

Konstrukční řešení plastového výrobku z PUR a nástroje pro jeho zpracování

Jan Fatr

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Fatr**
Osobní číslo: **T160086**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukční řešení plastového výrobku z PUR a nástroje pro jeho zpracování**

Zásady pro vypracování

1. vypracovat literární studii pro dané téma
2. provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti z PUR
3. navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl
4. nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem

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

Seznam doporučené literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. 1. vydání – Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
2. REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.
3. OSSWALD, T. A. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 11. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá řešením konstrukce plastového výrobku z PUR a nástroje pro jeho zpracování. Pojednává o důležitých faktorech zpracování plastických hmot vstřikováním a jeho alternativami. Práce se také zabývá modelováním ve 3D programu a postupem návrhu konkrétního výrobku včetně formy pro jeho zpracování.

Klíčová slova: plasty, polyuretan, reakční vstřikování, 3D modelování

ABSTRACT

This thesis is focused on design of a plastic part made from PUR together with its tool for processing and disserts upon important factors of plastic injection and its alternatives. The document also illustrates modeling of a plastic part and injection mold in 3D software.

Keywords: plastics, polyurethane, reaction injection molding, 3D modeling

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a čas, díky čemuž bylo možné tuto bakalářskou práci dokončit.

Mé poděkování patří také mojí rodině, která mne podporovala po celou dobu mého studia.

Dále bych také rád poděkoval Národní knihovně České republiky Kramerius za zpřístupnění jejich databází v době karantény způsobené koronavirem.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY.....	11
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ.....	11
1.1.1 Termoplasty.....	12
1.1.2 Reaktoplasty.....	12
1.1.3 Elastomery	13
2 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	14
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	14
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	15
2.2.1 Vstřikovací jednotka.....	16
2.2.2 Uzavírací ústrojí	17
2.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	17
3 REAKČNÍ VSTŘIKOVÁNÍ (RIM).....	19
3.1 POLYURETAN	20
3.2 DOPRAVA MATERIÁLU.....	21
3.2.1 Okruh nízkotlaké cirkulace	22
3.2.2 Vysokotlaké dávkování.....	23
3.2.3 Směšovací hlava	24
3.3 RIM FORMA.....	25
3.3.1 Materiál formy.....	26
3.3.2 Vtoková soustava.....	27
3.4 VYJMUTÍ Z FORMY.....	29
3.4.1 Dokončovací operace.....	29
3.4.2 SRIM.....	30
4 DALŠÍ METODY VSTŘIKOVÁNÍ.....	31
4.1 GIT, WIT VSTŘIKOVÁNÍ.....	31
4.2 VSTŘIKOVÁNÍ SENDVIČŮ	32
4.3 VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ	32
4.4 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ S PRÁŠKY.....	33
4.5 TECHNOLOGIE ZASTŘÍKÁVÁNÍ	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	35
6 VÝROBEK.....	36
6.1 KONSTRUKCE VÝROBKU	36
6.2 MATERIÁL VÝROBKU.....	38
6.2.1 Objem výrobku:.....	38

7	FORMA	39
7.1	KONSTRUKCE FORMY	39
7.1.1	Uzavírání	41
7.2	STOJAN	41
8	FINÁLNÍ PRODUKT	43
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	44
10	POUŽITÝ SOFTWARE	45
10.1	CATIA V5R19	45
10.2	AUTOCAD	45
	ZÁVĚR	46
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50
	SEZNAM TABULEK	52
	SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Po méně než století od objevu prvních syntetických polymerů převzaly tyto materiály nenahraditelnou roli ve všech odvětvích. Stýkáme se s nimi každý den od obalů potravin, přes oděvy až po konstrukce automobilů, letadel a budov. Nahradily dříve používané materiály jako dřevo, keramiku, sklo a kov díky svým lepším vlastnostem, či odstraněním nežádoucích vlastností a také především díky snadné, levné a rychlé výrobě. Usnadňují naše každodenní životy a urychlily vývoj technologií.

Polymery se neustále vyvíjí, objevují se stále nové druhy se stále lepšími a stálejšími vlastnostmi a spolu s nimi se zdokonalují i metody jejich zpracování. Zdaleka nejpoužívanější metodou zpracování je vstřikování taveniny plastu vstřikovacím strojem do dutiny příslušné vstřikovací formy. Tato metoda je však finančně náročná, stroje jsou velké, výroba formy je náročný zdlouhavý proces a hodí se tedy na velkosériové výroby.

Tím vzniká spousta alternativních metod vstřikování. Motivací pro vývoj těchto metod je výroba výstřiků se specifickými vlastnostmi, které klasické vstřikování neumožňuje jako například více oddělených složek, dutiny objemných výstřiků atd. Dále je motivací také cena výstřiků či zmenšení rozměrů vstřikovacího stroje a formy. Tyto požadavky splňuje reakční vstřikování polyuretanů, které je levné, snadné a lze vyrábět objemné, kvalitní výrobky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Syntetické polymerní materiály známe přibližně 100 let. Za tuto relativně krátkou dobu byly integrovány do všech oborů lidské činnosti a staly se nedílnou součástí našich životů. Hlavními důvody jejich širokého využití je nízká cena oproti jiným materiálům, snadné a levné zpracování, dále také elektroizolační vlastnosti, nízká hustota atd. Díky těmto a mnoha dalším vlastnostem polymery částečně, nebo zcela nahrazují ostatní materiály (dřevo, kov, sklo atd.). [9]

Polymery jsou materiály tvořené jedním (homopolymer) či více druhy atomů (kopolymer). Od ostatních materiálů se odlišují především řetězovou strukturou molekul, které jsou složené dlouhými lineárními řadami vzájemně spojených atomů. [1]

	ABS	PA	POM	PBT	PC	PE	PMMA	PPS	PP	UP	PUR	PUR (RIM)
držáky, klíčky			X	X								
kostra palubní desky		X							X	X		X
palubní deska	X								X	X		X
nárazník					X				X	X		X
systém chlazení		X										X
součásti karburátoru			X					X				
přístrojová deska, prvky	X											
vnější klíky			X	X								
elektrické komponenty		X	X	X	X	X		X				
palivová nádrž		X				X						
přední maska									X	X		
palivové potrubí		X	X									
řadící páka		X	X									
části potrubí		X						X				
kryty přístrojů					X		X					
světla a jeho součásti				X	X		X		X			
zpětná zrcátka					X							
přístrojová deska							X					
sedadla		X			X						X	
zvuková izolace											X	
volant												X
prvky pod kapotou		X	X	X								
podběhy, blatníky						X			X			

Tab. 1 – Využití polymerních materiálů v automobilovém průmyslu [4]

1.1 Základní rozdělení

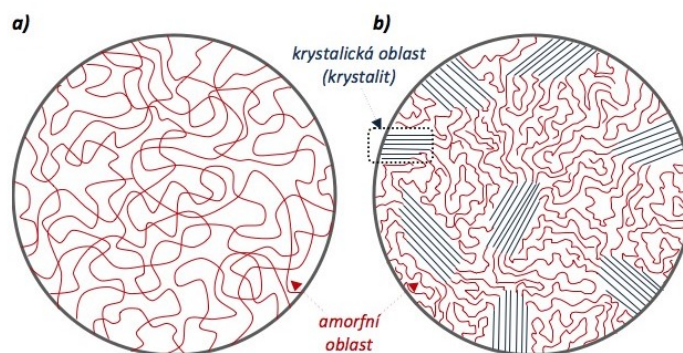
Základním technologickým rozdělením polymerů je podle teplotního chování/zpracování polymerů na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Dále lze polymery dělit podle mnoha aspektů na základě původu, aplikace, struktury atd. [1]

1.1.1 Termoplasty

Jsou to materiály, které zahříváním měknou a přechází do plastického stavu, kdy je lze snadno tvářet. Tohoto stavu nabývají po zahřátí nad teplotu tání. Během zahřívání se nemění chemická struktura a nedochází k chemické reakci. Reakce probíhající v termoplastech mají pouze fyzikální charakter a jsou tedy opakovatelně tavitelné. Termoplasty rozdělujeme na amorfní a semikrystalické. Dále je můžeme dělit na standardní, konstrukční a high-tech neboli vysoce odolné plasty. [1] [4]

Amorfní termoplasty vytváří řetězce prostorově nepravidelné a nahodilé. Vyznačují se vysokou pevností a křehkostí. Jejich index lomu je nízký a jsou tedy většinou transparentní v jejich přirozené formě. Díky neuspořádanosti řetězců je smrštění malé, spadá pod 1% objemu a jsou tedy vhodné pro výrobu rozměrově přesných dílů. Mezi amorfní termoplasty patří např. Polyvinylchlorid (PVC), Polystyren (PS), Polykarbonát (PC). [1] [4]

Semikrystalické termoplasty se oproti amorfním vyznačují určitým stupněm uspořádání tak, že při tuhnutí vytváří oblasti s krystalickou strukturou uvnitř amorfních oblastí. Kvůli tvorbě krystalické struktury nemohou být transparentní. Toto uspořádání má za následek větší smrštění až 2,5% objemu, které je ovlivněno také rychlostí chlazení. Tyto polymery se vyznačují zejména vyšší houževnatostí, než jakou vykazují amorfní termoplasty. Mezi semikrystalické termoplasty patří např. polyetylen (PE), polypropylen (PP), Polyamid (PA). [1] [10]

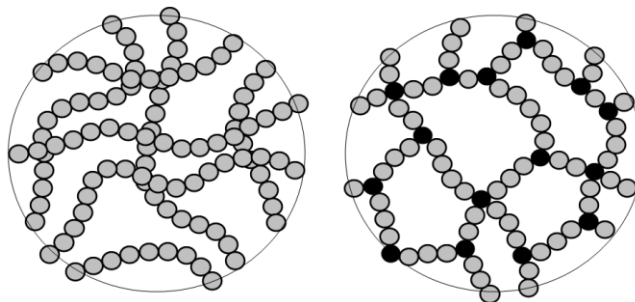


Obr. 1 – Struktura termoplastů [1]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty, dříve nazývané také termosety jsou polymery, které se zahřátím, nebo přidáním vytvrzovacího činidla chemickou reakcí zesítují. Přecházejí tak do netavitelného, nerozpustného stavu (ztrácejí termoplastické vlastnosti) a proces zesítnění je nevratný. Výrob-

ky z těchto polymerů se vyznačují vysokou tvrdostí, tuhostí, chemickou a tepelnou odolností. Jejich vlastnosti jsou výhodné u vrstvených výrobků (laminátů), kde slouží jako pojivo. Mezi reaktoplasty se řadí fenoplasty, aminoplasty, epoxidy ad. Nacházejí širokou škálu využití. [10]



Obr. 2 – Struktura reaktoplastu před (vlevo) a po (vpravo) zesítnění [4]

1.1.3 Elastomery

Elastomer je vysoce elastický (pružný) polymer, jehož dominantní skupinou jsou kaučuky. Ty rozdělujeme na přírodní a syntetické. Oproti jiným polymerům si i po značné deformaci zachovávají původní tvar. Kaučuky jsou základní surovinou pro výrobu pryží. Ty vznikají zesítněním, neboli vulkanizací způsobenou přidáním vulkanizačního činidla (nejčastěji síry) při zahřátí. Vulkanizace zásadně zlepšuje pevnost a pružnost. [10]

2 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Technologie vstřikování je v současné době nejrozšířenějším způsobem zpracování plastů. Vstřikovat můžeme reaktoplasty i elastomery, nejčastěji však termoplasty. Výrobky mohou nabývat i velmi složitých a členitých tvarů s dobrými tolerancemi rozměrů a kvalitní povrchovou úpravou. Výsledné výrobky tedy nemusí být dále opracovány. Proces zpracování plastu je rychlý a můžeme vyrábět více kusů výrobků najednou. Oproti jiným metodám zpracování plastů jako je například vytlačování jsou nevýhodami této technologie především vysoké finanční a časové investice do výroby forem a také nutnost používat stroj, který má neúměrně větší velikost oproti vyráběným dílům a je tedy vhodný především u velkovýroby. Při vstřikování je zpracovávaný materiál ve formě granulátu roztaven na taveninu v plastikační jednotce a vstříknut pomocí pístu nebo šneku z tavicí komory do dutiny vstřikovací kovové formy. Proces vstříknutí probíhá při vysoké rychlosti a za vysokého tlaku. Díky této metodě zpracování je také, při porovnání například s obráběním na CNC, mnohem menší vznik odpadního materiálu. Vstřikování je metodou s cyklickým průběhem a jedná se tedy o metodu diskontinuální. [3] [9]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus vyjadřuje celý proces vstřikování od uzavření formy, přes vstříknutí taveniny polymeru až po vyhození hotového výstřiku. Tento cyklus je rozdělen do přesně stanovených fází určených tak, aby byla zaručena nejvyšší možná kvalita výrobku při nejkratším možném čase. Jejich pořadí je následující:

1. Uzavření formy – uzavření musí být pod velkým tlakem, aby se tavenina nedostala do dělicí roviny. Uzavření musí být co nejrychlejší, ovšem plynulé, aby nedošlo k poškození.
2. Příjezd plastikační jednotky k formě
3. Vstřikování taveniny do dutiny formy – je způsobeno axiálním pohybem šneku, který se neotáčí. Jedná se o velmi krátký časový úsek, protože tavenina velmi rychle ztrácí teplotu při styku s formou, což zapříčiní tuhnutí.
4. Dotlak – kompenzuje smrštění taveniny vlivem chladnutí. Tlak ve formě tak dosáhne maxima.
5. Plastikace – probíhá v plastikační jednotce, které má za úkol připravit stejnoměrné množství taveniny pro další cyklus

6. Odsunutí plastikační jednotky
7. Chlazení taveniny – nejdelší část cyklu
8. Otevření formy
9. Vyhození, případně vyjmutí výstřiku z formy [3]

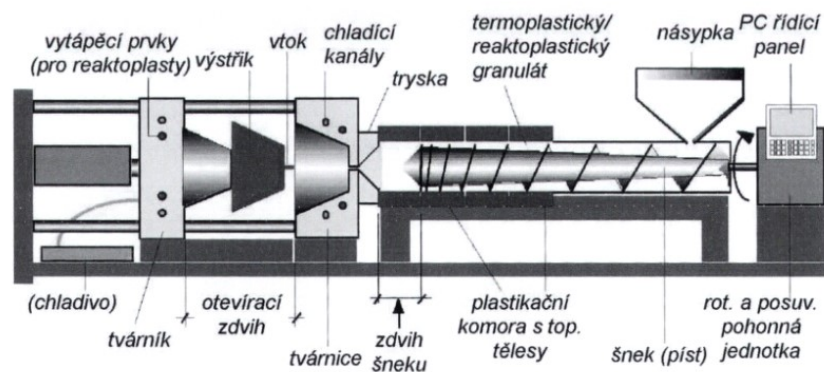


Obr. 3 – Vstřikovací cyklus [8]

2.2 Vstřikovací stroj

Slouží jako prostředek pro výrobu plastových součástí. Vstřikovat můžeme nejenom plasty, ale případně i hliník, nebo keramiku. Skládá se ze tří hlavních částí, a to ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. Vstřikovací stroj může být dále doplněn o manipulátory, roboty, temperační zařízení atd. a tím celý proces automatizovat.

Vstřikovací stroje dělíme podle zpracovávaného materiálu, polohy uzavírací jednotky, objemu vstřikované taveniny, vstřikovacímu systému a počtu šneků.



Obr. 4 – Schéma vstříkovacího stroje [11]

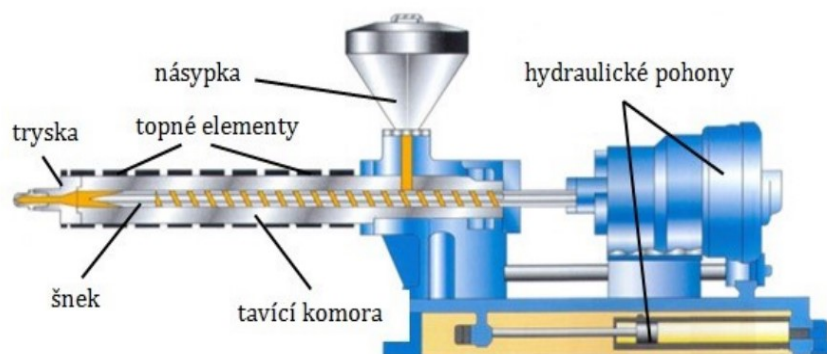
2.2.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka plní úkol přeměny granulátu plastu na teplotně a materiálově homogenní taveninu splňující požadavky pro správné zpracování před vstříknutím do formy a také tento materiál do formy dopravuje rotačními a axiálními pohyby při vysokém tlaku.

V praxi rozlišujeme dva hlavní typy vstříkovacích jednotek:

- Pístové – dnes již zastaralá metoda, která má mnoho nevýhod
- Šnekové – které dále rozdělujeme podle počtu šneků

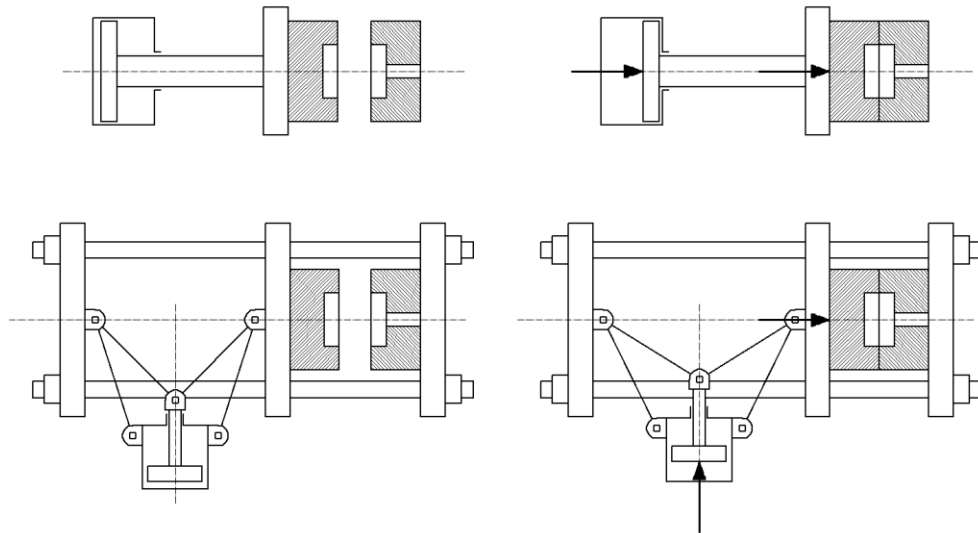
Šnekové vstříkovací jednotky se skládají ze šnekového ústrojí (šnek a tavící komora). Na začátku je doplňován granulovaný materiál pomocí násypky. Rotačním pohybem šneku se dostává do tavící komory, kde se mění na homogenní taveninu pomocí topných těles a tření až k trysce, což je zapříčiněno rotačním pohybem šneku. Poté axiálním pohybem bez rotace vstříkne materiál do dutiny formy. Tento proces nesmí trvat příliš dlouho, protože jinak by mohl materiál začít degradovat. [7]



Obr. 5 – Vstříkovací jednotka [7]

2.2.2 Uzavírací ústrojí

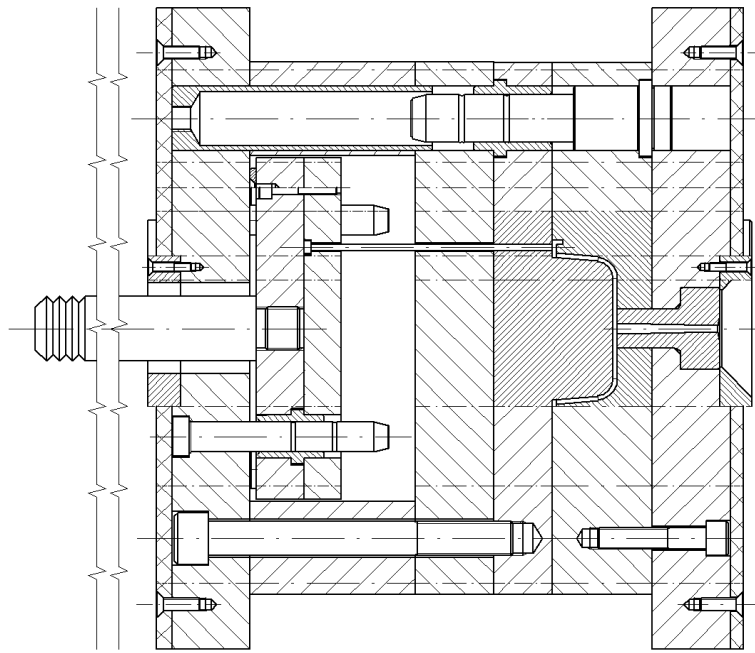
Úkolem uzavírací jednotky je otevírání a zavírání formy dle požadavků výroby a drží formu uzavřenou v procesu vstřikování. Musí také vyvinout dostatečný tlak, aby tavenina neunikla z dutiny formy. Uzavírací jednotky jsou ovládány většinou hydraulicky, případně hydromechanicky nebo elektromechanicky. [7]



Obr. 6 - Hydraulické (nahore) a hydromechanické uzavírací ústrojí (dole)

2.3 Vstřikovací forma

Vstřikovací formy musejí především odolávat vysokým uzavíracím tlakům a tlaku vstříknuté taveniny. Forma musí splňovat vysokou přesnost a jakost funkčních ploch. Jejich konstrukce je finančně náročná a vyžaduje mnoho konstrukčního a výrobního času a znalostí. Skládá se z dutiny a jejího vtokového systému, dále pak temperačního a vyhazovacího systému, upínacích a vodících elementů. [4]



Obr. 7 - Řez vstřikovací formou

Kvalita a jakost výsledného výstřiku je ovlivněna vtokovým systémem, který zajišťuje správné naplnění dutiny formy a jeho konstrukce může umožňovat odtržení od výstřiku při vyhození z formy. Konstrukce vtokového systému je navržena především podle počtu dutin formy, tedy podle její násobnosti a také podle volby studeného, nebo vyhřívaného vtoku. Zásadní podmínkou je, aby byly všechny dutiny plněné symetricky. [4]

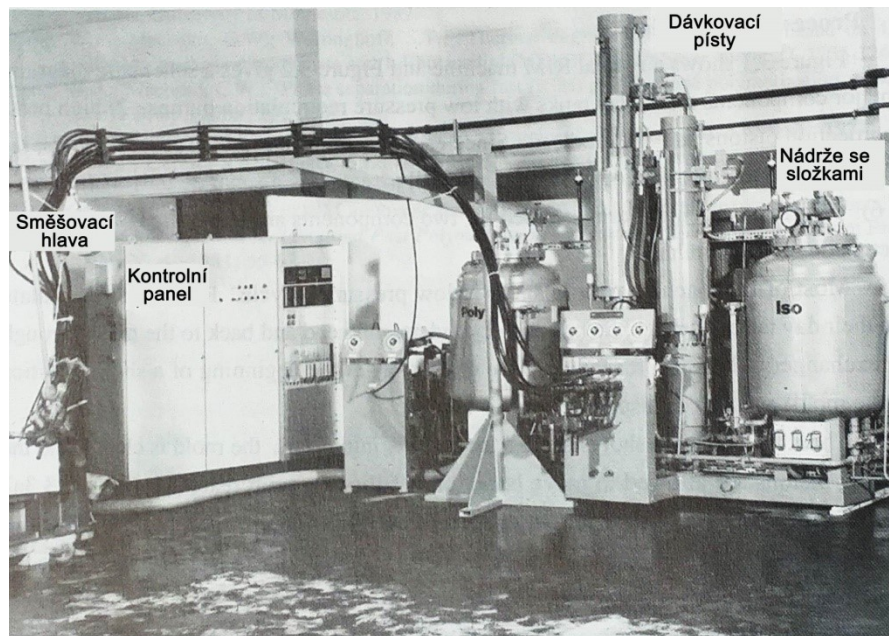
Pro urychlení polymerizace výstřiků jsou formy vybaveny temperančním systémem, kterým je tvořen systémem kanálu a dutin, kterými proudí temperanční médium. Chlazení musí opět probíhat symetricky po celém výstřiku, aby nedocházelo k vadám, jako je vnitřní pnutí. Rozdíl teploty média mezi vstupem a výstupem by neměl překročit 5°C. [4]

Tavenina vstupuje do formy pod vysokým tlakem a tedy i vysokou rychlostí, čímž vytlačuje z dutiny vzduch, který zde zůstane po uzavření. Uzavřený vzduch musí někudy uniknout a proto jsou formy odvzdušněny pomocí odvzdušňovacích kanálů, které se umísťují podél rozváděcích kanálů taveniny. [4]

Po vytvrzení jsou výstřiky vyhozeny vyhazovacím systémem sestávajícího z vyhazovačů, jejichž styčná plocha musí být dostatečně velká na to, aby nepoškodila povrch výstřiků. [4]

3 REAKČNÍ VSTŘIKOVÁNÍ (RIM)

Technologie reakčního vstřikování, zkráceně nazývané RIM (Reaction Injection Molding) je velmi podobná klasickému termoplastickému vstřikování (TIM) s tím rozdílem, že do dutiny formy není vstřikována tavenina polymeru. [5]



Obr. 8 – RIM jednotka

Nejprve jsou dvě či více složek, tak zvaných reaktantů v přesném poměru a množství dopraveny do směšovací hlavy, kde se promíchají a následně je tato směs vstříknuta do dutiny formy, přičemž začne směs polymerovat. Tento proces se děje již při pokojové teplotě, okolo 25° - 60°C. Začíná probíhat chemická reakce a směs tak formu vyplní.

Vstříkovaná směs má velmi nízkou viskozitu a proces tedy nevyžaduje tak vysoké tlaky jako při TIM, což umožňuje konstrukci daleko menších strojů pro tento proces. Tento fakt se odráží na výsledné ceně této technologie, která je značně nižší. Jelikož směs ve formě nechladne jako tavenina a polymerací ji vyplňuje, tak není v procesu vstřikování nutný dotlak. Na výrobku nevznikají vady typu jako zamrzlého napětí nebo propadlin a umožňuje tedy výrobu komplexních a tvarově složitých, i velmi rozměrných výrobků. Díky míchání směsi a jejich reakci je možné ovlivnit aspekty výsledného výrobku, jako například jeho hustotu, tuhost, tvrdost atd. Nachází tedy vysoké uplatnění nejen v automobilním průmyslu od výroby částí sedadel (polyuretanové pěny) až po výrobu nárazníků, ale také v medicíně, sportu, zemědělství a mnoho dalších oblastí.

Jako každá technologie má samozřejmě i RIM své nevýhody. Nízká viskozita vstříkované směsi může při příliš rychlém vstříknutí pohltit bubliny vzduchu, které se výrazně projeví na výsledném výrobku. Na formu jsou kladeny vysoké nároky na odvětrávání. Dále je také při nižším tlaku obtížnější dosáhnout hladkého povrchu. Nejčastěji využívaným materiálem je polyuretan, na kterém byla tato metoda vstříkování založena. Dále také polyester, polyamid 6, epoxidové pryskyřice a další.

	Teplota taveniny	Viskozita plastu	Vstříkovací tlak	Uzavírací síla
	[°C]	[Pa.s ⁻¹]	[MPa]	[kN]
RIM	40 - 60	0,1 - 1	10 - 20	500
Vstříkování	150 - 370	10 ² - 10 ⁵	20 - 100	3 000 - 30 000

Tab. 2 - Porovnání RIM a TIM technologií

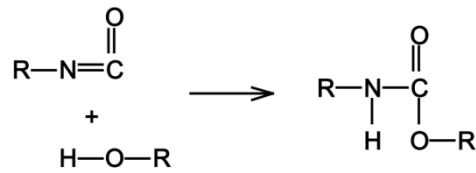
3.1 Polyuretan

Polyuretan je materiál, který patří mezi 10 nejmasověji produkovaných, polymerních materiálů. Vyrábí se pomocí exotermní, chemické reakce reaktantů, jejímž poměrem se dá značně ovlivnit struktura a mnoho dalších aspektů výsledného výrobku. Polyuretany mohou vytvářet měkké, tvrdé nebo integrální pěny a jejich struktura může být lineární, nebo zesíťovaná (elastomer). Polyuretany jsou extrémně otěruvzdorné, mají velmi dobrou adhezi ke spoustě materiálů, dobrou stálost v prostředí vody a odolnost proti kyselinám a zásadám. [1] [2] [5]



Obr. 9 – Polyuretan na kovovém dílu [12]

Jedná se o syntetický polymer tvořený uretanovou řadou, která vzniká reakcí vysoce reaktivních, vícefunkčních isokyanátů (di-, tri-, poly- ...) a látek z hydroxylové skupiny, nejčastěji polyolů (polyalkoholů). [2]



Obr. 10 - Vznik uretanové řady [2]

Mezi nejvíce používané isokyanáty patří 4,4'-difenylmetan a 2,4-toluen diisokyanáty pro svou vysokou reaktivitu a nízkou cenu. [2]

Dále se pro výrobu polyuretanů, především pro RIM technologii přidávají do směsi extendery a katalyzátory. Extendery jsou dvou nebo vícefunkční molekuly, které na uretanové řetězce reagují a prodlužují je. Katalyzátory ovlivňují polymeraci polyuretanů. Všechna aditiva se míchají nejdříve s polyoly, které se poté smíchají s isokyanáty. [2] [5]

Polyuretanové pěny vznikají reakcí diisokyanátů a polyhydroxysloučenin s vodou, která uvolňuje oxid uhličitý - nadouvadlo. Vyrábějí se většinou v nepřetržitě pracujících zpěňovacích strojích. Do stroje se přivádí všechny tři hlavní složky plus látky pomocné, kde se smíchají a vytvoří viskózní kapalinu, která vypění ve formě. Pěny se až poté vyřezávají do výsledné podoby. Měkké polyuretanové pěny se vyrábějí v rozmezí od 15kg/m³ do 70kg/m³. mají skvěle adhezní schopnosti a využívají se jako tepelná i zvuková izolace. Dále jako polstrování sedaček či matrací. Tvrdé polyuretanové pěny mají již od 10kg/m³ do 600kg/m³ a často se používají v automobilovém průmyslu pro výrobu nárazníků, částí interiérů i exteriéru pro jejich pevnost a dobrou otěruvzdornost, dále například jako skříně rozměrných elektronických spotřebičů. [1] [2]

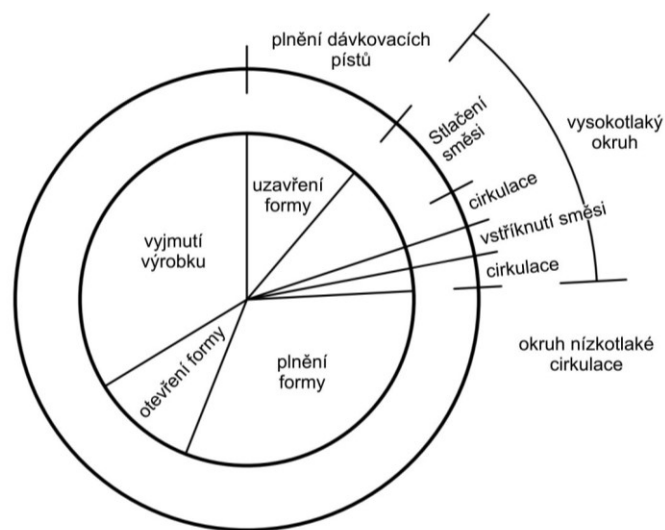


Obr. 11 - Polyuretanová pěna [1]

3.2 Doprava materiálu

Hlavními komponenty pro dopravu materiálu jsou dávkovací nádrže s nízkotlakými cirkulačními pumpami, vysokotlaké dávkovací písty a směšovací hlava. Vstřikovací forma je

zvlášť jako samostatný stroj. Nejdelší strojní čas zabírá oblast nízkotlaké cirkulace. Reaktanty cirkulují z jejich nádrží přes dávkovací válce, směšovací hlavu a zpět do nádrží přes tepelný výměník. Tím je zajištěna teplotní stabilita při vstřikování a správné rozložení směsi. Přibližně 15 sekund před vstříknutím je forma uzavřena, uzavře se nízkotlaký okruh a dávkovací písty se začnou zaplňovat reaktanty. Kolem 5 sekund před vstříknutím začnou písty směs stlačovat. Vstřikování trvá asi 1 až 2 sekundy. Poté se směšovací hlava uzavře a reaktanty pod vysokým tlakem pokračují v cirkulaci, aby se dávkovací písty vyprázdnily. Stroj se poté opět uvede do nízkotlakého cirkulačního módu. Při velkovýrobě mohou vysokotlaké okruhy obsluhovat i více směšovacích hlav najednou, tím i více forem. [5]

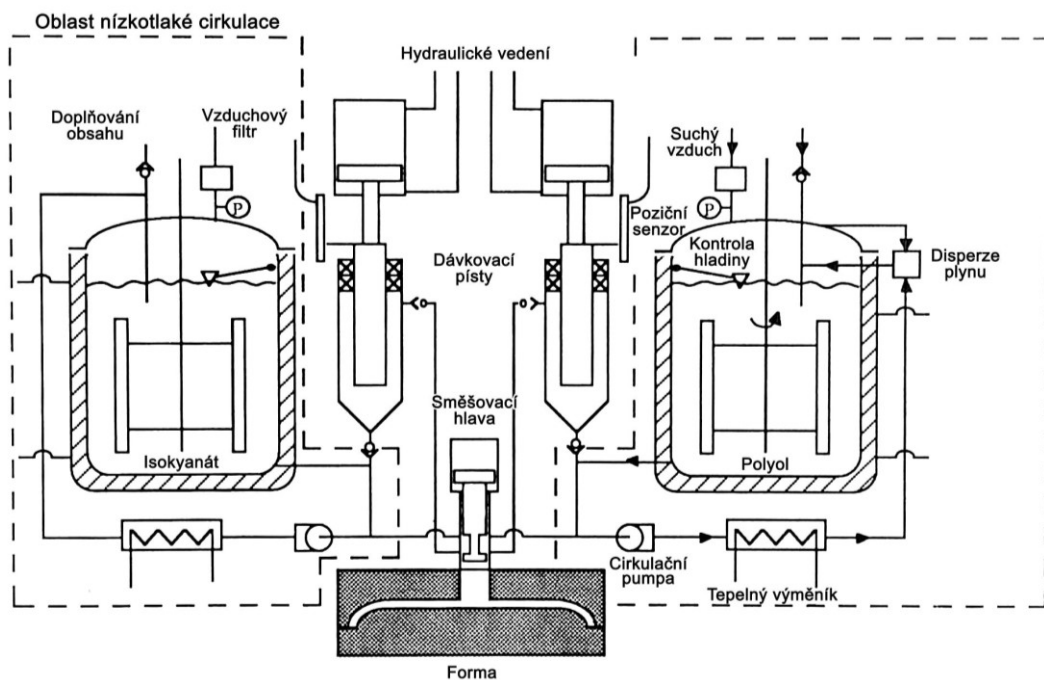


Obr. 12 - Vizualizace vstřikovacího cyklu RIM [5]

3.2.1 Okruh nízkotlaké cirkulace

Okruh nízkotlaké cirkulace zajišťuje přísun složek do dávkovacích pístů v oblasti vysokotlakého dávkování ve správném poměru, teplotě, tlaku a dalších důležitých aspektech. Nádrže s reaktanty musí být průběžně promíchávány pro zajištění teplotní homogenity, kde by neměla být odchylka větší, než 2°C. Teplota kapaliny musí být udržována pro dosažení správně reaktivity a viskozity. Isokyanáty by mohli jinak zatuhnout. Při nízkotlaké cirkulaci musí být kontrolováno mnoho aspektů. Množství kapaliny v dávkovacích nádržích je kontrolováno plovoucím měřičem a doplňováno z nádrží přibližně po dvou vstřikovacích cyklech. Další důležitou funkcí je přívod suchého vzduchu nebo dusíku do reaktantů, čímž se chrání před kontaminací vodou. Dále plyn napomáhá nastolit vhodný tlak cirkulačních pump. Rozptýlené bubliny plynu pomáhají při reakčním plnění formy. Při cirkulaci je su-

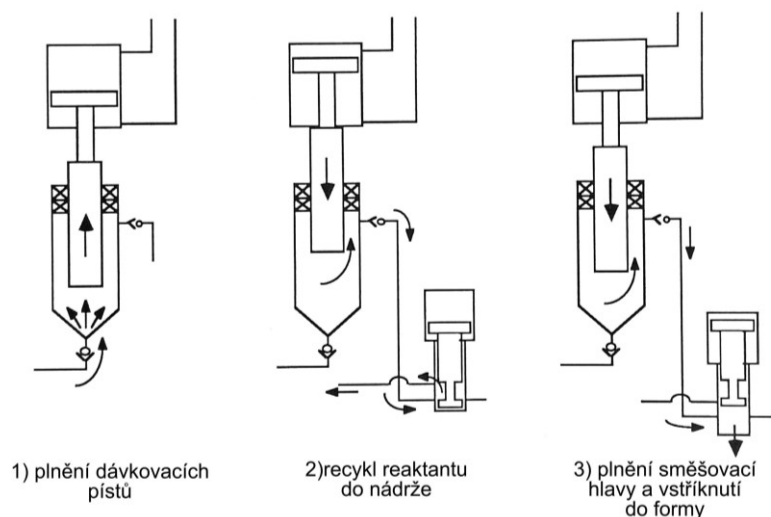
chý vzduch rozptýlen do složky polyolu díky rotačnímu injektoru nebo Venturiho trubici ve zpětné trase do nádrže. Hustota polyolu je tak redukována na 60% – 80%. Tyto bubliny pak kolabují ve vysokotlakém dávkovacím pístu a znovu se objeví při dekompresi ve směšovací hlavě. Expandují při exotermní reakci jako kompenzace smrštění, které nastává při polymeraci. [5]



Obr. 13 - Schéma vstříkovacího stroje [5]

3.2.2 Vysokotlaké dávkování

Po naplnění dávkovacích pístů z cirkulačního okruhu musí písty dopravit reaktanty do směšovací hlavy při tlaku 5 až 25MPa v požadované průtokové rychlosti. Písty jsou ovládnány převážně hydraulickými pumpami. Ačkoliv jsou většinou RIM stroje konstruované pro dvě hlavní složky, bývají přítomné i další (tedy tři a více vstupů do směšovací hlavy) složky, tedy aditiva. [5]



Obr. 14 - Průběh vysokotlakého dávkování [5]

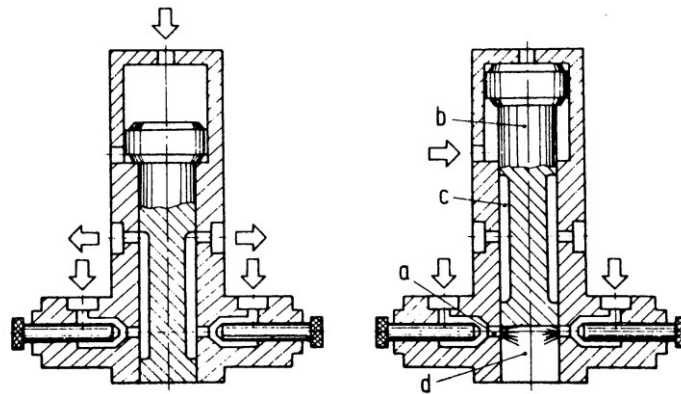
3.2.3 Směšovací hlava

Po připravení reaktivních složek v oblasti dopravy materiálu následuje míchání tohoto materiálu ve směšovací hlavě. Tato část procesu je nejkritičtější. Vysokorychlostní míchání je nejpodstatnější částí celého procesu RIM vstřikování, kdy musí být složky dobře a rychle promíchány. [5]

Technologie RIM je cyklická a diskontinuální. Je třeba zajistit Start a konec míchání a také udržovat směšovací komoru bez zbytků směsi po každém vstříknutí. Nejčastěji jsou používána průtoková míchadla. Na obou přívodech jsou ventily zajišťující funkci start - stop průtoku a k čištění komory od zbylých nečistot je používáno rozpouštědlo, nebo stlačený vzduch. Dnešní směšovací hlavy se skládají z následujících částí:

1. Cirkulačního průtoku reaktantů blízko směšovací komory pro udržení teploty a disperze a pro umožnění okamžitého startu míchání.
2. Rychle otevíratelných ventilů pro kontrolu stechiometrie ihned od začátku míchání
3. Vstupních trysek pro vstříknutí složek do komory ve vysoké rychlosti
4. Komory, kde na sebe proudy složek narážejí, čímž probíhá míchání
5. Pístu, který vstříkne směs z komory do formy [5]

Klasické směšovací hlavy mají dva vstupy, ale některé typy mohou mít i vstupy 3 nebo 4, což umožňuje multikomponentní směšování. Další vstupy většinou louží k přidání barviv, katalyzátorů, separačních činidel a nadouval. Komora mívá okolo 10 až 16 milimetrů. [5]



Obr. 15 - Schéma směšovací hlavy [5]

Na Obr. 15 je vykresleno schéma základního typu směšovací hlavy. Při cirkulaci reaktanty proudí žlábkem (c) přes zadní část pístu (b) zpět do dávkovacích nádrží. Až když píst vyjede nahoru, komora se začne plnit reaktanty skrz úzkými otvory a sráží se v komoře (d). Při stlačení pístu dolů je napouštění opět přerušeno, recirkulace obnovena a směs v komoře je vstříknuta do dutiny formy. [5]

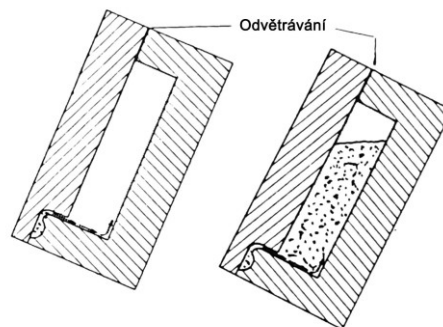
Směšovací hlavy mohou fungovat na více způsobech. Jiná varianta směšovací hlavy využívá oddělené ventily pro otevírání a uzavírání trysek. U všech variant musí být přepínání mezi recirkulací a plněním co nejkratší. Když konec pístu směšovací hlavy přejde přes vstřikovací trysky, tok je na krátký moment zastaven. Tím vzrůstá tlak v plnicím potrubí. Taková zvyšování tlaku může narušit správný poměr složek. Takové problémy mohou vést ke kazům na výrobku a jsou nazývány „lead-lag problems“, neboli problémy způsobené zpožděním mezi cykly ve směšovací hlavě. Pro zajištění správné konfigurace ve směšovací komoře je nutné, aby se komora rychle zaplnila tekutinou ihned po otevření. [5]

Všechny typy směšovacích hlav byly vyvinuty doslova pomocí metody pokus/omyl. Kvalita namíchané směsi se posuzuje dle výsledného vzhledu výstřiku. Pokud je polymer ve vtoku lepivý, vláknitý, nebo je viditelné vrstvení materiálu v průběhu plnění, je materiál špatně promíchaný. [5]

3.3 RIM forma

RIM formy se od klasických forem příliš neliší, především ty, které jsou užívané při velkovýrobě. Oproti klasickým vstřikovacím formám však nemusí snášet tak velké uzavírací tlaky. Hodí se díky tomu na rozměrově velké díly i na malé součástky. Kvůli nízké viskozitě musí být kladen vyšší důraz na těsnost formy v místě styku ploch, vyhazovačů atd.

kvůli vzniku otřepů, které jsou zásadním problémem RIM technologie. Proto se v některých případech používají pro úplné uzavření formy na okrajích dutiny těsnění. Pokud otřep zůstává ve formě, tak musí být vyjmut. Mohl by na svém místě zůstat, nebo dokonce spadnout do dutiny formy a poškodit tím následující výrobek. Také odvětrávací kanálek musí být dostatečně silný na to, aby vydržel spojený s výrobkem při vyjmutí z formy. Důležité je brát ohled při plnění formy na zachycení volného vzduchu a velkých vzduchových bublin. Orientace je u rozměrných forem nakloněna tak, aby odvětrávání bylo v nejvyšším místě formy. U výrobku které mají nějaká zákoutí, odkud by nemohl uniknout vzduch, musí být odvětrávání v každém takovém místě. Vtok materiálu by měl být naopak na nejnižším bodě. Vzhledová část formy by měla být na spodnější straně formy na straně tvárnice. [5]



Obr. 16 - Orientace formy [5]

U malé produkce může být forma jednoduše ovládána rukou, případně hydraulicky, větší formy jsou ovládány hydraulicky. U lehkých RIM forem není vyžadovaná velká uzavírací síla, přesto může vyjmutí vyžít větší síly, především pokud nebyl výrobek zcela vytvrzen důsledkem špatné smíchání směsi, nebo špatným vyplněním formy. Čím větší je forma, tím větší je vyžadovaná síla. Na plochý výrobek o rozměrech 1 x 1 m připadá síla rovna 100 tun. Pro snadné vyjmutí se tedy využívá pomocných vyhazovačů, které se nachází na nefunkční, skryté straně výrobku. Ty musejí mít dostatečný průměr, aby výrobek neponičily, musí být těsné tak, aby nepropustili směs, což platí i pro případná pohyblivá jádra. Při zcela automatické výrobě se využívají i robotická ramena. [5]

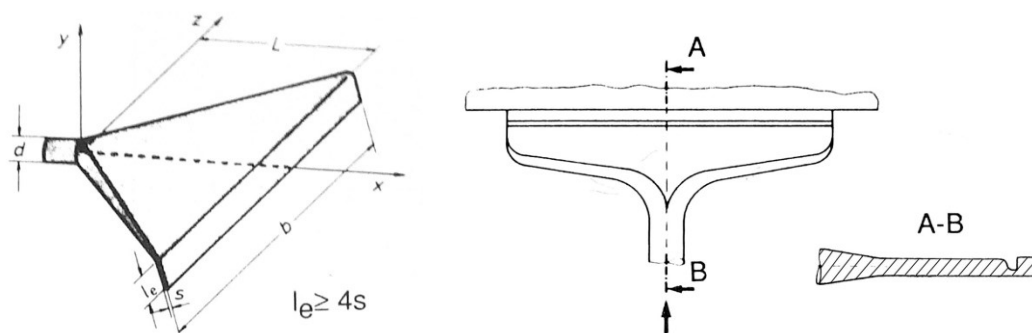
3.3.1 Materiál formy

Díky nízkým tlakům je možné pro výrobu formy využít i jiné, méně pevné a tedy lehčí materiály než je ocel a to například z epoxidů. Je možné vybírat z mnoha materiálů formy s ohledem na její konstrukci, povrchovou kvalitu, násobnost formy, rozměr a cenu. Nejlep-

ší povrch, produkci a toleranci má obráběná ocel. Je ovšem dražší, za to ale s vyšší životností a kvalitou než hliníkové formy. Takové formy mohou být navíc poniklované pro dosažení lepší povrchové kvality a také snazší vyjmutí výrobku. V automobilovém průmyslu se jedná o nejčastější druh forem pro velkovýrobu. Dále mohou být ocelové formy odlity, které jsou levnější, ovšem s horší tolerancí rozměrů. Při odlévání jsou preferovány slitiny zinku. Vysokou kvalitu povrchu včetně tolerancí jsou zaručeny u skořepinových niklových forem. Jsou ovšem tenké a jejich oprava a modifikace je obtížná. Při výrobě prototypů a nízkých počtů výrobků se používají plastové nebo kompozitní pryskyřicové formy. [5]

3.3.2 Vtoková soustava

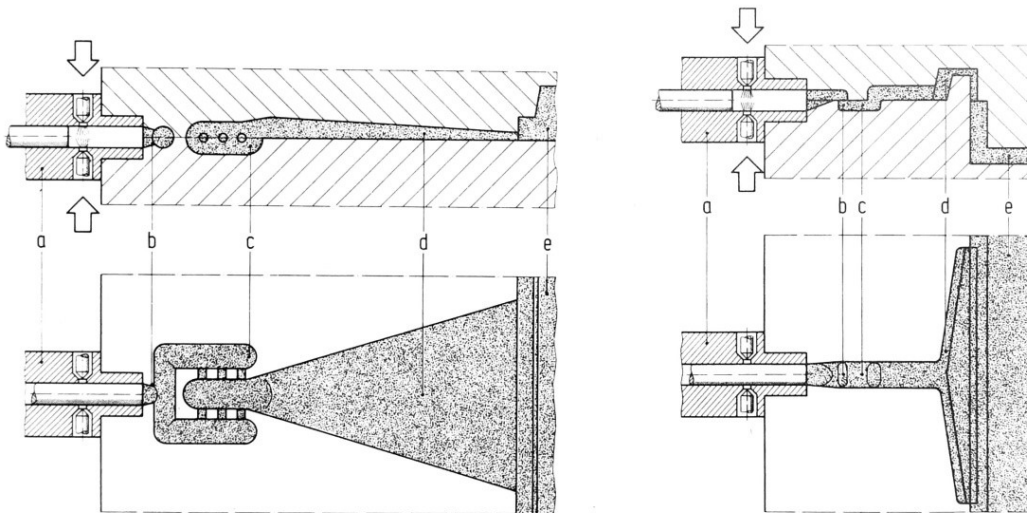
Typické výstřiky u RIM technologie jsou tenké a ploché a proud ze směšovací hlavy se musí co nejvíce rozstříknout. Dále také nesmí dojít k pohlcení vzduchu. U RIM technologie se používají kuželové, filmové a lopatkové vtoky, z nichž filmový vtok jim dominuje. Kuželové vtoky mohou být použity v případě, že vtokový průměr d má alespoň trojnásobný rozměr oproti tloušťce stěny H . To znamená, že pro výrobek s H 3mm by vtokový kanál musel mít d 24mm. Navíc musí být kuželový vtok umístěn ve středu dutiny, což u RIM technologie nebývá obvyklé. Větší využití nachází filmové vtoky, které se umísťují do dělicí roviny formy. Filmové vtoky potřebují poměrně velký prostor, který vyžaduje větší stěny formy. Tento problém efektivně řeší lopatkový vtok, který je ale náročnější na výrobu. [5]



Obr. 17 - Filmový vtok (vlevo) a lopatkový vtok (vpravo) [5]

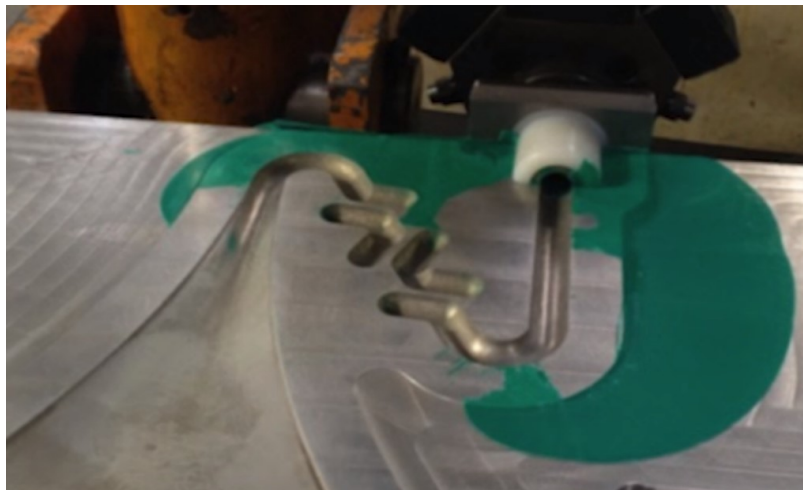
Průtok skrz jednoduchý vtokový kanál do formy může být dostačující. Je ovšem možné, že proudy ve směšovací hlavě se nepromíchají dostatečně a proto se přidává ještě omezovač toku nebo následný směšovač. Ty jsou zakomponovány do vtokového kanálu a po vyjmutí z formy musí být odstraněny. Na Obr. 17 jsou vyobrazeny dva typy vtokového kanálu. Následný směšovač typu harfa (harp) byl využíván spíše u dřívějších metod RIM

k zachycení špatně smíchaného materiálu již na začátku vstříknutí. Taková opatření jsou velmi účinná a také nutná u rychlých cirkulačních hlav. Druhý typ, anglicky diverter je konstrukčně jednodušší a stejně efektivní. [5]



Obr. 18 - Následné směšovače harp (vlevo) a diverter (vpravo) [5]

Alternativou takovýchto vtoků vestavěných ve formě je mechanické škrťací zařízení ve směšovací hlavě. Takovéto škrťací zařízení umožňuje použití směšovací hlavy o menších rozměrech a stejně tak menší a jednodušší vtokový kanál. Nevýhodou těchto škrťacích zařízení je to, že vyžadují další mechanický pohyb, který musí být synchronizován se směšovací hlavou. [5]



Obr. 19 – Následný směšovač firmy RIM MFG [13]

3.4 Vyjmutí z formy

Prvním krokem vyjmutí je otevření formy po dosažení maximálního tlaku ve formě. Adheze na stěnách formy vzniklá při vytvrzování směsi nesmí překročit sílu soudržnosti výrobku. Tato situace může nastat u rozměrově větších výrobků. V takovém případě by totiž mohlo dojít k jeho poničení. Adhezi je možné zredukovat pomocí nástřiku stěn formy separačními činidly. Ty jsou většinou přítomné již ve vstřikované směsi. [5]

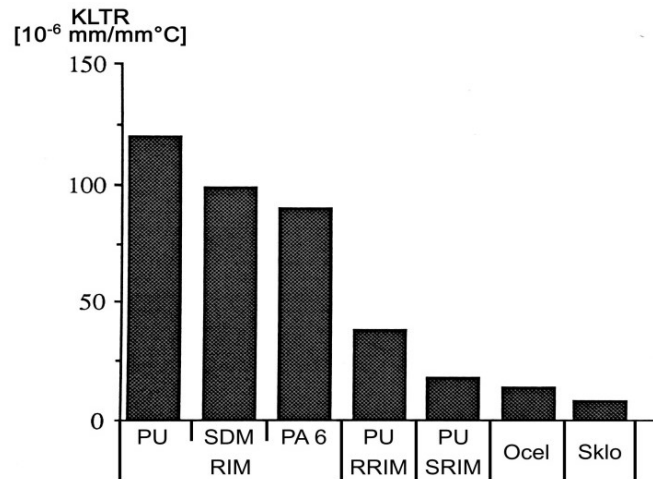
Po otevření formy je výrobek vyjmut. RIM technologie se často využívá u malosériové výroby, kde tento úkon vykoná obsluha. U velkosériové výroby je tento proces automatizován. Pro vyjmutí v celku musí mít výrobek dostatečnou odolnost vůči ohybovému namáhání, na které je nejcitlivější tenký otřep výrobku v oblasti dělicí roviny formy. Pokud se při vyjmutí odtrhne, zůstává ve formě, nebo spadne do tvárnice a pokud nebude vyjmut, naruší následující vstřikovaný výrobek. Dále mohou vzniknout také praskliny na výrobku. Prevence těchto chyb je ponechání výrobku déle ve formě, zvýšení teploty formy, nebo změna chemického složení, případně změna konstrukce. Po vyjmutí si výrobek musí při ochlazování zachovat tvar. [5]

3.4.1 Dokončovací operace

Po vyjmutí výrobku z formy je většinou nutné provést dokončovací operace. Obvykle se jedná o tyto operace v tomto pořadí – ořezání otřepů, vtoku a odvětrávacích kanálek; kontrola kvality; oprava bublin a děr; dotvrzení; odstranění zbytků externích separačních činidel; barvení. [5]

Velké výrobky bývají ořezávány převážně ručně. Malé výrobky mohou být ořezány automaticky podle šablony. U velmi přesných forem může být tato práce eliminována. Zapuštění dělicí roviny může ořezání ulehčit, okraje budou na jedné straně a mohou být snadno obroušeny. [5] Reakční vstřikování s výztuží

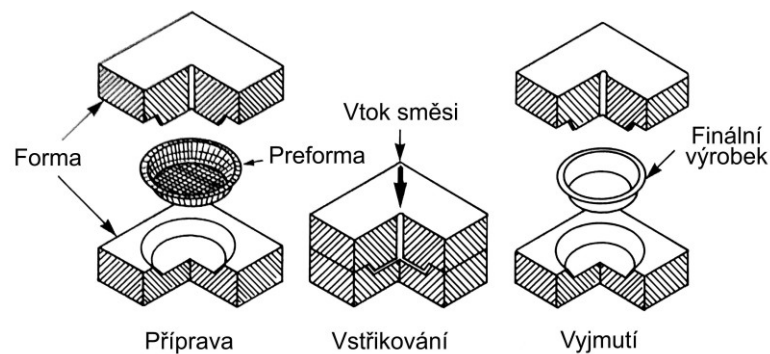
Tato metoda zkráceně nazývaná RRIM (Reinforced RIM) je využívána pro zajištění lepších mechanických vlastností výrobků pomocí kompozitního zastoupení skleněných vláken. Výztuž ze skleněných vláken ovlivňuje také velikost teplotní roztažnosti polyuretanu. Tento efekt je značnou výhodou například v automobilovém průmyslu, kde by exteriérové části z čistého polyuretanu mohli být značně poškozeni vlivem příliš velké změny velikosti vlivem tepla. Vlákna jsou přimíchávána již do samostatné složky polyolu před vstříknutím do směšovací hlavy. [5]



Obr. 20 - Porovnání koeficientů lineární teplotní roztažnosti [5]

3.4.2 SRIM

SRIM, tedy technologie strukturální reakční vstřikování je stejně jako RRIM založena na kompozitní struktuře z vláken, textílie, která je ovšem vložena do formy ještě před jejím uzavřením a nazývá se preforma. [5]



Obr. 21 - Průběh SRIM [5]

4 DALŠÍ METODY VSTŘIKOVÁNÍ

Speciální metody vstřikování se od klasického mohou lišit ve všech základních parametrech od konstrukce vstřikovacího stroje, přes vstřikovaný materiál až po požadavky na výsledný produkt.

4.1 GIT, WIT vstřikování

GIT (Gas Injection Technology) je technologie vstřikování, kdy se do určitých míst výstřiku přivádí pomocí dutiny plyn. Jedná se o vysoce čistý dusík s čistotou min. 99,8% stlačený na 10 až 30MPa. Tento způsob vstřikování se používá u výstřiků s velkým průřezem, pokud tím není ovlivněna jeho funkčnost, čímž se může ušetřit spousta materiálu a sníží se hmotnost. Další výhodou plynu je, že přebírá funkci dotlaku a kompenzuje tak smrštění taveniny, čímž dochází ke zkrácení vstřikovacího cyklu. Naopak cena stroje a nástroje je výrazně vyšší, stroj je složitější a chlazení v místech kanálů je problematické. Z pravidla se používají dvě hlavní metody – krátký a dlouhý vstřik. Při krátkém vstřiku je dutina naplněna materiálem pouze částečně a následným tlakem plynu je dutina zcela vyplněna. U této metody klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu. [2]



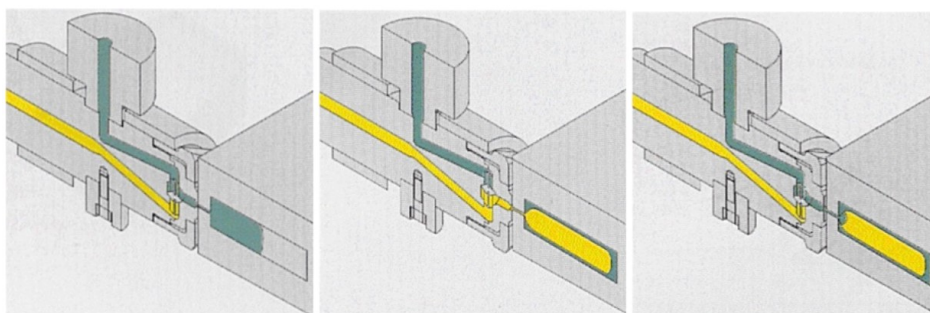
Obr. 22 - GIT, krátký vstřik [2]

U dlouhého vstřiku je dutina formy zcela vyplněna materiálem a tlakem plynu je tavenina vytlačována zpět před čelo šneku, nebo do pomocné dutiny oddělené přepážkou, která se otevře v době vpuštění plynu. Tato metoda je náročnější, ale tloušťka stěny zůstává po celé rovnoměrnější. [2]

WIT (Water Injection Technology) je založená na stejném principu, jako GIT. Jednou nebo více pumpami je do taveniny vstřikována voda za účelem vytvoření dutiny. Voda se nesmí odpařovat a po dokončení je vytlačena, nebo odsáta zpět do oběhu. Použití vody zkracuje vstřikovací cyklus ještě více než GIT díky vyššímu chladicímu účinku vody. [2]

4.2 Vstřikování sendvičů

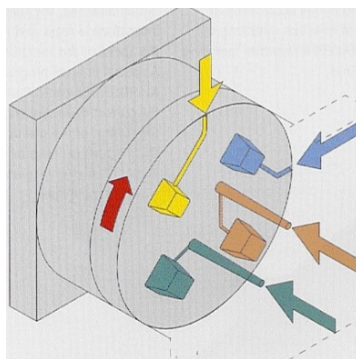
Při vstřikování sendvičů se jedná o metodu, kdy je do jádra dílu vstřikován jiný plastový materiál, většinou však recyklát, se slupkou z jednotného nového materiálu. Tato struktura je vytvořena díky využití laminárního proudění taveniny v dutině formy. Povrchová vrstva materiálu se po prvním vstříknutí a ochlazení dotykem se stěnou formy již nepohybuje a tím je jádro recyklovaného materiálu uzavřeno. Plasty jsou však dostatečně plastické na to, aby došlo ke spojení. [1] [2]



Obr. 23 - Vstřikování sendvičů [1]

4.3 Vícekomponentní vstřikování

Tato technologie umožňuje kombinovat na jednom výstřiku dva a více materiálů nebo barev, které se spojí, ale nepromíchají. Funguje na bázi adhezních sil, nebo zastříknutím tvarové geometrie. Nachází velké uplatnění u kombinace termoplastů s elastomery. Podle počtu složek jsou na vstřikovacím stroji přítomny nejčastěji dvě až čtyři vstřikovací jednotky. Do dutiny formy je vstříknut první materiál, poté se forma otevře a otočí do další fáze, což se opakuje, dokud není vstřikovaný díl hotový. Všechny části výstřiku jsou zhotovovány najednou. To znamená, že na čtyřkomponentní formě jsou v jednom cyklu zároveň vstřikovány čtyři druhy plastů a po každém cyklu je jeden hotový kus vyhozen. [2]



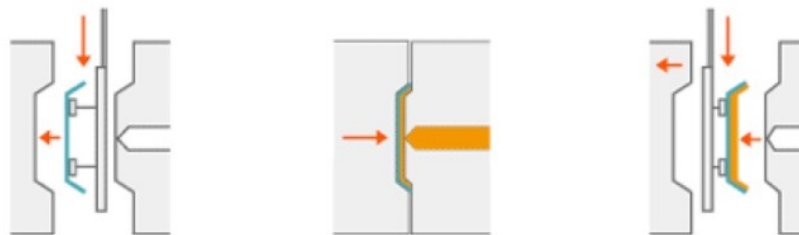
Obr. 24 - Princip čtyřkomponentního vstřikování [1]

4.4 Vstřikování plastů s prášky

Tato technologie využívá polymer pouze jako matrici, tedy pojivo pro prášky z kovu, skla nebo keramiky. Používá se hojně ve všech oborech tam, kde díly není možné vyrobit žádnou jinou technologií. Nevýhodou je vysoká cena a vysoká náchylnost na vznik jettingu, tedy plnění dutiny volným paprskem. Konečná kvalita výrobků je ovlivňována hrubostí použitých prášků. Před vstříknutím se prášek s plastem míchá a je ještě granulován. Po vstříknutí do dutiny formy a vyjmutí se plast odstraňuje tepelně při teplotách okolo 400°C, nebo tepelně chemicky. Tím dojde k odstranění většiny plastu a následuje spékání výrobku do finální struktury. [1]

4.5 Technologie zastříkávání

Technologie zastříkávání spočívá ve vstříknutí polymeru do dutiny vyplněné jiným materiálem (kov, dřevo, textilie, odlišný plast), který byl do dutiny vložen před jejím uzavřením. Tím jej tavenina obalí a dojde ke spojení za účelem zlepšení ať už vzhledových, nebo mechanických vlastností. Plast zajišťuje tvarovou a rozměrovou stabilitu. [2]



Obr. 25 - Proces zastříknutí materiálu [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracování literární studie na dané téma,
- Vytvoření konstrukce 3D modelu samotného vstřikovaného dílu,
- Navržení vstřikovací formy pro zadaný díl,
- Nakreslení 2D řezů vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníků

Teoretická část této bakalářské práce shrnuje poznatky ohledně plastů a jejich zpracování vstřikování konvenčními i speciálními způsoby.

Praktická část je zaměřena na vytvoření 3D modelu zadaného výrobku a formy pro jeho vstřikování metodou RIM.

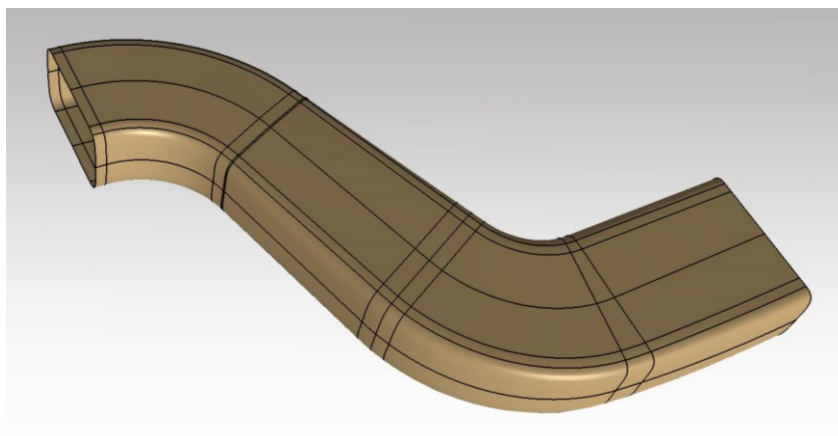
6 VÝROBEK

Výrobek, na který se tato bakalářská práce zaměřuje, je madlo pro transport rakve, které musí odolat určitému zatížení a také působí jako ozdobný prvek. Stejně jako ve všech odvětvích výroby, i v pohřebnictví plasty nahrazují dosavadní materiály. Důvodem je dostupnost a zpracovatelnost, které se značně odráží na výsledné ceně.



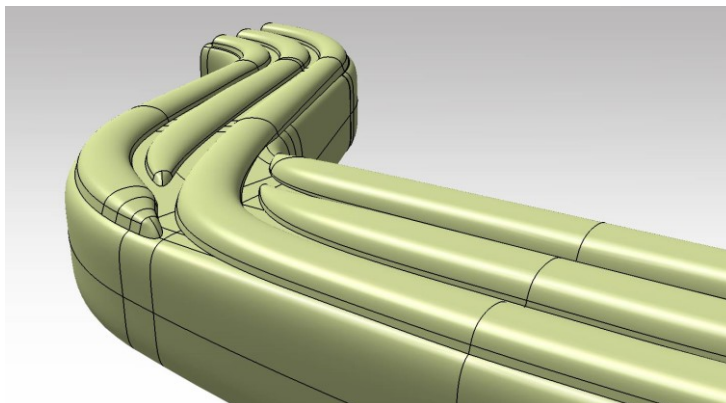
Obr. 26 – Vzor ozdobného madla

6.1 Konstrukce výrobku



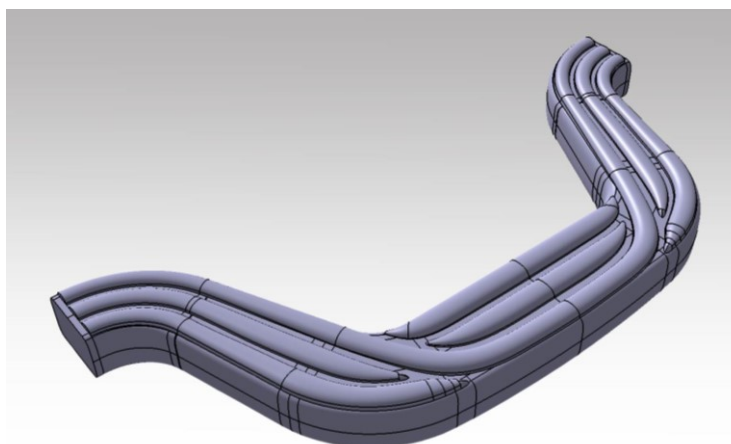
Obr. 27 – Vytvoření modelu madla pomocí shape design

Zadanými rozměry madla jsou pouze celková výška, šířka a tloušťka, podle kterých byl navrhnut model. Pro ulehčení se dělá pouze polovina, protože je madlo symetrické a může být ozrcadleno i ve finální podobě.



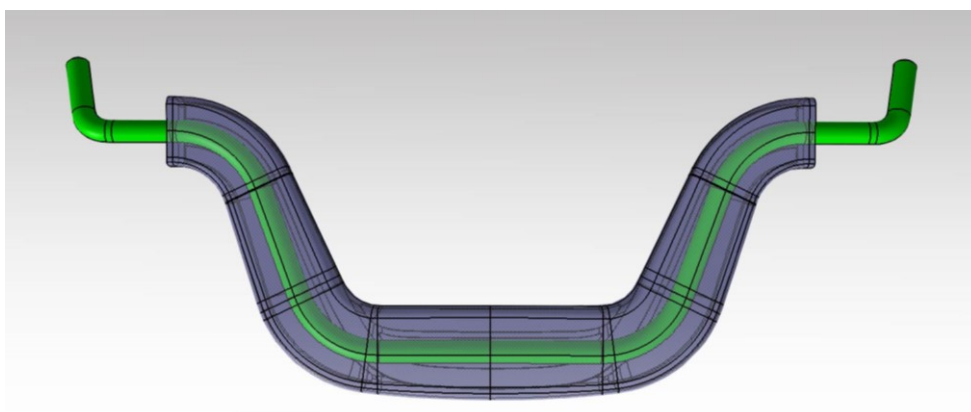
Obr. 28 – Návrh a realizace reliéfu

Design reliéfu, tedy ozdobné části madla, nebyl konkrétně zadán. Pro tento výrobek byly zvoleny jednoduché a přesto elegantní, symetrické tvary.



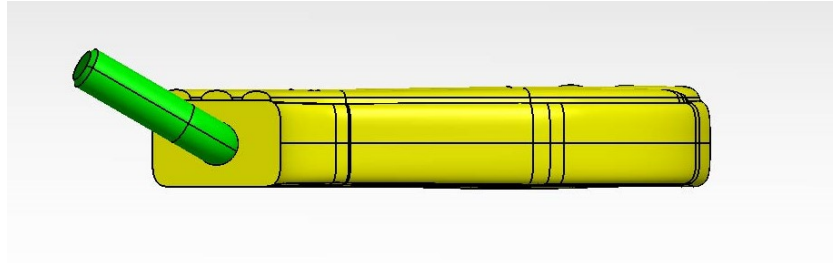
Obr. 29 – Převedení hotového madla na solid part

Po realizaci designu je plastová část madla hotová. Následuje zrcadlení symetrie a převedení na solidní part, se kterým se dále pracuje pro tvorbu formy.



Obr. 30 – Navržení preformy podle těla madla

Po zhotovení těla madla byla dále navržena preforma. Ta bude tovena ocelovým drátem, který zajišťuje pevnost výrobku. Část přesahující madlo slouží k ukotvení. Konce drátu jsou ohnuty o 30° tak, aby při uchopení držely madlo v pevné poloze.



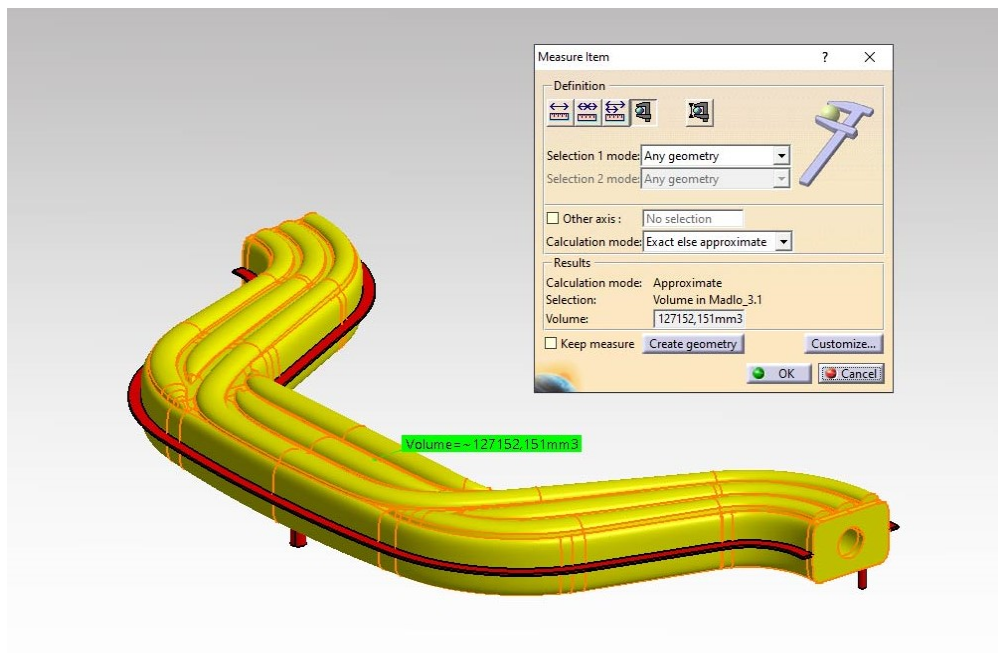
Obr. 31 – Ohnutí konce drátu

6.2 Materiál výrobku

Madlo bude vyrobeno z tuhé polyuretanové pěny, jejíž složky jsou isokyanát a polyol spolu s nadouvadlem, například vodou. Směšovací poměr udává výrobce v materiálovém listu. Klasický poměr bývá 1:1.

6.2.1 Objem výrobku:

Měřicí modul udává, že objem plastové části výrobku je $127,15 \times 10^{-6} \text{ m}^3$



Obr. 32 – Objem plastové části výrobku

7 FORMA

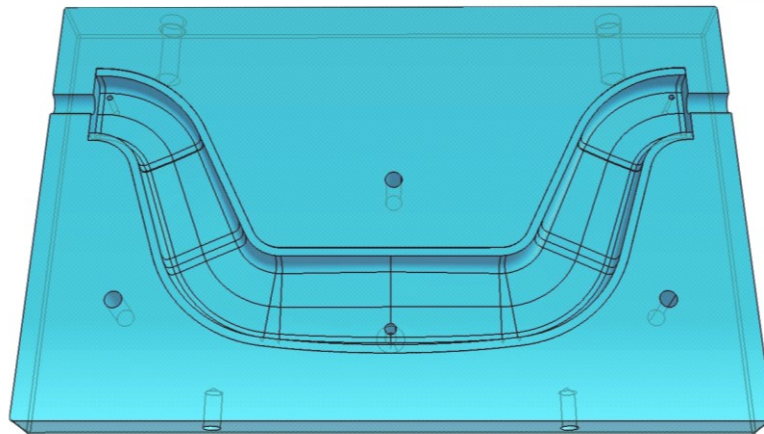
7.1 Konstrukce formy

U reakčního vstřikování se nepracuje s taveninou, která by byla vstřikována pod vysokým tlakem, ale se směsí o pokojové teplotě vstříknuté do dutiny formy, kterou následně sama vyplní pomocí chemické reakce. Forma proto nemusí odolávat vysokým tlakům, ani velkým teplotním rozdílům. Díky tomu může být forma menší a může být vyrobena i z méně odolných, lehčích a levnějších materiálů.

Pro tento výrobek byl zvolen materiál formy z obrobeného duralu. Jedná se o obchodní označení pro slitiny hliníku a mědi. Dural má vysokou pevnost i tvrdost a přesto nízkou hmotnost $2\,800\text{kg/m}^3$.

Násobnost formy je pouze pro jeden výrobek za vstřikovací cyklus. Směšovací hlava však může zaplnit i více forem za sebou a proto doporučuji vyrobít dvě formy, kdy během přípravy jedné formy včetně vstříknutí směsi může v druhé tuhnout výrobek a obráceně.

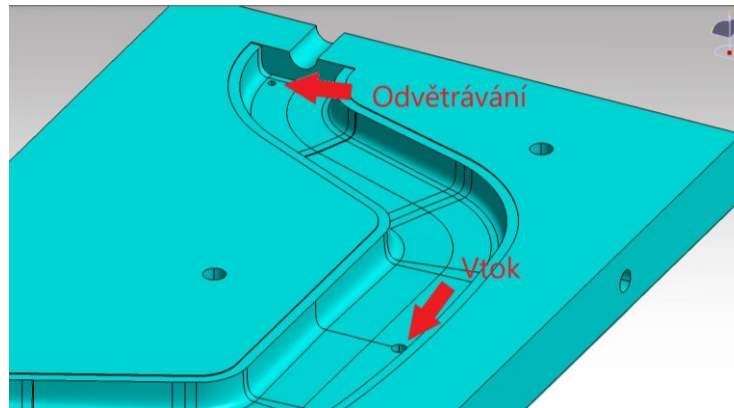
Při plnění formy vzniká jen velmi málo tepla díky exotermické reakci složek směsi, která nedokáže ovlivnit teplotu formy po celém vstřikovacím cyklu u takto malého výrobku. I při zvýšení teploty formy je směs chlazená preformou a chlazení kapalinou tedy není nutné.



Obr. 33 – Horní část formy

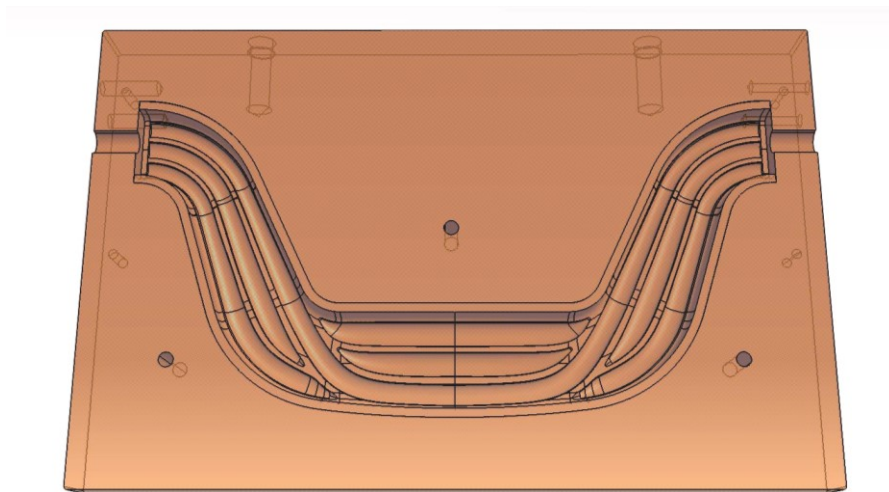
Na horní části formy se nachází dutina pro skrytou stranu madla, tedy stranu bez reliéfu. Dále obsahuje vtokový kanál a dva odvětrávací kanálky tak, aby co nejefektivněji zajistily únik vzduchu při plnění formy. Vstřikování je řešeno shora, nikoliv z dělicí roviny jak je to

u reakčního vstřikování obvyklé. Směšovací hlava je od formy po vstříknutí odejmuta a směs by bočním vtokem unikla.



Obr. 34 – Řešení vtoku a odvětrávání

Forma je řešena tak, že objímá preformu na jejích koncích. Tento výřez se nachází na téměř nejvyšším bodě dutiny (forma je nakloněna) a nemělo by dojít k úniku, protože při plnění dochází k nárůstu viskozity směsi, která by přes případné nerovnosti neměla již uniknout. Případný přetok bude ořezán při dokončovacích operacích.

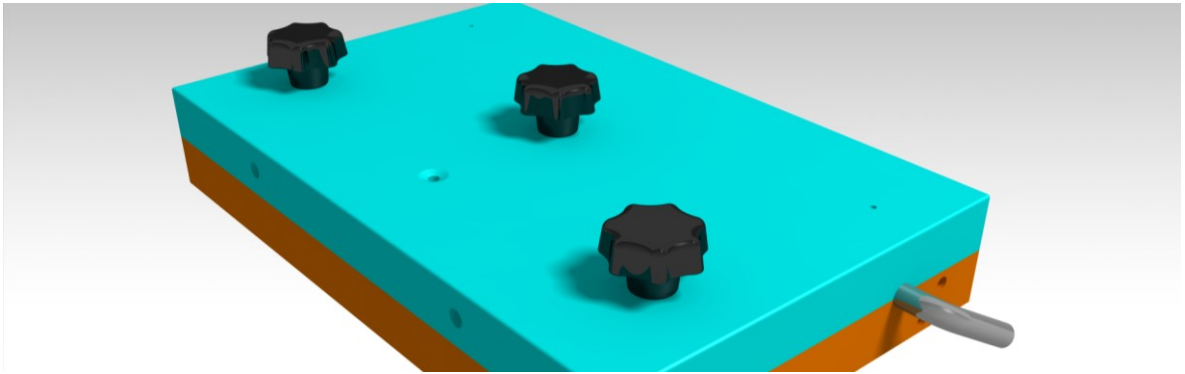


Obr. 35 - Dolní část formy

Dolní část formy obsahuje vzhledovou stranu madla. Tekutá směs ji tak lépe zaplní a je zajištěno, že v tvarových částech madla nebude uvězněn vzduch, který by výsledný vzhled poškodil.

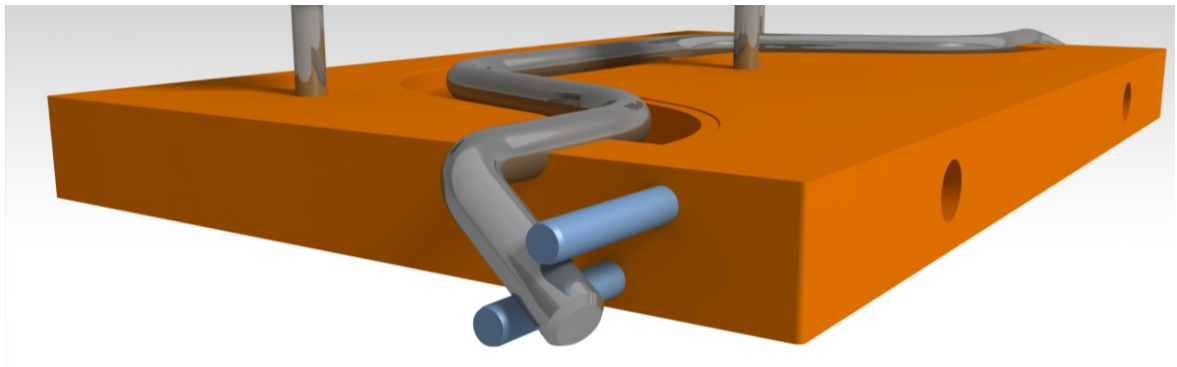
Obě poloviny formy dále obsahují drážku okolo dutiny o celkové tloušťce 0,4mm a hloubce 2mm. Jejich funkcí je zachycení přetoků a snižují možnost úniku směsi do dělicí roviny.

7.1.1 Uzavírání



Obr. 36 – Uzavřená forma

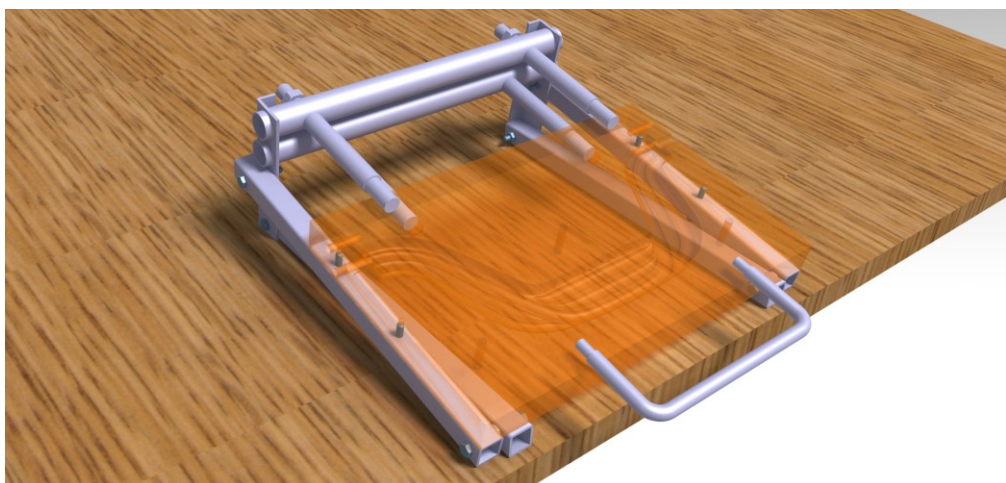
K vystředění a uzavření formy slouží 3 šrouby ručně utažitelné plastovou rukojetí.



Obr. 37 – Zajištění polohy preformy

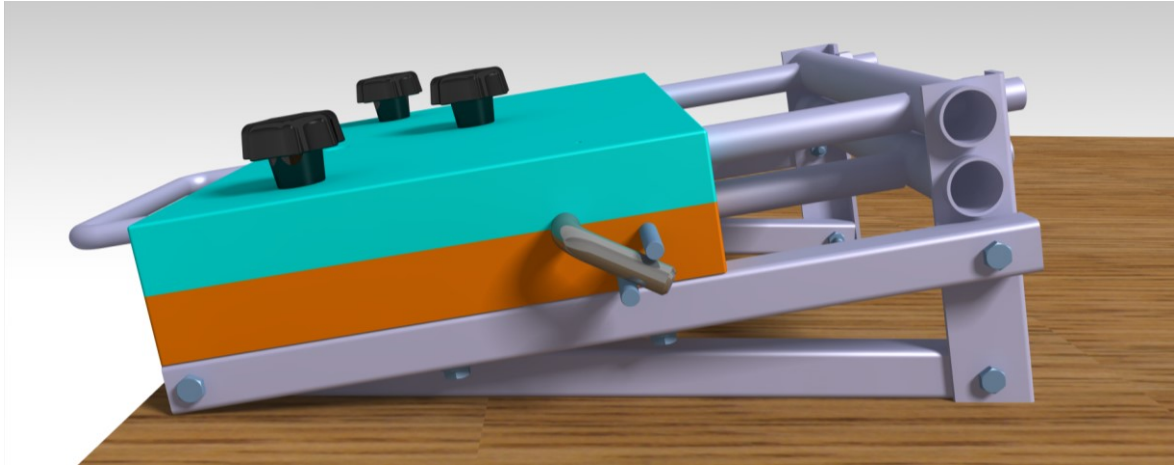
Správnou polohu preformy zajišťují dva zalisované kolíky na obou stranách dolní formy.

7.2 Stojan



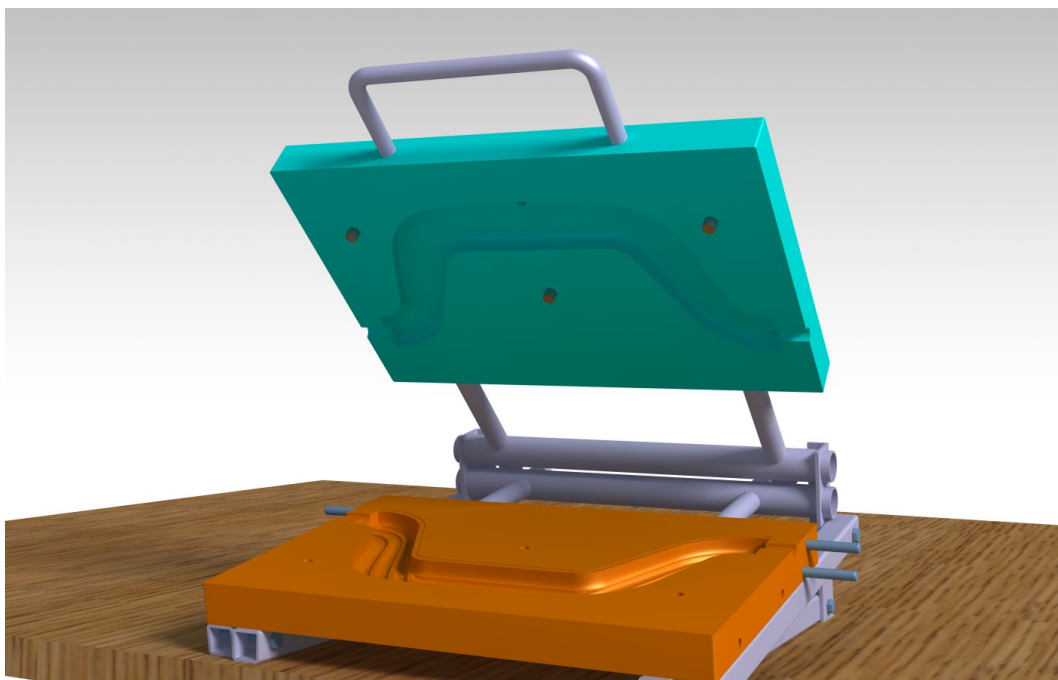
Obr. 38 – Stojan pro formu

Forma pro reakční vstřikování by měla být nakloněna z místa vstřiku k místu odvětrávání. Součástí je tedy i stojan, který zajistí náklon a také snadné otevírání formy. Stojan je tvořen pouze snadno dostupnými normáliemi.



Obr. 39 – Náklon formy

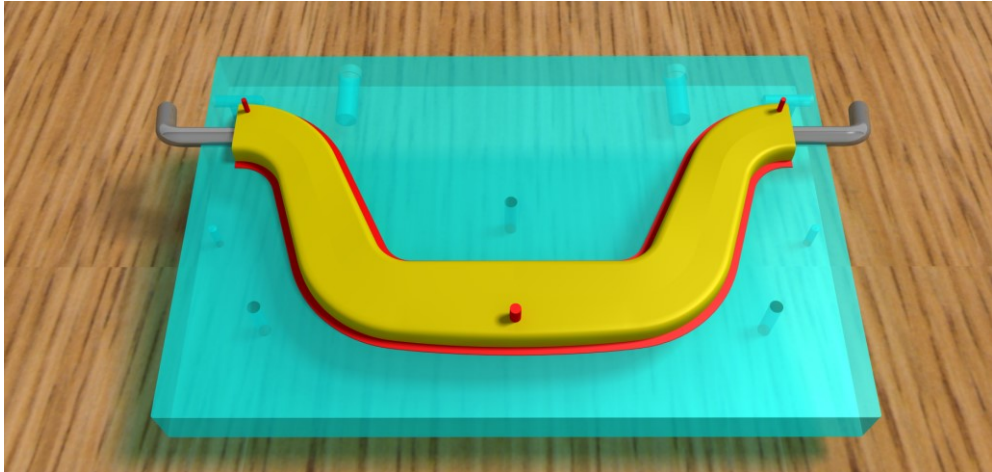
Forma je díky stojanu nakloněna o 10° , které zajišťují ideální plnění formy. Nejvyšší bod dutiny formy nepřesahuje přes vrchol vtokového kanálu, aby směs nemohla z formy uniknout. Osa otevírání formy je prodloužena tak, aby se tuhý výrobek ve formě nevzpříčil a také aby odvětrávací kanálky nezůstaly zalomené ve formě důsledkem ohybu. Pro snadné otevírání formy je horní část formy opatřena zalisovanou rukojetí.



Obr. 40 Otevřená forma

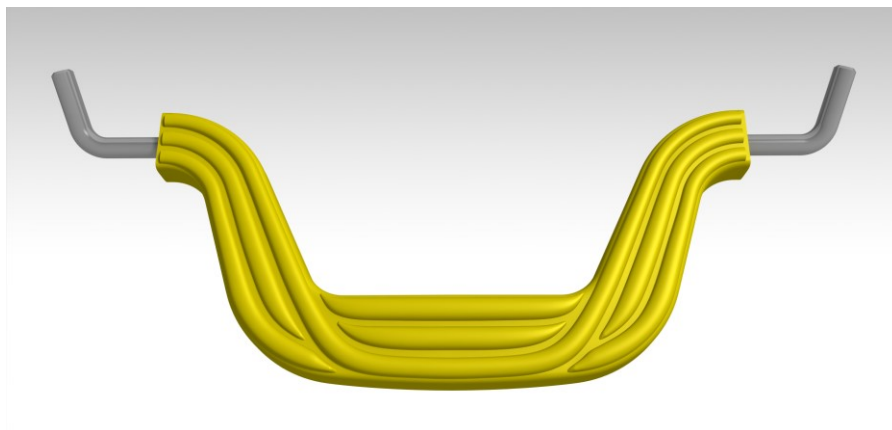
8 FINÁLNÍ PRODUKT

Dutina formy je před uzavřením očištěna, natřena uvolňovacím činidlem a následně přestříknuta vrstvou černé barvy podle požadavku zákazníka.



Obr. 41 – Výrobek po otevření formy

Po vstříknutí a vytvrzení polyuretanu je z formy vyjmut výrobek v podobě, která vyžaduje následné operace. Z výrobku musí být ořezány okraje, kanálky a případné přetoky, na Obr. 37 zvýrazněné červenou barvou.



Obr. 42 – Finální produkt

V konečné fázi, pokud je výrobek v pořádku, je reliéf natřen zlatou barvou.

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

S ohledem na objem vstříkovaných složek a prostoru pracovní místnosti pro zpracování byl zvolen dávkovací a míchací stroj PAR 3C od společnosti METER MIX



Obr. 43 – Dávkovací a míchací stroj PAR 3C [14]

Technické parametry:

- Směšovací poměr: 1:1 - 14:1
- Viskozita směsi: $\leq 500\,000\text{mPa}\cdot\text{s}$
- Velikost dávky: 1,2 – 63ml
- Cyklus: ≤ 30 dávek/minuta
- Míchání: Jednorázové, statické
- Velikost zásobníku: 6l

Vhodné aplikace:

- Vstříkování forem
- Odlévání
- Zalévání elektronických komponent
- Lepení
- Zalévání štětcových vláken

Typické materiály:

- Polyuretan
- Epoxid
- Silikon
- Metakrylát

10 POUŽITÝ SOFTWARE

10.1 Catia V5R19

Pro vytvoření 3D modelu výrobku, formy a celé sestavy byl použit software Catia od francouzské firmy Dassault systémes. Nejčastější využití nachází v automobilovém a leteckém průmyslu. Umožňuje snadno vytvořit komplexní 3d objekty a dále simulovat jejich zatížení. Pro návrh výrobku byl použit modul Generative Shape Design, který umožňuje vytvářet velmi složité povrchy, jako je reliéf na výrobku v této bakalářské práci. Forma a stojan byly vytvořeny pomocí modulu Part Design.



Obr. 44 – Logo Catia V5 [15]

10.2 AutoCAD

Po převedení 3D modelu na 2D byla pomocí softwaru AutoCAD vytvořena výkresová dokumentace madla, preformy a sestavy i s příslušnými průřezy. AutoCAD je vyvíjen firmou Autodesk a slouží k 2D projektování a konstruování především ve strojírenském a stavebním průmyslu.



Obr. 45 – Logo AutoCAD [15]

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout umělohmotné madlo plnicí nosnou a ozdobnou funkci rakve. Jedná se o malosériovou zakázku a metodou pro výrobu madla bylo zvoleno reakční vstřikování, které má značně nižší vstupní náklady a vyžaduje mnohem méně pracovního prostoru. Materiálem, ze kterého bude madlo vyrobeno, byl zvolen polyuretan. Ten bude tvořený směsí isokyanátu a polyolu s nadouvadlem, které po vstříknutí do dutiny formy zpolymerují a vyplní formu tvrdou pěnou. Dále je madlo vyztuženo preformou tvořenou ocelovým drátem plnicího nosnou funkci, který je do formy vložen před vstříknutím směsi.

Bakalářská práce je tvořena ze dvou základních částí. První část je teoretická, která se zabývá plasty a jejich zpracování metodou vstřikování. Dále pojednává o alternativních metodách vstřikování, kde se podrobně zabírá reakčním vstřikováním. Praktická část se zabývá návrhem a konstrukcí výrobku, volbou materiálu a způsobem plnění. Po výrobku se je řešena konstrukce formy včetně stojanu pro upevnění a správné plnění formy pomocí náklonu.

Veškerá práce ve 3D byla vytvořena pomocí Softwaru Catia. 2D dokumentace byla vytvořena v AutoCADu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 1. Pardubický kraj: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2016 [cit. 2020-03-12]. ISBN 978-80-88058-68-7.
Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
Dostupné z: <http://kramerus-vs.nkp.cz/view/uuid:e21dbcc0-5a1c-11e2-bcaf-005056827e52>
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 1. Pardubický kraj: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2016 [cit. 2020-03-04]. ISBN 978-80-88058-74-8.
Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie II: Zpracování plastů*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
Dostupné z: <http://kramerus-vs.nkp.cz/view/uuid:d3bac360-eca8-11e3-a2c6-005056827e51>
- [5] MACOSKO, Christopher W. *RIM, fundamentals of reaction injection molding*. New York: Distributed in the USA by Oxford University Press, c1989. ISBN 3-446-15196-6.
- [6] MAŇAS, Miroslav a Josem HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje II*. 1990. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
Dostupné z: <http://kramerus-vs.nkp.cz/view/uuid:e21dbcc0-5a1c-11e2-bcaf-005056827e52>
- [7] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 1. Pardubický kraj: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2016 [cit. 2020-03-06]. ISBN 978-80-88058-71-7.
Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [8] STOKLASA, K. *Zpracovatelské inženýrství I – Základy gumárenské a plastikářské technologie*, [Skripta], 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2007.

- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
Dostupné z: <http://kramerus-vs.nkp.cz/view/uuid:75cfc170-072d-11e4-b1a4-005056827e52>
- [10] Polymerní materiály. www.opi.zcu.cz [online]. [cit. 2020-01-05].
Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf
- [11] Vstřikování Plastů [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [12] Clifton rubber [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z:
<https://www.cliftonrubber.co.uk/polyurethane-moulding/>
- [13] RIM MFG [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
<https://reactioninjectionmolding.com/>
- [14] Metermix [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.metermix.cz/>
- [15] Logos [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.logolynx.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	Stupeň Celsius
%	Procento
2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
H	Tloušťka stěny
m	Metr
m ³	Metr krychlový
ml	Mililitr
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
PA	Polyamid
Pa.s	Pascal sekunda
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPS	Polyfenylsulfid
PS	Polystyren
PUR	Polyuretan
RIM	Reanční vstřikování

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Struktura termoplastů [1]</i>	12
<i>Obr. 2 – Struktura reaktoplastu před (vlevo) a po (vpravo) zesílení [4]</i>	13
<i>Obr. 3 – Vstřikovací cyklus [8]</i>	15
<i>Obr. 4 – Schéma vstřikovacího stroje [11]</i>	16
<i>Obr. 5 – Vstřikovací jednotka [7]</i>	16
<i>Obr. 6 - Hydraulické (nahore) a hydromechanické uzavírací ústrojí (dole)</i>	17
<i>Obr. 7 - Řez vstřikovací formou</i>	18
<i>Obr. 8 – RIM jednotka</i>	19
<i>Obr. 9 – Polyuretan na kovovém dílu [12]</i>	20
<i>Obr. 10 - Vznik uretanové řady [2]</i>	21
<i>Obr. 11 - Polyuretanová pěna [1]</i>	21
<i>Obr. 12 - Vizualizace vstřikovacího cyklu RIM [5]</i>	22
<i>Obr. 13 - Schéma vstřikovacího stroje [5]</i>	23
<i>Obr. 14 - Průběh vysokotlakého dávkování [5]</i>	24
<i>Obr. 15 - Schéma směšovací hlavy [5]</i>	25
<i>Obr. 16 - Orientace formy [5]</i>	26
<i>Obr. 17 - Filmový vtok (vlevo) a lopatkové vtok (vpravo) [5]</i>	27
<i>Obr. 18 - Následné směšovače harp (vlevo) a diverter (vpravo) [5]</i>	28
<i>Obr. 19 – Následný směšovač firmy RIM MFG [13]</i>	28
<i>Obr. 20 - Porovnání koeficientů lineární teplotní roztažnosti [5]</i>	30
<i>Obr. 21 - Průběh SRIM [5]</i>	30
<i>Obr. 22 - GIT, krátký vstřik [2]</i>	31
<i>Obr. 23 - Vstřikování sendvičů [1]</i>	32
<i>Obr. 24 - Princip čtyřkomponentního vstřikování [1]</i>	32
<i>Obr. 25 - Proces zastříknutí materiálu [1]</i>	33
<i>Obr. 26 – Vzor ozdobného madla</i>	36
<i>Obr. 27 – Vytvoření modelu madla pomocí shape design</i>	36
<i>Obr. 28 – Návrh a realizace reliéfu</i>	37
<i>Obr. 29 – Převedení hotového madla na solid part</i>	37
<i>Obr. 30 – Navržení preformy podle těla madla</i>	37
<i>Obr. 31 – Ohnutí konce drátu</i>	38
<i>Obr. 32 – Objem plastové části výrobku</i>	38

<i>Obr. 33 – Horní část formy</i>	39
<i>Obr. 34 – Řešení vtoku a odvětrávání</i>	40
<i>Obr. 35 - Dolní část formy</i>	40
<i>Obr. 36 – Uzavřená forma</i>	41
<i>Obr. 37 – Zajištění polohy preformy</i>	41
<i>Obr. 38 – Stojan pro formu</i>	41
<i>Obr. 39 – Náklon formy</i>	42
<i>Obr. 40 Otevřená forma</i>	42
<i>Obr. 41 – Výrobek po otevření formy</i>	43
<i>Obr. 42 – Finální produkt</i>	43
<i>Obr. 43 – Dávkovací a míchací stroj PAR 3C [14]</i>	44
<i>Obr. 44 – Logo Catia V5 [15]</i>	45
<i>Obr. 45 – Logo AutoCAD [15]</i>	45

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Využití polymerních materiálů v automobilovém průmyslu [4].....</i>	11
<i>Tab. 2 - Porovnání RIM a TIM technologií.....</i>	20

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Výkres sestavy
- P2 Řezy sestavou
- P3 Výkres výrobku
- P4 Výkres preformy
- P5 Kusovník