

Návrh vstřikovací formy pro držák láhve

Jakub Mastík

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jakub Mastík
Osobní číslo:	T19224
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh vstřikovací formy pro držák láhve

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Nakreslete model daného dílu ve 3D
- 3) Provedte konstrukci vstřikovací formy pro daný díl
- 4) Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, L. 2009. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN.

DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT v Praze, 2006

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce je návrh vstřikovací formy pro držák láhve. Teoretická část se zabývá problematikou technologie vstřikování, návrhem vstřikovacích forem a konstrukcí vstřikovaných dílů. V praktické části práce je řešená konstrukce vstřikovací formy pro zadaný výrobek. Konstrukce byla provedena v programu Catia s využitím normalizovaných součástí firem Hasco a Meusburger. Návrh formy je doložen nakreslenou 2D sestavou formy s kusovníkem.

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

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is the design of an injection mold for a bottle holder. The theoretical part deals with the issue of injection molding technology, design of injection molds and construction of injection molded parts. In the practical part of the work is solved the construction of the injection mold for the specified product. The construction was made in the Catia program using standardized parts from Hasco and Meusburger. The design of the mold is documented by a drawn 2D mold assembly with a bill of material.

Keywords: injection molding technology, injection mold, CAD, construction

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, Ph.D. za jeho čas a cenné rady bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Také bych rád poděkoval své rodině za poskytnutou podporu během studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY.....	11
1.1 ELASTOMERY	11
1.1.1 Kaučuky	11
1.1.2 Termoplastické elastomery	12
1.2 PLASTY	12
1.2.1 Reaktoplasty	12
1.2.2 Termoplasty.....	12
1.3 DĚLENÍ PODLE MAKROMOLEKULÁRNÍHO ŘETĚZCE.....	13
1.3.1 Lineární řetězce	13
1.3.2 Rozvětvené řetězce.....	13
1.3.3 Zesíťované řetězce	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	14
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	14
2.1.1 Vstřikovací cyklus.....	14
2.1.2 Doba vstřikování	15
2.1.3 Doba dotlaku	15
2.1.4 Doba plastikace	15
2.1.5 Doba chlazení.....	15
2.1.6 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku.....	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	16
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	17
3.1 SMRŠTĚNÍ.....	17
3.1.1 Vstřikovací cyklus v diagramu pVT	18
3.2 TEMPEROVÁNÍ FOREM	19
3.2.1 Temperační prostředky.....	20
3.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	21
3.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉM FOREM	22
3.4.1 Mechanické vyhazování.....	22
3.4.2 Vzduchové vyhazování	22
3.4.3 Dvouступňové vyhazování	22
3.4.4 Zpětný chod vyhazovacího systému	23
3.5 VTOKOVÝ SYSTÉM FOREM.....	23
3.5.1 Vtokové ústí	24
3.5.2 Vyhřívané vtokové systémy	24
3.5.3 Vytápěné rozvodné bloky	24
3.6 MATERIÁLY NA VÝROBU FOREM	25

3.7	NÁSOBNOST FOREM.....	25
4	KONSTRUKCE VÝROBKU	26
4.1	TLOUŠŤKA STĚN	26
4.2	ZAOBLENÍ ROHŮ, KOUTŮ A HRAN	26
4.3	ÚKOSY A PODKOSY.....	27
4.4	ŽEBRA	27
4.5	OTVORY A DRÁŽKY	27
4.6	ROZMĚRY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	28
4.7	JAKOST POVRCHU SOUČÁSTI.....	28
II	PRAKTICKÁ ČÁST	29
6	POUŽITÉ PROGRAMY	31
6.1	CATIA V5R19	31
6.2	HASCO DAKO MODUL.....	31
6.3	ONLINE KATALOG MEUSBURGER	31
6.4	SIEMENS NX	31
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	32
7.1	VOLBA MATERIÁLU	32
8	KONSTRUKCE FORMY	34
8.1	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	34
8.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	35
8.3	DUTINA FORMY	36
8.4	VTKOVÝ SYSTÉM	38
8.5	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	40
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	42
8.6.1	Temperace tvárnice	42
8.6.2	Temperace tvárníku.....	43
8.6.3	Temperace velkých tvarových čelistí.....	44
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	44
8.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	45
8.9	VODÍCÍ PRVKY A DALŠÍ ČÁSTI FORMY	46
ZÁVĚR		49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		50
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		52
SEZNAM OBRÁZKŮ		53
SEZNAM TABULEK.....		54
SEZNAM PŘÍLOH.....		55

ÚVOD

V současné době jsou polymery jedny z nejpoužívanějších materiálů. Důvodem jejich masivního rozšíření je možnost jejich použití v celé řadě odvětví – automobilový, stavební, elektrotechnický nebo potravinářský průmysl.

Mezi velmi rozšířenou technologií, která slouží ke zpracování plastů, patří vstřikování. Vstřikování je realizováno do nástroje, který se nazývá vstřikovací forma. Vstřikovací formy umožňují výrobu dílů, které jsou tvarově velmi složité a členité. Výhodou je, že většinou není nutné výrobek dále upravovat např. obráběním apod. Za posledních 20 let došlo k bouřlivému nahrazení kovových dílů těmi plastovými, ale pouze tam, kde to situace umožňuje. Plastové díly totiž nevykazují tak velkou pevnost a tuhost jako díly kovové.

Konstrukce forem je neustále rozvíjena. Ke správnému navrhnutí formy je nutné disponovat velkým množstvím teoretických znalostí. Jsou potřebné vědomosti o fyzikálním, chemickém a reologickém chování plastů. V současnosti je možné k tomuto účelu využít mnoha simulačních softwarů. Dále je nezbytná znalost mechaniky, metrologie a materiálů na výrobu formy.

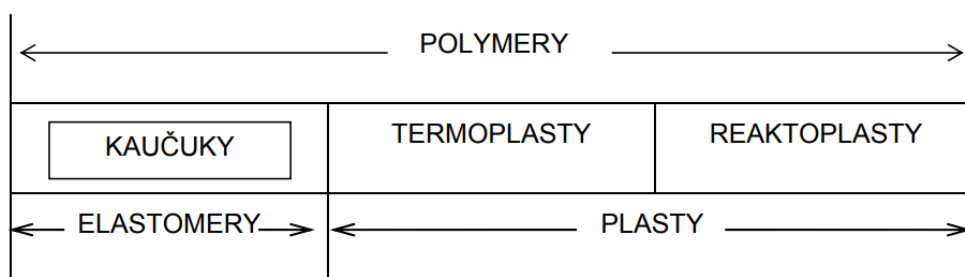
Pro každý výrobek je nutná jiná konstrukce formy, a proto je tato technologie ekonomicky náročná a nevhodná pro malé série. Ke snížení ceny formy lze použít normálie od firem jako jsou Hasco, Strack či DME. Tyto normálie umožňují využití tzv. stavebnicového způsobu konstrukce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Jedná se o látky, které obsahují velké molekuly. Díky těmto molekulám se u polymerů lze setkat s velmi vysokou škálou vlastností. Stavební jednotka polymeru se nazývá mer. Jedná se o část makromolekuly, která se pravidelně opakuje a nemění své složení. Spojováním monomerů vznikají polymery.

Polymery lze rozdělit podle několika kritérií. Polymery lze dělit na homopolymery a kopolymery, rozdíl spočívá v tom, že kopolymery vznikají spojením různých druhů monomerů, kdežto homopolymer je tvořen pouze jedním druhem monomeru. Další základní klasifikace spočívá v chování polymerů za běžné a zvýšené teploty – elastomery a plasty. [1,2,3]



Obr. 1 – Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [2]

1.1 Elastomery

Jedná se o vysoce pružný materiál, který lze deformovat, aniž by bylo nutné vyvinout příliš velkou sílu. Tato deformace je převážně vratná. Mezi nejdéle používaný elastomer řadíme přírodní kaučuk. [2,4,5]

1.1.1 Kaučuky

Kaučuky se dělí na přírodní a syntetické. Přírodní kaučuk se získává se stromu *Hevea brasiliensis* v podobě latexu (kapalině podobné mléku). Z latexu se po zaschnutí stává vysoce elastická nažloutlá hmota, která je v tenké vrstvě téměř neprůhledná.

Kaučuk je možné vulkanizací převést na pryž. Vulkanizace kaučuku je děj, při kterém z termoplastického kaučuku vzniká netermoplastická pryž. Použití kaučuků je velmi široké, kaučuky lze použít na pneumatiky, airbagy nebo oblečení. Kromě kaučuků na všeobecné použití existují také kaučuky speciální – olejovzdorné a teplovzdorné. [2,6]

1.1.2 Termoplastické elastomery

Nachází se někde mezi elastomery a termoplasty, což má za následek, že spojují pozitivní vlastnosti obou druhů. Výhoda termoplastických elastomerů je jejich fyzikální zesílení, a proto je lze opakovaně tvářet za tepla.

Termoplastické elastomery lze zpracovávat vstřikováním nebo vytlačováním, protože po zchladnutí vykazují své původní elastické vlastnosti. [3,7]

1.2 Plasty

Jedná se o polymery, u kterých při větším zatížení dochází většinou k trvalé (nevratné) deformaci. Mezi běžné vlastnosti plastů patří tvrdost a často i křehkost. Plasty dělíme na reaktoplasty a termoplasty. [2]

1.2.1 Reaktoplasty

U reaktoplastů dochází při zahřátí k nevratné chemické reakci, a tudíž se jejich stav změní z lineárního na síťovaný. Tato změna je nevratná, a proto nelze reaktoplasty opakovaně tvářet, rozpouštět či tavit. Díky vzniklému vytvrzení se reaktoplasty velice obtížně recyklují.

K chemické reakci nemusí dojít pouze při zahřátí, ale lze jí docílit také přidáním vytvrzovacího prostředku. Výhodou je, že na rozdíl od termoplastů si zachovávají svůj tvar a pevnost i při zahřátí. Reaktoplasty se používají k výrobě lisovacích hmot, vrstvených materiálů, lehčených hmot nebo lepidel. Mezi reaktoplasty náleží např. aminoplasty, epoxidy, polyuretany nebo polyestery. [2,8]

1.2.2 Termoplasty

Termoplasty se od reaktoplastů liší tím, že je lze opakovaně tvářet. Je tedy možné je opakovaně přivádět ze stavu tuhého do stavu plastického a naopak. Při zahřívání nedochází k chemické reakci a změny jsou pouze fyzikálního charakteru.

Mezi termoplasty patří např. Polyethylen (PE), Polystyren (PS) nebo Polypropylen (PP). Termoplasty nachází uplatnění v mnoha odvětvích, především v automobilovém a potravinářském průmyslu, ale například i v lékařství. [2,4,9]

1.3 Dělení podle makromolekulárního řetězce

1.3.1 Lineární řetězce

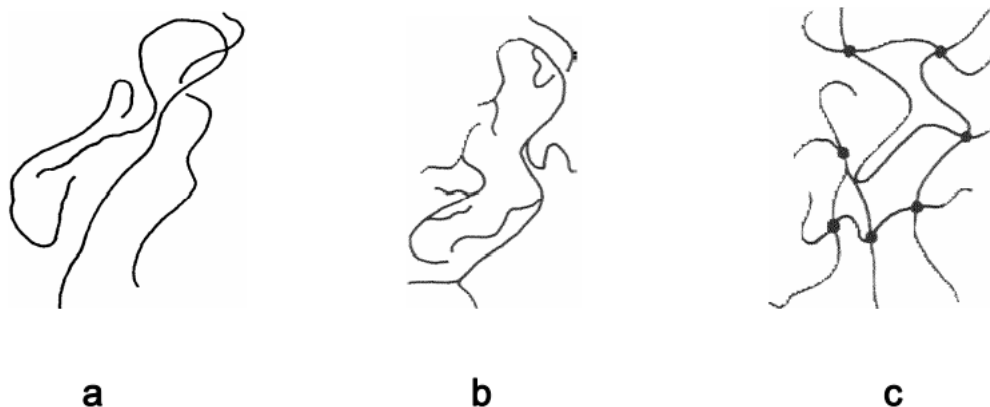
Při vzniku lineárních makromolekul dochází k řazení monomerních molekul jedna vedla druhé, tzn. že jsou schopné zaplnit velmi kompaktní prostor. Plasty, které obsahují lineární molekuly lze dobře tavit a rozpouštět, proto se v podobě tavenin velice dobře zpracovávají. [10]

1.3.2 Rozvětvené řetězce

Pro rozvětvené makromolekuly je charakteristické, že na jejich základní řetězec jsou navázány boční větve. Kvůli rozvětvení dochází ke zhoršení pohyblivosti makromolekul, a tím pádem i tekutosti v roztaveném stavu. Dalšími charakteristickými znaky jsou snížená pevnost či nízký modul pružnosti. [10]

1.3.3 Zesíťované řetězce

Jedná se o případ, kdy je několik lineárních nebo rozvětvených makromolekul propojených mezi sebou vazbami. V podstatě dochází ke vzniku „prostorové sítě“. Díky této síti se takové polymery vyznačují vysokou tvrdostí, tuhostí ale nízkou odolností proti rázovému namáhání. [2,10]



Obr. 2 - Lineární (a), rozvětvený (b), zesíťovaný (c) polymer [2]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

2.1 Vstřikování

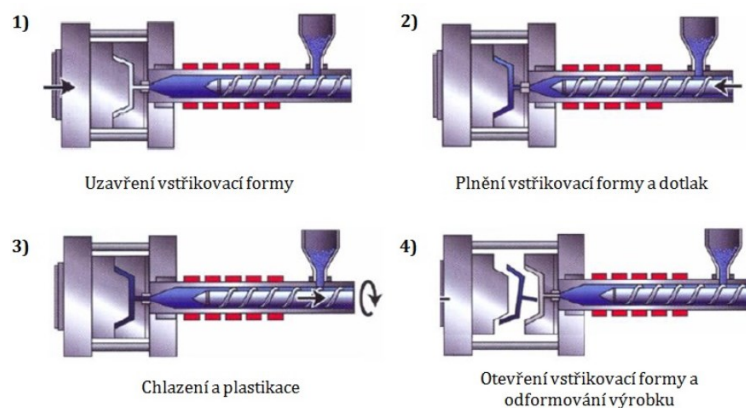
Vstřikování je považováno za proces, který má tepelně-mechanický charakter. Jedná se o dominantní technologii, která se používá při výrobě polymerních dílů. Základem vstřikování je plastikace, díky plastikaci se polymer změní ze stavu tuhého do stavu, kdy nabývá viskosního toku. Polymer je poté vstříknut do uzavřené a chlazené dutiny formy. Za výhodu této technologie je považovaná velká rozměrová a tvarová rozmanitost výrobků. Mezi nevýhody vstřikování patří vysoké investiční náklady strojů a forem. Technologie vstřikování se uplatňuje především v hromadné a velkosériové výrobě. [3,11]

2.1.1 Vstřikovací cyklus

Jedná se o proces, který má přesně specifikované fáze a postupné kroky. Výjimku tvoří pouze stroje, které obsahují více pohonných skupin. V takovém případě se mohou jednotlivé fáze překrývat. Cyklus je možné rozdělit na dvě části – cyklus plastikační jednotky a cyklus formy.

Dutina formy je na začátku cyklu prázdná a forma je otevřená. Poté dochází k uzavření formy a uzamčení, které je vyvoláno pohybem stroje. Je nutné zajistit, aby síla na uzamčení byla dostatečně velká, je to z důvodu vysokých tlaků při vstřikování. Doba, která je nutná k uzavření (před vstřikováním) a následnému otevření formy (po vstřikování) se nazývá strojní doba.

Šnek se pohybuje v tavicí komoře a dochází ke vstřikování polymeru do dutiny formy. Probíhá výměna tepla mezi taveninou a vstřikovací formou. Poslední částí cyklu je chlazení, jeho doba závisí na mnoha faktorech – teplotě formy, materiálu výrobku, tloušťce výrobku.



Obr. 3 - Vstřikovací cyklus [20]

Ke chladnutí polymeru dochází hned při kontaktu s vnitřním povrchem dutiny formy. Při chladnutí se výrobek smršťuje a zmenšuje svůj objem. Z důvodu vyhnutí se vadám v podobě propadlin a sraženin je nutné taveninu při chlazení ještě dodatečně dotlačit – tato operace se nazývá dotlak. Po dotlaku se začíná plastikovat nová dávka polymeru. [3,12]

2.1.2 Doba vstřikování

Doba vstřikování je nejvíce ovlivněna rychlostí vstřiku. Na rychlost vstřikování má největší vliv teplota taveniny a vstřikovací tlak. Nicméně rychlost vstřikování závisí i na dalších parametrech jako jsou druh plastu, vtoková soustava, geometrický tvar výrobku či jeho tloušťka. Při volbě rychlosti vstřikování je potřeba mít na paměti, že rychlost a tlak spolu souvisí – při nízkém tlaku nelze mít vysokou rychlost vstřikování. Je nutné zabezpečit, aby tavenina nevtékala do formy volným tokem (Jetting). Materiál musí do formy vtékat postupně. Doporučeným druhem proudění taveniny při plnění formy je laminární tok. [13]

2.1.3 Doba dotlaku

Dotlak následuje po naplnění formy taveninou. Při stlačování polymeru rychlost prudce klesne a tlak náhle stoupne. Když by velikost tlaku zůstala na stejné hodnotě, mohlo by dojít ke vzniku tlakové špičky, což by vedlo k vysokému namáhání formy, proto je nutné ve správnou chvíli přepnout na dotlak.

Doba dotlaku se pohybuje v řádu jednotek až desítek sekund. Parametrem, který nejvíce ovlivňuje dobu dotlaku je průřez vtokového kanálu. Nejvyšší dotlak je v první fázi, protože tavenina se nachází v tekutém stavu, poté se hodnota dotlaku sníží. [13]

2.1.4 Doba plastikace

Plastikace slouží k rovnoměrnému homogenizování dávky plastu – čas potřebný k plastikaci se nazývá doba plastikace. Je potřeba zabezpečit dostatečnou velikost zplastikované dávky. Musí se kompenzovat zmenšení objemu tzv. smrštění, dále je nutné, aby tavenina zaplnila celou tvarovou dutiny formu a vtokový systém. [13]

2.1.5 Doba chlazení

Jedná se nejdelší část cyklu. Doba chlazení se svým rozsahem pohybuje od několika sekund až po minuty. Je ovlivněna mnoha parametry, mezi které náleží teplota formy, teplota taveniny, tloušťka výrobku. Na době chladnutí závisí kvalita povrchu a struktura výrobku. [13]

2.1.6 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku

Kvalita výstřiku a jeho mechanické a fyzikální vlastnosti závisí na mnoha faktorech, které se vzájemně ovlivňují. Při volbě plastu je nutné brát zřetel na reologické vlastnosti plastu, jeho tepelnou stabilitu, rychlosti smrštění nebo rychlost plastikace.

Dále je kvalita výstřiku ovlivněna vstřikovacím tlakem, který má vliv na rychlost plnění, vnitřní pnutí a orientaci makromolekul. Teplota plastu by měla být co největší, zejména při vstřikování plastů se semikrystalickou strukturou. [13]

2.2 Vstřikovací stroje

Používání vstřikovacích strojů je většinou podmíněnou hromadnou nebo velkosériovou výrobou, protože pořizovací cena je velmi vysoká. Vstřikovací stroj může být částečně nebo plně automatizován – záleží na požadavcích pracoviště.

Pro správnou kvalitu výstřiku je nutné, aby stroj dokázal vyvinout dostatečnou uzavírací sílu, přidržovací tlak, vstřikovaný tlak a vstřikovací kapacitu. Dostatečná velikost uzavírací síly zajišťuje dokonalé sevření formy. [3,11,13]



Obr. 4 - Vstřikovací stroj [20]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma určuje budoucí tvar výrobku. Jednotlivé formy se skládají z funkčních a konstrukčních částí. Úkolem konstrukčních částí je zabezpečit správnou činnost formy, funkční části slouží k udělení tvaru budoucího dílu. Současným trendem je konstruovat formy tzv. stavebnicovým způsobem. To znamená, že jsou vyráběné normalizované součásti forem, které jsou podobné nebo dokonce i stejné v různých typech forem. [3,13]

Vstřikovací formy musí splňovat spoustu požadavků. Mezi tyto požadavky se řadí odolnost vůči vysokým tlakům, snadné vyhození dílu z formy, výroba přesných výrobků. Formy lze dělit podle několika kritérií. Mezi základní dělení patří rozlišení forem podle násobnosti, podle konstrukce, podle uspořádání vtoku nebo podle druhu polymeru, který se bude do formy vstřikovat. [3]

Mezi výhody vstřikovacích forem patří rychlá výroba dílů, protože jeden vstřikovací cyklus lze dokončit v řádech sekund. Jelikož se jedná většinou o automatizovaný proces, tak i náklady na pracovní sílu jsou velice nízké. Vstřikovací formy také umožňují výrobu velice tvarově složitých součástí. [14,15]

Naopak mezi nevýhody lze zařadit velice dlouhou dobu návrhu a konstrukce formy. Jedná se o pomalý a značně složitý proces. Tento proces zahrnuje návrh ve 3D konstrukčním programu, poté návrh prototypu, a nakonec rozsáhlé testování. Dále je nutné při návrhu výrobku brát zřetel na technologii vstřikování. Je dobré se vyvarovat proměnlivým tloušťkám stěn u výrobku nebo ostrým hranám. Vstřikovací formy nejsou vhodné pro malé výrobní série. [15]

Nicméně obecně lze konstatovat, že výhody převažují nad nevýhodami, proto se dnes jedná o jednu z nejrozšířenějších technologií zpracování plastů. [14]

3.1 Smrštění

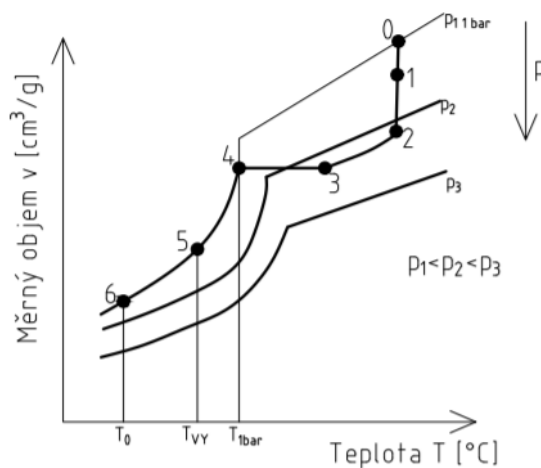
Smrštění je jev, ke kterému dochází u všech plastů, ať už je vstřikovaný termoplast amorfni (ABS, PMMA, PC) nebo semikrystalický (POM, PA, PET). V podstatě se jedná o to, že rozměry dílu, který je vyhozen z formy, jsou rozdílné od rozměrů, které jsou změřeny po určité době od výroby respektive, poté co je výstřik nějakou dobu skladován. Smrštění je tedy změna objemu výstřiku, která je vyvolána stlačitelností, kontrakcí a tepelnou rozpínavostí plastů. [11]

Požadované rozměry, které jsou formulované jmenovitou hodnotou a tolerancemi patří mezi základní požadavky všech zákazníků. Výstřiky dále musí splňovat i tolerance tvaru a polohy, proto je nutné v místě smrštění zvětšit dutinu formy. Smrštění je ovlivněno velkým množstvím parametrů, mezi které patří:

- konstrukce výstřiku a formy – převážně tloušťka stěn dílu,
- vlastnosti zpracovávaného termoplastu – pvT chování, amorfni/částečně krystalické materiály, druh a obsah plniva,
- parametry výrobního procesu – čas, teplota, tlak. [11]

3.1.1 Vstřikovací cyklus v diagramu pvT

Smrštění je ovlivněno mnoha faktory, mezi tyto vlivy patří např. působení vnitřního pnutí ve výstřiku, způsob zaformování, termodynamické procesy v tavenině. Termodynamické procesy při vstřikování termoplastů lze popsat pvT diagramem; kde p – tlak, v – měrný objem, T – teplota. Při studování pvT diagramu je nutné brát zřetel na to, že tyto diagramy neobsahují funkci času. Tím pádem v nich není zahrnut gradient chlazení, který patří mezi velmi důležité parametry smrštění. Mezi další faktor, který není do pvT diagramu zahrnut jsou rozdílné tloušťky vstřikovaného dílu. [11]



Obr. 5 – Schématické znázornění změny tlaku p , měrného objemu v a teploty T při vstřikování termoplastů [11]

- Bod 0 – Tavenina o příslušné teplotě je stlačena šnekem v plastikační komoře, tavenina je dopravena přes odpory vtokového systému do ústí vtoku na výstřiku.
- Bod 0-1 – Tvarová dutina formy je postupně zaplňována taveninou.
- Bod 1-2 – Dochází ke stlačování taveniny v dutině formy.
- Bod 2 – Vstřikovací tlak se přepíná v dotlak.

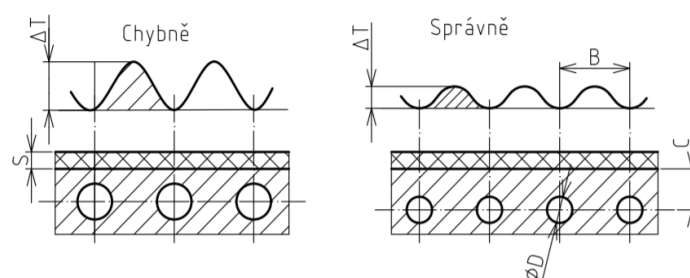
- Bod 2-3 – Probíhá dotlaková fáze, tavenina se chladí a zároveň dotlak umožňuje plnění čerstvé taveniny, a tím se kompenzuje ztráta objemu.
- Bod 3 – Dochází ke ztuhnutí vtokového systému.
- Bod 3-4 – Tlak klesá a objem výstřiku se nemění, tlak dosahuje hodnoty atmosférického tlaku.
- Bod 4-5 – Výstřik je chlazen za konstantního tlaku.
- Bod 5 – Výstřik je vyhozen z formy.
- Bod 5-6 – Dílec je chlazen mimo formu. [11]

3.2 Temperování forem

Cílem temperace je zachování konstantního teplotního pole formy. Temperace slouží k dosažení co nejkratšího vstřikovacího cyklu, aniž by došlo k porušení technologických požadavků. Temperací se převážně rozumí ochlazování formy nebo její části, ale v některých případech se může jednat i o vyhřívání. Roztavený polymer je přiváděn do dutiny formy. Toto plnění dutiny je ovlivněno temperací, každý výstřik formu ohřeje a je nutné, aby další výstřik proběhl při předem stanovené teplotě. Odvod přebytečného tepla je možný díky temperační soustavě formy. [16]

Značná variabilita tvarů vstřikovaných dílců a materiálu, ze kterých jsou tyto dílce vyrobeny, neumožňují univerzální návrh temperačního systému. Při návrhu temperačního systému je nutné brát zřetel na ostatní části formy – vyhazovače, vodící čepy atd. V současné době je návrh usnadněn simulačními analýzami, mezi které patří např. MoldFlow. [16]

Ke vstřikování dochází za vysokých tlaků, správně řešený temperační systém slouží ke snížení nebezpečí vzniku deformace a zároveň zajišťuje tepelnou a rozměrovou stabilitu. Systém sloužící k temperaci zahrnuje kanály a dutiny, kterými je odváděno nebo předáváno teplo z formy temperačním médiem. Při návrhu systému je nutné zachovat budoucí tuhost a pevnost celé formy. Obecně platí zásada, že je vhodnější použít větší počet malých kanálků, které jsou od sebe málo vzdálené. [17]



Obr. 6 - Vliv rozmístění temperačních kanálků [17]

Průřez kanálu závisí na druhu zpracovaného polymeru, velikosti výstřiku a rámu formy. Nejčastěji používaným typem je průřez kruhový. Nedoporučuje se průměr kanálu zbytečně zvětšovat, protože výměna tepla se zvýší téměř zanedbatelně. Při konstrukci temperačního systému je nutné dodržovat několik pravidel.

Mezi tyto zásady se řadí:

- průměr kanálu alespoň 6 mm – jinak hrozí ucpaní nečistotami,
- vyvarovat se mrtvých koutů při cestě temperačního média,
- nutnost regulovat průtok chladicí kapaliny,
- kanály umístit tak, aby byla zabezpečena celková tuhost formy,
- zajistit optimální propojení jednotlivých větví,
- největší intenzita odvádění tepla, musí být zaručena u vtokového ústí a v oblasti trysky. [17]

3.2.1 Temperační prostředky

Temperační prostředky se dělí na pasivní a aktivní. Aktivní prostředky fungují na principu odvádění nebo přivádění tepla do formy pomocí média, které nese teplo. Nejčastěji se používají kapaliny. Temperace vodou je ekologická, nízkonákladová a zajišťuje vysoký přestup tepla. Mezi nevýhody vody patří omezení použitelnosti do teplot 90 °C a vznik koroze. Dalším používaným médiem je olej. Oleje umožňují použití i při teplotách nad 100 °C, ale oproti vodě mají menší přestup tepla. Chlazení vzduchem se používá pouze v ojedinělých případech, většinou pouze tehdy, když by použití kapaliny nebylo možné – chlazení tenkých tvárníků, jader a vyhazovačů. [17]

Proudění temperačního média by mělo být turbulentní. Účinnost temperace je ovlivněna plochou chladících kanálků a jejich vzdálenosti od vstřikovaného dílce. Speciálním typem aktivních temperačních prostředků jsou topné patrony a prstencová topná tělesa. K použití těchto těles dochází, když jsou ztráty do okolí větší než teplo, které formě dodá vstřikovaný plast. Je nutné zajistit těsný kontakt patron s povrchem formy. Ke zlepšení kontaktu mezi formou a patronou se používají teplosměnné tmely. Tmely zároveň slouží jako ochrana proti zavaření. Při rozmístění topných patron se dbá podobných pravidel jako u temperačních kanálů. Při použití patron je vhodné směřovat jejich elektrické vývody do konektorů, které jsou na umístěny na těle formy napevno. V ideálním případě do jednoho konektoru, který obsahuje uzemňovací kolík. [17]

Pro temperaci obtížně přístupných míst lze použít tepelně vodivých materiálů. V podstatě dochází k odvodu tepla z těžko přístupných míst za pomoci dobře tepelně vodivého materiálu do míst, kde už lze teplo odvést obvyklým způsobem. K tomuto účelu nejlépe slouží měď a její slitiny nebo hliník a jeho slitiny. Nejlépe je použít tyto materiály na tvarové části formy v co nejvyšší míře, nicméně je nutné stále zachovat dostatečnou tuhost, pevnost, tvrdost či rozměrovou stabilitu.

Největší účinností disponují tepelné trubice, které pracují na principu cirkulujícího výparného tepla uvnitř trubice v důsledku teplotního spádu. Trubice je z části naplněna vhodnou teplonosnou látkou a je uzavřena na obou stranách. Malý průměr trubic umožňuje jejich použití při vstřikování dlouhých a tenkých dílců. Tepelné trubice se dělí na gravitační, rotační a kapilární. Gravitační jsou nejjednodušší, ale ochlazovaná část se musí nacházet nad ohřivanou. Kapilární fungují na principu kapilárního tlaku, tudíž je možné je umístit do jakékoliv polohy. [17]

3.3 Odvzdušnění forem

V dutině formy je přítomný vzduch, a proto je nutné při plnění dutiny zajistit jeho odvod. Odvzdušnění také zajišťuje odvod případných zplodin. Rychlost odvzdušnění závisí na rychlosti plnění dutiny, platí zde přímá úměra.

Pokud by se neprovádělo odvzdušnění forem, tak by docházelo k poškození vstřikovaného dílce. Když je dutina plněna velmi rychle a forma je špatně odvzdušněna, tak dochází ke stlačení vzduchu, který se začne rychle zahřívat a dojde ke vzniku spáleného místa na dílci. Tento jev se nazývá Dieslův efekt. Opačným případem je pomalé plnění dutiny. Na stěnách formy se začne tvořit ztuhlý polymer a poté dochází k jeho uvolňování do proudící taveniny. To má za následek heterogenní vměsky ve vstřikovaném dílci. Tyto vměsky negativně ovlivňují rozměrovou stabilitu a mechanické vlastnosti.

Správnou volbu místa odvzdušnění je velice obtížné zjistit, v některých případech to je patrné z tvaru dílce, ale většinou se místo zjišťuje až při odzkoušení formy. Stopy po odvzdušnění jsou občas na výstřiku viditelné, proto je potřeba provést další technologické úpravy, aby k defektu nedošlo. Průměr odvzdušňovacích kanálků lze zjistit početně, nebo na základě zkušeností z praxe, kde byly zjištěny vhodné rozměry na základě použitého polymeru a jeho viskozity. Nicméně tyto hodnoty lze považovat pouze za informativní. [16,17]

3.4 Vyhazovací systém forem

Vyhazovací systém slouží k vysunutí nebo vytlačení ztuhlého výstřiku z dutiny tvárníku. Vyhazovací systém by měl fungovat tak, aby zajistil automatický výrobní cyklus. K hladkému průběhu vyhazování je nutné zajistit, aby výstřik měl hladký povrch a úkosy. Při vyhazování dílců dochází i k vyhazování vtokových zbytků, nejlepší je zajistit jejich oddělení od výstřiku při vyhazování. [16,17]

3.4.1 Mechanické vyhazování

Jedná se o nejvíce rozšířený způsob. Na základě konstrukce lze mechanické vyhazovače dělit na bodové a plošné. Nejlevnější je použití vyhazovacích kolíků. Při vyhazování kolíky je nutné zajistit, aby se kolík opíral o stěnu nebo žebro dílce. Nevýhodou je vznik stop po vyhození, proto se nedoporučuje umístit kolíky na vzhledových plochách. U kolíků je požadavek na tuhost a snadnou vyrobiteľnost. Pokud je třeba vyhodit výstřik, který obsahuje zápich, je vhodné použití šikmých vyhazovačů. Dalším typem je stírací deska, výhodou je, že nezanechává stopy na výstřiku. Její použití je výhodné u tenkostěnných výstřiků, protože deska působí po celém obvodu vstřikovaného dílce.

Zvláštním druhem je trubkový vyhazovač. Ten kombinuje vlastnosti stírací desky a kolíku, vyhazovač má otvor a plní funkci stírací desky, ale zároveň pracuje jako vyhazovací kolík. [17]

3.4.2 Vzduchové vyhazování

Slabostěnné výstřiky větších rozměrů mající tvar nádoby je účelné vyhazovat pomocí vzduchu. Využívá se převážně proto, že klasické vyhazování by u takových výrobků vyžadovalo poměrně velké zvětšení délky formy. Po vzduchovém vyhazování nevznikají stopy na výstřiku. [17]

3.4.3 Dvoustupňové vyhazování

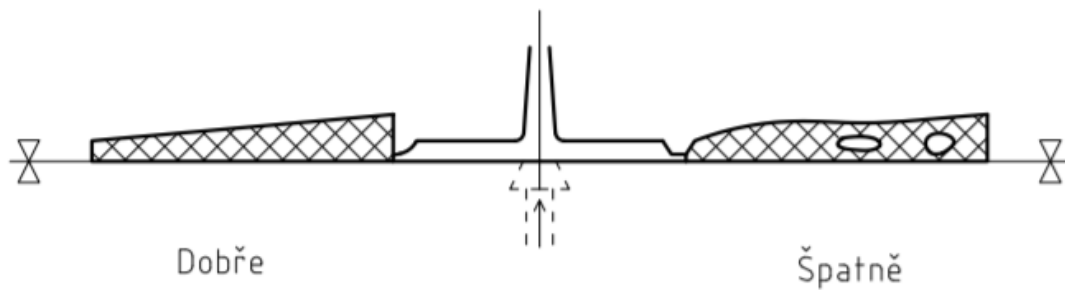
Jedná se o zvláštní případ mechanického vyhazování. Obsahuje dva vyhazovací systémy, které jsou ve vzájemné interakci. Díky takovému uspořádání lze vyhazovat díly s rozdílným časovým rozložením. Dvoustupňové vyhazování lze také použít při oddělování vtokového zbytku od výstřiku. Jedna skupina vyhazovačů slouží k oddělení vtoku a druhá skupina vyhodí výstřik z formy. [17]

3.4.4 Zpětný chod vyhazovacího systému

Návrat vyhazovacího systému má dva důležité významy. Díky zpětnému chodu je systém vracen do výchozí polohy a výstřik je setřen z vyhazovačů, což umožňuje automatizaci. Zpětný chod může být zajištěn vratnými kolíky, pružinkami, klíny nebo vačkami. [17]

3.5 Vtokový systém forem

Vtokový systém slouží k dopravení taveniny z plastikační komory do dutiny formy. Doporučuje se tok směřovat do nejtlustšího místa výstřiku. Systémy se dělí na studené a horké. Vtokový systém by se měl konstruovat s ohledem na eliminaci vtaženin a lunkrů ve výstřiku. Je nezbytné dodržet tzv. kuželový princip. [16]



Obr. 7 – Kuželový princip [16]

Mezi výhody studených vtokových systému patří nízká cena oproti VVS a jednoduché provedení vstřikovací formy. Naopak mezi nevýhody lze řadit větší spotřebu plastu a zajištění oddělení vtokového zbytku od výstřiku. [18]

Důležitou součástí vtokových systému jsou rozváděcí kanály. Tyto kanály by měly splňovat požadavek na co nejmenší poměr obvodu kanálu k ploše kanálu. Takové řešení má za následek malý hydraulický odpor taveniny. Kanály jsou navrženy takovým způsobem, aby byly co nejkratší, a aby všechny kanály měly stejné tlakové podmínky. Dále je nutné zajistit, aby u vícenásobných forem dorazila tavenina ke každému výstřiku ve stejnou dobu. [16]



Obr. 8 – Příklad nevhodného (vlevo) a vhodného (vpravo) plnění dutiny [18]

3.5.1 Vtokové ústí

Slouží k rozvodu polymeru do rozváděcích kanálků. Pokud to konstrukce výrobku dovoluje, tak se doporučuje umístit vtokové ústí do nejtlustšího místa na výstřiku, ve směru orientace žeber, a aby byl umožněn únik vzduchu z formy. [18]

Je rozlišováno několik druhů vtoků, mezi které patří:

- plný kuželový vtok – používá se pro jednoduché symetrické výrobky, zbytky vtokového systému se špatně odstraňují,
- bodový vtok – pro tenkostěnné výrobky,
- deštníkový, talířový a prstencový vtok – pro rotační díly, vysoká spotřeba materiálu,
- filmový vtok – pro ploché díly, nebo pro plasty obsahující plniva,
- banánový vtok – náročné na výrobu, stopy po vtoku nevznikají. [18]

3.5.2 Vyhřívání vtokových systémů

V současné době dochází ke stále většímu použití těchto systémů při konstrukci forem. Oproti klasickým studeným vtokovým soustavám mají řadu výhod. Mezi tyto výhody patří umožnění automatické výroby, zkrácení vstřikovacích cyklů a nepotřeba odstranění vtokových zbytků. Naopak mezi nevýhody se řadí neefektivita při malých sériích, vysoká cena forem nebo vysoký požadavek na úroveň vstřikoven (vybavení i know-how personálu). [16]

Trysky jsou vytápěny buď přímo nebo nepřímě. Nepřímé vytápění je konstrukčně jednodušší a lze řešit dvěma způsoby – přenos tepla z vyhřívání rozvodů vtoků na trysku nebo dotápění vyústění izolovaného rozvodu vtoků. [19]

Přímé vytápění trysek jsou řešeny vnějším nebo vnitřním topením. Vnější topení je řešeno tak, že je kolem tělesa trysky umístěn zdroj tepla. Tavenina poté prochází vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso musí být zhotovené z materiálu, který je tepelně vodivý. Při vnitřním vytápění je tavenina vedena přes tzv. torpédo. Torpédo je vyhřívána vnitřní vložka z dobře tepelně vodivého materiálu. [19]

3.5.3 Vytápění rozvodných bloků

Funkcí rozvodných bloků je rozvod taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Ke správné funkci je nutné blok vytápět rovnoměrně. Bloky jsou vyráběny ve tvaru I, H, X, Y, hvězdice apod. K vytápění většinou slouží elektrické odporové topení nebo topné patrony. U rozvodných bloků se provádí tepelná izolace od ostatních částí forem, nejčastěji

používanou metodou je vzduchová mezera. K řízení vytápění slouží tepelný regulátor, který je ovládaný tepelnými čidly. Při konstrukci kanálků platí stejná doporučení jako u studených vtokových systémů – vyhnout se ostrým hranám a přechodům s mrtvými kouty. [19]

3.6 Materiály na výrobu forem

Formy se skládají z mnoha rozdílně namáhaných dílů. Volba materiálu jednotlivých částí formy je převážně ovlivněna vstřikovaným polymerem, vstřikovacím strojem a druhem vstřikovaného materiálu. Mezi používané materiály patří oceli, neželezné slitiny kovů a ostatní materiály (izolační apod.).

Nejčastěji používaným materiálem jsou oceli. Oceli se vyznačují velmi dobrou mechanickou pevností a snadnou obrobiteľností. Z pohledu technologie vstřikování je ocel vhodná díky své odolnosti proti otěru, stálosti rozměrů a odolnosti proti korozi a chemickým vlivům plastů. Na nejvíce namáhané části formy, které zahrnují tvárník, tvárnici, vtokové vložky, vyhazovače, dorazy a součásti ke tváření závitů se používají nástrojové oceli.

Pouzdra k uložení vodících elementů nebo vodící čepy jsou vyráběny z ocelí třídy 14. Další části jako jsou desky, táhla či šrouby stačí vyrábět z ocelí třídy 11. To je možné díky tomu, že výše uvedené součástky nejsou tolik mechanicky namáhané.

Dále je možné použití slitin hliníku, toho se využívá při konstrukci forem, které jsou určeny pro vstřikování strukturních pěn. Při vstřikování pěn je nutné zajištění intenzivního chladicího účinku a chemické odolnosti. Slitiny hliníku disponují velmi vysokou tepelnou vodivostí a dobrou odolností proti korozi.

Použití slitin mědi je také velmi rozšířené. Lze z nich vyrábět vytáčecí matice a šrouby, tvarové vložky nebo chladicí trny tenkých tvárníků. Díky dobré tepelné vodivosti se dosahuje zrychlení vstřikovacího cyklu, což má za následek celkové zlepšení kvality výrobku. Oproti oceli může být tepelná vodivost až 4x větší. Nevýhodou je složité opracování za použití elektroerosivní metody. [17]

3.7 Násobnost forem

Násobnost formy znamená počet výstřiků, které lze vyrobit na jeden vstřikovací cyklus. Co se kvality výrobku týče, tak je vhodné, aby násobnost byla co nejmenší. Velkorozměrové výstřiky nebo díly se složitým tvarem jsou většinou vyráběny v jednonásobných formách. Násobnost forem se posuzuje z několika hledisek – ekonomika výroby, kapacita vstřikovacího stroje, množství výrobku a přesnost výstřiku. [19]

4 KONSTRUKCE VÝROBKU

Při konstrukci výstřiku je třeba dbát na několik pravidel. Pokud dojde ke špatnému návrhu výstřiku, tak tento nedostatek už nelze odstranit ani správně řešená forma a dobře zvolená technologie výroby. Kromě funkčního hlediska je třeba brát zřetel na dodržování technologických zásad. Mezi tyto zásady patří např. tloušťka stěn, úkosity, rádiusy nebo velikost děr. Nejdůležitější je zaformovatelnost, ta zohledňuje správnou volbu dělicích rovin, a tím pádem i další součásti formy, jako jsou vyhazovače, vtokový systém apod. [16,19]

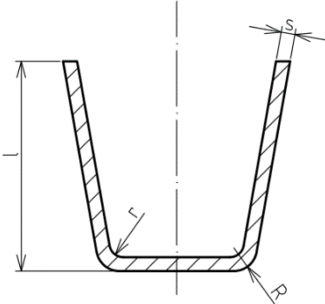
4.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí splňovat požadavky na tuhost a pevnost. Pevnost a tuhost je ovlivněna volbou materiálu a tvarem namáhaného profilu. Při konstrukci stěn je nutné se vyhnout náhlým přechodům. Přechody musí být pozvolné. Pokud je na výrobku potřeba tlustší stěna, tak se provádí vylehčení. Dále se nesmí na výstřiku vyskytovat ostré hrany, a pokud výstřik obsahuje žebra, tak jejich tloušťka by neměla překročit 0,8násobek tloušťky hlavní stěny. [16,19]

4.2 Zaoblení rohů, koutů a hran

Díky zaoblení dochází k usnadnění toku taveniny, nedochází ke koncentraci napětí a dojde i ke snížení opotřebení formy. Pro ostré hrany je potřebný vyšší vstřikovací tlak než pro hrany zaoblené. Velikost zaoblení závisí na druhu vstřikovaného plastu a velikosti výrobku. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce (1). [19]

Tab. 1 - Zaoblení hran a rohů [19]

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

4.3 Úkosy a podkosy

Jedná se o sklony stěn kolmo k dělicí rovině, které slouží k vyjmutí (úkos) nebo k zabránění vyjímání výrobku z formy. Jejich velikost závisí na elasticitě plastu, smrštění a povrchu stěny formy. Použití podkosů (kromě technologických) komplikuje konstrukci formy, proto se nepoužívají, pokud to není nutné. Velikost úkosů závisí na části výrobku, např. pro žebra a nálitky jsou potřeba větší úkosy než na vnější a vnitřní plochy. [19]

Tab. 2 - Doporučená velikost úkosu [19]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	$30' \div 2^\circ (1^\circ)$
Vnitřní plochy	$30' \div 3^\circ (2^\circ)$
Otvory do hloubky 2 D	$30' \div 1^\circ (45')$
Hluboké otvory	$1^\circ \div 10^\circ$
Žebra, nálitky	$1^\circ \div 10^\circ (3^\circ)$
Výstupky	$2^\circ \div 10^\circ$

4.4 Žebra

Žebra se dělí na technická a technologická. Technická žebra slouží ke zvýšení pevnosti a tuhosti výrobku. Technologická žebra se používají k dosažení optimálního plnění dutiny nebo k zabránění zborcení stěn. [19]

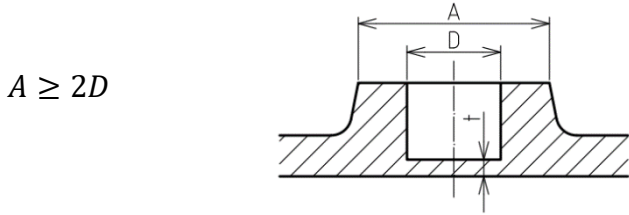
U žeber dochází při chladnutí ke vzniku vtaženin, to je hlavně problém na vzhledových dílech. Nejvíce viditelné jsou vtaženiny na dílcích, které mají lesklý povrch. K eliminaci této vady se často používá dezénování. [16]

4.5 Otvory a drážky

Při konstrukci otvorů a drážek se postupuje tak, aby při výrobě způsobovaly co nejmenší potíže. Drážky a otvory, které jsou kolmé na dělicí rovinu lze zhotovit pomocí výsuvných jader nebo čelistí. Hloubka slepé díry nesmí přesáhnout hodnotu pětinasobku jejího průměru.

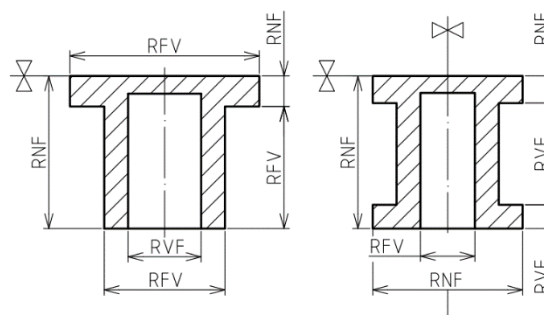
Při větším počtu otvorů nebo drážek na výstřiku se doporučuje dodržet jejich minimální vzdálenost. Pokud nedojde k dodržení této vzdálenosti, tak může nastat popraskání stěn mezi otvory nebo mezi otvorem a okrajem dílce. [19]

Tab. 3 - Tloušťka stěny u slepého otvoru [19]

D (mm)	do 3	3÷6	6÷10	10÷18	18÷30	30÷50
t (mm)	1	2	2,5	3	4	5
 <p style="text-align: center;">$A \geq 2D$</p>						

4.6 Rozměry vstříkovaných dílů

Při konstrukci plastového dílu je vhodné rozměry příliš neupřesňovat, protože pak rostou výrobní náklady sloužící k dodržení požadovaného rozměru. Běžná tolerance vstříkovaných dílu se pohybuje mezi IT 12 až IT 15. Pokud je nutná zvýšená přesnost, tak jsou tolerance v třídě IT 9 až IT 10. U výstříků se rozlišují rozměry, které jsou vázány formou a ty, které jsou formou nevázané. Rozměry, které nejsou tolerované se považují pouze za doporučené a určující základní tvar součásti. [19]



Obr. 9 – Rozměry vázané a nevázané formou [19]

4.7 Jakost povrchu součásti

Kromě rozměrů je plastových dílu také posuzována kvalita povrchu. Díky vhodným úpravám lze dosáhnout požadované hladkosti, lesku či barevnosti. Povrchy jsou následující:

- dezénové plochy – slouží k zakrytí nedostatků a špatných vzhledových vlastností,
- lesklé plochy – jsou na výrobu nejnáročnější a nejvíce nákladné, na lesklém povrchu dochází ke zviditelnění všech nedokonalostí,
- matné plochy – velmi snadné na výrobu, proto velice ekonomicky výhodné. [19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Mezi stanovené cíle BP náleží:

- vypracování literární rešerše daného tématu,
- vytvoření 3D modelu zadaného výrobku,
- pro zadaný výrobek navrhnout konstrukční řešení vstřikovací formy,
- návrh doložit 2D sestavou.

Teoretická část práce se zabývá problematikou vstřikování, v jednotlivých kapitolách jsou popsány a vysvětleny základní prvky procesu vstřikování, základní funkce vstřikovací formy, materiály používané pro vstřikování, součástky používané při konstrukci forem a materiály z nichž se formy vyrábějí.

V praktické části je popsáno řešení vstřikovací formy pro zadaný výrobek. Byl vytvořen 3D model formy za použití programu Catia V5R19. Forma je sestavena převážně z normalizovaných součástí firem Hasco a Meusburger. Z výsledného 3D modelu formy byly vytvořeny výkresy za dodržení všech náležitých podmínek technického kreslení.

6 POUŽITÉ PROGRAMY

6.1 Catia V5R19

Catia (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application). Jedná se o software, který zahrnuje celou řadu aplikací (CAD, CAM, CAE). Systém byl vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes původně pro použití v leteckém průmyslu. Díky tomuto se jedná o velmi komplexní program, který je možné použít téměř v každém odvětví např. architektura. Celý program se skládá z několika dílčích modulů. K návrhu 3D modelu výrobku byly použity moduly „Part Design“ a „Generative Shape Design“. Při řešení sestavy vstřikovací formy byly použity moduly „Assembly Design“ a „Mold Tooling Design“. [21,22]

6.2 Hasco Dako modul

Jedná se o katalog normálií využívaných při konstrukci vstřikovacích forem od firmy Hasco. Program slouží k vyhledávání normálií a jejich následnému exportu do příslušného CAD systému.

6.3 Online katalog Meusburger

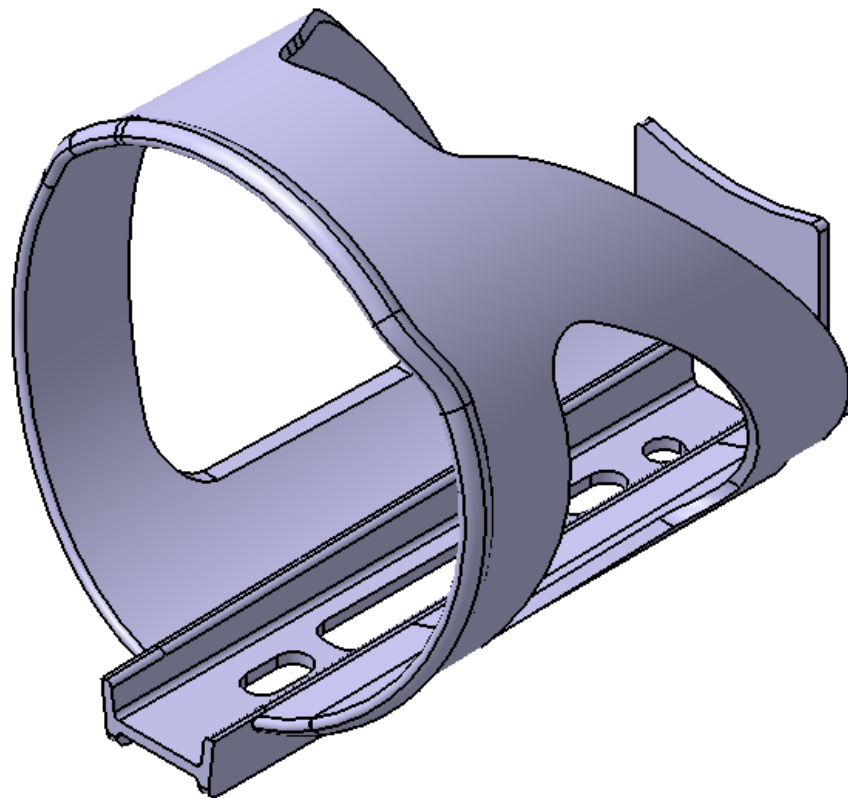
Jedná se o online katalog normálií firmy Meusburger ve kterém je možné vyhledávat součástky pro konstrukci forem. Katalog nabízí možnost stažení součástek v různých formátech nebo přímý import do příslušného CAD systému.

6.4 Siemens NX

Modelovací software od společnosti Siemens, který slouží k 3D návrhu strojních součástek. Obsahuje aplikace CAD/CAM/CAE. V této práci byl software využit k tvorbě výkresové dokumentace.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Navržená vstřikovací forma je určena pro držák lahve, který se používá na eliptickém trenažeru. Hmotnost výrobku činí 44,8 g. Hmotnost byla získána jako součin objemu výrobku a hustoty zvoleného materiálu. Rozměry jsou 85 x 94 x 111 (šířka x délka x výška). Materiál dílu je polypropylen. Objem výrobku je 30,8 cm³.



Obr. 10 - 3D model výrobku

7.1 Volba materiálu

Jako materiál byl zvolen SABIC PP 312MK10R. Tento materiál je obvykle používán pro vstřikování a je pro něj charakteristický vysoký tok taveniny. Je vhodný k výrobě tenkostěnných výrobků. Mezi jeho mechanické vlastnosti patří vysoká tuhost a dobrá tepelná stabilita. [23]

Originální materiálový list je k dispozici v příloze práce.

Tab. 4 - Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu [23]

Vlastnosti	Hodnoty	Jednotky SI	Testovací metody
Index toku taveniny při 230 °C/2.16 kg	39	g/10 min	ASTM D1238
Napětí při přerušení	16	MPa	ASTM D638
Teplota měknutí	149	°C	ASTM D1525
Nárazová práce při 23 °C	9	kJ/m ²	ASTM D785
Doporučená teplota tavení	190-230	°C	

8 KONSTRUKCE FORMY

Při konstrukci formy byly využívány v co největší míře normálie firem Hasco a Meusburger, což má za následek zhotovení rychlého, jednoduchého a ekonomického řešení formy. Mezi výrobně nejsložitější částí formy patří tvárník, tvárnice a bočnice, které negují tvar výrobku. Polymer je do dutiny vstříknutý pomocí horkého vtoku, toto řešení má výhodu v tom, že při vyjmutí výrobku z formy není nutné odstraňovat zbytky vtoku.

Temperace formy je řešena pomocí systému vrtaných kanálků. Vyhazovací mechanismus je tvořen válcovými kolíky.

Násobnost formy byla zvolena vzhledem k odformování výrobku. Forma je dvojnásobná, což má za následek vznik dvou výrobků na jeden cyklus.

8.1 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj byl zvolen na základě rozměrů formy a parametrů výrobku, které byly získány pomocí výpočtu nebo měření. Tyto hodnoty jsou uvedeny níže:

- hmotnost vstřikované dávky, která je získaná jako součin objemu výrobku a hustoty zvoleného materiálu činí 44,8 g, jelikož je forma dvojnásobná, tak celková dávka vstřikovaného plastu činí 89,6 g,
- rozměry formy v milimetrech 546x496x591 (výška x šířka x délka),
- průměr středících kroužků na obou stranách formy činí 125 mm.

Zadaným parametrům vyhovuje vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630 S. Originál technického listu je k dispozici v příloze.



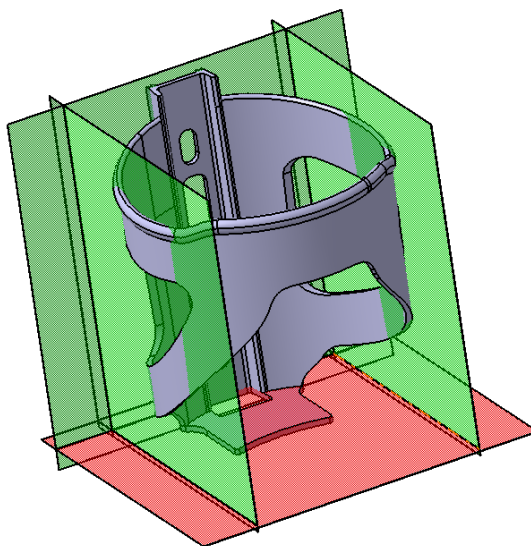
Obr. 11 – Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630 S [24]

Tab. 5 - Vybrané parametry vstřikovacího stroje [25]

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Maximální upínací síla	kN	2500
Vzdálenost mezi upínacími sloupky	mm	630 x 630
Velikost upínací desky	mm	900 x 900
Maximální vyhazovací síla	kN	90
Maximální hmotnost posuvné části formy	kg	2500

8.2 Zaformování výrobku

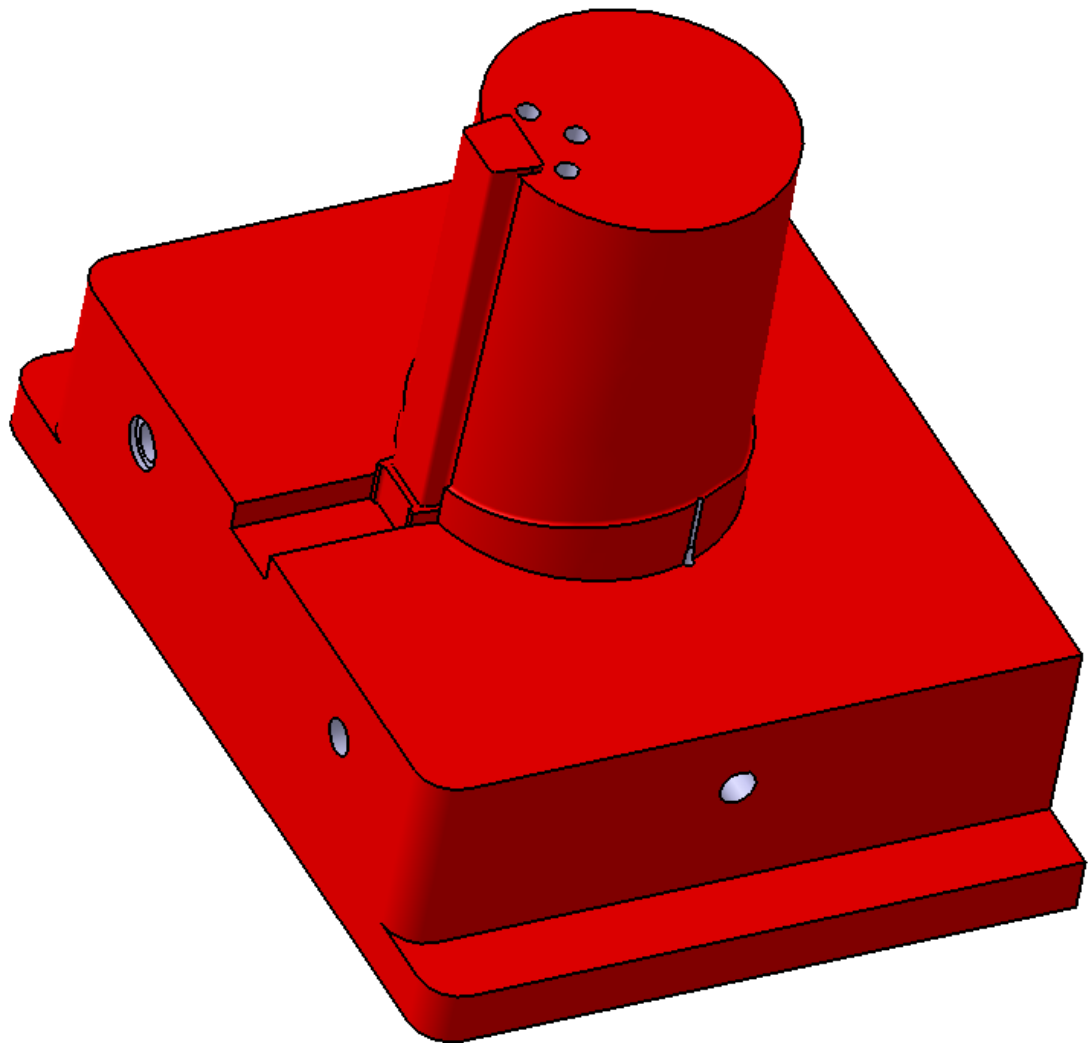
Aby forma správně plnila svou funkci, je nutné zvolit vhodnou dělicí rovinu. V případě složitějšího výrobku forma obsahuje i vedlejší dělicí roviny. Volba dělicí roviny by měla být podmíněna co nejjednodušším možným řešením. Správně zvolená dělicí rovina má za následek nižší výrobní náklady, což v konečném důsledku vede k větší ekonomičnosti výroby. Při volbě dělicích rovin je nutné zohlednit odformování a následné vyhození výrobku. Hlavní dělicí rovina HDR se nachází mezi tvárníkem a tvárnicí. Vedlejší dělicí roviny VDR slouží ke správně funkci bočního odformování.



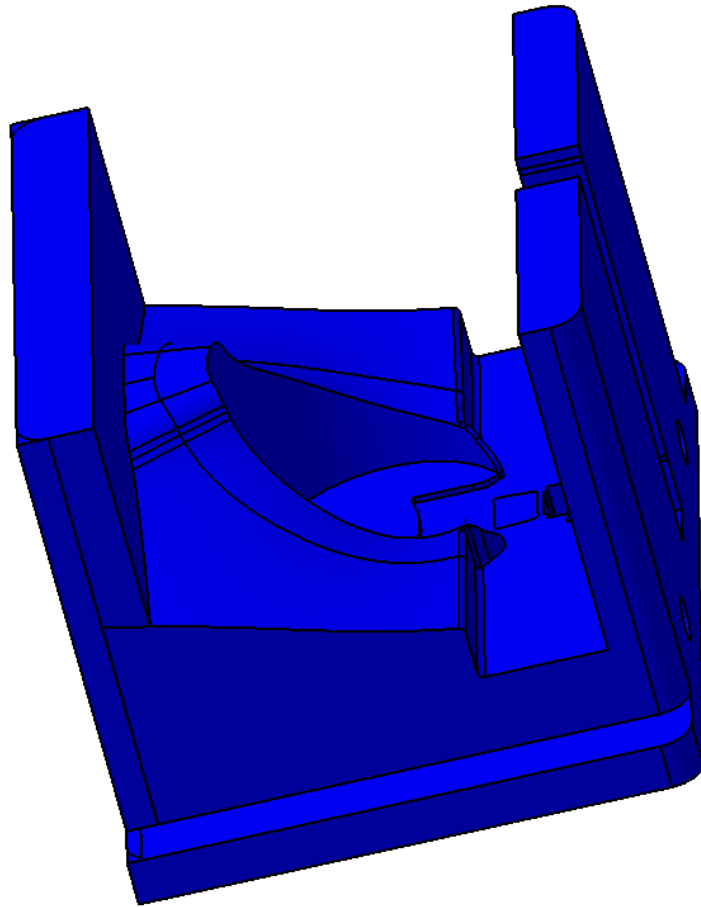
Obr. 12 – Dělicí roviny: HDR (červeně), VDR (zeleně)

8.3 Dutina formy

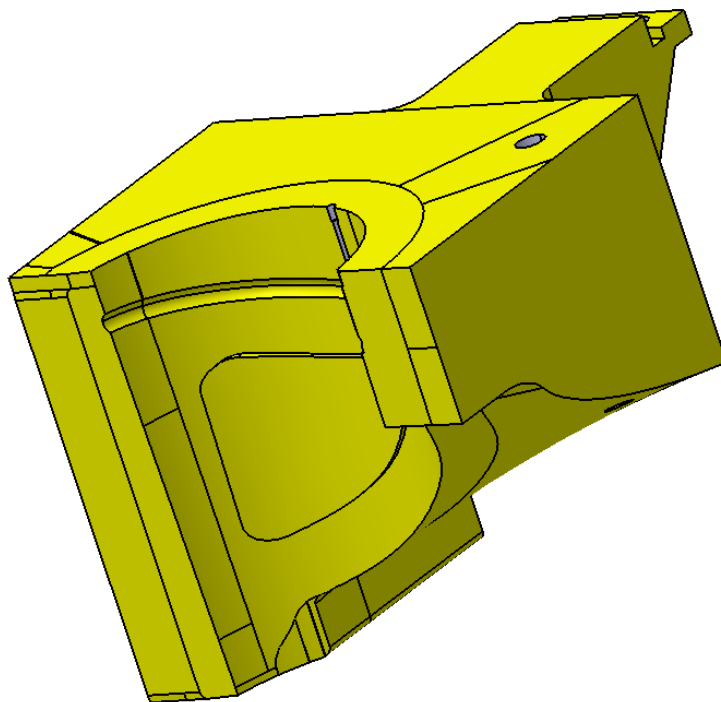
Budoucí tvar výrobku je získaný z tvarových částí formy. Dutina tvoří nejdůležitější část formy. Forma obsahuje tvárník, který lze najít v pravé části formy a tvárnici, která se nachází v levé části. Kvůli bočním dírám bylo nutné navrhnout i boční posuvné čelisti, tzv. „bočnice“. Pokud by byla dutina formy řešena pouze pomocí tvárníku a tvárnice, tak by výrobek nešel odformovat. Boční čelisti jsou celkem tři na jeden výrobek. Všechny boční čelisti se při odformování posouvají pomocí šikmých kolíků.



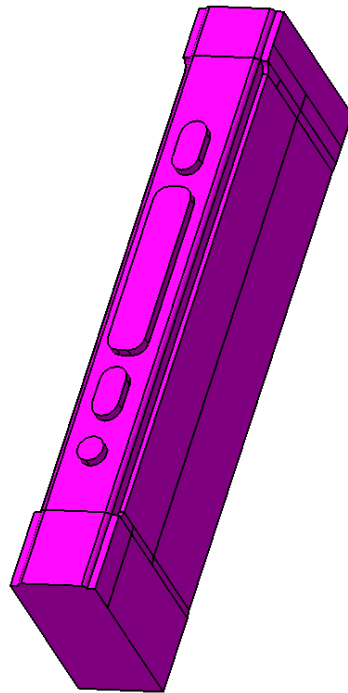
Obr. 13 - Tvárník



Obr. 14 - Tvárnice



Obr. 15 – Boční čelist 1

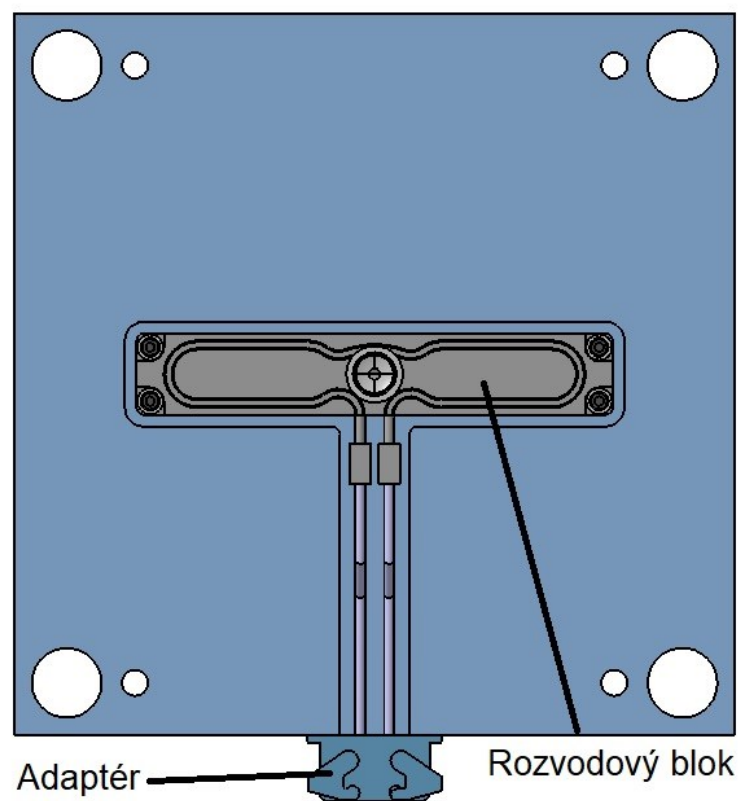


Obr. 16 - Boční čelist 2

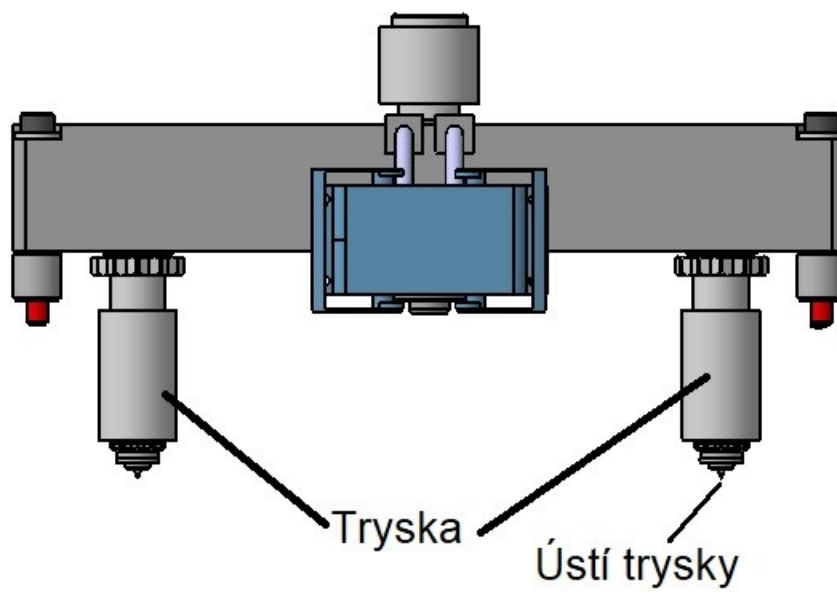
8.4 Vtokový systém

Při návrhu formy byl zvolen horký vtokový systém, a to především z důvodu udržení stále viskozity polymeru v celé dutině formy. Při použití horkého vtoku není nutné vyrábět vtokové kanály a dochází k časovému zkrácení výrobního cyklu. Oproti studenému vtoku není nutné vymýšlet způsob odstranění vtokového zbytku.

Nevýhodou zvoleného řešení je vyšší pořizovací cena a zvýšení provozních nákladů. Vtokový systém je celý převzatý od firmy Meusburger, konkrétně se jedná o vtok pod firemním označením E 4500. Trysky jsou uloženy symetricky. Celý systém je napájený adaptérem Z1227 od firmy Hasco. Celý vtokový systém je uložen v desce s dostatečnou dilatační vůlí. Řešení vtoku je zobrazeno na obr. 17 a obr. 18.



Obr. 17 - Vtokový systém – umístění v desce

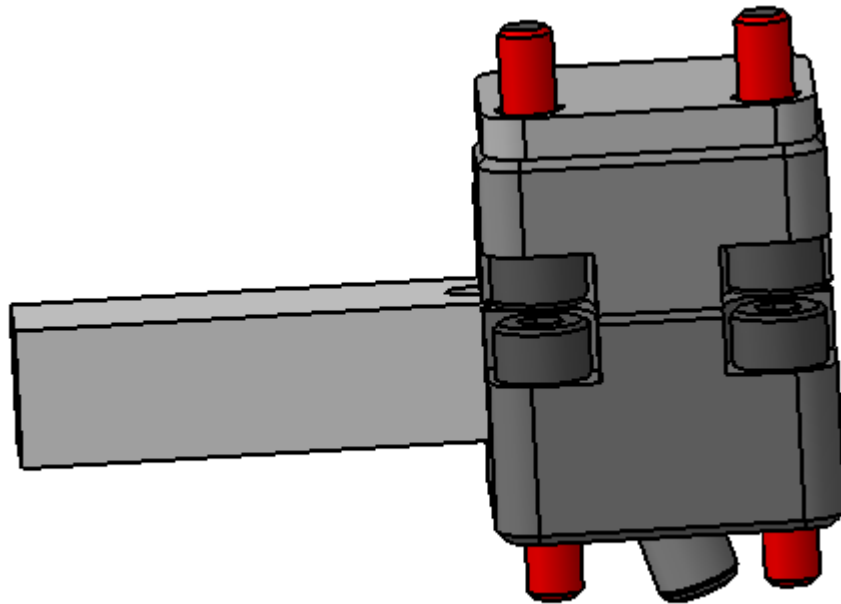


Obr. 18 - Vtokový systém

8.5 Boční odformování

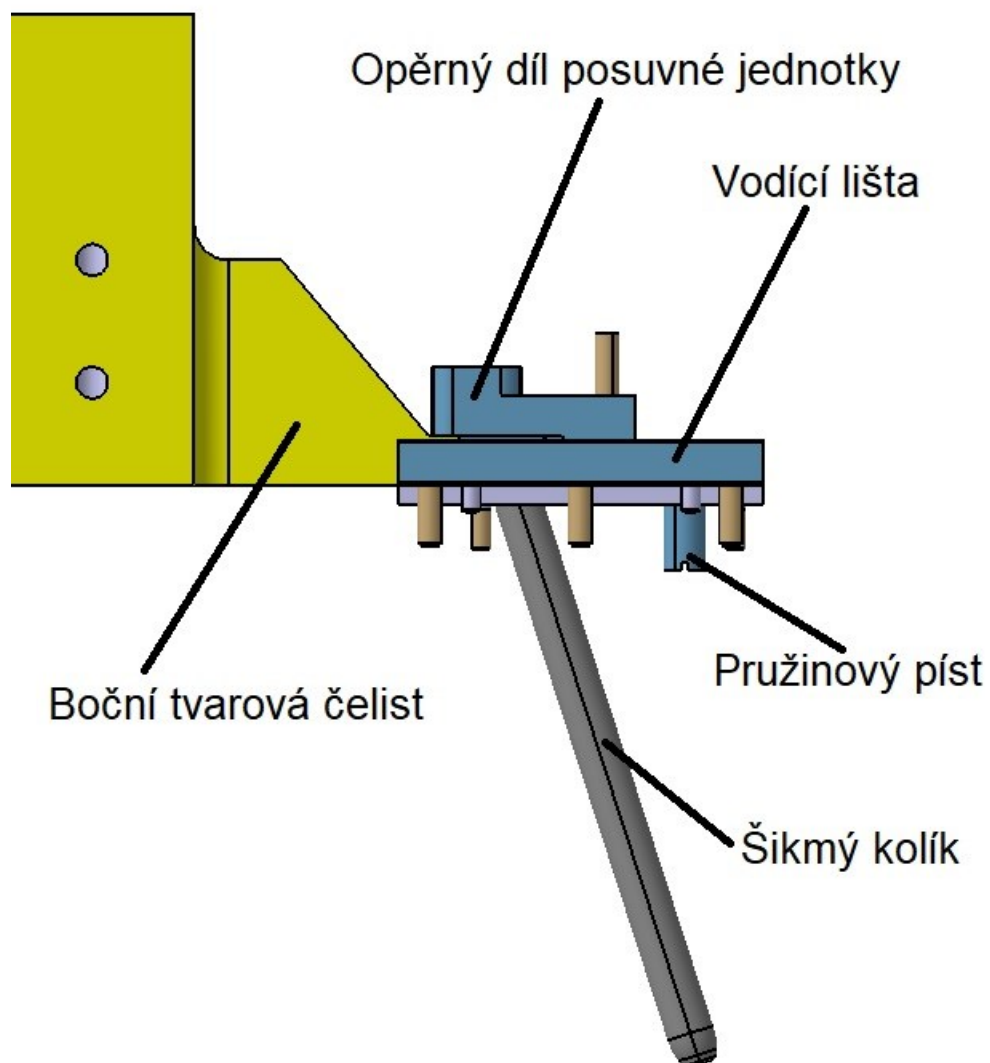
Boční odformování je řešeno pomocí posuvných čelistí. Vzhledem ke tvaru výrobku bylo nutné navrhnout dva druhy posuvných čelistí. V prvním případě je využita kompaktní posuvná jednotka od firmy Meusburger pod označením E3300. Tato jednotka je schopná provést maximální posunutí o délce 6,1 mm, což je dostačující pro daný tvarový prvek. Problém může nastat v případě mechanického namáhání, pokud by se při zkoušce formy ukázalo, že jednotka nemá dostatečnou pevnost, tak by bylo nutné zvolit jiné řešení.

Celý mechanismus funguje na principu šikmého kolíku a kuličkové aretace.

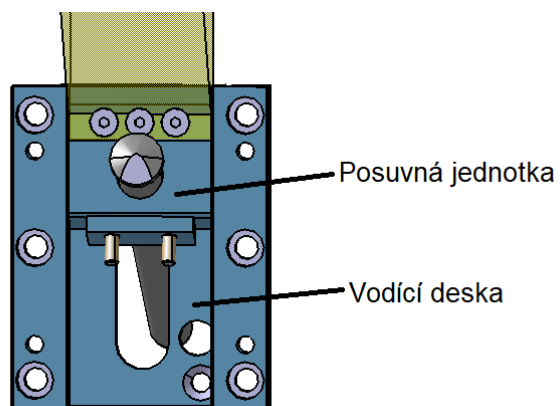


Obr. 19 - Kompaktní posuvná jednotka E3300

Odformování větší boční tvarové čelisti je též řešeno mechanismem, který obsahuje šikmý kolík. Šikmý kolík bylo možné použít, protože nebylo nutné boční tvarovou čelist při odformování zpozdít. Celý mechanismus je tvořen šikmým kolíkem, jisticím zámkem, vodicími lištami a dalšími prvky. Úhel sklonění kolíku činí 18° . Aby nedošlo k nekontrolovanému pohybu čelistí po odformování, tak je celý mechanismus zajištěn pružinovým pístem od firmy Hasco pod označením Z37.



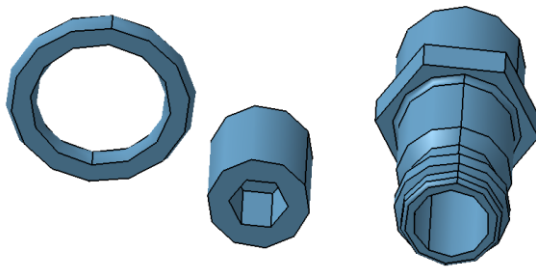
Obr. 20 - Mechanismus bočního odformování (1)



Obr. 21 – Mechanismus bočního odformování (2)

8.6 Temperační systém

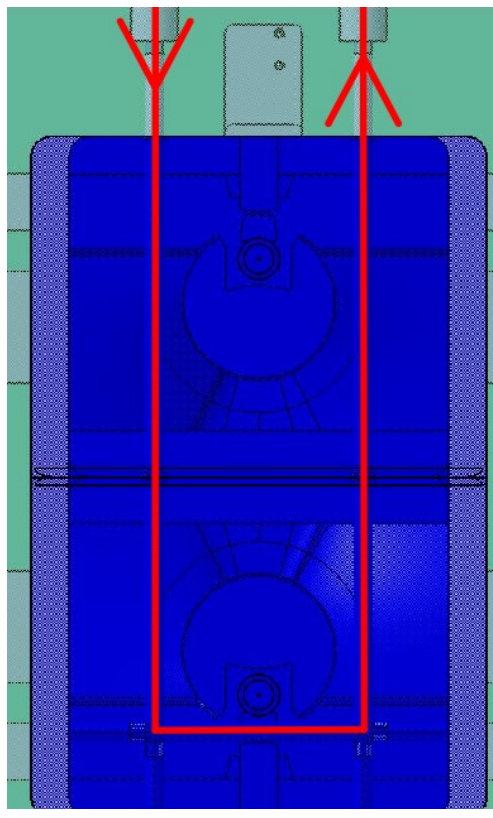
Forma obsahuje celkem šest samostatných temperačních okruhů. Okruhy jsou tvořeny vrtanými kanálky o průměru 8 a 10 mm. K systému temperace také patří příslušné normálie jako ucpávky, těsnící kroužek, přípevnění pro hadice nebo přepážka pro chlazení jádra.



Obr. 22 - Těsnící kroužek, ucpávka, přípojka hadice

8.6.1 Temperace tvárnice

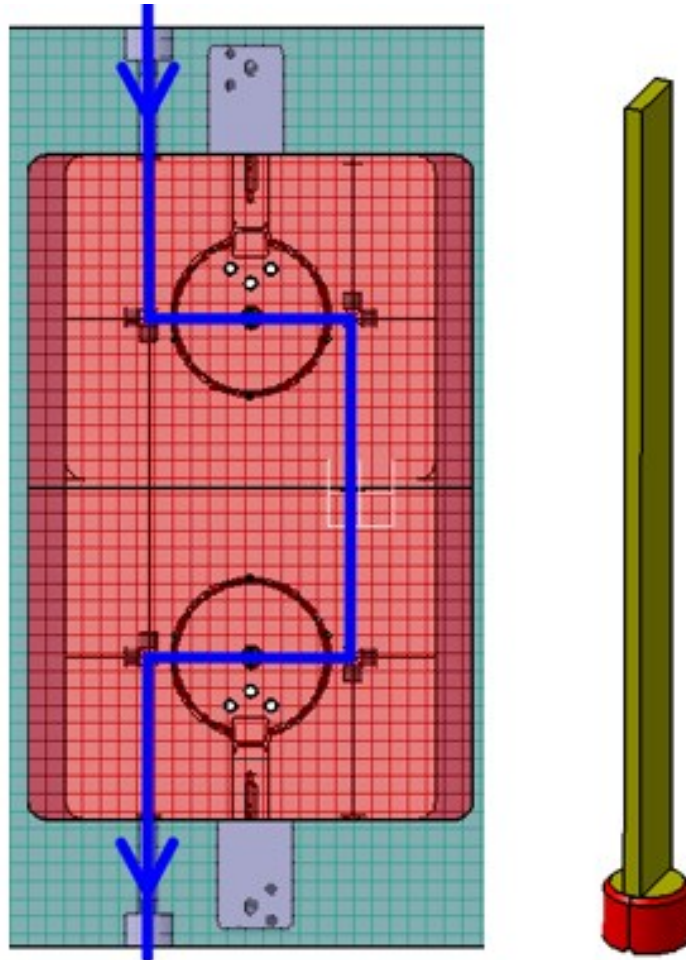
Jedná se o nejjednodušší temperační okruh formy. Okruh je tvořený vrtanými kanálky o průměru 10 mm.



Obr. 23 - Temperační okruh tvárnice

8.6.2 Temperace tvárníku

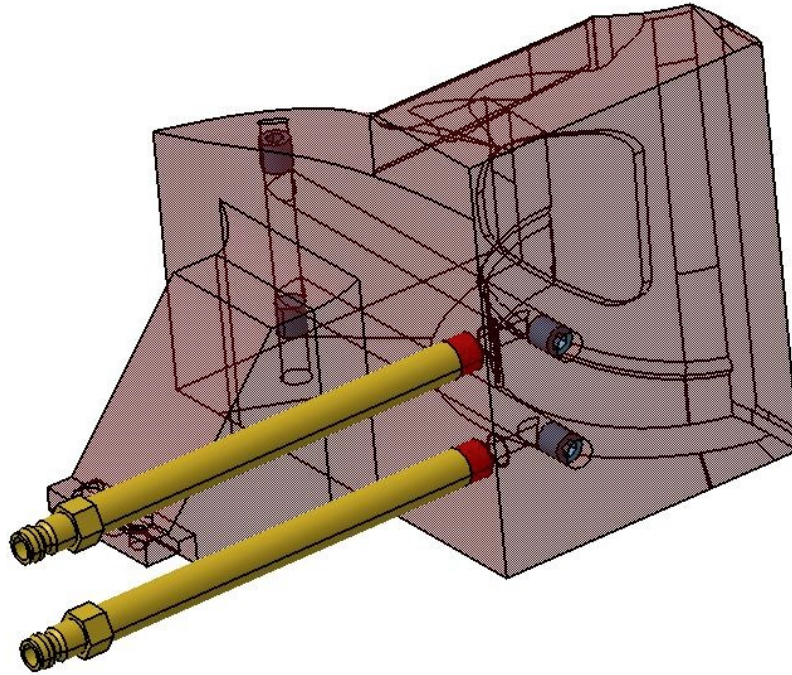
Temperace tvárníku je tvořena vrtanými kanálky o průměru 10 mm. Pro správné chlazení tvárníku bylo nutné použít rovné přepážky. Přepážka zajišťuje rozvod temperačního média do místa, které by jinak zůstalo nepokryté. V obvodu se nachází celkem dvě přepážky, každá v jednom tvárníku.



Obr. 24 - Temperační okruh tvárníku

8.6.3 Temperace velkých tvarových čelistí

Vzhledem k tomu, že dochází k posuvu čelistí při odformování do boku, tak bylo nutné navrhnout temperační systém tak, aby nedocházelo k žádné kolizi. Výsledný systém chlazení je řešený pomocí prodloužených ventilů E 2016 od firmy Meusburger.



Obr. 25 - Temperace posuvných čelistí

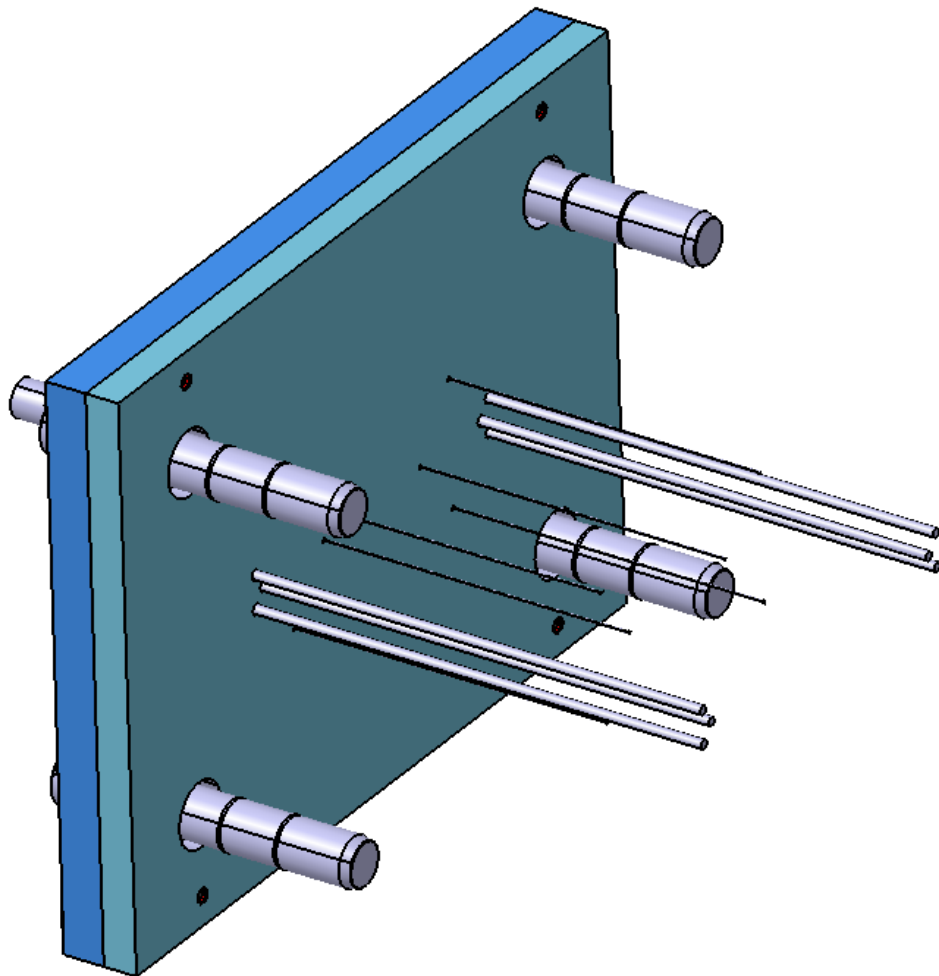
8.7 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění formy slouží k odvedení vzduchu z dutiny formy. Odvzdušnění této formy je řešené pomocí vůle mezi tvarovými částí formy a vůlemi mezi tvárníkem a vyhazovacími kolíky. Pokud by při vstřikování v dutině formy zůstal vzduch a výrobek by byl poškozený, tak by bylo nutné systém odvzdušnění zrealizovat pomocí odvzdušňovacích kanálů.

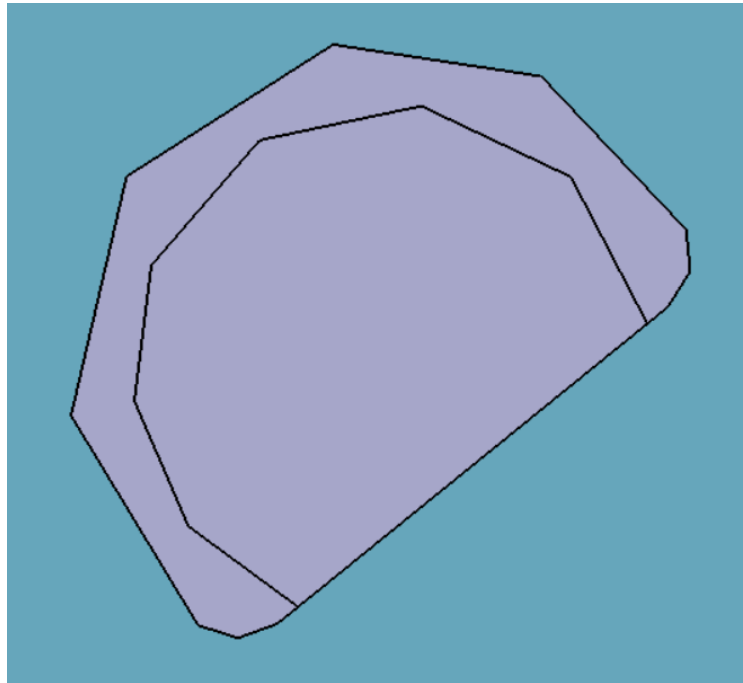
8.8 Vyhazovací systém

Při tvorbě vyhazovacího systému je nutné hledět na správné umístění vyhazovacích prvků vůči výrobku. Špatné umístění vyhazovačů by mohlo vést k poškození či znehodnocení výrobku při vyhazování. Navržený vyhazovací systém obsahuje dvě velikosti válcových vyhazovačů. Velké vyhazovače působí na dno výrobku, malé vyhazovače působí na obruč. Malé vyhazovače bylo nutné zajistit proti pootočení, protože nemají rovné dno. Celkem forma obsahuje dvanáct vyhazovačů, tzn. po šesti na jeden výrobek.

Pohyb vyhazovacího systému je zajištěn vodícími čepy a pouzdry. Celý systém se pohybuje pomocí táhla, které je přišroubované k opěrné vyhazovací desce. Obě desky vyhazovacího systému jsou spojeny pomocí šroubových spojů. Další částí jsou dosedací podložky, které zajišťují, aby při pohybu vyhazovacího systému nedocházelo k dosedání opěrné desky vyhazovačů na upínací desku formy.



Obr. 26 - Vyhazovací systém

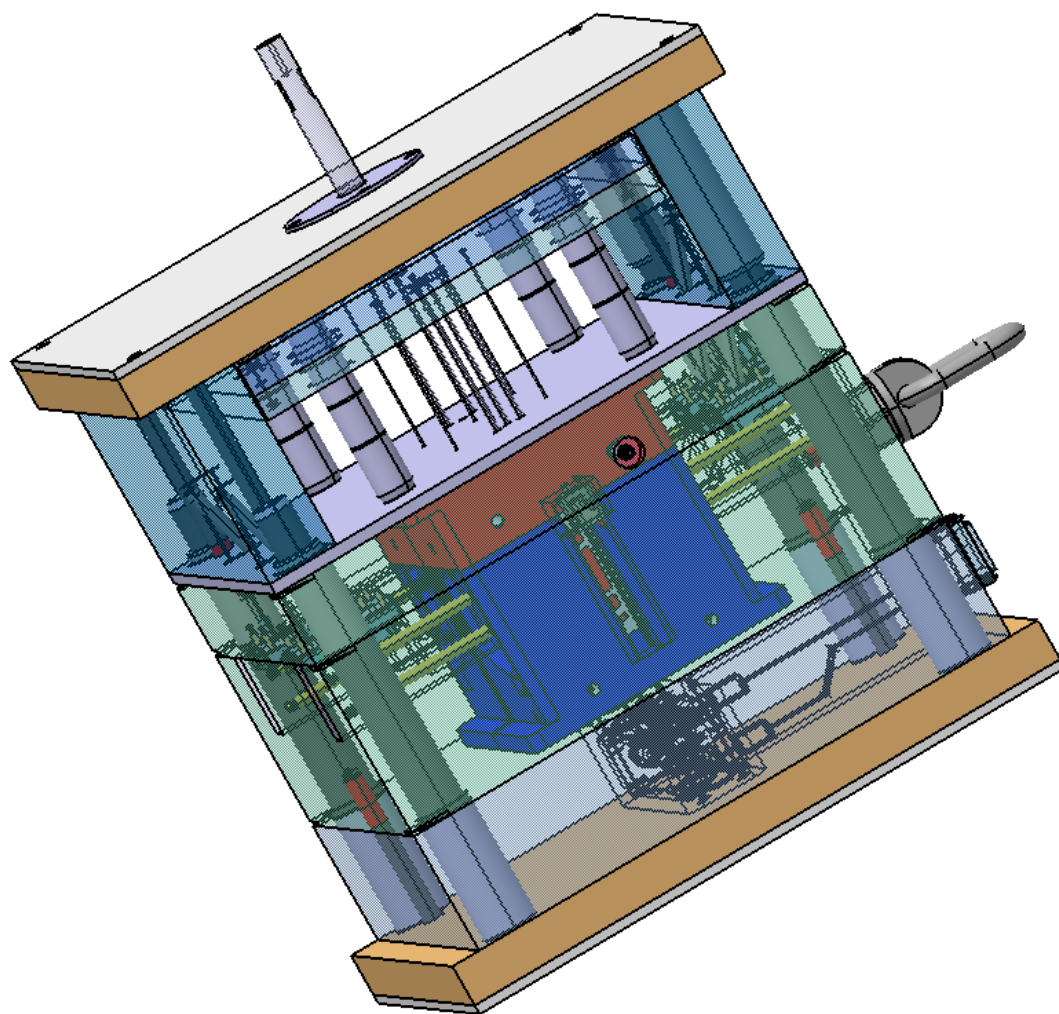


Obr. 27 – Řešení pootočení vyhazovače

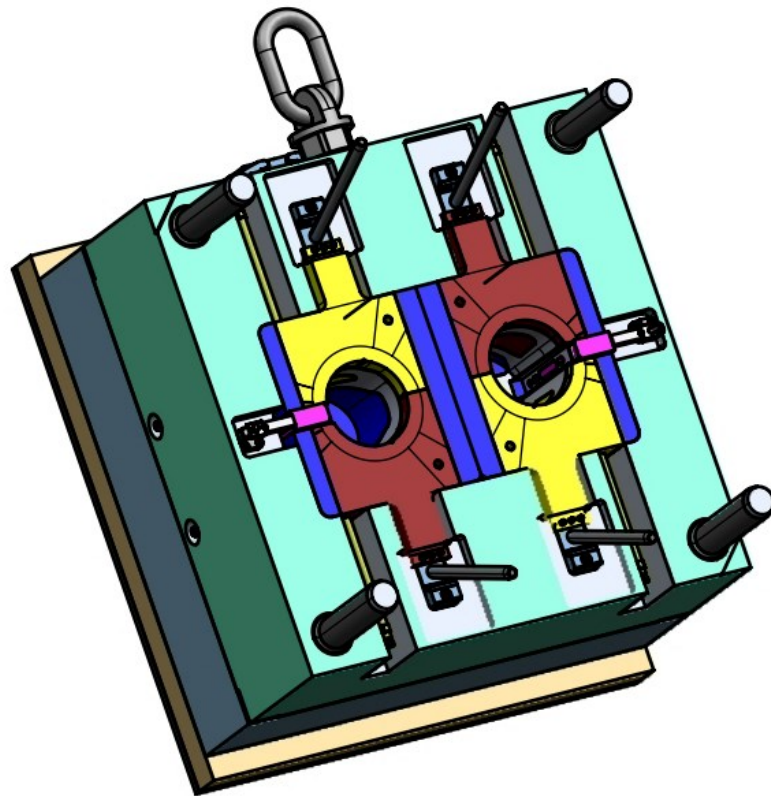
8.9 Vodící prvky a další části formy

Navržená forma je složená z levé strany, která se pohybuje a pravé vstříkovací části. Pravá strana formy zůstává nepohyblivá. Jednotlivé desky jsou k sobě spojeny šrouby E 1200. Další části jsou vodící prvky, které se skládají z čepů, vodících pouzder a středících trubek. Všechny vodící prvky jsou normálie firmy Meusburger.

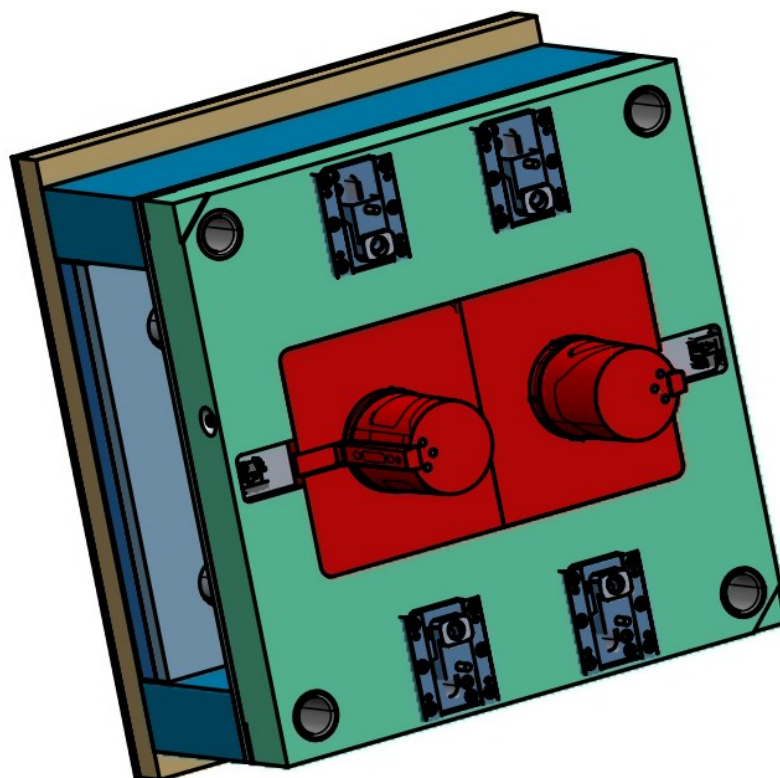
Dále jsou na formě použity středící kroužky, které slouží k ustavení formy ve stroji a zároveň zlepšují navedení trysky vstříkovacího stroje do formy.



Obr. 28 - Sestava formy



Obr. 29 - Pohled do levé dutiny formy



Obr. 30 - Pohled do pravé dutiny formy

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření 3D modelu vstřikovaného výrobku, provést konstrukci vstřikovací formy pro daný díl v CAD systému a následně vytvořit 2D dokumentaci navržené formy. Součástí práce je i literární studie, která se zabývá problematikou vstřikování a konstrukcí forem.

V literární studii se rozebírá základní problematika vstřikování a zásady, které je nutné dodržovat při konstrukci forem. Dále jsou v teoretické části zmíněna pravidla pro navrhování vstřikovaného dílu.

Praktická část se zabývá návrhem vstřikovací formy pro zadaný díl. Výrobkem je držák na lahev používaný na eliptickém trenažéru. Konstrukce formy je provedena v programu Catia. Pro navrženou vstřikovací formu byl zvolen vstřikovací stroj od firmy Arburg pod označením Allrounder 630 S. Jako materiál byl použit Sabic PP 312MK10R, který je vhodný pro vstřikování tenkostěnných výrobků.

Při vypracování byla zvolena dvojnásobná vstřikovací forma, takže na jeden vstřikovací cyklus se získají dva stejné výrobky. Chlazení formy je zajištěno šesti samostatnými temperačními okruhy, zvolený vyhazovací systém je jednostupňový. Naplnění dutiny formy je zajištěno horkým vtokem. Ke snadné manipulaci na pracovišti je forma opatřena okem, které slouží k upnutí na jeřáb.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUSÁREK, Josef. *Makromolekulární látky, syntetické polymery* [online]. [cit.2021-03-08]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/studijni_texty/vyukova_temata/plasty_text.pdf
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav, 2006. *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-7080-617-6.
- [3] WEISS, Viktorie a STRÍHAVKOVÁ Elena, 2014. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu. ISBN 978-80-7414-738-8
- [4] MACHEK, Václav a SODOMKA Jaroslav. *Polymery a kompozity s polymerní maticí: Nauka o materiálu 4. část*. České vysoké učení technické v Praze: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03927-4.
- [5] GENT, Alan Neville. *Elastomer - Chemical interlinking* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/elastomer/Chemical-interlinking-from-elastomers-to-rubbery-solids>
- [6] *Rubber-Cal – Rubber Flooring, Sheet Rubber, Rubber Mats, and Doormats* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.rubbercal.com/sheet-rubber/uses-of-natural-rubber/>
- [7] KRAIBURG TPE, *Global thermoplastic elastomer compounder* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.kraiburg-tpe.com/en/thermoplastic-elastomers> 1.1.2020
- [8] *Thermoset vs. Thermoplastics - A Comparison of Materials* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/thermoset-vs-thermoplastics>
- [9] *Uses of Thermoplastics* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.cewheelsinc.com/uses-of-thermoplastics/>
- [10] LENFELD, Petr. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [11] ZEMAN, Lubomír, 2009. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-7300-026-1.
- [12] *Process Cycle • Injection Moulding World Magazine*. [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://injectionmouldingworld.com/process-cycle/>
- [13] LENFELD, Petr, 2009. *Technologie II*. 2. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7372-467-2

- [14] *Pros and Cons of Plastic Injection* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://nationalmolding.com/blog/6-pros-and-cons-of-plastic-injection-molding/>
- [15] *Advantages and Disadvantages of Injection Moulding* | Blog. PlastikCity | Find suppliers in the UK & IE plastics industry [online]. Copyright © PlastikCity Ltd 2021 [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.plastikcity.co.uk/blog/advantages-disadvantages-of-injection-moulding/>
- [16] ŘEHULKA, Zdeněk, 2007. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 3. vydání. Brno: Sekurkon. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [17] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 212 s.
- [18] HYNEK, Martin a kolektiv. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. 2013 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [19] BOBČÍK, L a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999. 134 s.
- [20] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2014 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [21] *What is Catia* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.technia.com/blog/what-is-catia/>
- [22] *Catia-CAD* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/catia-cad-310720204/#!>
- [23] *Polypropylen PP SABIC* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polypropylene-pp/sabic-pp>
- [24] *Allrounder 620 S* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/today/arburg_today28_2005_527284_en_gb.pdf
- [25] *Arburg Allrounder 620 S* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_630S_TD_523026_en_GB.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Počítačem podporované projektování
CAM	Počítačem podporovaná výroba
CAE	Počítačem podporované inženýrství
°C	Jednotka teploty
mm	Jednotka délky
g	Jednotka hmotnosti
kg	Jednotka hmotnosti
MPa	Jednotka tlaku, napětí
IT	Tolerance lineárních rozměrů
kJ/m^2	Jednotka nárazové práce
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
PA	Polyamid
PET	Polyethylentereftalát
pVT	Diagram tlak, objem, teplota

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [2]</i>	11
<i>Obr. 2 - Lineární (a), rozvětvený (b), zesíťovaný (c) polymer [2]</i>	13
<i>Obr. 3 - Vstřikovací cyklus [20]</i>	14
<i>Obr. 4 - Vstřikovací stroj [20]</i>	16
<i>Obr. 5 – Schématické znázornění změny tlaku p, měrného objemu v a teploty T při vstřikování termoplastů [11]</i>	18
<i>Obr. 6 - Vliv rozmístění temperačních kanálek [17]</i>	19
<i>Obr. 7 – Kuželový princip [16]</i>	23
<i>Obr. 8 – Příklad nevhodného (vlevo) a vhodného (vpravo) plnění dutiny [18]</i>	23
<i>Obr. 9 – Rozměry vázané a nevázané formou [19]</i>	28
<i>Obr. 10 - 3D model výrobku</i>	32
<i>Obr. 11 – Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630 S [24]</i>	34
<i>Obr. 12 – Dělicí roviny: HDR (červeně), VDR (zeleně)</i>	35
<i>Obr. 13 - Tvárník</i>	36
<i>Obr. 14 - Tvárnice</i>	37
<i>Obr. 15 – Boční čelist 1</i>	37
<i>Obr. 16 - Boční čelist 2</i>	38
<i>Obr. 17 - Vtokový systém – umístění v desce</i>	39
<i>Obr. 18 - Vtokový systém</i>	39
<i>Obr. 19 - Kompaktní posuvná jednotka E3300</i>	40
<i>Obr. 20 - Mechanismus bočního odformování (1)</i>	41
<i>Obr. 21 – Mechanismus bočního odformování (2)</i>	41
<i>Obr. 22 - Těsnící kroužek, ucpávka, přípojka hadice</i>	42
<i>Obr. 23 - Temperační okruh tvárnice</i>	42
<i>Obr. 24 - Temperační okruh tvárníku</i>	43
<i>Obr. 25 - Temperace posuvných čelistí</i>	44
<i>Obr. 26 - Vyhazovací systém</i>	45
<i>Obr. 27 – Řešení pootočení vyhazovače</i>	46
<i>Obr. 28 - Sestava formy</i>	47
<i>Obr. 29 - Pohled do levé dutiny formy</i>	48
<i>Obr. 30 - Pohled do pravé dutiny formy</i>	48

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 - Zaoblení hran a rohů [19]</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 2 - Doporučená velikost úkosu [19]</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3 - Tloušťka stěny u slepého otvoru [19]</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4 - Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu [23]</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 5 - Vybrané parametry vstřikovacího stroje [25]</i>	<i>35</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list SABIC PP 312MK10R

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 630 S

P III: Výkresová dokumentace

- Řez A-A
- Řez B-B
- Řez C-C
- Pohled do pravé strany formy
- Pohled do levé strany formy
- Kusovník