

Návrh vstřikovací formy v SW CATIA V6

Radek Lukáč

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: **Radek Lukáč**
Osobní číslo: **T16084**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstříkovací formy v SW CATIA V6**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu
3. Navrhněte 3D model sestavy vstříkovací formy
4. Nakreslete 2D výkres sestavy

Rozsah bakalářské práce:

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.
4. TICKOO, Sham. CATIA: kompletní průvodce. Brno: Computer Press, 2012, 696 s. ISBN 978-80-251-3527-3.

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 19. 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 nezasahuje 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 na hrazení 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 výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním řešením vstřikovací formy pro plastový výrobek. Celá práce je rozdělena do teoretické a experimentální části. V teoretické části jsou základní informace o konstrukci vstřikovacích forem. V praktické části byl vytvořen 3D model v programu Catia V6 a zkonstruována 3D sestava vstřikovací formy a to dále převedeno do 2D sestavy. Nakonec byla provedena volba vstřikovacího stroje.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce

ABSTRACT

This bachelor thesis concerns design of injection mold for plastic product. Thesis is divided into theoretical and experimental part. In theoretical part are basic information about construction of injection molds. In the practical part was created 3D model in programme Catia V6 and engineered 3D assembly of injection mold and then this mold was transferred to 2D assembly. In the final part the choice of the injection mold was done.

Keywords: injection molding, injection mold, construction

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, vynaložený čas a především trpělivost, díky kterým jsem dokončil tuto bakalářskou práci.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VSTŘÍKOVÁNÍ	11
1.1 MATERIÁLY PRO VSTŘÍKOVÁNÍ	11
1.2 ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ.....	11
1.2.1 Reaktoplasty	12
1.2.2 Elastomery.....	13
1.3 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY PLASTŮ	14
1.4 VOLBA TERMOPLASTŮ PŘI NÁVRHU SOUČÁSTI	14
1.5 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	14
1.6 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	15
1.6.1 Uzavírací jednotka.....	17
1.6.2 Vstřikovací jednotka	17
1.6.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	18
2 VSTŘIKOVACÍ FORMY	19
2.1 DĚLÍCÍ ROVINA.....	19
2.2 KONSTRUKCE VÝROBKŮ.....	19
2.2.1 Tloušťka stěn.....	20
2.2.2 Žebra a výztuhy	20
2.2.3 Zaoblení hran, rohů a koutů	21
2.2.4 Úkosy a podkosy	21
2.2.5 Smrštění.....	21
2.3 VTOKOVÁ SOUSTAVA	22
2.3.1 Studený vtokový systém (SVS).....	23
2.3.2 Vtokový kanál	24
2.3.3 Rozváděcí kanál	25
2.3.4 Vtoková ústí	25
2.3.5 Vyhřívané vtokové systémy (VVS)	26
2.3.6 Vyhřívané trysky	27
2.3.7 Vyhřívané rozvodné bloky	27
2.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	28
2.4.1 Vyhazovací síla	29
2.4.2 Mechanické vyhazování	29
2.4.3 Pneumatické vyhazování.....	32
2.4.4 Hydraulické vyhazování.....	32
2.5 TEMPERACE FOREM.....	32
2.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	34
2.7 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FORMY	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
3 STANOVENÍ CÍLU BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	37
4 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	38

4.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	39
5	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
6	KONSTRUKCE FORMY	41
6.1	NÁSOBNOST FORMY	41
6.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	42
6.3	TVAROVÉ DÍLY FORMY	43
6.4	VYHOZENÍ VÝSTŘIKU	45
6.5	ŠIKMÉ ČEPY A ČELISTI	45
6.6	VTOKOVÝ SYSTÉM	46
6.7	TEMPERACE FORMY	47
6.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	48
6.9	ZAŘÍZENÍ SLOUŽÍCÍ K MANIPULACI	48
6.10	SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY	49
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM PŘÍLOH	57

ÚVOD

V posledních letech se polymery staly nezastupitelným materiálem v průmyslové výrobě, především díky jejich vlastnostem a poměrně lehkému zpracování. Jednou z nejrozšířenější metodou zpracování plastů je právě vstřikování do formy.

Vstřikování plastů do forem se v poslední době stalo jedním z nejrozšířenějších způsobů zpracování plastů. Lze vyrábět velmi složité výrobky miniaturních rozměrů, ale také i výrobky velkých rozměrů, které mohou být složeny i z různých materiálů. Toky taveniny u složitých výrobků jsou velmi komplikované, proto je zapotřebí použít velmi výkonné simulační softwary usnadňující řešit tento problém v předstihu, ještě před začátkem vlastní výroby nástroje, což může přinést velké úspory a také nám může zkrátit cyklus od návrh výrobku po jeho produkci.

Konečný tvar výrobku určuje vstřikovací forma. Při konstrukci vstřikovací formy se musí věnovat velká pozornost jejímu provedení, jelikož se jedná o složitý nástroj, ve kterém se nachází velké množství dílů a součástí. Vyžaduje také širokou skupinu znalostí z oblasti chemie, reologie, materiálového inženýrství, strojírenské výroby, metrologie aj.

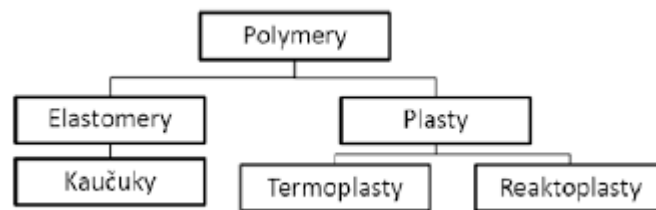
Při konstrukci vstřikovací formy se může využít stavebnicového systému s aplikací normálí. K známějším patří zejména HASCO, D-M-E a STRACK. Přínosem normalizace je zejména zkrácení výrobních časů při výrobě formy. V důsledku sériové výroby jsou mnohé normálie oproti kusové výrobě levnější, což je další výhoda.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘÍKOVÁNÍ

Vstřikování je jeden ze způsobů tváření polymerních materiálů, při kterém se z plastifikovaný materiál plní (vstříkují) do uzavřené dutiny formy vysokou rychlostí. Plastikace materiálu probíhá v plastifikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Plastikace znamená převedení materiálu do plastického stavu za pomoci tepla. [2]

1.1 Materiály pro vstřikování



Obr. 1. Rozdělení polymerů [13]

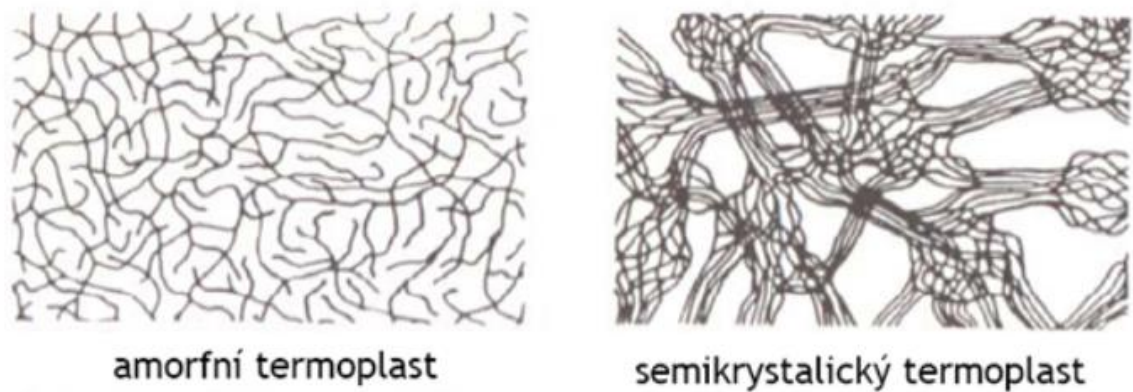
Vstřikováním lze zpracovat jak termoplasty, tak i reaktoplasty a kaučukové směsi. Zatím co v prvním případě je interval pro tváření teoreticky neomezený, v dalších dvou případech je tento interval omezen v důsledku probíhajícího síťování. Čím je teplota tváření vyšší, tím je tvářecí interval kratší. Vstřikovací termoplasty mají zpravidla lepší tokové vlastnosti než např. vytlačovací typy. Vstřikovat se můžou plněné i lehčené materiály. [2]

1.2 Rozdělení termoplastů

Nejrozšířenějším typem plastu u vstřikování je právě termoplast. Termoplasty mají přímé (lineární polymery) řetězce nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Termoplasty mohou být:

- amorfní – prostorově nepravidelně uspořádané řetězce,
- semikrystalické – velká část řetězců pravidelně uspořádaná a tvoří krystalické útvary.

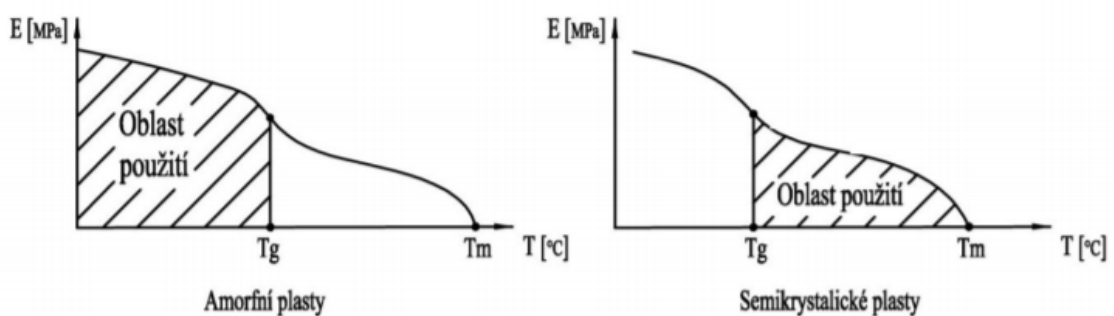
Typickými představiteli jsou polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polymethyl-methakrylát (PMMA), polyoxymethylen (POM) apod. [3]



Obr. 2. Amorfní a semikrystalická struktura [14]

Využitelnost výrobku z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Materiál je v tomto stavu pevný. Překročením teploty na teplotu skelného přechodu dojde k oslabení kohezní síly mezi makromolekulami a polymer přejde do plastické oblasti až do viskózního stavu. Se zvyšováním teploty zároveň stoupá objem materiálu.

U semikrystalických polymerů jsou části molekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Nárůstem teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfní oblasti, následně i ostatní. Využití semikrystalických plastů je nad teplotou skelného přechodu T_g , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. [3]



Obr. 3. Oblast využití u amorfních a semikrystalických plastů [3]

1.2.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, které jsou tvarovatelné a tavitelné jen po určitou dobu zahřátí. Při dalším zahřívání dojde k chemické reakci – prostorovému zasíťování struktury tzv. vytvrzení, což je nevratný proces. Tyhle plasty dále nejdou roztavit ani rozpustit. Při dalším zahřívání dochází k degradaci. Do této skupiny patří např. fefenolformaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP), atd. [3]

1.2.2 Elastomery

Elastomery jsou velmi pružné materiály s nízkou tuhostí, které se dají za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení. Typické materiály jsou kaučuky, z nichž se pomocí vulkanizace vyrábí pryže. Pryže jsou vulkanizované elastomery a jsou charakterizovány chemickými vazbami mezi makromolekulami, které tvoří uzly prostorové sítě. Důsledkem zesíťování je amorfním polymerem. [3]

Kaučuky

Jedná se o polymerní materiál, který v první fázi zahřívání měkne a dá se tvářet, pouze jen omezenou dobu. Dalším zahříváním dojde k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, dojde k vulkanizaci materiálu. [3]

Vulkanizace je chemická reakce, pomocí které se zpracovávají kaučuky syntetické a přírodní. Hnětěním za tepla vzniká pryž. Vulkanizace se provádí pomocí dvou proti sobě se točících válců, mezi které je vložen kaučuk, který je rozdrčen a opásán kolem jednoho z válců, do které jsou následně vmíchány oleje, saze a síra, která umožňuje vulkanizaci. Vulkanizovanou gumu nejde dále tvarovat. Tento proces se může využívat v gumárenství. [10]



Obr. 4. Surový přírodní kaučuk [15]

1.3 Zpracovatelské podmínky plastů

Technologické podmínky mají na výsledné vlastnosti výrobku velký vliv. Zpracovatelské parametry (teplota, tlak, časové prodlevy) jsou rozhodující pro některé rozměry a tako pro fyzikální a mechanické vlastnosti, izotropii apod. [3]

U semikrystalických termoplastů se dá podmínkami při zpracování ovlivnit obsah krystaliniky a její velikost. Což znamená větší krystaliniku, vyšší pevnost, zvýšený modul pružnosti i ostatních činitelů.

1.4 Volba termoplastů při návrhu součástí

Vstřikováním se mohou vyrábět kompletní součásti, které již nevyžadují žádné další opracování. Je potřeba zvážit konkrétní podmínky provozního zatížení součástí i celkového využití. Taková součást musí mít mimo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností také výrobně vhodný tvar s dosažitelnými rozměry i jakostí povrchu.

Optimální volba plastu se pak posuzuje podle následujících podmínek:

- funkce součásti musí splňovat definované požadavky,
- zvolená technologie výroby součásti musí být reálná a na určeném stroji poměrně snadno realizovatelná při dodržení požadovaných parametrů,
- volba plastu musí být ekonomická z hlediska technologie výroby součásti i formy. [1]

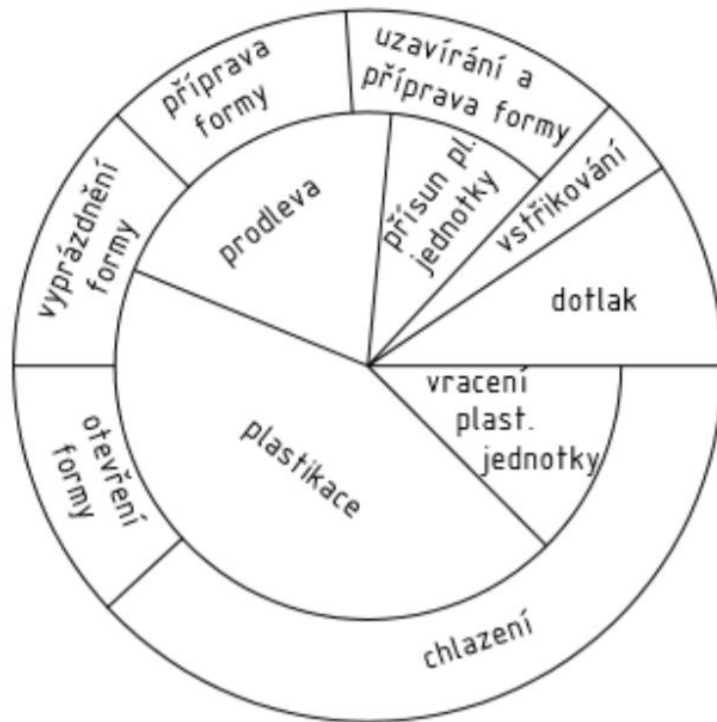
1.5 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se uskutečňuje na vstřikovacím stroji a obsahuje dvě oblasti. První se vztahuje k vstřikovací jednotce a druhá k formě. Forma se zavře uzavírací jednotkou. K uzavřené formě přijede vstřikovací jednotka, ze které se vstřikuje zplastikovaný plast do dutiny formy. Čas, za který se dutina formy zaplní, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy na plast dále působí tlak, který se nazývá dotlak. Dotlak má za úkol částečně vyrovnat vliv smrštění, zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy a může se jím také ovlivňovat zbytková pnutí ve výstřiku. [4]

Po dokončení dotlaku se vstřikovací jednotka oddálí od formy a začne v ní plastifikace další dávky. [1]

Zároveň s odjezdem vstřikovací jednotky začíná chlazení. Chlazení probíhá částečně ve formě a mimo ni za účelem dosažení větších přesností na chladicích přípravcích. Po dostatečném ochlazení výrobku se forma otevře a výrobek se vyhodí.

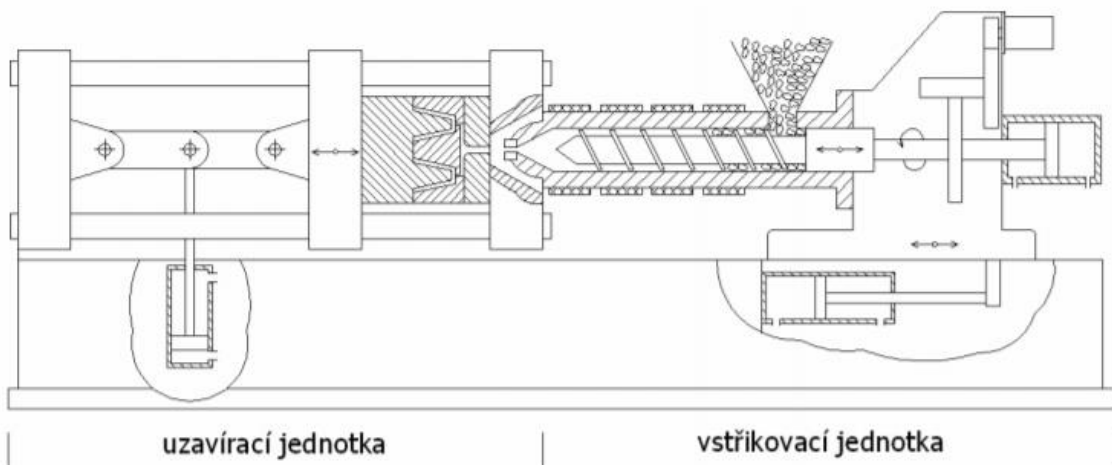
Následuje očištění a příprava formy pro další cyklus.



Obr. 5. Vstřikovací cyklus [2]

1.6 Vstřikovací stroj

Vstřikování plastů probíhá na moderních strojích, které jsou většinou plně automatické, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Cena vstřikovacího stroje i formy je velmi vysoká, proto je vhodná pro velkosériovou výrobu.



Obr. 6. Vstřikovací stroj [16]

Vstřikovací stroj, který je nedílnou součástí výroby má nejrůznější uspořádání. Je od něj vyžadováno, aby kvalitou svých parametrů a dokonalým řízením, byla zajištěna výroba jakostních výstřiků. V dnešní době existuje velké množství různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, snadnou obsluhou, stupněm řízení, rychlostí výroby i cenou. Každý vstřikovací stroj má své základní části:

- vstřikovací jednotka – doprava do dutiny formy,
- uzavírací jednotka – uzavření formy a odolání vstřikovacího tlaku,
- ovládání a řízení stroje. [3]



Obr. 7. Vstřikovací stroj od firmy ARBURG [17]

1.6.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá formu a zajišťuje její uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je závislá přímo na ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině a velikosti vstřikovacího tlaku. [3]

Uzavírací mechanismus ukazuje kvalitu uzavírací jednotky a má mnoho různých provedení:

- hydraulické – pootevření se provádí hydraulickým tlakem a vyžadují zajištění závorou. Jejich hlavní výhodou je možnost nastavení libovolné hloubky otevření nástroje,
- hydraulicko-mechanické – mají vyšší rychlost uzavírání, ale je nutné před uzavřením formy zpomalit kvůli nárazům. Jsou konstruovány jako kloubový mechanismus, který je ovládaný hydraulickým válcem,
- elektro-mechanické – jejich hlavní výhodou jsou, jednoduchost, vysoká uzavírací rychlost a snadná automatizace celého pracovního cyklu. [1,3]

1.6.2 Vstřikovací jednotka

Pomocí vstřikovací jednotky se připravuje a dopravuje požadované množství roztaveného materiálu do formy. Množství materiálu musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství plast zůstává ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejším cyklem výroby. [3]

Vstřikovací jednotka dopravuje zpracovaný plast do tavného válce z násypky pohybem šneku. Plas je šnekem posouván s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Následně plast plastikuje, homogenizuje a hromadí se před šnekem. Šnek se zároveň posouvá vzad do výchozí polohy. [3]

Topení na tavné komoře je rozděleno do tří různých pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Část tepelné energie vzniká přímo v materiálu důsledkem disipace. [3]

Na konci tavné komory je vyhřívaná tryska, která spojuje vstřikovací jednotku a formu. Kulové zakončení trysky slouží k přesnému dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Vstřikovací trysky bývají otevřené nebo uzavíratelné. Otevřené se nejčastěji používají při vstřikování taveniny s větší viskozitou. Uzavíratelné zabraňují samovolnému vytékání materiálu při plastikaci. [3]

1.6.3 Ovládání a řízení vstříkovacího stroje

Stupeň řízení a jednoduchá obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je požadovaným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, tak se to značně projeví na přesnosti a kvalitě výroby výstříků. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými regulačními a řídicími prvky. [3]

V dnešní době, se novější vstříkovací stroje neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo textové formy nastavování, která se obvykle používá, se využívá nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Sestavený pracovní cyklus, který je sestavený do potřebných programových sekvencí se pak snadno kontroluje a případně i opravuje. Koncepte se takové zařízení rozděluje na: [3]

- sestavení grafu vstříkovacího stroje,
- definice a sestavení parametrů,
- kontrola procesu.

Nastavení stroje je také kontrolováno řídicím systémem. Úprava programu se pak může snadno provést na barevné obrazovce. Na přesnost a jakost výstříku má řízení stroje obrovský vliv. Tím, že se určuje a dodržuje přesnost: [3]

- nastavené výše i doby vstříkovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstříku a délky chlazení,
- nastavení doby a výšky teploty taveniny.

2 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy se používají při zpracování reaktoplastů, termoplastů, a kaučukových směsí. Řešení vstřikovací formy se řídí technologickým projektem příslušného výstřiku. Musí se respektovat vlastnosti zpracovaných materiálů, množství výrobních zařízení i požadavky na kvalitu výstřiku a produktivitu práce. Zpravidla se požaduje, aby výstřik nemusel být dále náročně upravován (dokončovací operace).

Velké množství požadavků vede k různým řešením forem. Formy, které se nejvíce používají, mají zpravidla tyto hlavní části:

- tvarové díly vymezující dutinu formy,
- vtokový systém,
- temperační nebo topný systém,
- vyhazovací zařízení pro výstřik i vtokový zbytek,
- upínací a vodící elementy.

Ostatní rozdělení forem respektuje jejich konstrukci. Takto se mohou rozlišovat formy např. formy dvoudeskové a třídeskové, případně etážové. [2]

2.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je plocha, ve které ne sebe doléhají části formy při uzavření dutiny formy. Dělicí rovina se umísťuje tak, aby se usnadnilo vyjímání výrobku z dutiny forma a aby stopa po dělicí rovině nepůsobila vzhledové nebo funkční vady na výrobku. Dělicí roviny se rozlišují na hlavní a vedlejší podle jejich umístění. [5]

Za hlavní dělicí rovinu se zpravidla určuje rovina kolmá na směr uzavírání formy. Další dělicí roviny (plochy) jsou pak vedlejší. Vedlejší roviny jsou nutné u výrobků s bočními otvory, nálitky, zápichy apod. Dělicí rovina se zpravidla umísťuje do hrany nebo vypouklé plochy výrobku. Okraj dělicí roviny nesmí být zeslabený, jinak by se výrobek mohl poškodit. [5]

2.2 Konstrukce výrobků

U konstrukčního návrhu součástí z plastu se musíme řídit úplně jinými zásadami, než u součástí kovových. Při jejich návrhu musí konstruktér zvažovat, co všechno se při vstřikování dílu z plastu děje. To vyžaduje znát technologii jejich zpracování. [6]

2.2.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí splňovat dané požadavky:

- funkční – pevnost, tuhost, vodivost, rozměrová stálost, elektrická nebo teplená vodivost atd.,
- výrobní – vyjímání, chlazení, vytvrzování,
- ekonomický.

Z výrobního hlediska ovlivňují tloušťku stěny:

- vlastnosti zpracovaného materiálu,
- způsob vyhazování výrobku z formy,
- požadovaná přesnost.

Ekonomické faktory vedou k co nejmenším tloušťkám stěn, protože ve výrobních nákladech z pravidla činí materiálová položka významný podíl. Na tloušťce stěny výrobku závisí také doba tuhnutí, případně vytvrzování, což ovlivňuje délku výrobního cyklu, a tím i produktivitu práce

Minimální tloušťka stěny závisí na zvoleném materiálu a také na tvoru výrobku. Základním požadavkem je tedy dosáhnout co nejmenší tloušťky stěny. Dále potřebujeme, aby tloušťka stěny byla rovnoměrná. Nahromadění materiálu způsobuje výrobní komplikace, jako je borcení tvaru, propadliny apod. Pevnosti a tuhosti výstřiku nelze dosáhnout vždy jen zvyšováním tloušťky stěny. Žebrováním se dá nejlépe zpevnit výrobek. [2]

2.2.2 Žebra a výztuhy

Nedostatek pevnosti a tuhosti lze snadno napravit žebrováním nebo výztuhami. Podle jejich účelu se žebra rozdělují na technická, technologická a ozdobná, která se používají hlavně ke zlepšení vzhledu. [2]

K zlepšení pevnosti a tuhosti se používají technická žebra. Rozměry technických žebor závisí na vlastnostech vstřikovaného materiálu. Výška žebor by měla být co největší. Žebro musí být u kořene zaoblono. [2]

Technologická žebra se na výrobek umisťují zpravidla tak, aby co nejvíce usnadnila jeho výrobu. V podstatě umožňují zlepšení toku taveniny v dutině formy, brání zborcení výrobku. [2]

2.2.3 Zaoblení hran, rohů a koutů

Hrany a kouty je potřeba zaoblit hlavně tam, kde protéká v dutině formy materiál. Zaoblení slouží k zlepšování toku materiálu v dutině formy, usnadňuje vyjímání výrobku a snižuje zbytkové vnitřní pnutí. Zaoblením také lze dosáhnout příslušného elastického účinku. Ostré hrany se snadno poškozují a obtížně se vyrábějí. Zaoblením také můžeme zvýšit tuhost výrobku. Zaoblení musí být ve formě snadno vyrobitelné. [2]

2.2.4 Úkosy a podkoso

Úkosem nazýváme mírný skol stěn, který usnadňuje vyjímání výrobku z dutiny formy. Úkosy na každé ploše musí být kolmé k dělicí rovině, a to jak na vnitřních tak i na vnějších plochách. Kvůli smršťování polymerních materiálů bývají úkosy na vnitřních plochách zhruba dvojnásobné než na plochách vnějších. [2]

Velikost úkosu také souvisí se způsobem vyhazování. Jestliže nemáme žádné vnější úkosy, tak výrobek zůstane ve tvárnici a musí se vyhazovat kolíky nebo stíracími deskami, případně tlakovým vzduchem. U žeber se úkosy obvykle volí větší. Úkos také závisí na výšce výrobku i na jeho dalších rozměrech. Čím větší bude výška výrobku, tím větší bude úkos. [2]

Opakem úkosů jsou podkoso, které zabraňují vyjímání výrobku z formy. Někde se volí tak, aby výrobek zůstal v jedné části formy, kde je pak zajištěno vyhazování. Stejnou funkci pak mají také výstupky, nálitky, zápichy atd. [2]

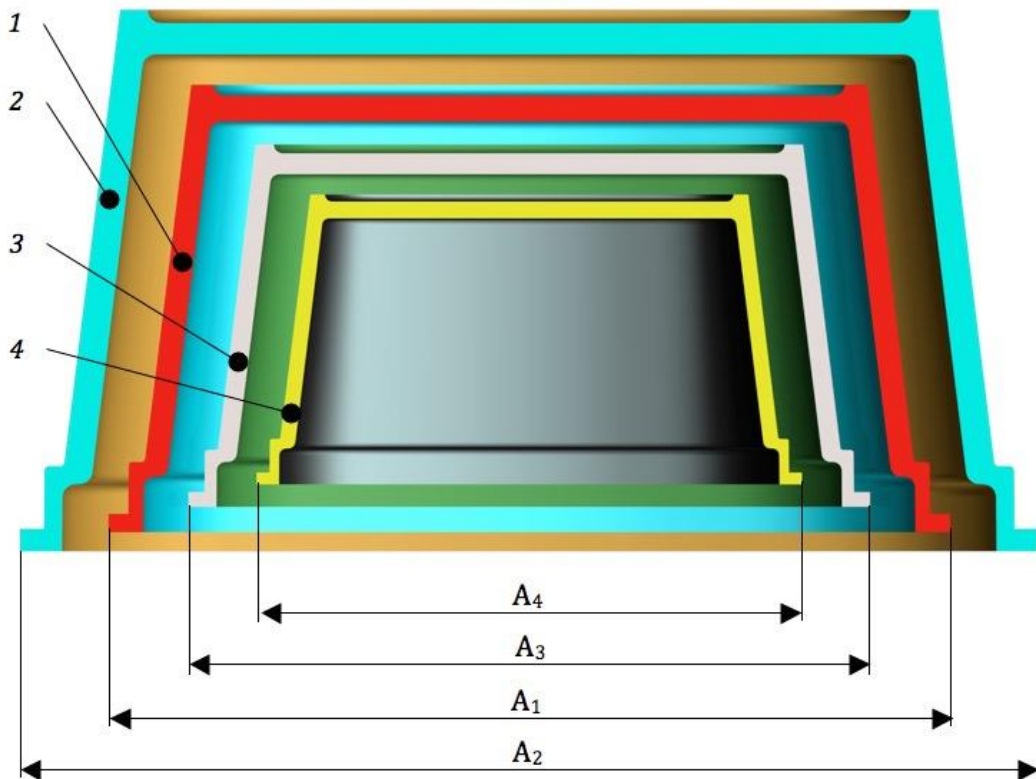
2.2.5 Smrštění

Smrštění materiálu proti formě je objemová změna, vyvolána chemickými nebo fyzikálními ději, které probíhají při procesu tváření. Hlavně se projevuje v průběhu tuhnutí taveniny polymeru a v čase bezprostředně následujícím po vyjmutí tvářeného výrobku z formy. Smrštění se dá rozlišit na dva druhy, což jsou výrobní a dodatečné smrštění. [7]

Výrobní smrštění je rozdíl mezi rozměry tvarové dutiny formy a výslednému rozměru výrobku, vyjádřený v procentech z rozměru formy. [7]

Dodatečné smrštění je změna rozměru tvářeného výrobku z plastu při vystavení zvýšené teplotě. Občas se pod pojmem dodatečné smrštění rozumí také rozměrová změna, která

při normální teplotě proběhla ve výrobku, avšak po delším časovém odstupu od jeho výroby. [7]



Obr. 8. Sekvence změn rozměrů vstříkovaného dílu během procesu vstříkovaní [13]

1 - Vstříkovaný díl zaformovaný ve vstříkovací formě o teplotě cca 20 °C, 2 – vstříkovací díl zaformovaný ve vstříkovací formě při teplotě cca 60 °C, 3 – Vstříkovaný díl hned po výrobě, 4 – vstříkovaný díl po 24 hodinách po výrobě

2.3 Vtoková soustava

Konstrukce vtokové soustavy je důležitým článkem z hlediska kvality samotného výstříku, protože určuje společně s technologickými parametry tokové poměry při plnění formy. Vtokový systém rozváděcích kanálů a ústní vtok společně spojuje otvor v trysce vstříkovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Dále musí zajišťovat rovnoměrné zaplnění dutiny formy, oddělení od výstříku, snadné odtržení, snadné vyhození vtokového zbytku a omezit objem vtokové soustavy na minimum. Musí se dbát na konstrukční požadavky a zároveň i na ekonomičnost výroby.

Návrh vtokové soustavy je dán podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčnímu provedení výstřiku, materiálu plastu a také podle toho, zda bude konstruována jako studený, nebo horký vtok.

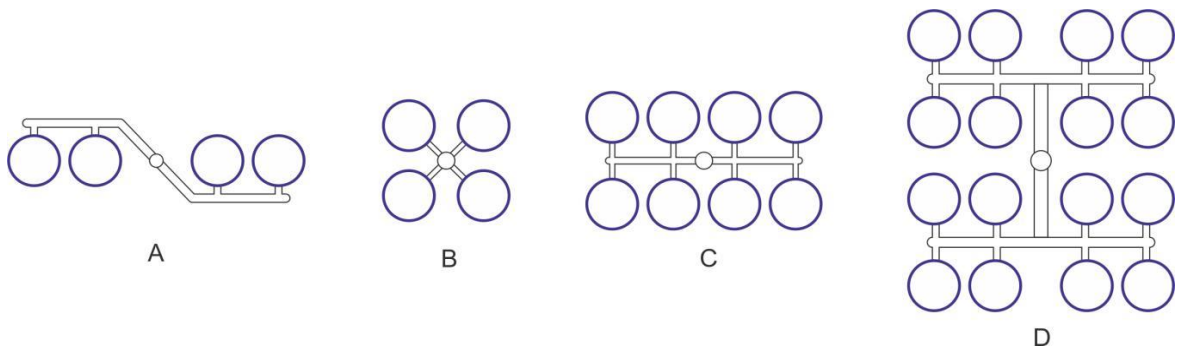
2.3.1 Studený vtokový systém (SVS)

Vtokový systém vstřikovací formy zajišťuje vedení proudu taveniny z plastifikační jednotky do dutiny formy při vstřikování. Dutina formy by měla být naplněna v co nejkratším čase s minimálním odporem. [8]

Parametry, podle kterých se řídí umístění, tvar a rozměr vtokového systému jsou tyto:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výrobku,
- náročnost opracování a začištění výrobku,
- spotřebu materiálu u studeného vtoku připadá velká část objemu na odpad,
- energetická náročnost výroby. [9]

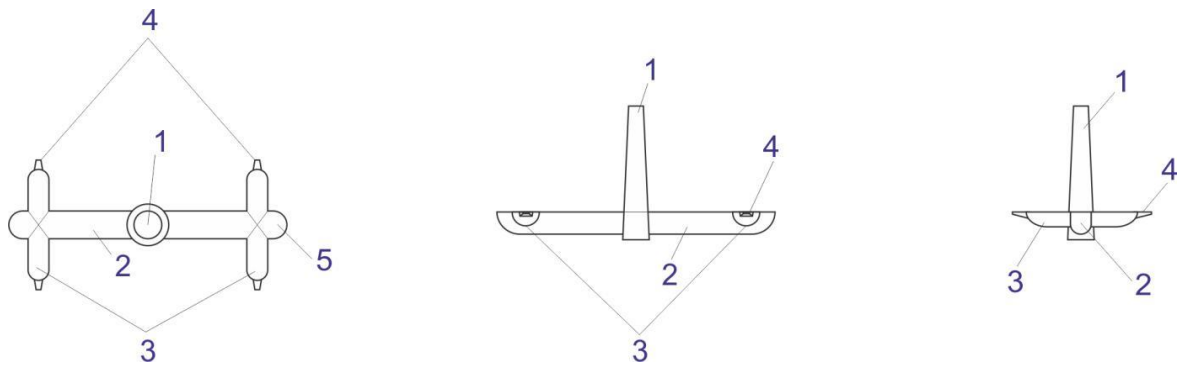
Základní rozdíly studeného vtokového systému jsou uspořádání, které závisí na násobnosti formy a její konstrukci. Zásada, která je nejvíce důležitá u vícenásobných forem je, že tavenina musí dorazit ke všem místům uvnitř dutiny formy ve stejnou chvíli a musí při tom mít stejný tlak. Musí splňovat podmínku vyváženého vtokového systému. Taveniny se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem se v tavenině zvyšuje viskozita a tlak. Povrchová vrstva taveniny, která již ztuhla, vytváří tepelnou izolaci proudu taveniny. A to má za následek, že v okamžiku zaplnění prudce vzroste odpor a poklesne průtok studeným vtokovým systémem a následně dochází k ztuhnutí. [9]



Obr. 9. Uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [18]

a), b) - Se stejnou délkou toku taveniny

c), d) - S rozdílnou délkou toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



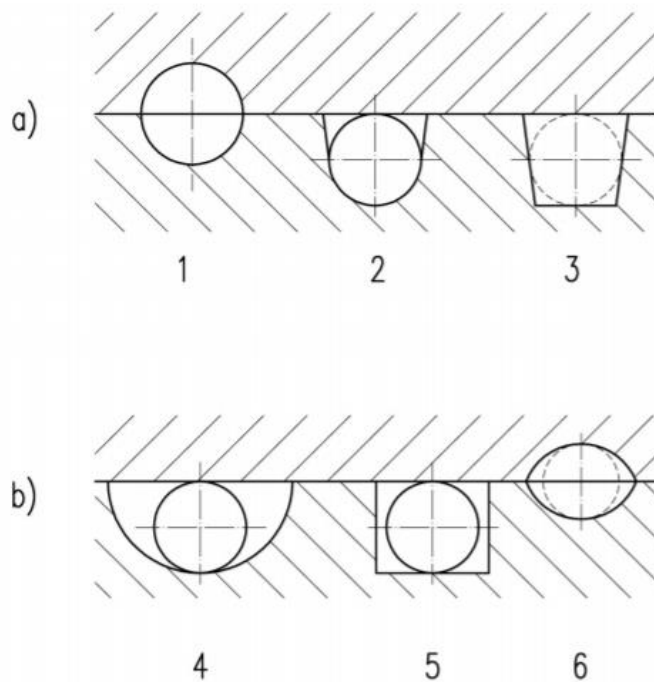
Obr. 10. Studený vtokový systém [18]

1 – vtokový kužel, 2 – hlavní kanál, 3 – rozváděcí kanál, 4 – ústí vtoku, 5 – čelo hlavního vtoku

2.3.2 Vtokový kanál

Nejpoužívanější vtokový kanál je kuželový, který je tvořený uvnitř vtokové vložky. Je vyústěn do rozvodných kanálů, popřípadě přímo do dutiny formy. Vtoková vložka je vyrobena z pevné, houževnaté, otěruvzdorné oceli, která je tepelně zpracována. Je velmi namáhána jak tepelně tak mechanicky. [3]

Průměr vtokového kanálu musí být minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr trysky. Na druhé straně největší průměr kanálu má být minimálně o 1,5 mm větší, než je největší tloušťka výstřiku, nebo stejný s rozvodnými kanály. Vtokový kanál je leštěný, s drsností Ra 0,1 a s úkosy v rozmezí 0,5 až 1,5°. Pokud vtokový kanál ústí do rozvodných kanálů, pak je potřeba v místech spojení konstruovat jímky studeného čela taveniny jako přidržovače vtoku. Pokud je veden přímo do dutiny výstřiku, je vhodné vytvořit proti ústí vtoku čočkovité zahloubení, zvláště pro tenkostěnné výstřiky. [3]



Obr. 11. Průřezy vtokových kanálů [3]

- a) funkčně vhodné; b) funkčně nevhodné, 1,6 – výrobně nevýhodné; 2,3,4,5 – výrobně vhodné [3]

2.3.3 Rozváděcí kanál

Pro spojení vtokových kanálů s ústním vtokem a tvářecí dutinou souží rozváděcí kanály. Jejich délka záleží na typu formy. Velikost jejich průřezů nám udává velká řada činitelů, které se navzájem ovlivňují. Patří sem tepelné a reologické vlastnosti taveniny, charakter výstřiku a parametry vstřikovacího stroje. Všeobecně platí, že nejmenší průřez rozváděcího kanálu by neměl překročit 1,54 největší tloučky stěny výstřiku. [3]

2.3.4 Vtoková ústí

Vtokové ústí nám vznikne, když zúžíme rozváděcí kanál. Pouze ve výjimečných případech se může použít plný nezúžený vtok. Zúžením rozváděcího kanálu se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na materiálu, charakteru výstřiku i technologii vstřikování. Umožňuje snadné začišťení. Velikost zúženého průřezu musí však spolehlivě naplnit dutiny formy a také musí umožnit případné působení dotlaku. Zúžené ústí se volí co nejkratší. Spodní hranice ústí je omezena pevností materiálu formy. [3]

Vtokové ústí bývá umístěno:

- do nejtlustšího místo na výstřiku,
- do otvorů nebo poblíž,
- do geometrického středu dutiny, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně,
- u výstřiku se žebry by měla tavenina proudit ve směru jejich orientace,
- u obdélníkového tvaru do kratší hrany,
- s ohledem na zamezení volného toku taveniny,
- aby stopa po odstranění vtoku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku,
- mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch,
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny. [3]

2.3.5 Vyhřívané vtokové systémy (VVS)

Vyhřívané vtokové soustavy se začaly používat kvůli technologickým a ekonomickým důvodům. Současným VVS předcházela velká řada jednodušších systémů (zesílené vtoky, izolované vtokové soustavy apod.) Současné VVS jsou velmi sofistikovanou kapitolou konstrukce vstřikovacích forem, kterou se zabývají specializovaní výrobci. [8]

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že po naplnění formy tavenina zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To nám umožňuje použití jen bodové vyústění malého průřezu, které jsou vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes menší průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. U každého způsobu bezvtokového vstřikování je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahloubení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. Součástí systému je regulace teploty formy i VVS. Celá soustava nám umožňuje lehkou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [3]

Soustava VVS však vyžaduje v podstatě náročnější a výrobně nákladnější formy, obslužný personál i strojní zařízení (technolog, konstruktér, pracovník ve vstřikovně) musí být na příslušné technické úrovni. Dále je potřeba zajistit VVS včetně regulátoru a snímačů. Tohle všechno zvedá energetickou náročnost výroby.

Ekonomickou výhodnost forem pro bezodpadové vstřikování je třeba porovnávat z hlediska kompletního výrobního procesu. Určujícími faktory jsou nepřetržitý provoz, dokonalé zpracovatelské vybavení i vhodné zpracovatelské vlastnosti plastů. [2]

Výhody VVS:

- VVS má vlastní regulaci teploty všech svých součástí
- Celý systém VVS má snadnou montáž, demontáž, údržbu
- Snížení nákladů na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků, odpadá problematika recyklace vtokových zbytků
- Snižují spotřebu polymeru (beztokové vstřikování)
- Umožňují automatizaci výroby (zkrácení výrobního cyklu) [2,8]

Nevýhody VVS:

- Konstrukční provedení vstřikovacích forem s VVS je náročnější
- Je potřeba zajistit regulátor a snímače teploty VVS
- VVS jsou energeticky a ekonomicky nákladnější jak SVS [2,8]

2.3.6 Vyhřívané trysky

Jejich konstrukce nám umožňuje propojení dutiny formy s vstřikovacím stroje, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Takové vyhřívané vtokové soustavy si spotřebitel sám nevyrobí, ale nakupuje u specializovaných firem, které je vyrábí v širokém konstrukčním sortimentu. [3]



Obr. 12. Vyhřívaná tryska [17]

2.3.7 Vyhřívané rozvodné bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se mohou používat v kombinaci s vyhřívanými nebo i izolovanými tryskami s předkomůrkami. Používají se k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je závislá na rovnoměrném vytápění.

Při nerovnoměrném vytápění může ovlivnit tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách. [3]

Rozváděcí blok se vyrábí z oceli a je uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně upraven potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Vyrábí se ve tvarech I, H, X, Y apod. Musí být tepelně izolován od ostatních komponentů formy, obvykle vzduchovou mezerou. [3]

Vyhřívaný rozvodový blok musí být koncipován tak, aby se dosáhlo:

- rychlého ohřevu,
- dostatečné teploty a teplotního pole pro optimální tok taveniny v rozvodném bloku i trysce,
- eliminace tepelných ztrát (vodivostí, prostupem, vyzařováním). [8]



Obr. 13. Rozvodný blok I, H, X [19]

2.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstřiků z dutiny formy a svojí funkcí by měl zajišťovat automatický výrobní cyklus. [11]

Skládá se ze dvou fází:

- dopředný pohyb slouží k vyhození,
- zpětný pohyb je zajištěn pomocí vraccích kolíků.

Základní podmínkou dobrého vyhazování je, že při konstrukci se musí brát ohledy na několik parametrů. Výrobek musí mít hladký povrch a úkosy stěn větší než $0,5^\circ$ ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výstřik vyhazovat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho

příčeni a vzniku trvalých deformací. Výběr umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení je velmi rozmanité.

Po vyhazovacích kolicích zůstanou na výstřiku stopy. Jsou-li nepřijatelné, vyhazovač se musí umístit na stranu, kde nám to nevadí. Kromě výstřiku se vyhazují i vtokové zbytky a to do hromady nebo zvlášť. [3,12]

2.4.1 Vyhazovací síla

Patřičný vyhazovací systém, který je třeba použít, musí vyvodit požadovanou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z formy. [3]

Velikost vyhazovací síly závisí na:

- velikosti smrštění výstřiku ve formě,
- členitost výstřiku a jakosti povrchu funkčních ploch tvarové dutiny,
- technologických podmínkách vstřikování,
- pružných deformací formy.

2.4.2 Mechanické vyhazování

Jedná se o nejvíce používaný vyhazovací systém, který se používá kvůli své konstrukční jednoduchosti a nižší ceně. Tento systém je velmi spolehlivý. Jeho konstrukce má mnoho různých provedení, které tvoří: [12]

Vyhazovací kolíky

Je to jeden z nejpoužívanějších způsobů mechanického vyhazování výrobků z formy. Umisťují se tam, kde je plocha výstřiku ve směru vyhození. Kontakt mezi vyhazovacím kolíkem a stěnou výrobku nebo žebrem by měl být na nepohledové straně nebo na žebro výrobku, který se ale nesmí při vyhazování bortit. Ovládání vyhazovacích kolíků se uskutečňuje vyhazovací deskou s táhlem, ve které jsou kolíky upevněny. Velikost, množství a způsob umístění vyhazovacích kolíků bývá často omezen temperančním systémem. Vyhazovače musí být snadno vyrobitelné a dostatečně tuhé.

Kolíků je velké množství druhů. Univerzální kolík je válcový, v případě kde se na povrchu nachází mezikruží, je vhodné použít trubkový vyhazovač. U výrobků se žebry se dají použít prizmatické válcové vyhazovače s obdélníkovým čelem, kde je styčná plocha větší, než při použití více válcových vyhazovačů. Vyhazovače jsou uloženy ve formě v tolerancích

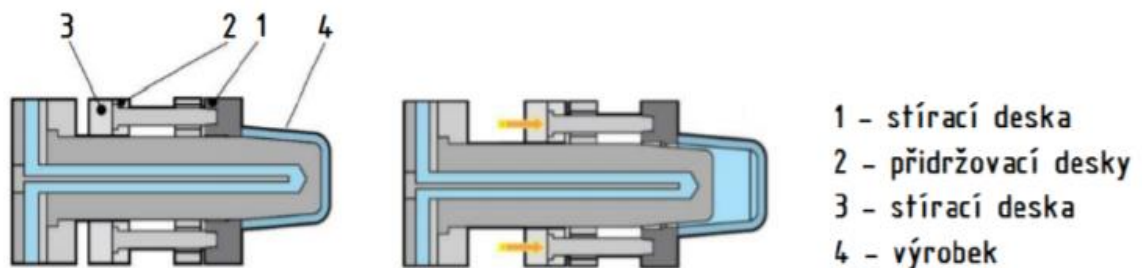
H7g6, H7h6, H7/j6 podle viskozity polymeru. Vůle v uložení se používá jako odvzdušnění formy. [12]



Obr. 14. Vyhazovací kolíky [10]

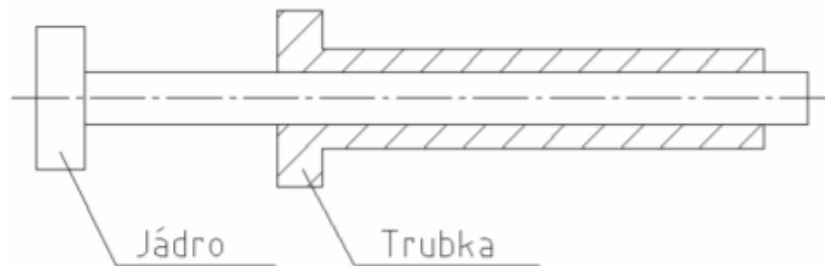
Stírací deska a trubkový vyhazovač

Vyhazování stírací deskou představuje setření výstřiku z dutiny formy po celém jeho obvodu. Díky tomu na výstřiku nevznikají stopy po vyhazování. Deformace výstřiku jsou tedy minimální a stírací síla je velká. Tohle vyhazování se používá převážně u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace nebo u rozměrných výstřiků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Vyhazování stírací deskou se používá i u vícenásobných forem. Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu, který působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. [12]



Obr. 15. Princip funkce stírací desky [7]

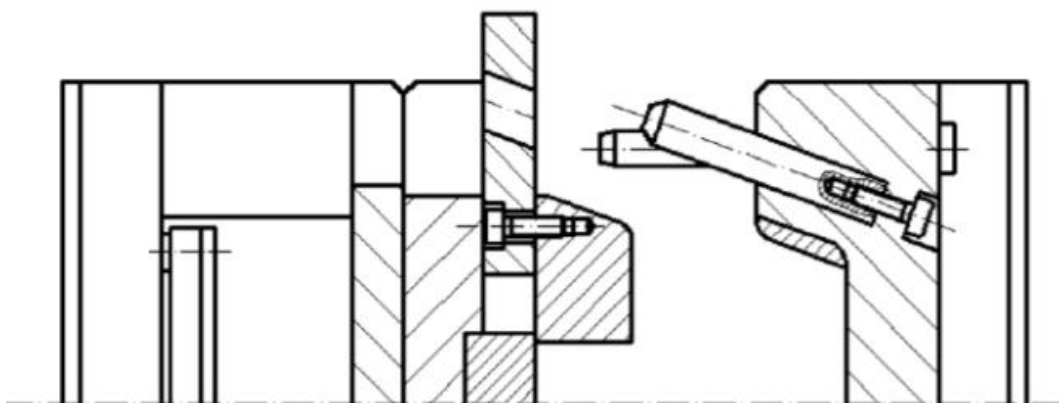
Zvláštním případem stírací desky je trubkový vyhazovač. Pracuje jako vyhazovací kolík, ale přitom plní funkci stírací desky. Vyhazovací kolík je pevně ukotven v desce, kde se nepohybuje a tvoří pevné jádro. [12]



Obr. 16. Trubkový vyhazovač [10]

Šikmé vyhazování

Jedná se o jeden ze speciálních typů mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky jsou uloženy pod různými úhly a nesmí být kolmě k dělicí rovině. Rozpětí úhlů, ve kterých lze čepy používat je id 15° až do 25° a ve speciálních případech se může až do 30° . Využívají se pro odformování tvarově složitých výrobků, které nejdou odformovat standartním způsobem. Šikmý kolík provádí především pohyb pro otevírání formy. Otevřená poloha se zajišťuje západkou nebo kuličkou. Uzavírá se opět pomocí šikmého kolíku, který je v čelistech veden v otvoru s vůlí. [12]



Obr. 17. Odformování pomocí šikmých čepů [10]

2.4.3 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazovače se zejména využívají pro vyhazování tenkostěnných výrobků a větších rozměrech ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Pneumatické vyhazování vhání stlačený vzduch mezi výrobek a tvárník formy. Tím se umožní rovnoměrné vyhození výstřiku od tvárníku, vyloučí se tím místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Použití pneumatických vyhazovačů je omezeno jen na některé tvary výstřiků. Vzduch se přivádí ventilem talířovým, jehlovým anebo různými koly. Ventily se otevírají pomocí vzduchu a následně se zavírají pružinkou. [12]

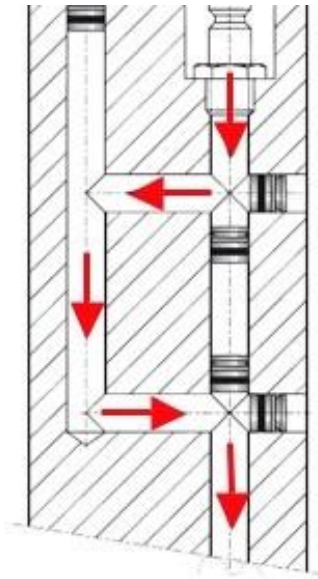
2.4.4 Hydraulické vyhazování

Využívá se k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje velkou flexibilitou a pružnějším pohybem. Hydraulické vyhazování je umístěno přímo ve formě. Dále se využívá k ovládní bočních posuvných čelistí pro svou jednoduchou konstrukci. Hydraulické systémy mají pomalejší a kratší zdvih, ale velkou vyhazovací sílu. [12]

2.5 Temperace forem

Temperací forem se udržuje teplota formy na požadované hodnotě. Teploty formy při vstřikování termoplastu se zpravidla pohybují v rozmezí 30 – 120 °C, ve speciální případech se toto rozmezí může rozšířit od – 5°C do + 120°C. Dobře navržený temperační systém umožňuje:

- optimální dobu vstřikovacího cyklu a hospodárnost provozu,
- dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, přesnost, vzhled).



Obr. 18. Temperace forem [13]

Dobře řešený temperační systém nám také dává předpoklady pro dobrou funkci formy. Na řešení temperačního systému má vliv mnoho faktorů:

- druh vstříkovaného materiálu,
- velikost a tvar výstříku, případnou dráhu tok a tloušťku stěn výstříku,
- požadavky na jakost a přesnost výstříku,
- druh a rozměr vtokového systému.

Tokové a tepelné vlastnosti plastů prosazují svůj vliv na způsob temperace formy. Množství tepla, které je potřeba při chlazení odvést, závisí na rozdílu entalpií při teplotě vstříkovaní a při teplotě vyhazování z formy

Dalším důležitým faktorem je tekutost plastu a její závislost na teplotě. Pokud tekutost silně závisí na teplotě, tak je nutné pro tento materiál volit vyšší teplotu formy. Například u tlustostěnných výstříků se vyžaduje intenzivní chlazení. Když jsou dráhy toku dlouhé, tak je potřeba naopak zvýšit teplotu formy. Problém sdílení tepla je potřeba chápat ve dvou aspektech. Jednak jde o přestup tepla z plastu do formy, jednak z formy do temperačního média.

V prvním případě bude sdílené teplo záviset na:

- hmotnosti výstříku,
- teplotě taveniny a teplotě formy,
- teplotě vyjímání výstříku z formy,

- tepelných vlastnostech zpracovaného plastu.

Výměna tepla mezi formou a materiálem výstřiku je poměrně rychlá vzhledem k malým tloušťkám stěn výstřiku. Doba ochlazování bude záviset právě na této tloušťce a druhu vstřikovaného materiálu.

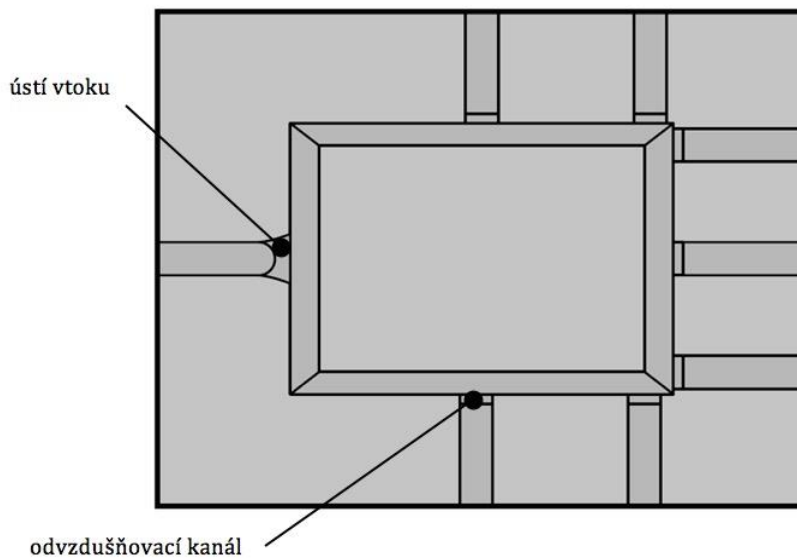
Teplota povrchu dutiny formy není konstantní. V okamžiku vstřiku teplota rychle stoupne v důsledku styku s horkou taveninou. Potom začne při odvádění tepla temperačním médiem klesat. Teplota povrchu dutiny formy pak dále klesá během otevírání formy a jejího uzavření pro nový vstřik. [2]

2.6 Odvzdušnění forem

Před vstřikováním je dutina formy naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je potřeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím rychleji se nám forma plní, tím účinnější odvzdušnění tvarové dutiny musí být. [12]

Nejčastěji se setkáváme při rychlém plnění formy se stlačením vzduchu, které se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku). Což obvykle není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. [12]

Dále nám tyto zvýšené teploty a tlaky zbytečně zatěžují formu. Abychom se těmto jevům vyhnuly, musí se forma odvzdušnit. Dosahuje se toho tak, že se vytvoří drážky přímo v dělicí rovině, kterými nám nap uniká vzduch. Dále lze také použít vyhazovací kolíky, které se po části průřezu zploští přebroušením. Vznikne nám vůle, která umožňuje únik vzduchu, ale nikoliv taveniny. Odvzdušňovací drážky se umísťují ve formě tak, aby se nemohly vytvořit uzavřené vzduchové kapsy. Jestli taková místa nelze spojit s vnější atmosférou, vkládají se tam porézní vložky, které se popřípadě dále propojují do odvzdušňovacích kanálků. [5, 12]



Obr. 19. Odvzdušnění formy [13]

2.7 Materiály používané při výrobě formy

Formy jsou velmi drahé nástroje, které jsou sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku musí být dosažena požadovaná životnost, kvalita a nízké pořizovací náklady. Významným činitelem pro splnění těchto požadavků je materiál formy, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstříkovaného plastu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstříkování,
- vstříkovacím strojem.

Pro konstrukci formy se používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Výběr materiálu byl zredukován na tyto základní druhy:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé...).

Oceli jsou nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na konstrukci forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen ztěžka nahradit. [12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLU BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- provedení konstrukce 3D modelu samotného vstřikovacího dílu,
- navrhnout tvarové a další části vstřikovací formy pro zadaný díl,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo přiblížit problematiku týkající se procesu vstřikování, vstřikovacího stroje, konstrukce formy a základních požadavků na zpracování polymerních materiálů.

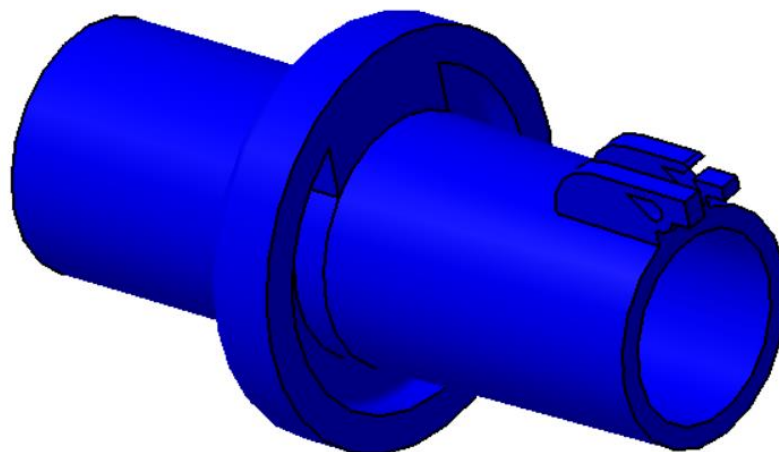
V praktické části bakalářské práce bylo cílem navrhnout vstřikovací formu pro zadaný výrobek, který v tomto případě byl část palivové nádrže automobilu.

4 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Pro konstrukční návrh vstřikovací formy bylo zvoleno hrdlo palivového modulu. Tento výrobek byl zvolen z důvodu své konstrukční zajímavosti. Celý díl je složen z jednoho kusu, který má průchozí otvor a na konci má výstupky z otvory, které slouží k zajištění. Materiál dílu je POM.



Obr. 20. Fotografie výrobku



Obr. 21. Model výrobku

4.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Jako materiál byl zvolen polyoxymethylen (POM), který svými vlastnostmi vyhovuje pro aplikaci výrobku.

Vyznačuje se vysokou pevností, tuhostí a rázovou houževnatostí, rozměrovou stabilitou, nízkým koeficientem tření i při velice nízkých teplotách, což ho předurčuje pro použití v mnoha průmyslových aplikacích.

Jako konkrétní typ byl zvolen Ultraform S 2320 003 UNC Q600, dodávaný firmou BASF. Jeho základní charakteristiky jsou [14]:

- Hustota 1,4 [g/cm³]
- Index toku taveniny ITT = 11 [g/10 min.]
- Smrštění ve směru toku 2,1 [%]
- Smrštění kolmo na směr toku 2,1 [%]
- Modul pružnosti v tahu $E = 2700$ [MPa]
- Teplota taveniny 190-230 [°C]
- Teplota formy 60-120 [°C]

5 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

S ohledem na technické parametry a rozměry vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj hydraulický ALLROUNDER 370 S vyráběný společností ARBURG. [17]



Obr. 22. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 370 S [17]

Parametry uzavírací jednotky [17]:

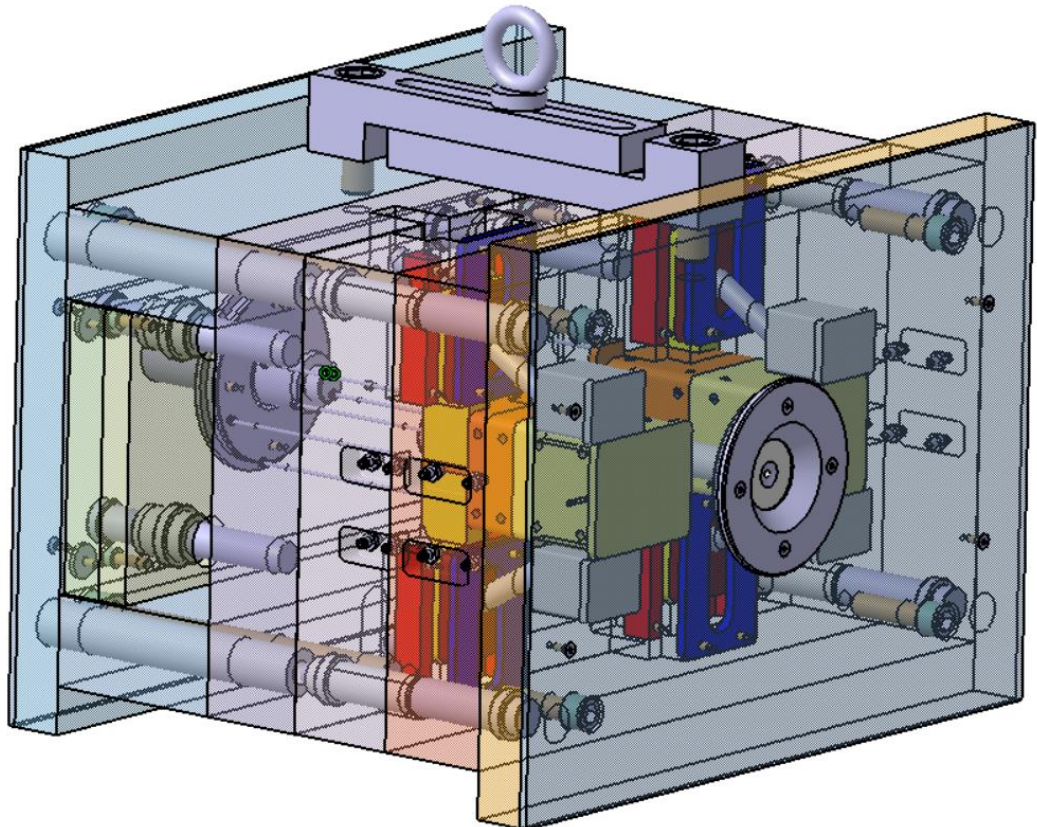
- Maximální uzavírací síla 600 [kN]
- Maximální otevírací síla 300 [kN]
- Maximální výška formy 400 [mm]
- Vzdálenost mezi rozpěrkami 370x370 [mm]
- Síla vyhazovacích kolíků 300 [kN]
- Velikost upínací desky 510x510 [mm]
- Maximální světlost mezi upínacími deskami 700 [mm]
- Celkový příkon stroje 19 [kW]

Parametry vstřikovací jednotky:

- Průměr šneku 35 [mm]
- Poměr šneku L/D 17
- Maximální objem dávky 115 [cm³]
- Maximální vstřikovací tlak 1470 [bar]
- Maximální kroutící moment šneku 290 [Nm]
- Maximální přitlačná síla trysky 50 [kN]

6 KONSTRUKCE FORMY

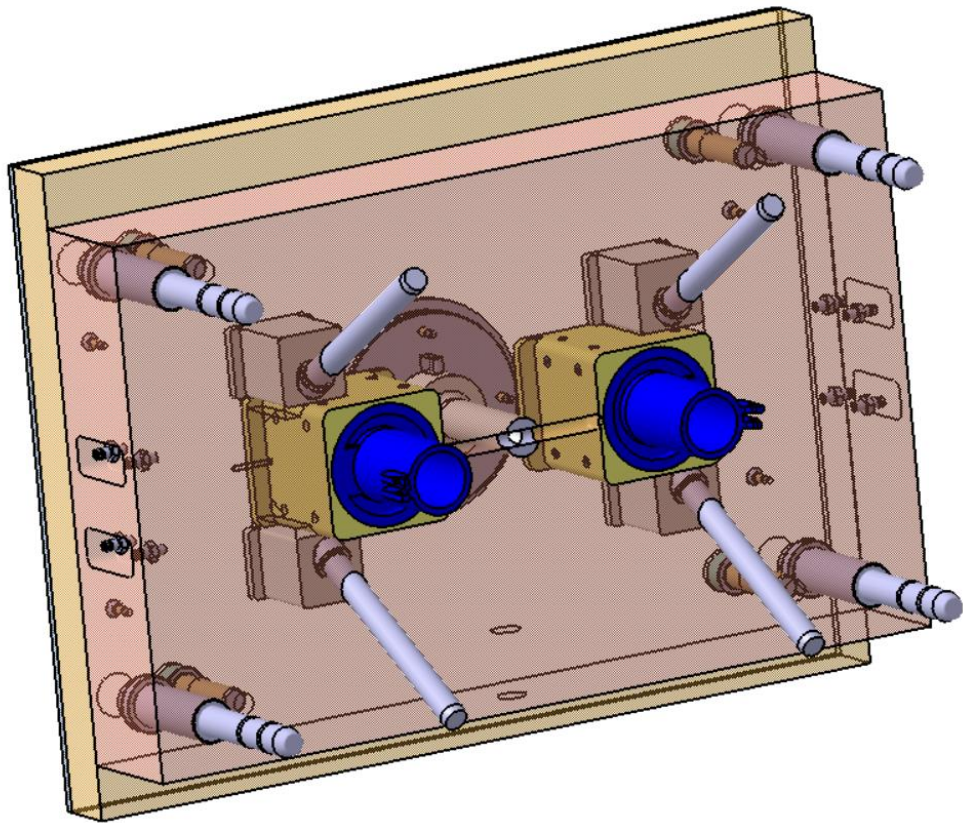
Konstrukce formy se volí podle tvarové složitosti výrobku a měla by být co nejjednodušší a zároveň co nejpřesnější. Během konstrukce bylo využito velké množství normalizovaných součástí od společnosti HASCO, díky čemuž došlo k urychlení celé konstrukce. Vstříkovací forma pro daný díl je dvojnásobná a je použit studený vtokový systém.



Obr. 23. Celková sestava vstříkovací formy

6.1 Násobnost formy

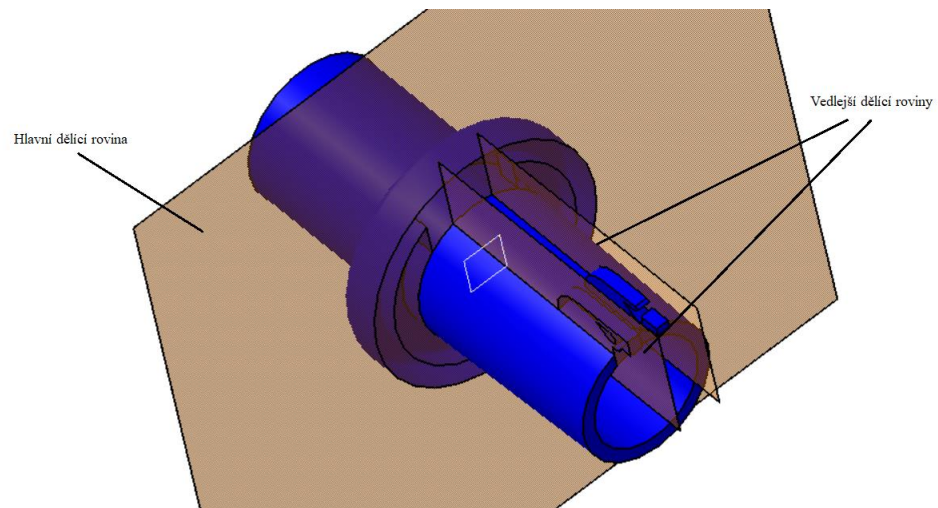
Při návrhu násobnosti vstříkovací formy se musí zvážit několik důležitých kritérií. Posuzuje se z hlediska přesnosti výrobku, potřebného množství a také ekonomiky výroby. Pro složitější součástky jsou vhodnější jednonásobné formy a naopak pro jednodušší součástky s masovou spotřebou se navrhují formy několikanásobné. Na základě zadaného výrobku, který byl s ohledem na složitost tvaru, byla navržena dvounásobná forma.



Obr. 24. Násobnost formy

6.2 Zaformování výstřiku

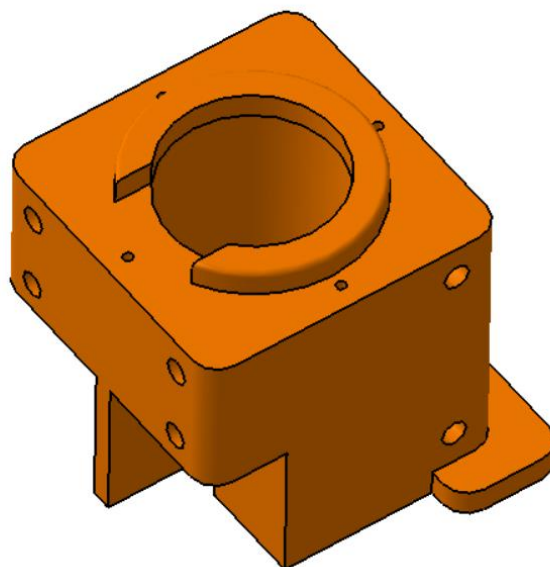
Jedním z nejdůležitějších kroků při samotné konstrukci vstřikovací formy je určení dělicí roviny. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. Pro zadaný výrobek byly zvoleny tři dělicí roviny, Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru otevírání formy a dosedají zde na sebe kotevní desky a tvárník s tvárnici při uzavření dutiny formy. Vedlejší dělicí roviny jsou rovnoběžné se směrem otevírání formy a dosedají na sebe tvárník a pomocné tvárníky. Tyto dvě dělicí roviny jsou nutné ke zhotovení bočních výstupků. Zaformování bylo provedeno tak, že po otevření formy výstřik zůstane v levé části formy, zároveň dochází k odformování bočních výstupků pomocí bočních posuvných čelistí, na kterých jsou přidělané pomocné tvárníky. Tyto čelisti se pohybují pomocí šikmých čepů. Výstřik je následně vyhozen pomocí vyhazovačů.



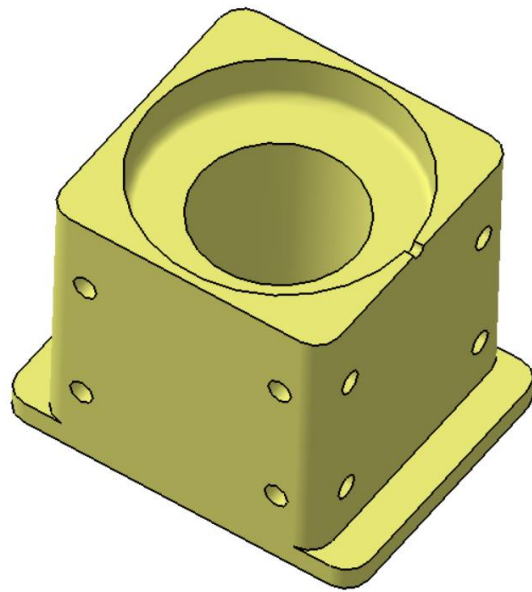
Obr. 25. Dělicí roviny

6.3 Tvarové díly formy

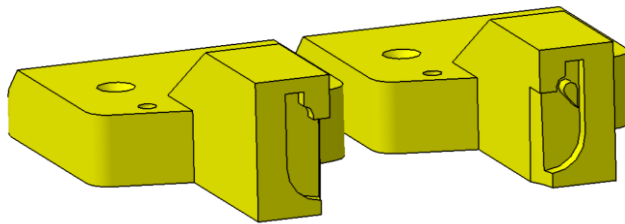
Základem tvarové dutiny formy jsou tvárník a tvárnice, kde tvárník udává tvar vnější části výrobku a tvárnice vnitřní. Výstupky na boční straně výrobku jsou vytvořeny pomocnými tvárníky, které jsou přišroubované na boční posuvné čelisti ovládané pomocí šikmých čepů.



Obr. 26. Tvárník

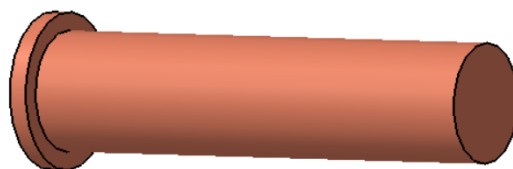


Obr. 27. Tvárnice



Obr. 28. Pomocné tvárníky

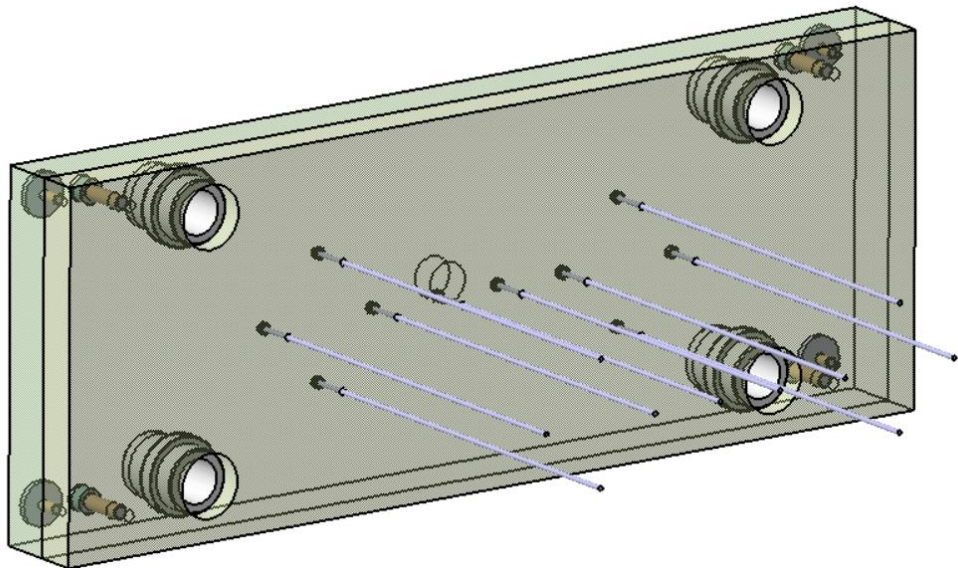
Pro vytvarování průchozí díry ve výstřiku muselo být použito tvarovací jádro, které bylo vloženo drážky v tvárníku.



Obr. 29. Tvarovací jádro

6.4 Vyhození výstříku

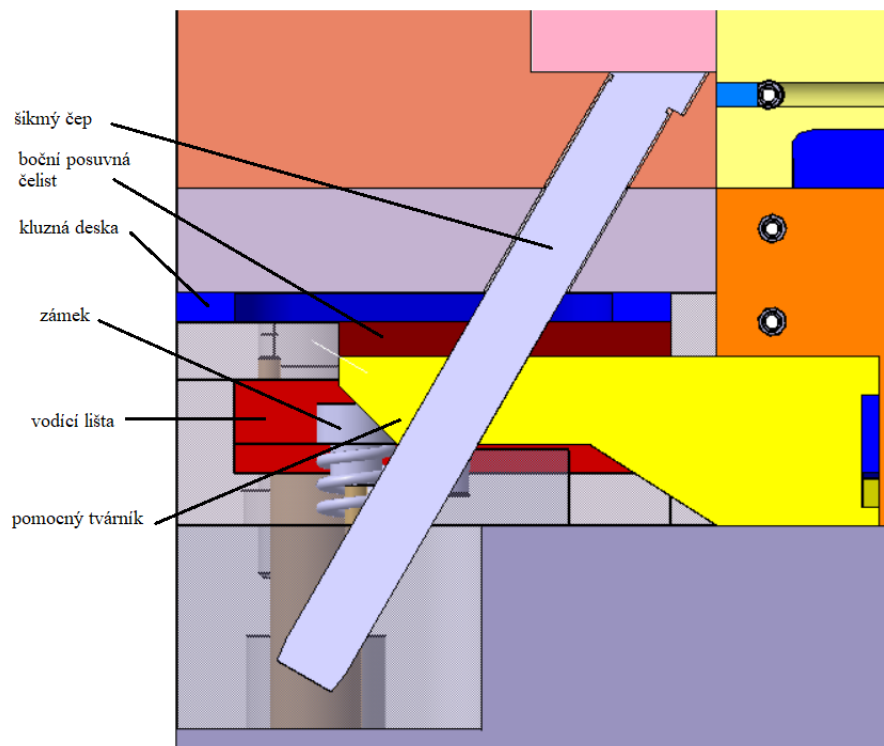
Vyhození ochlazeného výstříku z formy je provedeno pomocí válcových vyhazovačů. Na každý výstřík byli použity 4 vyhazovače a na vyhození vtoku jsem použil další 2, dohromady tedy bylo použito 10 válcových vyhazovačů. Vyhazovače byly vybrány z normálí firmy HASCO. Ukotvení těchto vyhazovačů zajišťuje opěrná a kotevní vyhazovací deska. Celý vyhazovací systém se pohybuje pomocí táhla, který je zašroubovaný do opěrné vyhazovací desky. Táhlo je přišroubováno k vyhazovacím deskám závitem na jeho konci. Vyhazovací systém dále obsahuje vodící pouzdra, které se pohybují po vodících čepech, které jsou zapuštěné v levé upínací desce.



Obr. 30. Vyhazovací systém

6.5 Šikmé čepy a čelisti

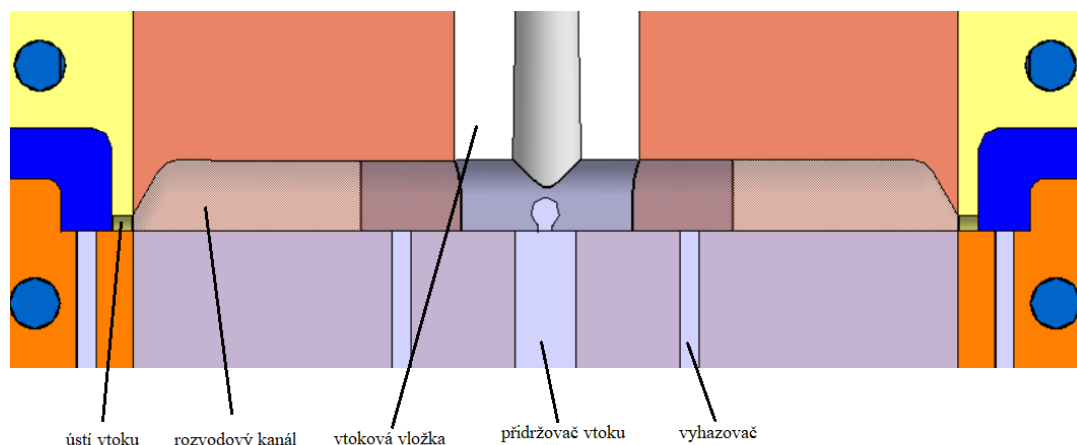
Složitější části výstříku, které nebylo možné odformovat běžným způsobem, je potřeba odformovat pomocí bočních pomocných tvárníků a šikmých kolíků. Slouží k odformování výstupků, které neleží ve směru dělicí roviny.



Obr. 31. Řez bočním pomocným tvárníkem

6.6 Vtokový systém

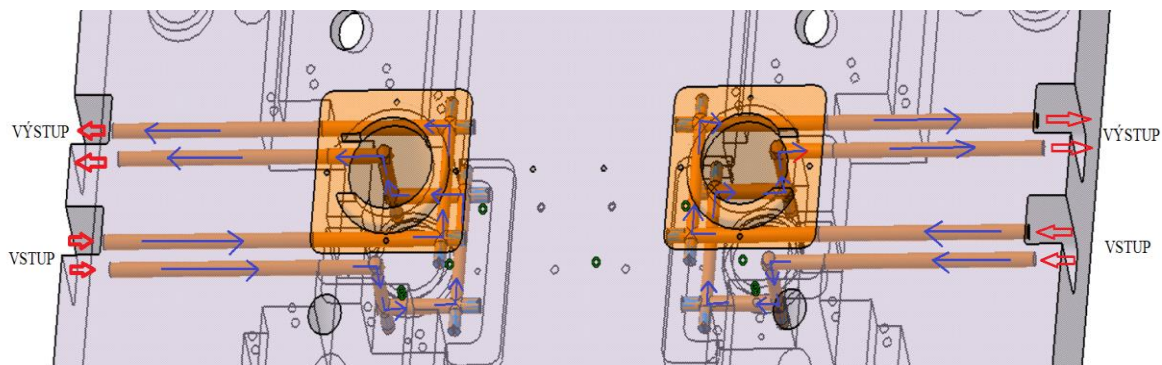
Při vstřikování zadaného dílu byl zadán studený vtokový systém, protože při použití horkého vtokového systému by se rozměr formy značně zvětšili a vzrostla by i cena celé vstřikovací formy. Dále nám odpadají náklady na energii, která by byla potřebná pro vyhřívání horkého vtokového systému. Jednou z hlavních nevýhod studeného vtokového systému je poměrně velký odpad, která je tvořen ztuhlým vtokovým systémem. Tavenina je přiváděna do rozvodových kanálů lichoběžníkového průřezu umístěných v tvarové desce formy. Pomocí těchto kanálů se materiál přivede do ústí vtoku, který je umístěn přímo v tvárnici. Vtoková vložka je zajištěna kolíkem proti pootočení. Další součástí vtokového systému je přídržovač vtoku. Přídržovač vtoku zajišťuje ztuhlý materiál ve vtokovém systému na levé straně formy, který je po otevření formy vyhozen pomocí vyhazovačů společně s výstřikem.



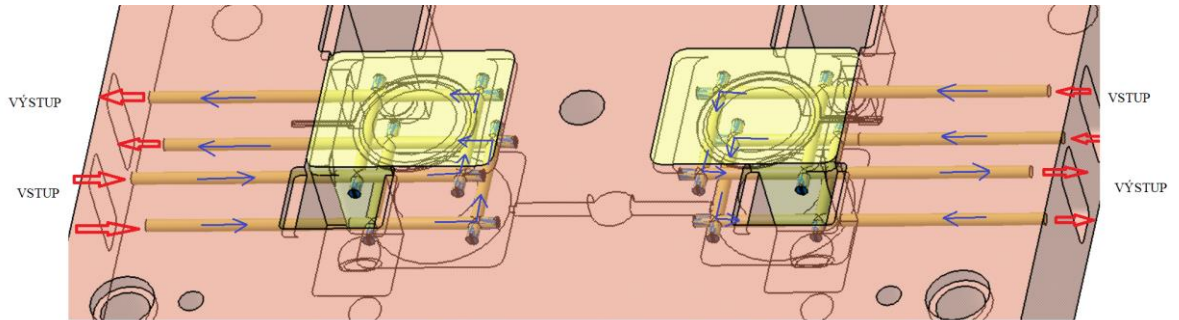
Obr. 32. Vrtková soustava

6.7 Temperace formy

Temperace slouží k udržení konstantního tepelného režimu formy. Hlavním cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikovací formy při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Temperační systém je vytvořen pomocí vrtaných kanálů přímo do tvarových desek, tvárníku a tvárnice. Temperační systém má celkem 4 okruhy, každý tvárník a tvárnice mají 2 své okruhy. Temperace bude realizována vodou.



Obr. 33. Temperace levé tvarové desky s tvárníky



Obr. 34. Temperace pravé tvarové desky s tvárnici

6.8 Odvzdušnění formy

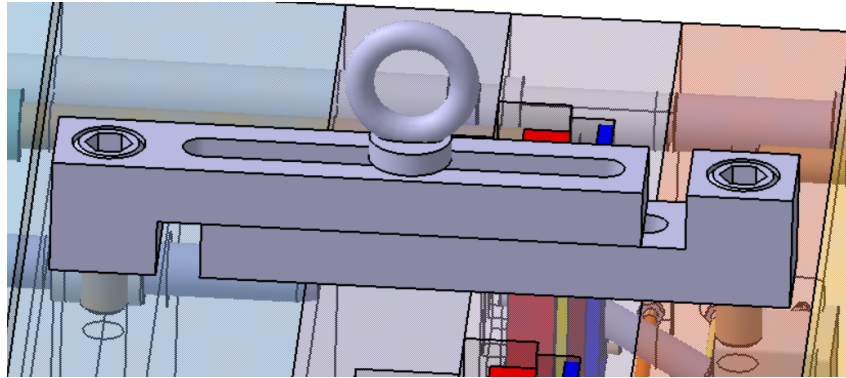
Při vstřikování plastu do formy dochází ke stlačování vzduchu ve formě čelem taveniny. Tento vzduch se při takovém tlaku zahřívá na teplotu, při které může materiál degradovat. To má za následek optické vady na výrobku ve formě napálených míst na povrchu výrobku. Proto je nutné nezapomenout na odvzdušnění dutiny formy. Aby byla forma odvzdušněna, na levé straně formy stačí vůle kolem vyhazovačů, ale na pravé straně musí být vytvořen odvzdušňovací kanálek, do kterého vzduch odejde.



Obr. 35. Odvzdušnění tvárnice

6.9 Zařízení sloužící k manipulaci

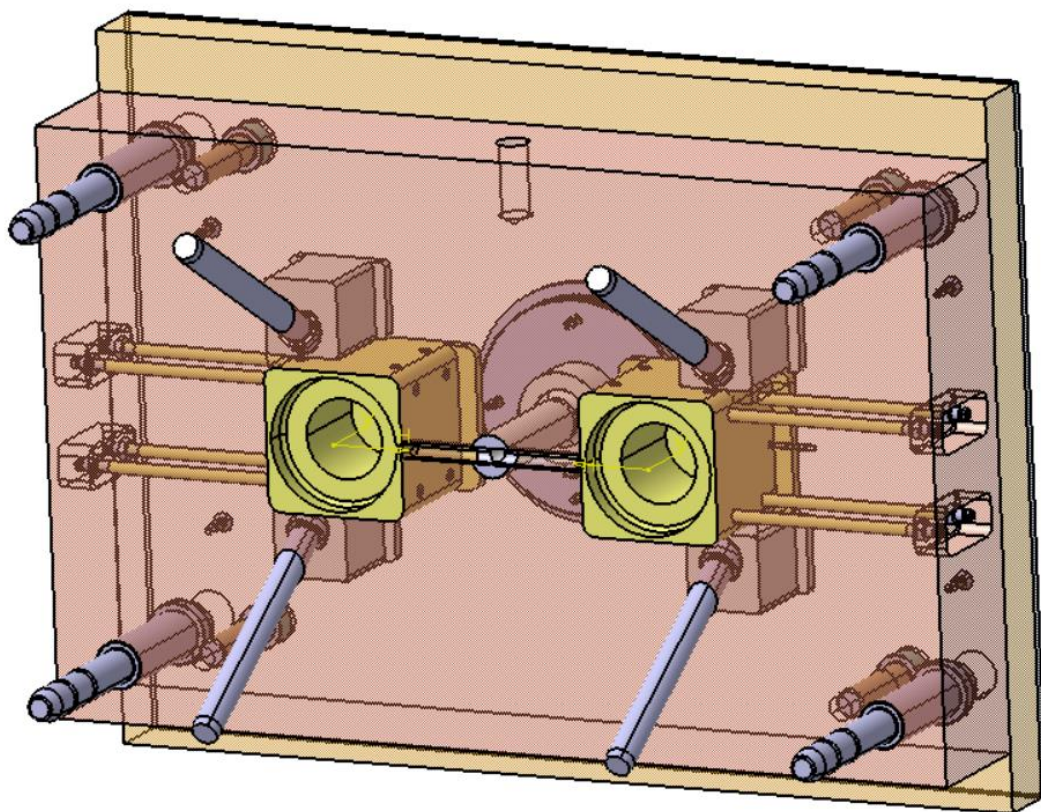
Jako zařízení pro manipulaci s formou byl v tomto případě zvolen transportní můstek. Skládá se ze dvou částí, každá z nich je přišroubovaná k jedné části formy, aby bylo zamezeno možnému rozdělení formy v dělicí rovině při její manipulaci. V tomto případě je jedna část přišroubovaná k pravé tvarové desce a druhá k rozpěrce. Další částí je nosné očko, které slouží k upevnění manipulačního zařízení.



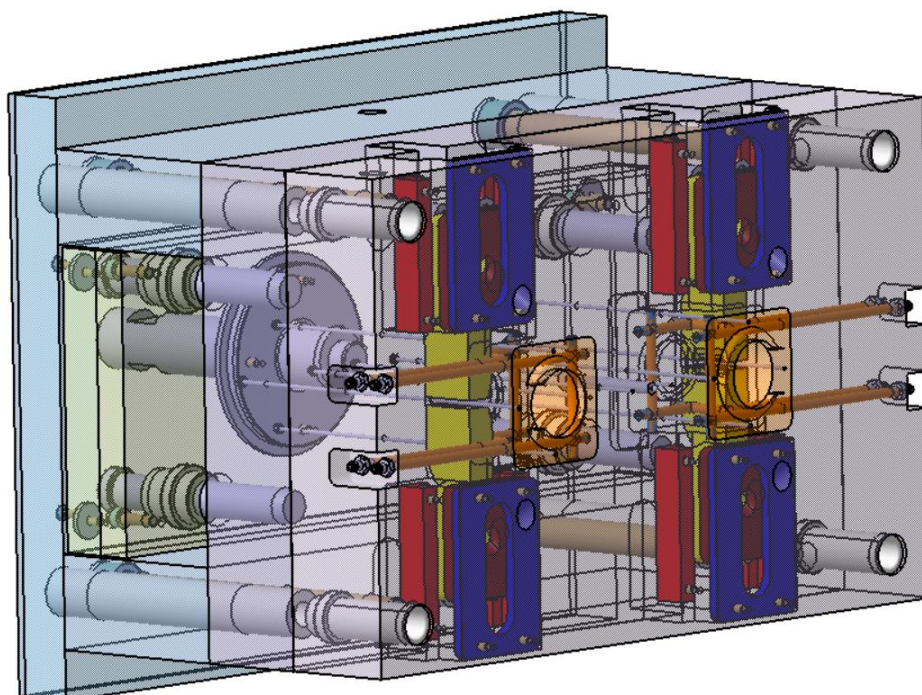
Obr. 36. Transportní můstek

6.10 Sestava vstříkovací formy

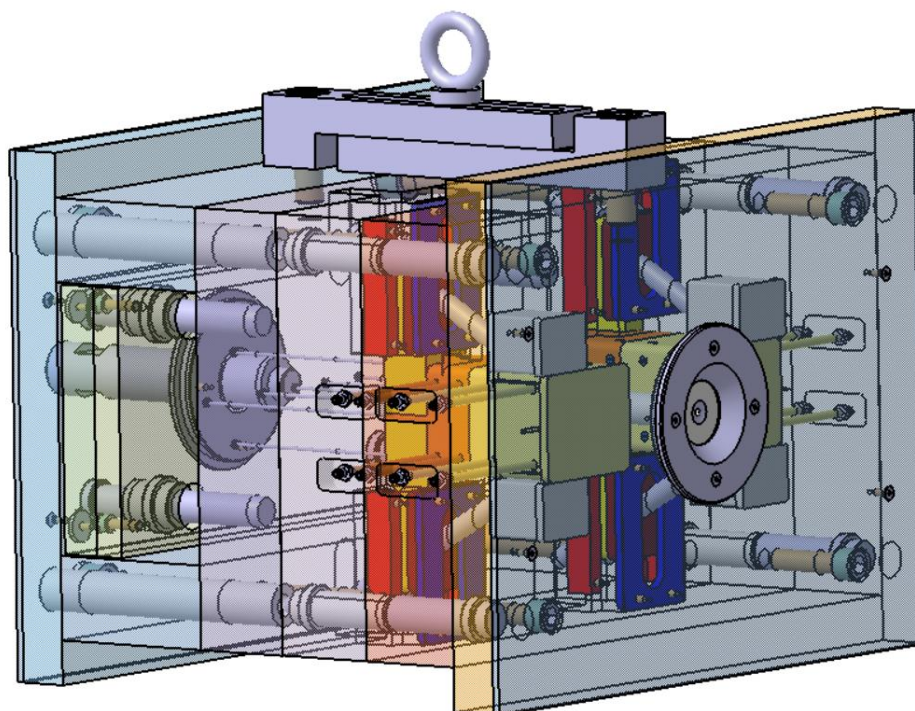
Forma je složena ze dvou hlavních částí. První z nich je levá strana vstříkovací formy tzv. strana vyhazovačů. Druhou je pravá strana tzv. strana trysky. Celkový pohled na vstříkovací formy včetně transportního můstku je na obr. (37).



Obr. 37. Pohled na pravou stranu formy



Obr. 38. Pohled na levou stranu formy



Obr. 39. Sestava formy

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření návrhu a zkonstruování vstřikovací formy pro zadaný výrobek z polymeru. Vstřikovaný díl představuje hrdlo palivové nádrže, která je vyrobena z polyoxymethylenu (POM).

Bakalářská práce se skládá ze dvou základních částí, kterými jsou teoretická a praktická. Teoretická část práce se zabývá základním rozdělením polymerních materiálů, technologií vstřikování a její využití a konstrukcí vstřikovacích forem s popisem jednotlivých částí.

V praktické části práce byla provedena konstrukce vstřikovací formy ve 3D. Při navrhování formy bylo využíváno katalogu normálí od firmy HASCO. Byla zvolena nejlépe vyhovující koncepce formy. Pro zadaný výrobek byla vybrána dvounásobná forma. Ve formě byl zvolen studený vtokový systém lichoběžníkového průřezu, který dovede taveniny do vtokového ústí ve tvárnici. Při návrhu formy byl vyřešen problém zaformování bočních výstupků, které zvyšovaly konstrukční složitost celé formy. K odformování těchto bočních výstupků byly použity boční posuvné čelisti, na kterých jsou přišroubovány pomocné tvárníky. Pohyb čelistí je zajištěn pomocí šikmých čepů. Dále byly navrženy tvarové části formy. Odvzdušnění bylo vyřešeno tak, že na levé straně formy vzduch unikne pomocí vůle u pomocných tvárníků. Na druhé straně formy musel být ve tvárnici vyroben odvzdušňovací kanál. Temperace formy se skládá ze čtyř okruhů. Byly zvoleny soustavy vrtaných kanálů o optimálním průměru a velikosti, aby zajistily dostatečné chlazení formy. Pro vyhození výrobku z formy byl navržen vyhazovací systém s válcovými vyhazovači. Manipulace vstřikovací formy je umožněna prostřednictvím transportního můstku.

Výkresová dokumentace byla zhotovena na normalizovaný výkresový formát A3 a připojena k bakalářské práci. Obsahuje pohled pravou stranu formy. Tento pohled obsahuje 2 řezy celou formou. Jednotlivé řezy jsou označeny příslušným názvem (ŘEZ A-A, ŘEZ B-B). Seznam všech použitých součástí je náležitě opozicováno a zapsán v kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] MAŇAS, Miroslav a František TOMIS. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastkářské stroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1990.
- [2] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastkářské technologie*. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
- [3] BOBČÍK, Ladislav, ed. *Formy '85 pro zpracování plastů: sborník přednášek*. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1985.
- [4] MENGES, Georg; MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. New York : Hanser, 1986. 269 s. ISBN 3-446-13666-5
- [5] KUBÍČEK, D., Bakalářská práce: Konstrukce formy pro vstřikování plastového dílu. 1. vyd., Zlín: 2005, 56 s.
- [6] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-7318-039-1.
- [7] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
- [8] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-305-8
- [10] *Grumex: pružné partnerství* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.grumex.cz
- [11] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2015. ISBN 978-80-7204-919-6.
- [12] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : 2. Díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno : Uniplast, 1999. 214 s.
- [13] *Publi* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.publi.cz
- [14] *Meudelu* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.is.meudelu.cz
- [15] *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.wikipedia.org

- [16] LABAJ, Lukáš. *Konstrukce vstřikovací formy*. Zlín, 2008. 76 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.
- [17] ARBURG [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.arburg.com
- [18] 14220 [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.14220.cz
- [19] HASCO [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: www.hasco.com
- [20] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [21] OSSWALD, Tim A., Lih-SHeng TURNG a Pail J. GRAMANN. *Injection molding handbook. 2nd. ed.* Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
- [22] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser, c2007. ISBN 1569904219.
- [23] TICKOO, Sham. *CATIA: kompletní průvodce*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3527-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	Stupeň Celsia
3D	Trojrozměrný prostor
apod.	A podobně
mm	milimetr
POM	Polyoxymethylen
tzv.	Takzvaně
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
2D	Dvojrozměrný prostor
tj.	Tj.
SW	Software
N	Newton
%	Procenta
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
ITT	Index toku taveniny [g/10min]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení polymerů [13].....	12
Obr. 2. Amorfní a semikrystalická struktura [14].....	13
Obr. 3. Oblast využití u amorfních a semikrystalických plastů [3].....	13
Obr. 4. Surový přírodní kaučuk [15].....	14
Obr. 5. Vstřikovací cyklus [2].....	16
Obr. 6. Vstřikovací stroj [16].....	17
Obr. 7. Vstřikovací stroj od firmy ARBURG [17].....	17
Obr. 8. Sekvence změn rozměrů vstřikovaného dílu během procesu vstřikování [13].....	23
Obr. 9. Uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [18].....	25
Obr. 10. Studený vtokový systém [18].....	25
Obr. 11. Průřezy vtokových kanálů [3].....	26
Obr. 12. Vyhřívaná tryska [17].....	28
Obr. 13. Rozvodný blok I, H, X [19].....	29
Obr. 14. Vyhazovací kolíky [10].....	31
Obr. 15. Princip funkce stírací desky [7].....	31
Obr. 16. Trubkový vyhazovač [10].....	32
Obr. 17. Odformování pomocí šikmých čepů [10].....	32
Obr. 18. Temperace forem [13].....	34
Obr. 19. Odvzdušnění formy [13].....	36
Obr. 20. Fotografie výrobku.....	39
Obr. 21. Model výrobku.....	39
Obr. 22. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 370 S.....	41
Obr. 23. Celková sestava vstřikovací formy.....	42
Obr. 24. Násobnost formy.....	43
Obr. 25. Dělicí roviny.....	44
Obr. 26. Tvárník.....	44
Obr. 27. Tvárnice.....	45
Obr. 28. Pomocné tvárníky.....	45
Obr. 29. Tvarovací jádro.....	45
Obr. 30. Vyhazovací systém.....	46
Obr. 31. Řez bočním pomocným tvárníkem.....	47
Obr. 32. Vtoková soustava.....	48
Obr. 33. Temperace levé tvarové desky s tvárníky.....	48

Obr. 34. Temperace pravé tvarové desky s tvárnici.....	49
Obr. 35. Odvzdušnění tvárnice.....	49
Obr. 36. Transportní můstek.....	50
Obr. 37. Pohled na pravou stranu formy.....	50
Obr. 38. Pohled na levou stranu formy.....	51
Obr. 39. Sestava formy.....	51

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Výkresy
- P II Kusovník
- P III CD disk