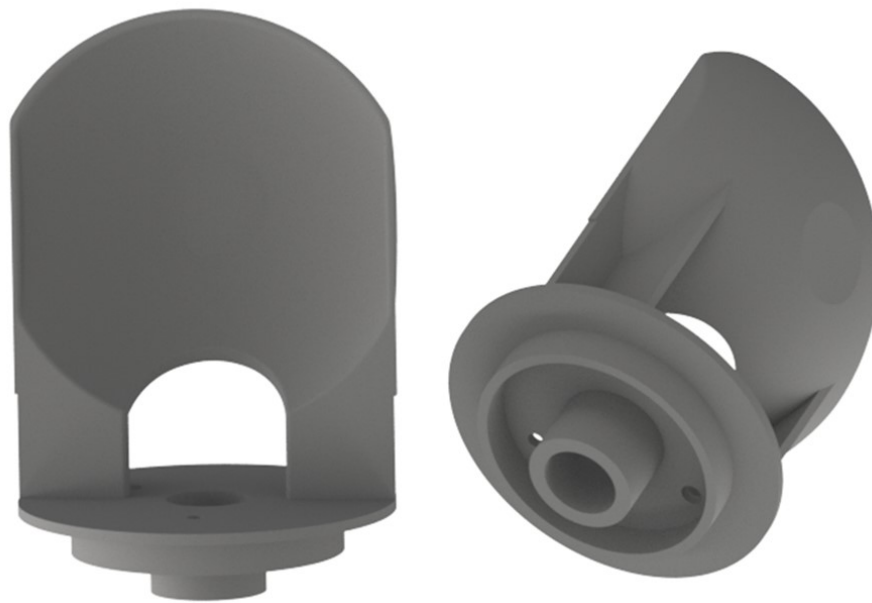
Digitální katalog firmy Hasco obsahující normálie pro konstrukci vstříkovacích forem. Umožňuje přenesení vybrané geometrie normalizované součásti do uživatelem zvoleného CAD systému.

6.2 Vstříkovaný výrobek

Návrh konstrukce vstříkovací formy je zhotoven pro zadaný výrobek, kterým je pohyblivá část majáku.

Při konstrukci formy je nutno brát v potaz všechny faktory ovlivňující parametry a vlastnosti výrobku.

Průměrná tloušťka je 2 mm. Maximální výška je 105 mm a šířka 66 mm. Otvor pro boční odformování je 40 mm hluboký.



Obr. 15. Prostorové zobrazení vstřikovaného výrobku

6.2.1 Materiál

Pro daný výrobek bylo předpokladem zvolit termoplast zaručující výsledné parametry a dobré zpracovatelské vlastnosti. Byl zvolen materiál s obchodním názvem Lustran ABS 680 společnosti LANXESS.

Tab. 4. Charakteristika základních vlastností zvoleného materiálu [10]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,05	g/cm ³
Index toku taveniny (220°C/10kg)	10	g/10min
Smrštění	0,5	%
Teplota měknutí	107	°C
Pevnost v tahu	37	MPa
Modul pružnosti v tahu	2240	MPa

Tab. 5. Doporučené parametry pro zpracování zvoleného materiálu [10]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	260	°C
Teplota formy	80	°C
Teplota při vyhození	89	°C
Rozsah teploty formy	60 - 85	°C
Rozsah teploty taveniny	220 - 280	°C
Absolutní maximum teploty taveniny	310	°C

6.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je volen s ohledem na parametry výroby a rozměry vstřikovací formy. Pořizovací náklady vstřikovacího stroje jsou zpravidla několikanásobně vyšší než cena výroby vstřikovací formy.

Na základě procesních požadavků a rozměrů byl zvolen horizontální vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 720 H.



Obr. 16. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 720 H[11]

Tab. 6. Základní parametry Arburg ALLROUNDER 720 H

Parametr	Stroj	Forma	Jednotka
Vzdálenost mezi sloupky	720x720	645x695	mm
Uzavírací síla	3200	-	kN
Velikost upínací desky	1040x1040	645x695	mm
Maximální výška formy	800	695	mm
Průměr otvoru pro středící kroužek	125	125	mm
Maximální vstřikovaný objem	570	50	cm ³

7 VSTŘIKOVACÍ FORMA

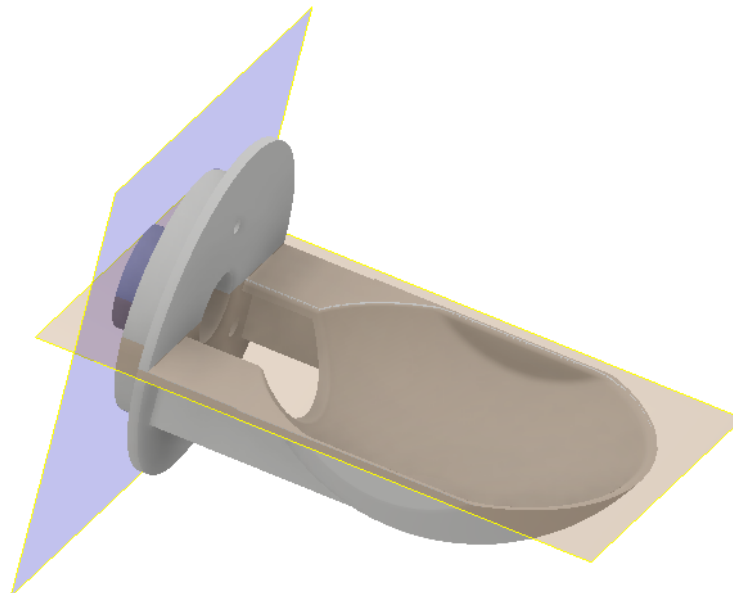
Vstřikovací forma této bakalářské práce byla vyhotovena v modulu Mold Design, který nabízí program Autodesk Inventor Professional 2018.

7.1 Násobnost formy

Násobnost formy určuje složitost odformování výrobku a má vliv například na celkovou velikost formy. Pro sériovou výrobu je cílem navrhnout více násobnou formu současně s udržení kvalitou jednotlivého dílu. Pro tento případ vstřikování výrobku byla zvolena dvojnásobná forma tak, aby výsledkem byly dva stejné produkty. Jelikož výrobek má otvory ve dvou na sebe kolmých rovinách, bylo nutné použití bočních tvárníků.

7.2 Dělicí roviny

Tvar výrobku má největší vliv na umístění dělicí roviny. Dělicí rovina musí být umístěna tak, aby odformování výrobku bylo co nejsnazší. Při konstrukci výrobku byl brán zřetel na odformování tak, že bylo zajištěno plynulých přechodů z ostrých hran na zaoblení či úkosy. Hlavní dělicí rovina je na obrázku označena oranžovou barvou, vedlejší modrou.



Obr. 17. Umístění hlavní a vedlejší dělicí roviny

7.3 Umístění vtokového ústí

Umístění vtoku je důležité pro úspěšné plnění součásti. Pro volbu umístění vtoku se v dnešní době dá použít několik simulačních softwarů. V tomto případě po zohlednění tvaru součásti z hlediska pohledové části výrobku a teoretických předpokladů vstřikovacího procesu je pozice ústí vtoku zvolena do čela součásti dle obr. 18.



Obr. 18. Umístění vtokového ústí

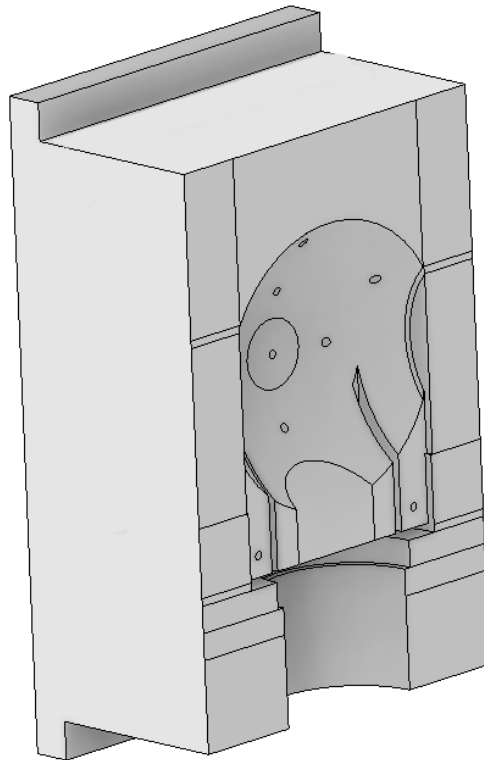
7.4 Odformování

Po určení dělicí roviny následuje návrh tvárníku a tvárnice, které dohromady tvoří dutinu formy. Celkové smrštění materiálu bylo zohledněno při konstrukci dutiny formy a to zvětšením dutiny o hodnotu smrštění materiálu. Dutina formy byla tedy zvětšena o 1,5%.

Pro zajištění odformování bočního tvaru výrobku (viz obr. 16.) je konstruován boční tvárník, který poslouží jako vložka pohybující se na šikmém kolíku. Po otevření formy výrobek zůstane na levé (pohyblivé) straně a bude odformován a odebrán pomocí vyhazovacího systému.

7.4.1 Tvárník

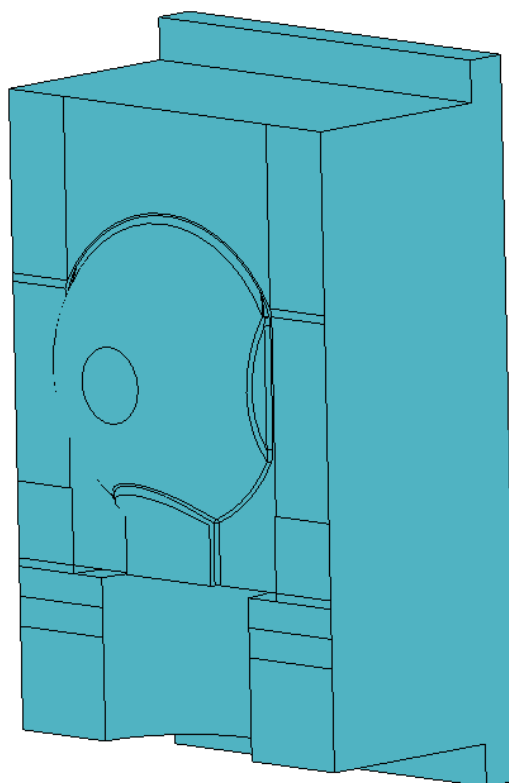
Tvárník je umístěn na levé, pohyblivé straně formy. V tomto případě se po vstříknutí nachází větší část výrobku právě ve tvárníku, a proto je v další části konstruována do tvárníku temperace pro chlazení. Navíc ještě bude následovat návrh konstrukce vyhazovačů procházejících tvárníkem pro odformování výrobku.



Obr. 19. Tvárník

7.4.2 Tvárnice

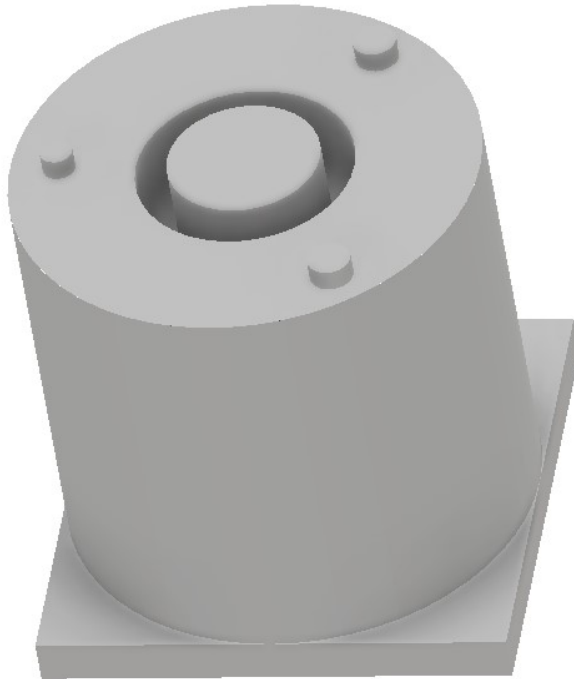
Tvárnice je umístěna na pravé, nepohyblivé straně formy. V další části je do tvárnice konstruována temperace bočního tvárníku.



Obr. 20. Tvárnice

7.4.3 Boční tvárník

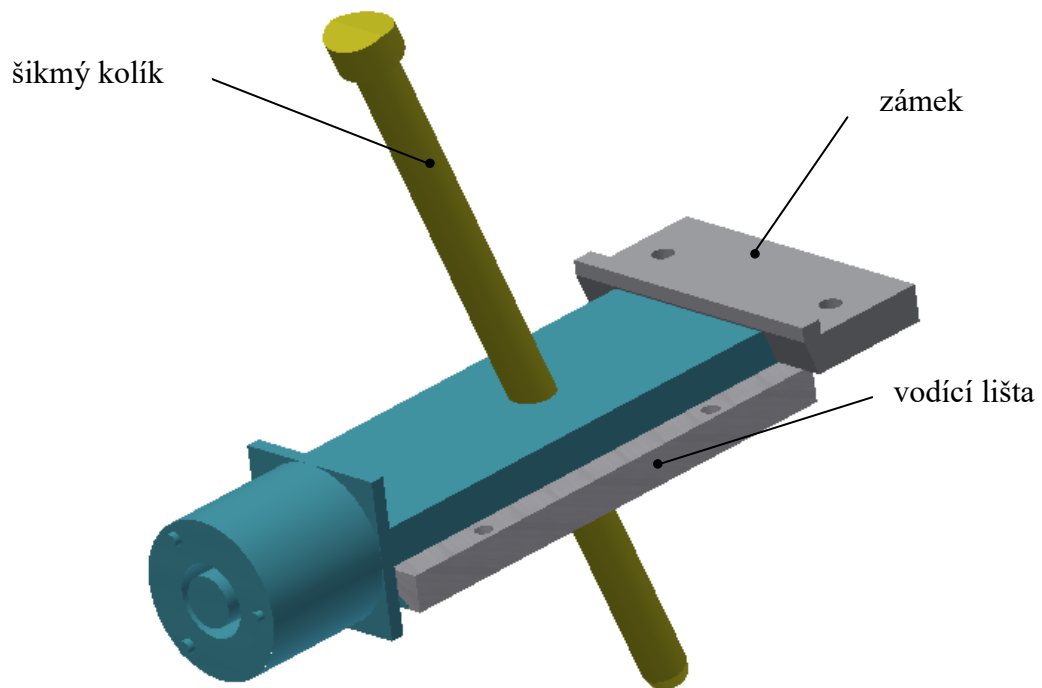
Boční tvárník zajišťuje vytvoření požadovaného tvaru, který nelze vytvořit za pomoci tvárníku a tvárnice nacházejících se v hlavní dělicí rovině.



Obr. 21. Boční tvárník

Pro pohyb bočního tvárníku je použit posuvný mechanismus, který je šroubovým spojením připevněn k pohyblivé straně formy. Šikmý kolík je upevněn v nepohyblivé straně formy a způsobuje posuv ve vodících lištách. Mechanická práce je tedy způsobena otevíráním a zavíráním formy.

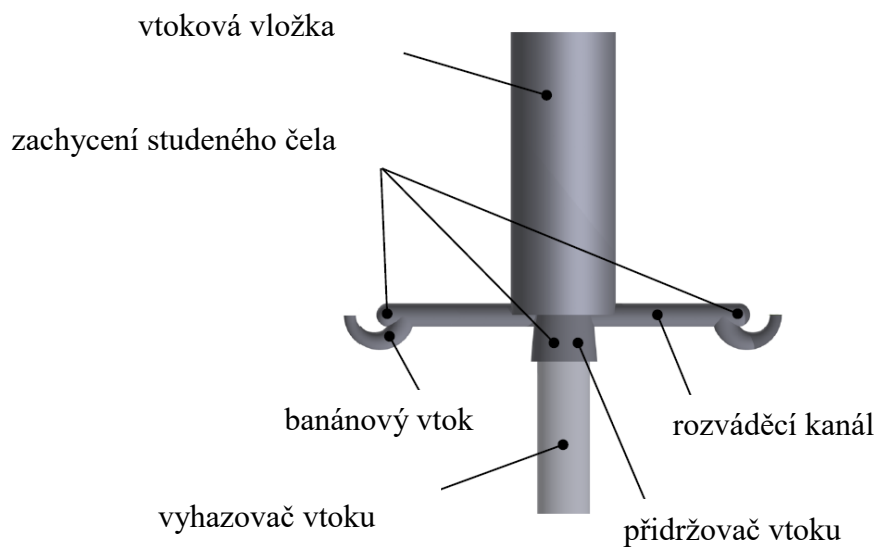
Posuvná deska je vyrobena s tvarem bočního tvárníku.



Obr. 22. Posuvný mechanismus k bočnímu odformování

7.5 Vtokový systém

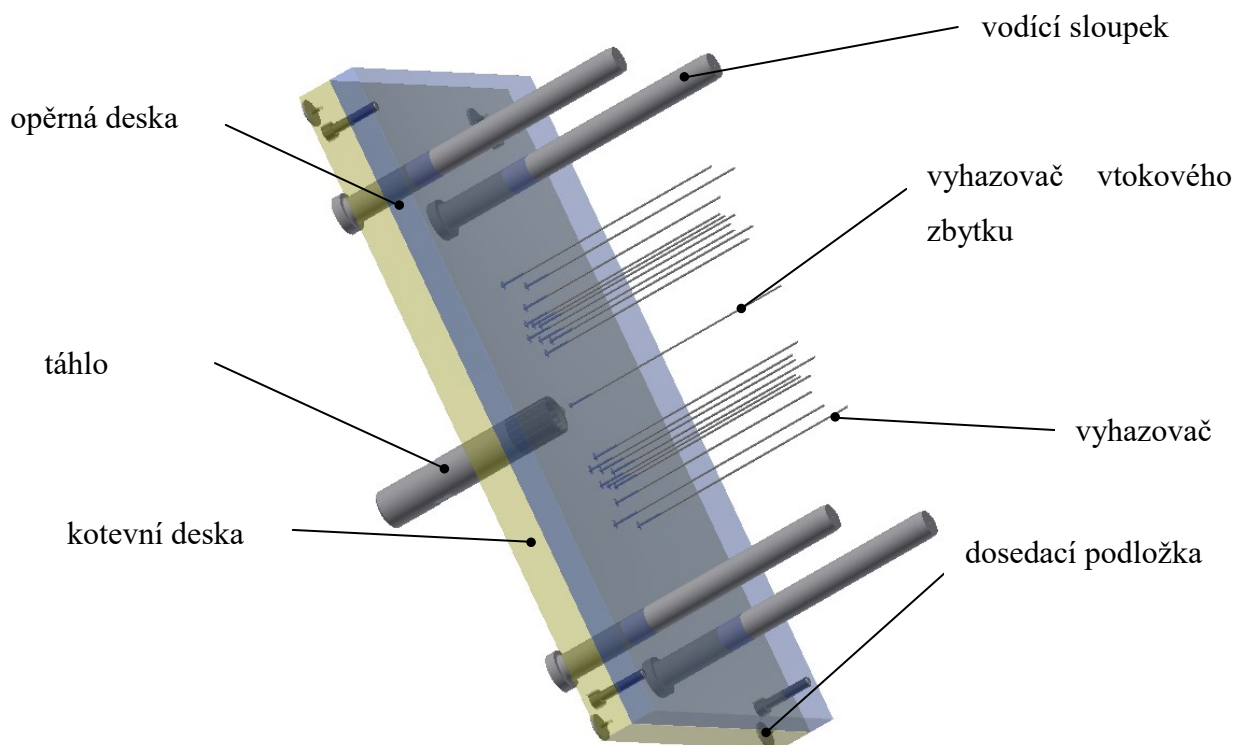
Vtokový systém zajišťuje dopravení polymerní taveniny do dutiny formy. Jelikož byla zvolena dvounásobná forma, je potřeba zajistit aby byla tavenina do každé dutiny dopravena ve stejném množství ve stejný čas. Podle zadání byl navržen studený vtokový systém. Tavenina zahřátá na požadovanou teplotu je vstříknuta do vtokové vložky a dále je tlakem šneku ze vstřikovacího stroje dopravena do dvou rozvodných kanálů, které jsou zakončeny banánovým vtokem. Rozváděcí kanál má půlkruhový průřez a nachází se v tvárnici.



Obr. 23. Navrhovaný vtokový systém

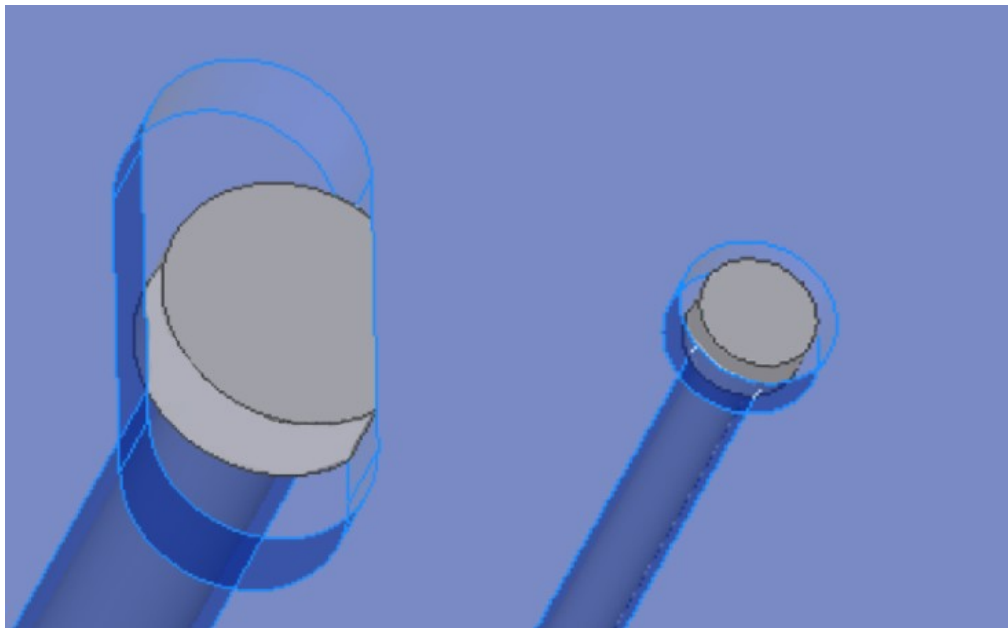
7.6 Vyhazovací systém

Otevření formy zajistí odjetí posuvného tvárníku do požadované vzdálenosti a následuje vyhození výrobku, které zajišťuje vyhazovací systém. Byly zvoleny válcové, prizmatické vyhazovače, které kromě vyhození výrobku odstraní také zbytek vtoku po vstříkávání.



Obr. 24. Navrhovaný vyhazovací systém

Pro každý vstříkovaný výrobek bylo zvoleno 10 válcových vyhazovačů o průměru 2,2 mm a potřebné délce. Zakončení těchto vyhazovačů je zaoblením přizpůsobeno tvaru součásti. Jelikož kvůli zaobleným zakončením má každý vyhazovač jiný tvar, musela být odebrána jakákoliv rotace těchto vyhazovačů. Toho se konstrukčně dosahuje dle obr. 25. Vyhazovač pro vtokový zbytek je válcový o průměru 2 mm, zde rotace nemusí být řešena.



Obr. 25. Vyhazovač se zamezenou rotací a s volnou rotací

Vyhazovače jsou ukotveny v desce na pohyblivé straně vstříkovací formy. K desce je přišroubovaná opěrná deska, která zajišťuje polohu vyhazovačů. Šroubovým spojením je také připevněno táhlo dle obr. 24. Táhlo je ovládané hydraulicky a zajišťuje pohyb vyhazovacího systému.

Na opěrné desce se dále nachází čtyři dosedací podložky

K oddělení vtokového zbytku dojde samočinným odtržením a následným vyhozením jak bylo zmíněno v teoretické části. Pohyb vyhazovače pro vtokový zbytek je současný s ostatními vyhazovači. Vyhazovač pro vtokový zbytek se nachází přímo uprostřed desky.



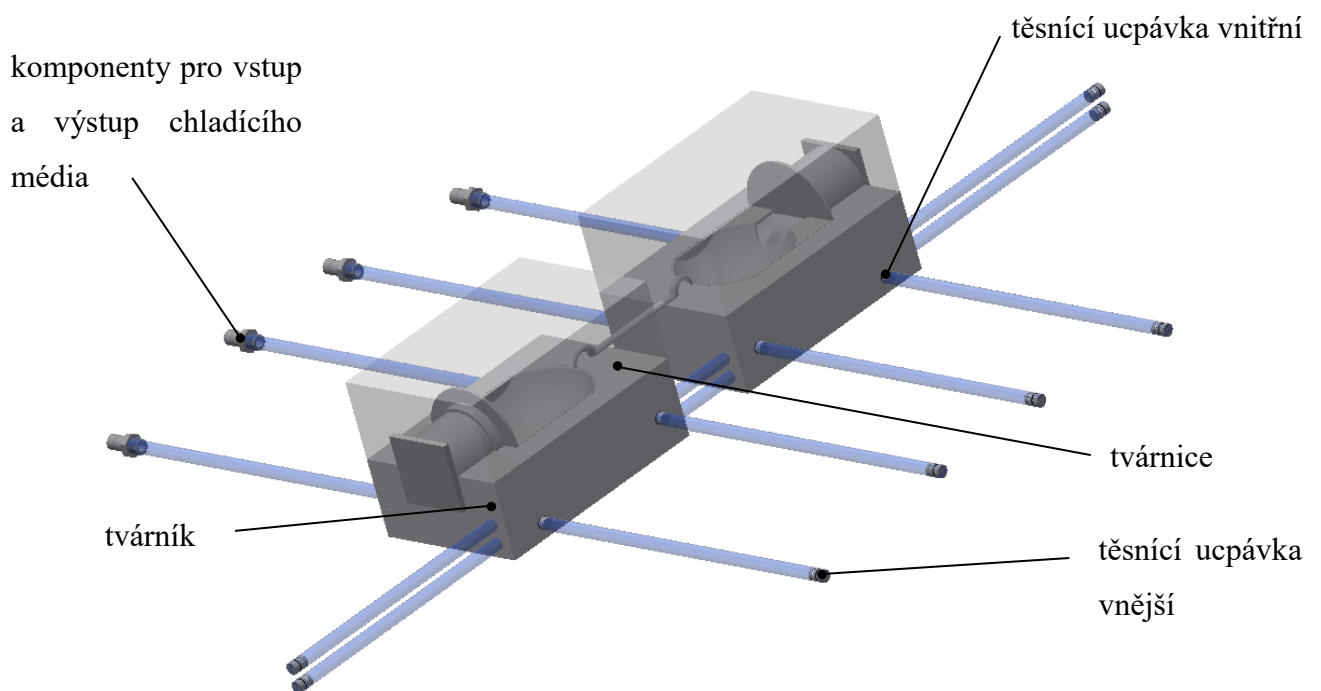
Obr. 26. Vyhození vtokového zbytku [4]

7.7 Temperační systém

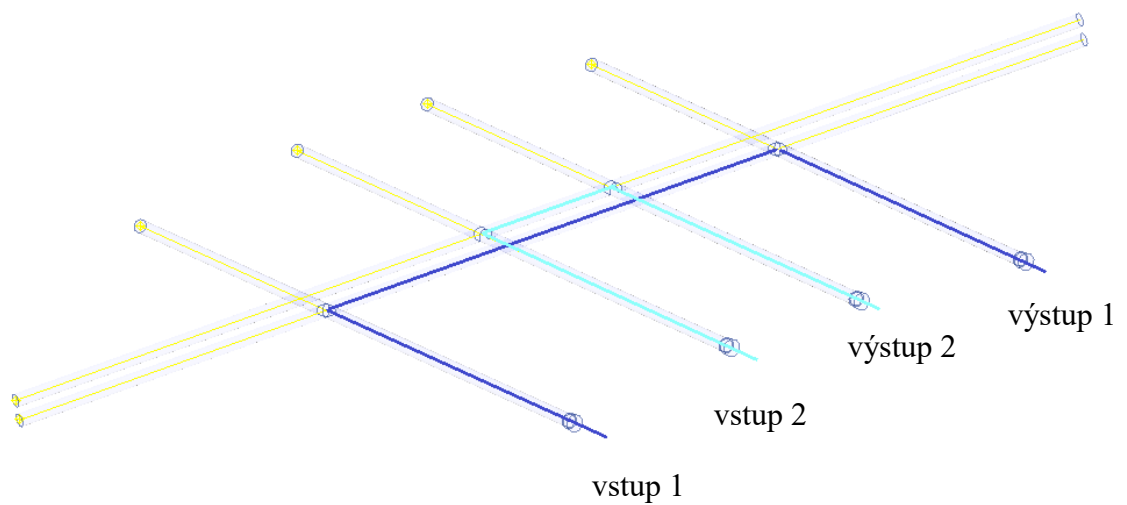
Temperační systém udržuje teplotu formy na požadované hodnotě a tím zajišťuje opakovatelnost výrobních výsledků.

Temperace v návrhu formy je zajištěna pomocí vrtaných kanálů o průměru 8 mm tvořících dva chladicí okruhy rozdělené na vnitřní a vnější chladicí okruh.

Kanály jsou vrtané skrz sestavou a okruh vytvořen pomocí těsnících ucpávek.



Obr. 27. Návrh rozložení temperačního systému



Obr. 28. Detail temperačního systému

7.8 Odvzdušnění

Při uzavření formy zůstane v dutině formy vzduch, který pak vstříkovaná tavenina tlačí před sebou. Vzduch z formy uniká dělicí rovinou a okolo vodící plochy válcovitých vyha-zovačů. V této konstrukci se počítá s tímto řešením, případné problémy s odvzdušněním během procesu by se dále řešily přidáním odvzdušňovacích kanálů.

7.9 Ostatní komponenty

Kromě zmíněných konstrukčních voleb obsahuje vstříkovací forma další řadu prvků, které jsou potřebné pro správné fungování formy. Jedná se o součásti, jako jsou vodící čepy, které zajišťují správnou polohu desek při uzavření formy, šrouby, které spojují jednotlivé součásti, přípojky na temperaci, středící kroužky pro celkové správné uchycení formy do stroje, atd.

7.9.1 Vodící čepy a vložky

Vodící čepy se ve formě nachází jako normalizované součásti potřebné pro správné uložení desek formy. Čepy zapadají do vodících vložek, které jsou přímým spojením mezi deskami. V této práci byly použity součásti z knihovny použitého softwaru.



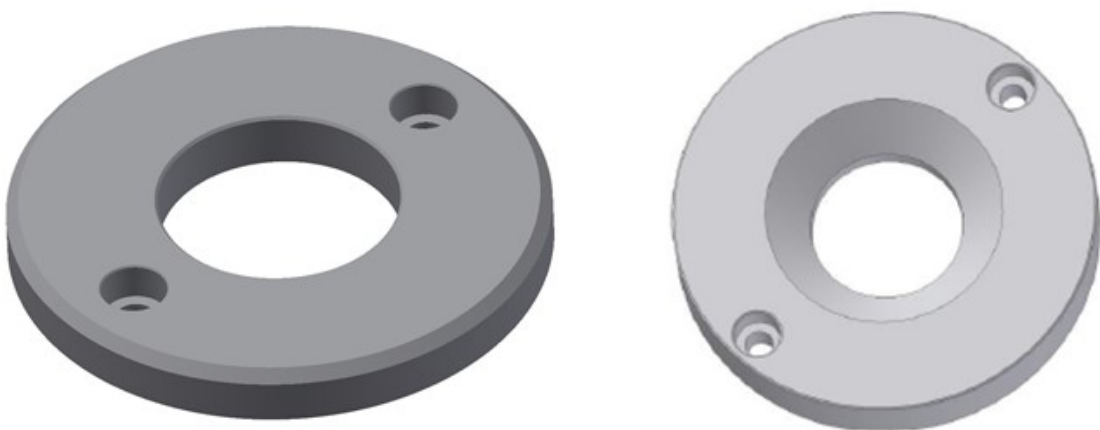
Obr. 29. Vodící čep a vodící pouzdro

7.9.2 Středící kroužky

Středící kroužky se nacházejí na obou stranách formy. Jejich umístění je velmi důležité, jelikož se používají k zajištění přesné polohy formy na vstřikovacím stroji. Do středícího kroužku na pravé straně přijíždí vstřikovací jednotka a přivádí roztavený polymer do vtokové vložky, tudíž je přesnost tohoto kontaktu nutností.

Středícím kroužkem levým prochází táhlo vyhadzovačů, proto není nutné zploštění vnitřního průměru, oproti pravému kroužku, do kterého najíždí vstřikovací jednotka a zploštění se naopak vyžaduje.

Vnější průměry obou kroužků v konstrukčním návrhu jsou 125 mm.



Obr. 30. Středící kroužek levý a pravý

7.9.3 Manipulační zařízení

Hmotnost formy, ve většině případů, dosahuje vysokých hodnot a k její manipulaci je zapotřebí pomocné techniky. Na vrchní část formy je tedy přidán transportní můstek se závěsným šroubem pro uchycení například do jeřábu. Na boční straně formy se navíc nachází zámek, který zabraňuje otevření formy během transportu.



Obr. 31. Nosné zařízení se závěsným šroubem

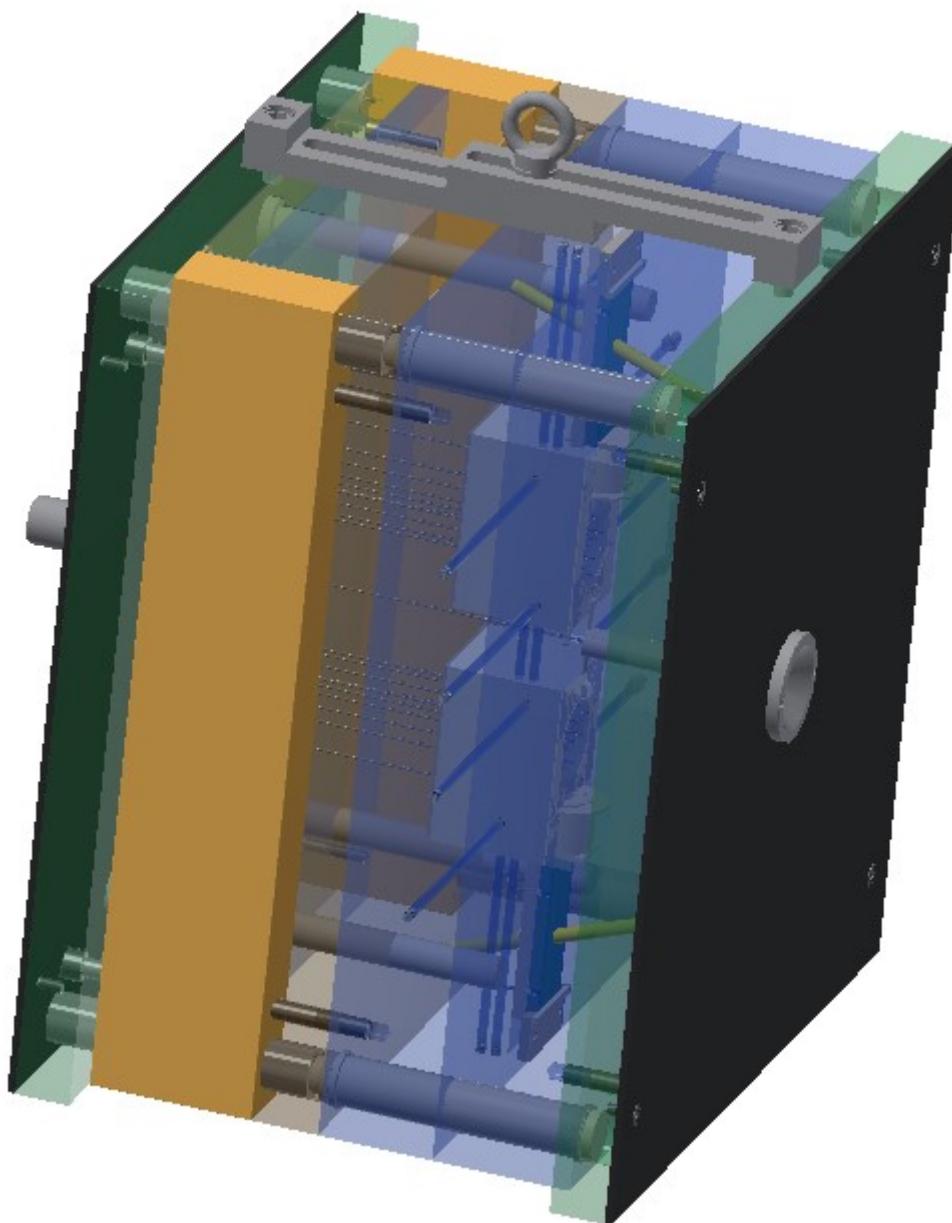


Obr. 32. Zámek

7.10 Sestava formy

Vstříkací forma obsahuje levou pohyblivou část a pravou nepohyblivou část. V levé straně se z těch nejdůležitějších částí nachází tvárník, část temperačního systému, mechanismus pro boční odformování a vyhazovací systém. V pravé straně se nachází tvárnice, vtoková vložka, vodící čepy a zbylá část temperace. Na obou stranách formy byla přidána izolační deska pro lepší teplotní stabilitu formy během procesu vstříkávání.

Celkové rozměry formy 646 x 696 x 508 s hmotností přibližně 1350 kg.



Obr. 33. Sestava vstřikovací formy

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zhotovit konstrukční návrh vstříkovací formy pro výrobu plastového dílu. Zadáním bylo vyhotovit návrh dvojnásobné formy se studeným vtokovým systémem, která bude produkovat zadaný výrobek.

V první části bakalářské práce byla shrnuta technologie vstříkování tak, aby obsahovala potřebné informace k úspěšnému vyhotovení praktické části.

Druhá část vyžadovala zmíněný konstrukční návrh včetně 3D modelu vstříkovaného výrobku a vstříkovací formy. Sestava formy byla dále vyobrazena ve výkresové dokumentaci s kusovníkem.

Byl zvolen materiál s obchodním názvem Lustran ABS 680 od společnosti Lanxess. Pro výrobní parametry byl zvolen hybridní vstříkovací stroj firmy Arburg s označením ALLROUNDER 720 H.

Konstrukce formy probíhala dle zadání, návrh výrobku byl konstruován s ohledem na snadné a efektivní odformování. Kvůli dvěma otvorům ve dvou navzájem kolmých rovinách u jednoho výrobku, bylo zvoleno boční odformování pro jeden z otvorů za pomoci posuvného mechanismu a šikmých kolíků.

V praktické části byly popsány veškeré konstrukční volby a díly potřebné ke konstrukci formy.

Pro konstrukci zadaného dílu i vstříkovací formy byl použit program Autodesk Inventor Professional 2018.

Celkové rozměry formy 646 x 696 x 508 s hmotností přibližně 1350 kg.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002503. 247 s.
- [3] GASTROW, Hans, E. LINDNER a P. UNGER. *Injection molds: 130 proven designs*. 3rd ed. / edited by Edmund Lindner and Peter Unger. Cincinnati: Hanser/Gardner, 2002. ISBN 1569903166.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [5] LENFELD, P. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*. [online] Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [6] STANĚK, M. *Konstrukce forem*. TSKF. Přednášky. Univerzita Tomáše Bati.
- [7] OSSWALD, Tim, A., TURNG, Lih - Sheng, GRAMMAN, Paul J. *Injection molding handbook*. Munich: Cincinnati: Carl Hanser Publishers ; Hanser Gardner Publications, c2008, xvii, 764 s. ISBN: 978-1-56990-420-6.
- [8] BEUAMONT, John P., *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308s. ISBN: 978-1-56990-421-3.
- [9] BRYCE, Douglas M., *Plastic Injection Molding: manufacturing process fundamentals*, Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c1996, 277s. ISBN 0872634728
- [10] MATWEB. [online]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=8b0367b8a89246baaac42eea8cc27d8c&ckck=1>
- [11] Home – ARBURG. [online]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitril - butadien styren
CA	Acetát celulózy
CAB	Celulozní acetobutirat
l	Délka [mm]
p	Tlak [Pa]
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PETP	Polyetylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymetylén
PPO	Polyfenylen oxid
PS	Polystyren
R	Vnější rádius
r	Vnitřní rádius
s	Tloušťka [mm]
T	Teplota [°C]
T _c	Teplota rozkladu polymeru [°C]
T _f	Teplota tečení [°C]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
T _m	Teplota tání krystalického podílu [°C]
v	Měrný objem [g/cm ³]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus [1]</i>	15
<i>Obr. 2. Schématické znázornění vstřikovacího cyklu v pvT diagramu [2]</i>	18
<i>Obr. 3. Schématické znázornění vstřikovacího stroje [7]</i>	19
<i>Obr. 4. Schématické znázornění vstřikovací jednotky [7]</i>	20
<i>Obr. 5. Schématické znázornění fontánového vtoku [8]</i>	22
<i>Obr. 6. Umístění závitů u výrobku [1]</i>	26
<i>Obr. 7. Průřezy vhodných vtokových kanálů [8]</i>	28
<i>Obr. 8. Kuželový vtok [8]</i>	29
<i>Obr. 9. Tunelový vtok [8]</i>	29
<i>Obr. 10. Samočinné odtržení tunelového vtoku [8]</i>	30
<i>Obr. 11. Banánový vtok [8]</i>	30
<i>Obr. 12. Membránový vtok [8]</i>	31
<i>Obr. 13. Příklady vyrovnaných vtokových soustav pro čtyřnásobnou formu [8]</i>	31
<i>Obr. 14. Příklad geometricky nevyvážené vtokové soustavy pro 16 - ti násobnou formu [8]</i>	32
<i>Obr. 15. Prostorové zobrazení vstřikovaného výrobku</i>	39
<i>Obr. 16. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 720 H[11]</i>	40
<i>Obr. 17. Umístění hlavní a vedlejší dělicí roviny</i>	41
<i>Obr. 18. Umístění vtokového ústí</i>	42
<i>Obr. 19. Tvárník</i>	43
<i>Obr. 20. Tvárnice</i>	44
<i>Obr. 21. Boční tvárník</i>	45
<i>Obr. 22. Posuvný mechanismus k bočnímu odformování</i>	46
<i>Obr. 23. Navrhovaný vtokový systém</i>	47
<i>Obr. 24. Navrhovaný vyhazovací systém</i>	47
<i>Obr. 25. Vyhazovač se zamezenou rotací a s volnou rotací</i>	48
<i>Obr. 26. Vyhození vtokového zbytku [4]</i>	49
<i>Obr. 27. Návrh rozložení temperačního systému</i>	49
<i>Obr. 28. Detail temperačního systému</i>	50
<i>Obr. 29. Vodící čep a vodící pouzdro</i>	51
<i>Obr. 30. Středící kroužek levý a pravý</i>	51
<i>Obr. 31. Nosné zařízení se závěsným šroubem</i>	52

<i>Obr. 32. Zámek</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 33. Sestava vstřikovací formy</i>	<i>53</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Doporučené poloměry zaoblení [1]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2. Doporučené velikosti úkosů [1]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3. Tabulka doporučených teplot pro vybrané materiály [9]</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 4. Charakteristika základních vlastností materiálu [10]</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 5. Doporučené parametry pro zpracování materiálu [10]</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 6. Základní parametry Arburg ALLROUNDER 720 H</i>	<i>40</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I. Výkresová dokumentace vstříkovací formy

P II. Kusovník

P III. CD obsahující:

- výkresovou dokumentaci s kusovníkem,
- 3D model sestavy formy,
- Bakalářskou práci v elektronické podobě.