

Konstrukce plastového dílu části automobilu a návrh nástroje pro jeho zpracování

Martin Mikel

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: **Martin Mikel**
Osobní číslo: **T20967**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce plastového dílu části automobilu a návrh nástroje pro jeho zpracování**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma
2. Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti
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:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vydání –Praha: BEN –technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

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

L.S.

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

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

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, 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: Martin Mikel

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje návrhu a konstrukci vstřikovací formy a její technické dokumentaci pro automobilový dílec. První část práce je věnována teorii. Obsahem teorie je základní rozdělení polymerů, princip technologie vstřikování, konstruování forem pro zpracování plastů a konstrukci polymerního dílce.

Klíčová slova: vstřikování, forma, polymery, konstrukce

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design and construction of the injection mold and its technical documentation for the automotive part. The first part is devoted to theory. The content of the theory is the basic division of polymers, the principle of injection technology, the design of molds for plastics processing and the construction of the polymer component.

Keywords: injection molding, molds, polymers, construction

Poděkování:

Velmi rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Ovsíkovi Ph.D. za jeho odborné rady, konzultace a čas, který mi věnoval při vypracovávání této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	11
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	11
1.1.1 Plasty	11
1.1.2 Elastomery.....	12
1.2 PŘÍSADY POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	12
1.2.1 Plniva.....	12
1.2.2 Stabilizátory	13
1.2.3 Barviva	13
1.2.4 Maziva.....	13
1.3 VOLBA TERMOPLASTU PRO SOUČÁST	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	14
2.1 KONTROLA PLASTŮ	14
2.2 KONTROLA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	14
2.2.1 Granulace	15
2.2.2 Sušení termoplastů	15
2.2.3 Plastikace.....	15
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	16
2.3.1 Vstřikovací jednotka	17
2.3.2 Uzavírací jednotka	17
2.3.3 Ovládání stroje	18
2.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	18
3 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÉHO DÍLU	19
3.1 NÁVRH TLOUŠŤKY STĚNY VÝROBKU	19
3.2 VOLBY ÚKOSŮ.....	20
3.3 ŽEBROVÁNÍ	21
4 KONSTRUKCE FORMY	22
4.1 PRAVÁ ČÁST FORMY	22
4.2 LEVÁ ČÁST FORMY	22
4.3 DĚLÍCÍ ROVINA	22
4.4 VTOKOVÉ SYSTÉMY	23
4.4.1 Studený vtokový systém (SVS)	23
4.4.2 Rozváděcí kanál	26
4.4.3 Vyhřívaný vtokový systém (VVS).....	26
4.4.4 Rozvodné bloky	27
4.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	27
4.5.1 Vyhazovací kolíky	27
4.5.2 Stírací deska	28
4.5.3 Pneumatické vyhazování.....	29
4.6 TEMPERACE FOREM.....	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	32

5	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	33
6	POUŽITÝ SOFTWARE	34
6.1	CATIA V5R19	34
6.2	HASCO DAKO MODUL.....	34
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO DÍLU.....	35
8	3D KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	36
8.1	DĚLÍCÍ ROVINA	37
8.2	NÁSOBNOST FORMY	37
8.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	38
8.4	VTOKOVÝ SYSTÉM FORMY	39
8.5	TEMPERANČNÍ SYSTÉM FORMY	40
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	41
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	41
8.8	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ	42
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	43
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM TABULEK.....	49
	SEZNAM PŘÍLOH.....	50

ÚVOD

Polymerní materiály jsou využity v dnešní době v mnoha průmyslových odvětvích, jako je automobilový, letecký, spotřební. Díky svým vlastnostem začaly nahrazovat používané materiály jako je ocel, dřevo, sklo. Mezi hlavní přínos patří nízká hustota, dobrá tvarovatelnost, dostupnost, skvělé mechanické vlastnosti, díky tomu můžeme realizovat tvarově složité výrobky.

Polymerní materiály se dají zpracovávat různými technologiemi výroby. K nejpoužívanějším způsobům zpracování polymerů patří technologie vstřikování plastů. Princip využití technologie je v tom, že dochází ke vstříknutí roztaveného polymerního materiálu do dutiny formy pomocí vstřikovacího stroje. Dutina formy má tvar budoucího výrobku. Výrobky mohou mít různou tvarovou složitost. Forma a vstřikovací stroj jsou ekonomicky a konstrukčně náročné, proto se využívají jen u velkosériové výroby.

Pro získání požadovaného tvaru, vzhledu a vlastností výrobku je potřeba správně zkonstruovat vstřikovací formu. Je potřeba dodržovat technologické zásady návrhu výrobku a formy, protože výroba forem je ekonomicky nákladná. Na každý nový výrobek je potřeba individuální řešení formy, proto se při výrobě forem využívají normalizované díly, které snižují náklady.

V dnešní době se také využívá velké množství konstrukčních 3D softwarů (např. Catia, Autocad, Solid Works, atd.). Využívají se také simulační programy pro vstřikování (např. Moldflow, Cadmould atd.).

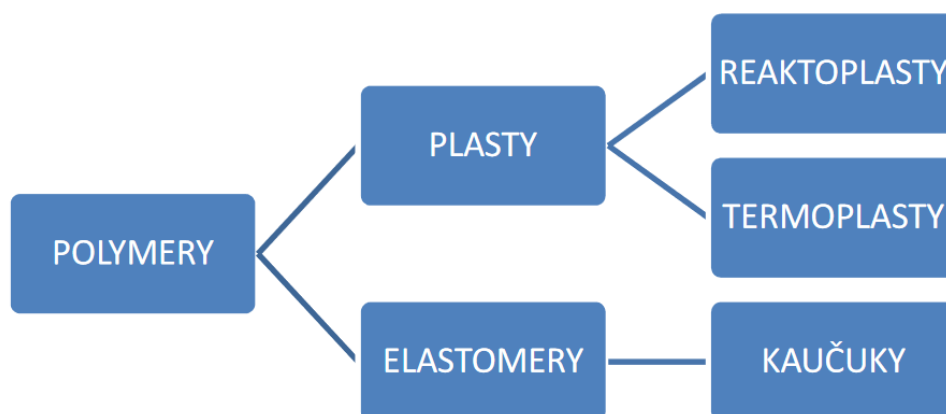
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Polymery jsou syntetické nebo přírodní materiály, které jsou tvořeny molekulami jednoho nebo více druhů atomů, nejčastěji se jedná o atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, chloru a dusíku. Základní stavební jednotka polymeru je *_mer*, která je odvozena od výchozí molekuly – monomeru. Pomocí spojování molekul monomeru vzniká dlouhá makromolekula. Vlastnosti polymeru jsou tvořeny počtem *_merů* v řetězci (polymeračním stupněm), tzn. délkou řetězce. [1], [2]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymery dělíme na základě několika kritérií, např. podle původu, chemické reakce jejich přípravy, chemické příbuznosti, složení, molekulární struktury nebo podle uspořádání makromolekul na nadmolekulární úrovni. [5]



Obr. 1: Rozdělení polymerů

1.1.1 Plasty

Jedná se o skupinu polymerů, která je charakterizována tvrdostí a často i křehkostí. Při vyšších teplotách se stávají plastickými a tvarovatelnými. Jejich struktura je tvořena makromolekulárními řetězci oproti kovům, které mají strukturu tvořenou krystalickou mřížkou, což umožňuje provádět přeměnu z plastického tvaru zpět do tuhého. Plasty se rozdělují podle toho, zda po změně z plastického do tuhého stavu jsou vratné (termoplasty) nebo naopak nevratné (reaktoplasty). [1] [2] [3]

Termoplasty

Jsou to plasty, které mají řetězce přímé (lineární) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené). Termoplasty jsou ohřevem měkčeny nebo roztaveny, poté tvarovány, svařovány a pak ztuženy chlazením. V takovém stavu se může tvářet. Po ochlazení se opět vrátí do původního stavu. [2] [4]

Reaktoplasty

Jedná se o polymery, které rovněž v první fázi ohřevu měknou a lze je tvářet. Tvářet však můžeme jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování – vytvrzování. Výrobek můžeme považovat za jednu velkou makromolekulu. Tento děj je nevratný a tyto plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším ohřevem dojde k degradaci – rozkladu hmoty. [5]

1.1.2 Elastomery

Jedná se o polymery, jenž lze za běžných podmínek relativně malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je většinou vratná.

Kaučuky

Jsou to elastomery, které se po smíchání se síťovacími činidly a dalšími přísadami stávají gumou. Guma má schopnost být vulkanizací převedena na pryž. Vulkanizace je proces, při kterém se z termoplastické gumy stává netermoplastická pryž. Tento proces je nevratný a další tvářením již není možné. [1]

1.2 Přísady polymerních materiálů

Přísady polymerů ovlivňují fyzikální i mechanické vlastnosti polymerů. U většiny plastů je potřeba eliminovat jejich nedostatky, jako je například hořlavost, špatná odolnost vůči vysokým teplotám, malá tvrdost apod. Existence přísad rozděluje polymery na plněné a neplněné. Neplněné polymery jsou velmi ojedinělé a neobsahují žádné přísady. Ve velké míře se ale přísady používají a označují jako plněné. [5]

1.2.1 Plniva

Jsou látky organického či anorganického původu. Plniva se vyskytují v podobě prášku, eventuálně kousky malých částí nebo v podobě vláken různých délek. Podle mechanických vlastností lze rozeznávat vyztužující a nevyztužující plniva. [5]

1.2.2 Stabilizátory

Tepelné: Jejich úkolem je zpomalování degradačních procesů a vylepšení odolnosti polymerů vůči vysokým teplotám, které se používají při zpracování.

Světelné: Jejich úkolem je zpomalování degradačních procesů při působení slunečního záření.[5]

1.2.3 Barviva

Díky barvivům polymery dosahují potřebné barvy. Požívají se pigmenty organického či anorganického původu.[5]

1.2.4 Maziva

Snižují viskozitu polymeru a lepení součásti na stěnu formy, čímž je zpracování polymerů snadnější.[5]

1.3 Volba termoplastu pro součást

Pomocí technologie vstřikování můžeme vyrobit součást, která už nevyžaduje žádné, nebo jen malé dodatečné opracování nebo úpravy. Při volbě vhodného termoplastu pro konstruovanou součást je třeba uvážit konkrétní podmínky jejího zatížení a celkového použití. Takto navržená součást musí mít mimo vhodných mechanických i fyzikálních vlastností také vhodný tvar s dosažitelnými rozměry i jakostí povrchu. [2]

Optimální volbu termoplastu potom posuzujeme z několika hledisek:

- funkce výrobku musí splňovat předdefinované požadavky,
- zvolená technologie výroby musí být reálná a pokud možno snadno realizovatelná,
- ekonomicky výhodná z hlediska volby plastu, technologie výroby i formy pro ni.

Konstruktér na základě uvažovaných hledisek stanoví vhodný plast, popřípadě více plastů. Mezi těmi už poté rozhodují méně významné vlivy, jako např. dostupnost, estetické vlastnosti apod. [2]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování plastů je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů. Jedná se o poměrně složitý fyzikální proces, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Během vstřikování je použitý plast roztaven a dopravován do dutiny formy a tam je ochlazen do tvaru vyráběné součástky. [5] [6]

Proces vstřikování se nejčastěji používá při sériové výrobě. Vstřikování se rovněž využívá při vytváření složitých součástí s dobrou povrchovou úpravou. Kvalita vstřiků se hodnotí podle stavu výrobku či polotovaru po vyhození z formy. Výroba formy je zdlouhavý a drahý proces, proto se formy využívají v sériové výrobě, aby byly rentabilní náklady vynaložené na jejich zhotovení. [21] [10]

Je důležité, aby kvalita použitého plastu byla správného typu, protože daný plast bude mít vliv na konečnou aplikaci. Je potřeba si uvědomit, že správná volba plastu může být degradována nesprávným technologickým postupem, který je potřeba dokonale znát a respektovat během výroby. [5] [6]

2.1 Kontrola plastů

Plasty pro vstřikování se dodávají granulované v pytlích, nebo i jinak chráněné proti navlhnutí. Pro omezení aplikačních a zpracovatelských problémů je vhodné provádět jejich kontrolu.

Dělí se na:

- vstupní hodnocení plastů,
- mechanické vlastnosti,
- fyzikální vlastnosti,
- ostatní hodnocení – pohledové, prostředí...

2.2 Kontrola plastů před vstřikováním

Před začátkem vstřikování plastů se upravuje materiál dle technologických postupů, které má vyráběný díl určené. K úpravám materiálu dochází nejen z toho důvodu, že ovlivní finální vlastnosti plastů (mechanické, fyzikální...), ale ovlivní i přípravu jejich dávkování a dopravu. Mezi nejčastější technologie přípravného zpracování plastů patří sušení, granulace, barvení granulátu, recyklace atd. Plasty lze tedy používat v různých tvarech např. granule, pasty, kaše, recykláty (rozemleté plasty). [6] [7],

2.2.1 Granulace

Mezi nejpoužívanější tvary patří granule, které mají různé tvary např. krychle, válečky, čočky. Granule jde velmi dobře dávkovat, dobře se mísí s ostatními materiály.[7]

2.2.2 Sušení termoplastů

Velké množství termoplastů pohlcuje vlhkost z ovzduší, tím může docházet k degradaci polymeru a tím i k zhoršení kvality povrchu materiálu. Výstřiky nemají lesklý povrch, jdou špatně vyjmout z formy a v místě vtoku vznikají povrchové vady. Z těchto důvodů je potřeba materiál předsoušet. Pro sušení se používají komorové pece, kde je přirozeně cirkulující vzduch a vrstva granulátu je na paletách. Do nepřetržitého provozu jsou vhodné vysokokapacitní sušárny. [6]

2.2.3 Plastikace

U procesu plastikace je potřeba zajistit, aby dávka taveniny došla před čelo šneku. Nastavení je ovládáno topným pásmem plastikačního válce, zpětným odporem na šneku a otáčkami na šneku. Zplastikovaná dávka je naplněna do formy a její vtokové soustavy (fáze plnění). [10]

2.2.4 Vstříkování

Při vstříkování je tvarová dutina formy plněna taveninou určitou rychlostí, aby proud taveniny byl schopen zaplnit každý bod v dutině formy. Pokud bude rychlost vstříku pomalá, dojde k poškození povrchu výrobku. Při dotyku s ochlazenou formou ztratí tavenina tekutost a celá dutina formy nebude řádně zaplněna. Je proto potřeba brát zřetel nejen na materiály, které budou v procesu vstříkování použity, ale i na řešení vtokové soustavy nebo na objem a tvar výstříku. [8]

2.2.5 Dotlak

Dotlak působí v době vstříknutí a bývá stejný nebo nižší než vstříkovaný tlak. Je odvozen od tlaku dosaženého v dutině formy. Dotlak snižuje smrštění a rozměrové změny. Také ovlivňuje zbytková pnutí ve výstříku, který nastane v momentě, když tlak prudce stoupne a následně klesne. Nemusí být součástí vstříkovaného procesu. U tlustostěnných výstříků má vliv na výskyt závad jako jsou bubliny, propadliny apod. [9]

2.3 Vstřikovací stroj

Proces vstřikování probíhá většinou na plně automatizovaných strojích, takže dosahujeme vysoké pracovní produktivity. Jednotlivé stroje se od sebe liší různými vlastnostmi. Vstřikovací stroj je výrobní zařízení, umožňující roztavení plastické hmoty, její následnou homogenizaci, vstříknutí vysokým tlakem do uzavřené dutiny formy a následné ochlazení a vyhození ze stroje. Špatný výběr stroje může mít za následek výrobu nepřesných výstřiků s vadami mnoha druhů nebo ekonomicky nevýhodný provoz. [5]

Mezi nejčastější kritéria při výběru stroje patří rychlost výroby, mechanické vlastnosti stroje, snadná obsluha, cena, stupeň řízení atd. Vstřikovací stroj je konstruován na základě vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, ovládání a řízení stroje. [6],

Nejčastější pohony vstřikovacích strojů jsou:

- hydraulické,
- elektrické,
- hybridní. [7]

Stroje pro přesné výstřiky musí: [6]

- být pevné a tuhé při vstřiku,
- mít stálou rychlost, tlak, teplotu,
- přesně opakovat technologické parametry (vstřik, dotlak, chlazení atd.).



Obr. 2: Vstřikovací stroj

2.3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má za úkol připravit a dopravit požadované množství roztaveného plastu do dutiny formy. Do tavného válce je dopravován plast z násypky pomocí pohybu šneku. Plast je posouván šnekem přes pásma vstupní, přechodové a výstupní. Postupně dochází k ohřevu a tím i plastikaci, homogenizaci a hromadění materiálu před šnekem. Během plastikace je rotující ocelový šnek odtlačován do zadní polohy. Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Tryska je zakončena kulovou plochou, jenž umožní přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. [6]

2.3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k uzavření a otevření formy podle probíhajícího cyklu. Uzavření formy musí být zajištěno dostatečnou silou, aby se zabránilo jejímu otevření tlakem, který způsobuje vstřikovaná tavenina. [6]

Uzavírací jednotku lze rozdělit na tyto části:

- opěrnou desku, která je pevně spojena se strojem,
- pohyblivou desku s upnutou pohyblivou částí formy,
- upínací desku, kde se připevňuje statická část formy,
- vedení pro pohyblivé desky,
- uzavírací a přidržovací mechanismy.

2.3.3 Ovládání stroje

Charakteristickým znakem kvality stroje je stupeň řízení a jeho snadná obsluha stroje. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je velmi důležitým faktorem. Pokud tyto parametry více kolísají, projevuje se tato nerovnoměrnost na kvalitě výroby. Řízení stroje se musí zařídit vhodnými regulačními prvky. Nejnovější řídicí jednotky vstřikovacích strojů se v této době neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo formy zadávání technologických parametrů pouze textovou formou se využívají nejrůznější grafické formy řízení pracovních cyklů na displeji s individuálním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. [6]

2.4 Vstřikovací cyklus

Plast se v podobě granulátu nasype do násypky, odkud se odebírá pracovní částí vstřikovacího stroje, která hmotu dopraví do tavicí komory. Plast se za současného účinku tření a tepla taví a vzniká homogenní tavenina. Tavenina je následně vstříknuta do uzavřené dutiny formy, kterou zaplní a zaujme její tvar. Následuje fáze tlaková, pro snížení rozměrových změn a smrštění. Do formy je vstřikovaným plastem předáváno teplo. Plast poté postupně tuhne ve finální tvar výrobku. Potom je forma otevřena, vyhazovací mechanismus vyhazuje ochlazený výrobek ven z formy a celý cyklus se opakuje. Během ochlazování výrobku ve formě dochází ve šneku k přípravě další taveniny. Celý proces bývá většinou plně automatizován. [7]



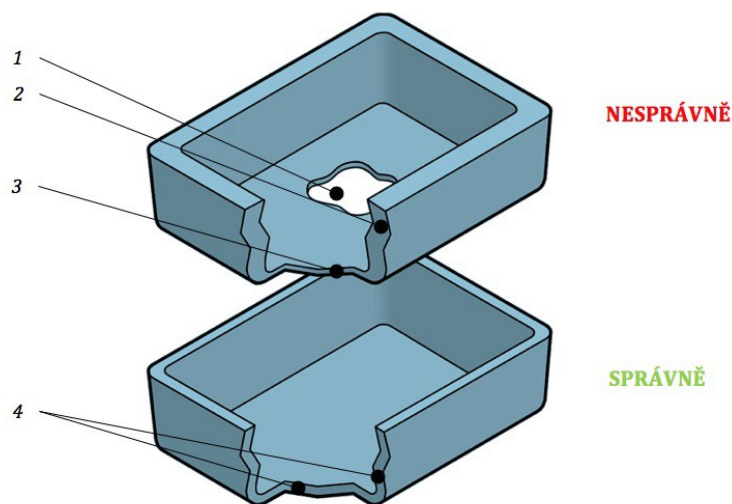
Obr. 3: Vstřikovací cyklus [9]

3 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Konstrukce vstřikovaného dílu patří k nejdůležitějším etapám výroby, a to ať už z hlediska správného zaformování výrobního dílu nebo z hlediska funkčního. Zaformování představuje správné zvolení dělicích rovin tak, aby nedocházelo ke konstrukci příliš složitých forem (vyšší cena).[11]

3.1 Návrh tloušťky stěny výrobku

Při volbě tloušťky stěny je velmi důležité vyvarovat se přechodům tlouštěk stěn. To znamená, že by konstrukce měla být vytvořena rovnoměrnou tloušťkou stěn. Díky tloušťce stěny vstříku lze dodržet požadovanou pevnost a tuhost. [11]

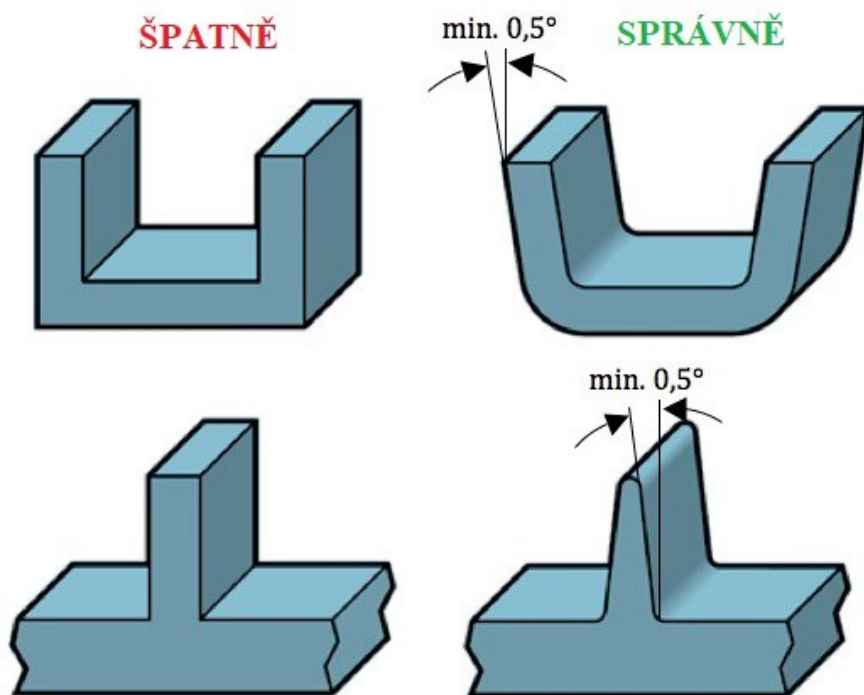


Obr. 4: Vliv tloušťky stěny na technologii výroby plastového dílu

1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, 3 – příliš malá tloušťka, 4 – rovnoměrná tloušťka

3.2 Volby úkosů

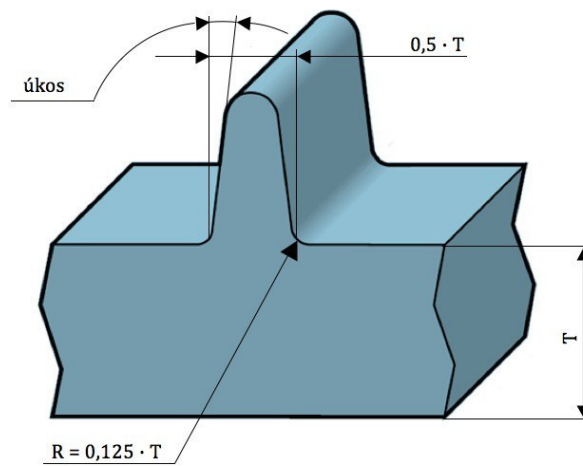
Úkosy hrají významnou roli u zaformování dílu, jelikož díky nim dochází ke snadnějšímu odformování výstřiku. Úkosy se volí na všech plochách, které jsou rovnoběžné s formovacím směrem. Úhly úkosů se určují podle vstřikovaného materiálu. Ve většině případů se úkosy používají 1° a jako minimální úhel $0,5^\circ$. Pokud je úhel úkosu menší, může docházet k poškození při odformování.[11]



Obr. 5 Špatné a správné návrhy úkosů

3.3 Žebrování

Z konstrukčního hlediska žebra na vstřikovaném dílu slouží ke zvyšování pevnosti a tuhosti, aniž by docházelo ke zvětšování tloušťky stěn. Podstatné je zvolit správnou tloušťku žeber, protože u příliš tlustých žeber dochází k propadlinám.[11]



Obr. 6: Základní vztahy pro výpočet žebra

4 KONSTRUKCE FORMY

Vstřikovací forma slouží k výrobě vstřikovaných dílů (výstřiků). Při konstrukci formy je klíčové si rozmyslet, která technologie vstřikování bude použita a musí se také brát v potaz tvar dílu, který se bude vstřikovat. Dále je potřeba navrhnout násobnost formy (má vliv na velikost formy a vstřikovacího stroje), typ vtokového systému a stanovení vhodného materiálu pro vstřikování. Na základě těchto parametrů se forma vytvoří pomocí 3D softwaru. Následně jsou 3D data vystavována mechanickým a vtokovým analýzám. Forma se skládá ze dvou částí, a to z pravé (pevné) části a levé (pohyblivé) části. Každá část obsahuje několik součástí. [12]

4.1 Pravá část formy

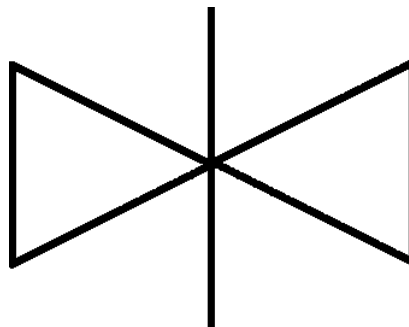
Pravá část formy je často označována jako pevná část. Tato strana formy bývá nepohyblivá a její součástí je tvárnice. Označení pevná část je odvozeno z jejího pevného (nepohyblivého) upnutí ke stroji. Do stroje je vystředěna díky středícímu kroužku. [13]

4.2 Levá část formy

Levá část formy je označována jako pohyblivá část. Jedná o část formy, která se při otevírání pohybuje. Je časté, že levá část je větší než část pravá. Její součástí je tvárník, vyhazovací kolíky, opěrná deska atd. [13]

4.3 Dělicí rovina

Jedná se o kontaktní plochu pravé (pevné) a levé (pohyblivé) části formy. Hlavním úkolem dělicí roviny je utěsnění dutiny formy, aby nedošlo k úniku taveniny. Utěsnění je dosaženo díky vyvíjení uzavíracích sil, které bývají v řádech desítek až tisíců tun. Další velmi důležitý úkol dělicí roviny je umožnění zaformování výrobku a snadné odstranění (vyhození) výrobku z dutiny formy.[13]



Obr. 7: Značení dělicí roviny

4.4 Vtokové systémy

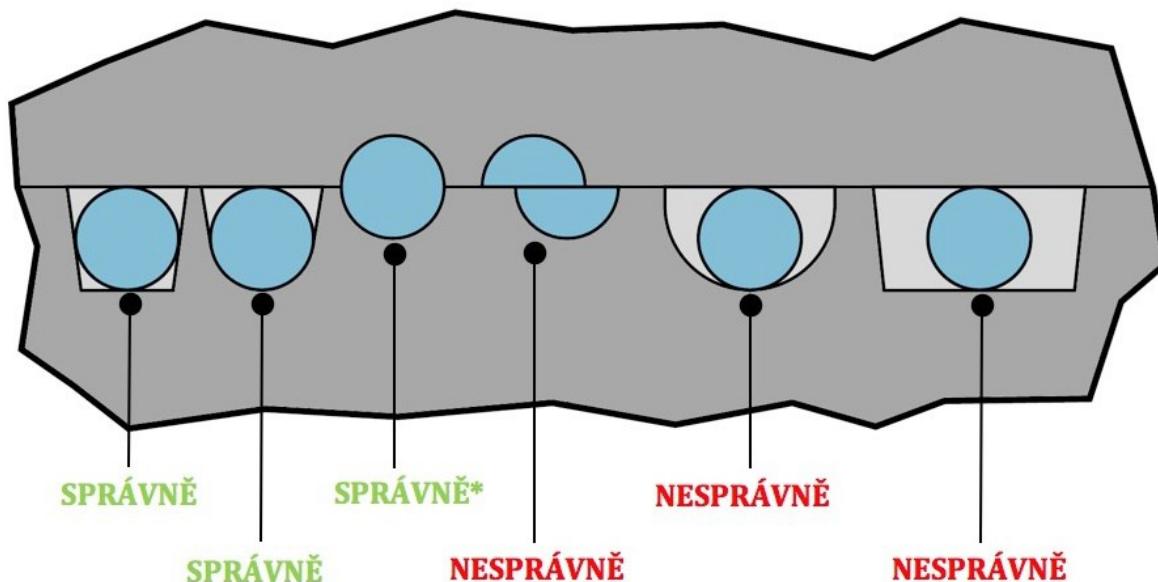
Vtokové systémy dělíme na studené a vyhřívané. Studené vtoky jsou konstrukčně jednodušší a cenově dostupnější. Vyhřívané vtoky jsou dražší a konstrukčně náročnější, ale za to jsou výkonnější a bez vtokového zbytku (úspora materiálu). [14]

4.4.1 Studený vtokový systém (SVS)

Jakmile je tavenina vstříknuta do SVS, začíná na jeho stěnách ihned tuhnout. Tuhnutím se vytváří vrstva ztuhlého plastu a tavenina proudí horkým jádrem. Proto je velmi důležité u vícenásobných forem dosáhnout stejné vzdálenosti rozváděcích kanálů ke všem dutinám, aby docházelo současně k rovnoměrnému plnění dutin. U studených vtokových systémů bývá větší spotřeba plastu než u vyhřívaných vtokových systémů, protože na výstřicích zůstávají zbytky po vtoku. [14]

Průřezy vtokových kanálů:

Základním požadavkem na průřez je dostatečná velikost, která musí zajistit, aby bylo jádro taveniny po vyplnění dutiny ještě v plastickém stavu a tím bylo umožněno působení dotlaku. [6]



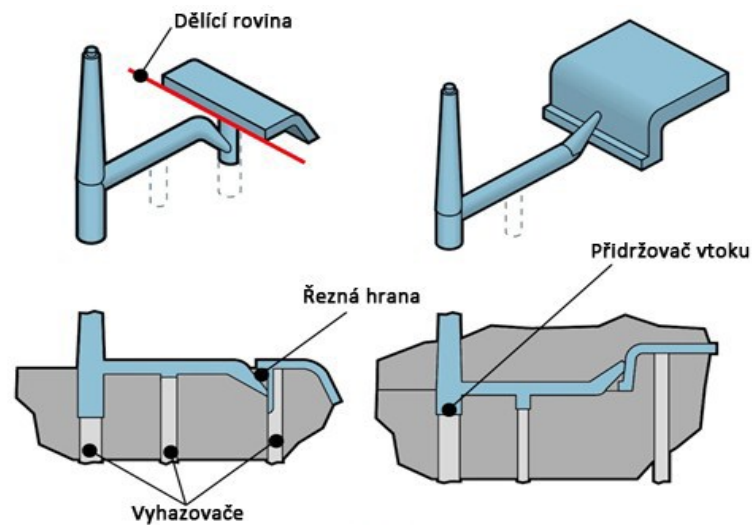
Obr. 8: Správné a nesprávné průřezy vtokových kanálů

Vtokové ústí:

Vtokové ústí je spojení mezi rozváděcím kanálem a vstřikovaným dílem. Vzniká zmenšením rozváděcího kanálu.[6]

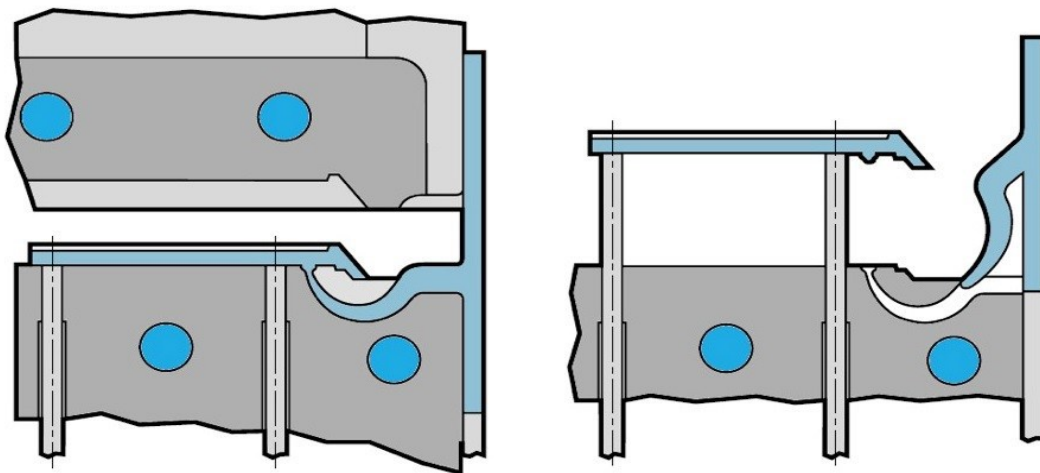
Mezi základní typy vtokových ústí patří:

- Plný kuželový vtok – přivádí taveninu do dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výstřiky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku. Menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čočkovité zahloubení. [6]
- Bodový vtok – Je nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží v dělicí rovině nebo mimo dělicí rovinu. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcího kanálu. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. V zúženém místě dochází při doformování k odtržení vtokového zbytku od výstřiku. U méně tekutých plastů a plněných plastů pro větší výstřiky se použití bodových ústí vtoků nedoporučuje. [6]
- Tunelové ústí vtoku – Je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části forem. Předpokladem dobré funkce je existence ostré hrany, která odděluje při doformování vtokový zbytek od výstřiku. [6]



Obr. 9: Tunelové vtokové ústí

- Banánové – je velmi podobné jako tunelové ústí, ale banánové ústí se na rozdíl od tunelového využívá u dutin, které se neplní do boku. U tohoto typu ústí vtoku je dutina formy plněna ze strany. [6]

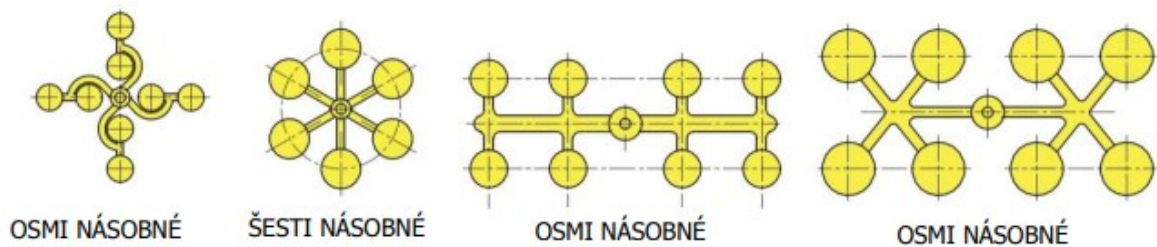


Obr. 10: Banánové vtokové ústí

- Boční vtok – Je nejpoužívanějším a nejrozšířenějším vtokovým ústím. Boční vtok leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může mít i jiný tvar. (kruhový, lichoběžníkový). Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Pro zamezení volného vstříkování taveniny do dutiny se ústí upraví do tvaru vějíře. U aplikací, které vylučují vznik oblastí velkých vnitřních pnutí, se používá nepřímých vtoků. [6]

4.4.2 Rozváděcí kanál

Do rozváděcího kanálu ústí tavenina z vtokového kanálu. Velikost rozváděcího kanálu je určena podle velikosti vstřikovaného dílu. Počet rozváděcích kanálů je určen podle násobnosti formy. Průřez rozváděcích kanálů je přizpůsoben tak, aby zatečení všech dutin proběhlo ve stejný okamžik. Kanály mohou být vybavené brzdícími přepážkami. [15]



Obr. 11: Vtokové ústí [15]

4.4.3 Vyhříváný vtokový systém (VVS)

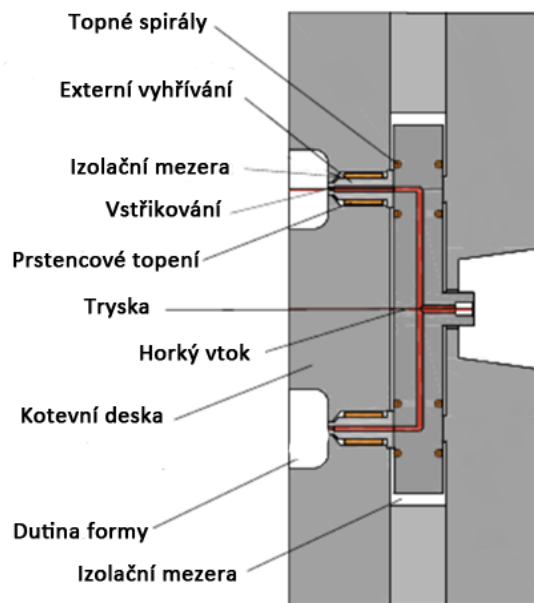
Jak sám název napovídá, vyhříváný vtokový systém díky vyhřívání slouží k udržování polymeru po celou dobu cyklu v roztavené podobě. Vstřikovací proces spočívá v tom, že materiál proudí od trysky vstřikovacího stroje do vyhříváné vtokové vložky a dále je tlačěn v horkém rozvodu až do dutiny formy.[12]

Výhody VVS:

- úspora materiálu ⇒ úspora peněz za materiál,
- kratší cykly,
- lze automatizovat,
- minimální tlakové ztráty,
- menší stroje.

Nevýhody VVS: [16]

- mnohem složitější a podstatně dražší než SVS,
- při prvním chodu formy je potřeba více práce,
- náchylné k poruchám,
- u dlouhých cyklů je riziko poškození citlivých materiálů,
- vysoké náklady na údržbu.



Obr. 112: Schéma VVS

4.4.4 Rozvodné bloky

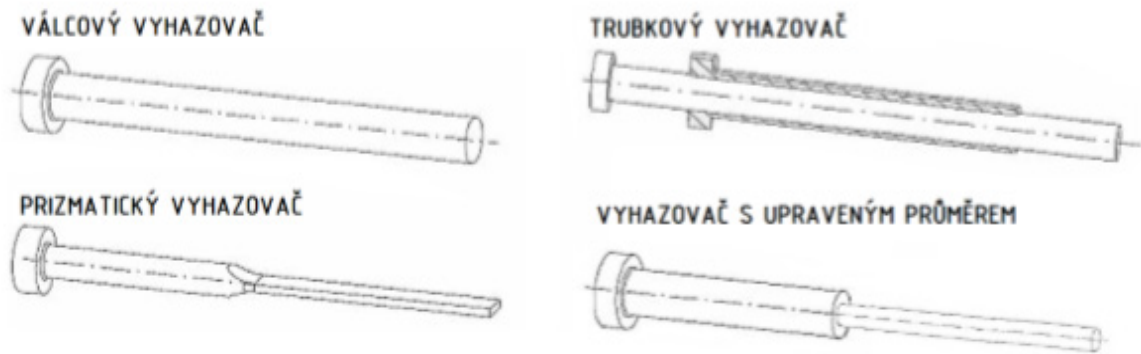
Rozvodové bloky se používají pro rozvedení taveniny ve vícenásobných formách. Podle tvaru, jak je daný díl vyroben, je tvořena podoba a uspořádání bloků. Do drážek na jejich povrchu jsou umístěny elektrické odporové vodiče, které vyhřívají bloky. Pro správnou funkci je potřeba, aby umístění vodiče bylo rovnoměrně rozložené a tím byla zajištěna správná výhřevnost. [17]

4.5 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém plní svou úlohu poté, co je forma po ochlazení na vyhazovací teplotu otevřena. Po otevření formy musí zajistit snadné vysunutí výrobku z formy. Existují různé druhy vyhazovačů. [18]

4.5.1 Vyhazovací kolíky

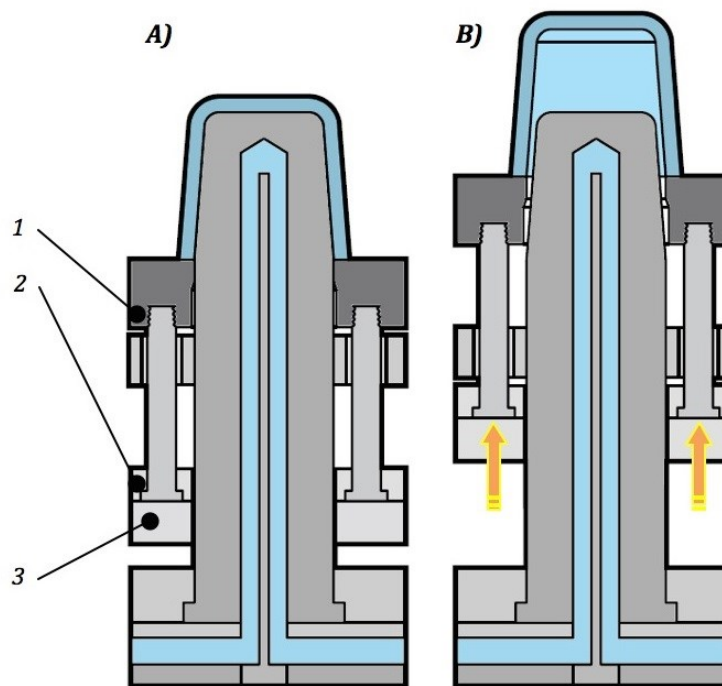
Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je nejčastější a nejlevnější způsob vyhazování. Kolíky mohou být různých tvarů a velikostí. Při volbě kolíku je důležité si uvědomit, že je lepší zvolit kolíky větších průměrů, protože čím je větší dotyková plocha vyhazovače, tím je menší pravděpodobnost poškození vyhazovaného dílu. [13], [18]



Obr. 13: Typy vyhazovacích kolíků

4.5.2 Stírací deska

Stírací deska (Obr. 26) při vyhazování působí na díl velkou plochou, čímž nedochází k deformacím výrobku. Stírací deska je vhodná pro díly s malou tloušťkou. [13], [18]

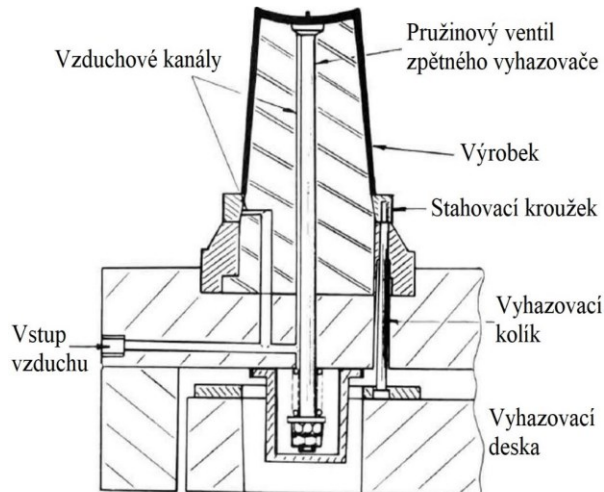


Obr. 14: Princip funkce stírací desky

1 – stírací deska, 2 – přídržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední části

4.5.3 Pneumatické vyhazování

Tento typ vyhazování je vhodný pro tenkostěnné výstřiky (nádoby), které mají větší rozměry a potřebují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Stlačený vzduch je přiveden mezi líc formy a výstřík.[18]

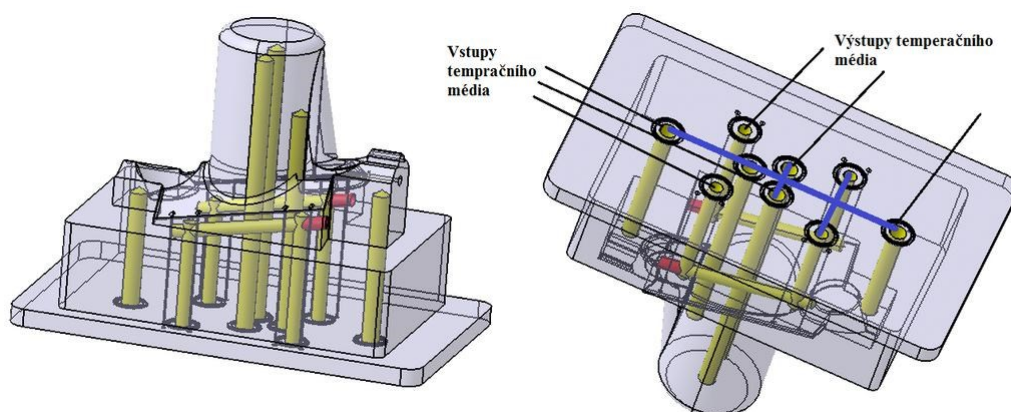


Obr. 125: Pneumatické vyhazování

4.6 Temperace forem

Temperace slouží k udržování konstantní teploty formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo jejich částí.

Temperace ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Přebytné teplo se během pracovního cyklu odvede temperační soustavou. [18]



Obr. 136: Temperační kanály

Na řešení temperačního systému mají vliv zejména tyto faktory:

- druh vstřikovaného materiálu,
- velikost a tvar výstřiku,
- požadavky na přesnost výstřiku,
- materiál formy.

Úkolem temperace je: [18]

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu dutiny,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperanční systém, zvyšuje se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a snižuje se nebezpečí deformace. [18]

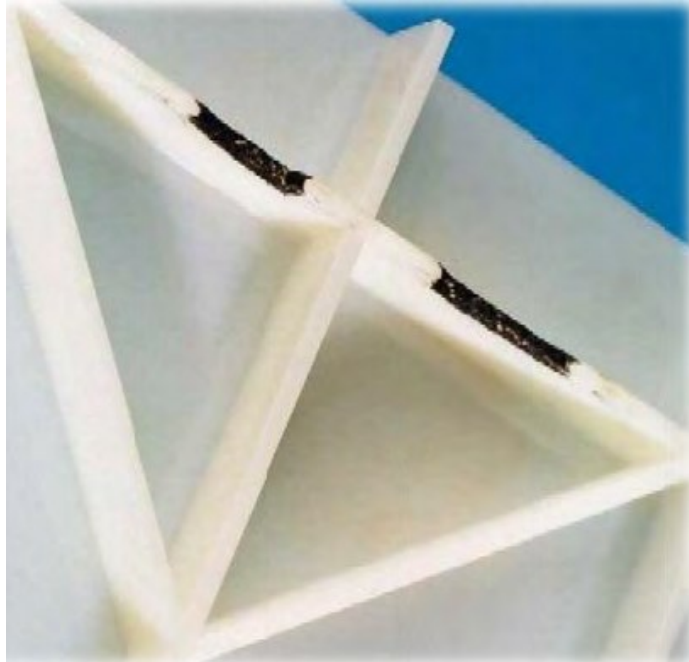
Temperanční systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou nebo jiným zdrojem tepla. [18]

4.7 Odvzdušnění forem

V dutině formy je před vstříknutím plastu vzduch, který při jejím plnění je v dutině stlačován a jeho tlak narůstá. Velký tlak může způsobit zažehnutí vzduchu a následně může dojít ke spálení plastu (tzv. Dieselův efekt) obr. 17. Vzduch v dutině formy negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti výstřiku tvorbou bublin, které zůstanou uzavřené ve stěnách výstřiku. [19]

Při výstřiku s tenčími stěnami, nižší teplotě taveniny, nedostatečnému tlaku a rychlosti plnění se vzduch soustřeďuje na protilehlé straně od vtoku. Pokud není umožněn únik vzduchu, vznikne nedostatečný výstřik. Tenhle stav může nastat i v případě nízké teploty formy či malé dávce plastu. [19]

Pokud vzduch nemůže uniknout z větších tlouštěk stěn výstřiků, může vniknout do taveniny a při zchlazení vytvořit bubliny. Vzniklé bubliny s nedostatečným odvzdušněním a bubliny, které vznikly jiným způsobem, lze rozeznat tak, že jsou rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé z vlhkosti polymeru či přehřátím jsou naopak rovnoměrně rozmístěny v celém objemu výstřiku. [19]



Obr. 147: Dieselův efekt [19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto hlavní cíle:

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

Prvním úkolem bylo vypracovat literární studii na téma vstřikovací formy a přiblížit problematiku. V jednotlivých kapitolách jsou přiblíženy témata zabývající se informacemi o polymerech, konstrukcí vstřikovací formy, konstrukcí vstřikovacího dílu.

U 3D modelu se vycházelo ze zadaného plastového dílu.

V největší části praktické bakalářské práce spočívala tvorba 3D sestavy vstřikovací formy v programu CATIA V5R19, ve které se použilo co nejvíce normovaných dílů, aby se dosáhlo co největšího snížení nákladů. Normalizované součástky jsou z katalogů firmy HASCO.

Podle 3D modelu formy se provedl 2D řez formou a došlo k udělení pozic jednotlivých dílů formy. Sestava se měla doložit kusovníkem.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 CATIA V5R19

Pro modelování vstřikovaného dílu a sestavy vstřikované formy byl použit software Catia V5R19, včetně výkresové dokumentace. Tento software je produkt společnosti Dassault Systemes a je navržený tak, aby pokryl jednotlivé kroky od nakreslení 3D modelu výrobku až po sestavení vstřikovací formy a nakreslení výkresové dokumentace. Pro konstrukci vstřikované dílu bylo využito prostředí Part Design, u tvorby sestavy formy bylo použito Mold Tooling Design a Assembly Design.

6.2 HASCO DAKO modul

Pro návrh vstřikované formy je možné použít normálie společnosti HASCO, která poskytuje digitální katalog jednotlivých dílů.

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

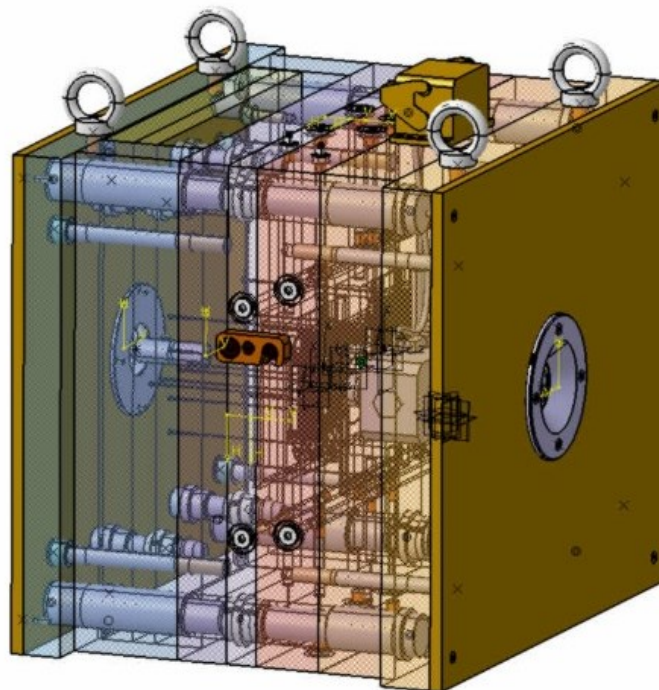
Vstřikovaným výrobkem je část plastového automobilového dílu. Vstřikovaný díl byl vyroben z materiálů PA 6.6 GF30. Jedná se o polyamid 6.6 s 30% skleněných vláken. Materiál je pevný a tuhý s vysokou rozměrovou stabilitou.

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,36	g/cm ³
Modul pružnosti v tahu (suchý)	10000	MPa
Nominální napětí při přetržení (suchý)	3	%
Modul tečení	5300	MPa
Modul pevnosti v ohybu (suchý)	8600	MPa
Teplota tání	260	°C
Teplota formy	80–90	°C
Maximální provozní teplota	240	°C
Minimální provozní teplota	-20	°C
Tloušťka automobilových dílů \geq	1	mm

Obr. 158: Základní vlastnosti materiálu [20]

8 3D KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

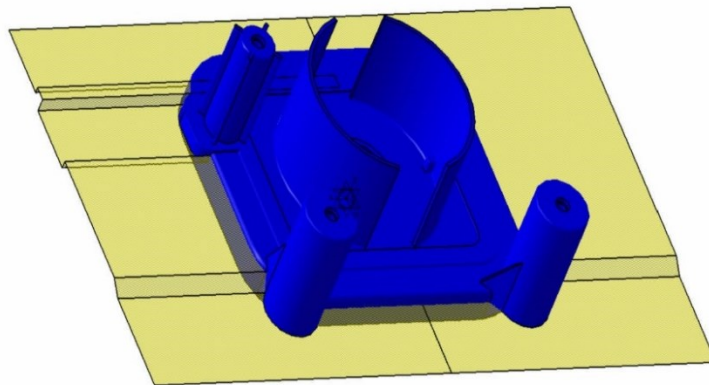
Konstrukce vstřikovací formy se provádí na základě rozměrů, geometrie a přesnosti výstřiku. Dalším kritériem je násobnost a jednoduchost formy. V tomto případě byla zvolena dvounásobná forma, to znamená, že během jednoho pracovního cyklu bude tavenina vstříknuta do dvou dutin současně. Forma je rozdělena na levou (pohyblivou) a pravou (pevnou) část formy. Při návrhu formy se používaly normalizované díly od firmy HASCO, aby se forma stala ekonomicky výhodnou.



Obr. 169: Model vstřikovací formy

8.1 Dělicí rovina

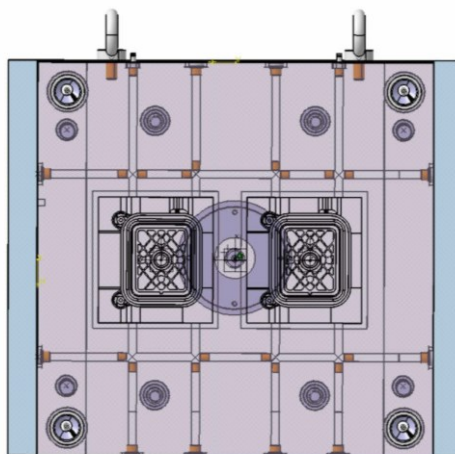
Dělicí rovina je důležitým konstrukčním kritériem při konstrukci formy. Vzhledem k tvaru dílu byla zvolena jen jedna dělicí rovina. Dělicí rovina byla zvolena tak, aby díl zůstal při otevření v levé (pohyblivé) části formy a byl vyhozen pomocí vyhazovacích kolíků.



Obr. 17: Dělicí rovina

8.2 Násobnost formy

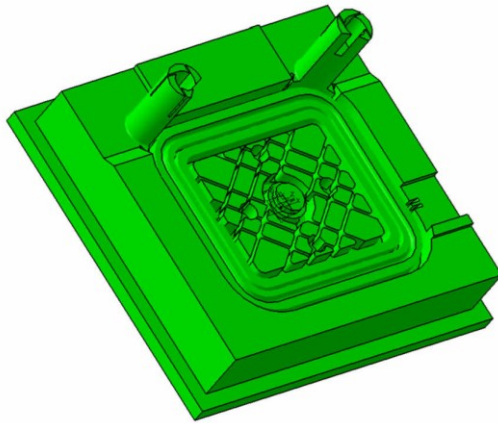
Při volbě násobnosti formy se rozhoduje mezi několika kritérii. Patří mezi ně, kolik se vyrobí výstřiků, složitost, přesnost, kapacita vstřikovacího stroje a ekonomická náročnost výroby. V tomto případě byla zvolena dvojnásobná forma.



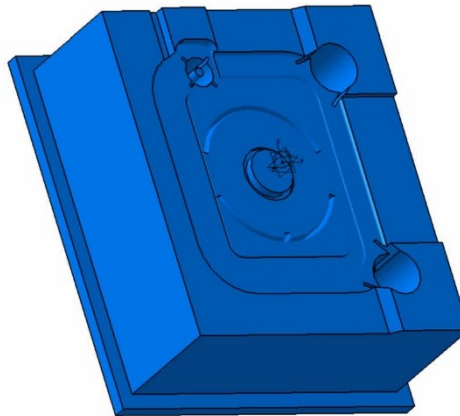
Obr. 181: Dělicí rovina

8.3 Tvarové části formy

Mezi části pro udělení finálního tvaru výrobku patří tvárník a tvárnice. Tvárník je umístěn na levé (pohyblivé) části formy a tvárnice na pravé (pevné) části formy, vytvářejí dutinu formy, která je zde dvounásobná. Dutiny se zvětšují o hodnotu smrštění použitého polymeru. Tvarové části byly zkonstruovány tak, aby byl výstřik vyhozen pomocí vyhazovacích kolíků.



Obr. 192: Tvárník



Obr. 203: Tvárnice

8.4 Vtokový systém formy

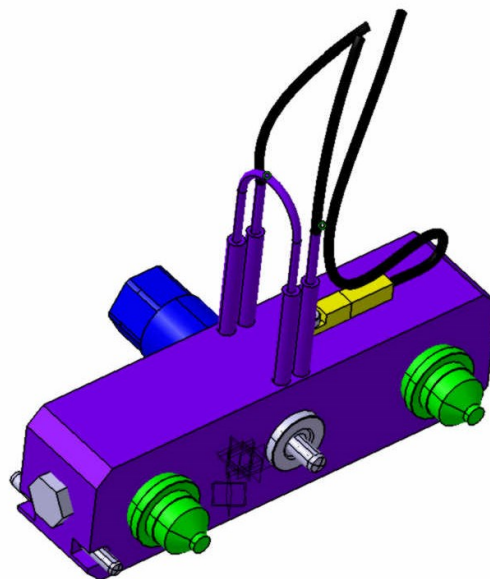
Vtokový systém formy dopravuje polymerní taveninu pro vstřikování od vstřikovacího stroje do dutiny formy. Dutina formy se má naplnit v co nejkratším čase.

U vstřikovací formy byl navržen horký a studený vtokový systém vzhledem k násobnosti formy a tvaru výstřiku.

Horký vtokový systém je tvořena rozvodným blokem se dvěma tryskami od firmy HASCO. Blok je umístěn mezi deskou upínací a kotevní a je zajištěn proti pootočení pomocí kolíků.

Studený vtok je řešen za pomoci kanálů, která rozvádějí od jedné trysky k jednou výstřiku.

Výstřik i s vtokovým zbytkem je přidržen na levé pohyblivé části formy. Na každou trysku připadá jeden přidržovač vtoku.

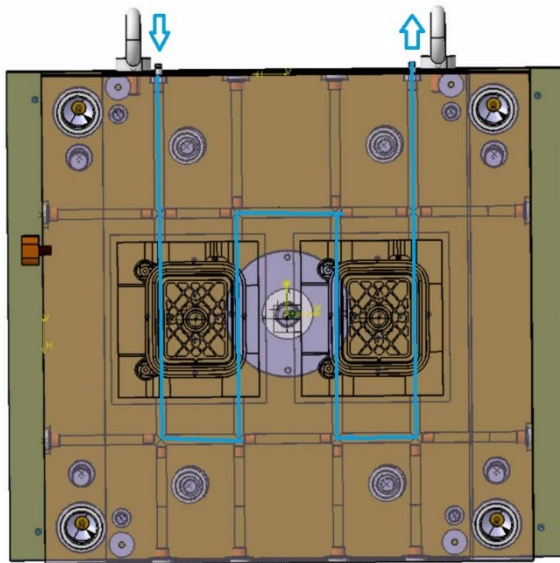


Obr. 214: Horký vtokový systém

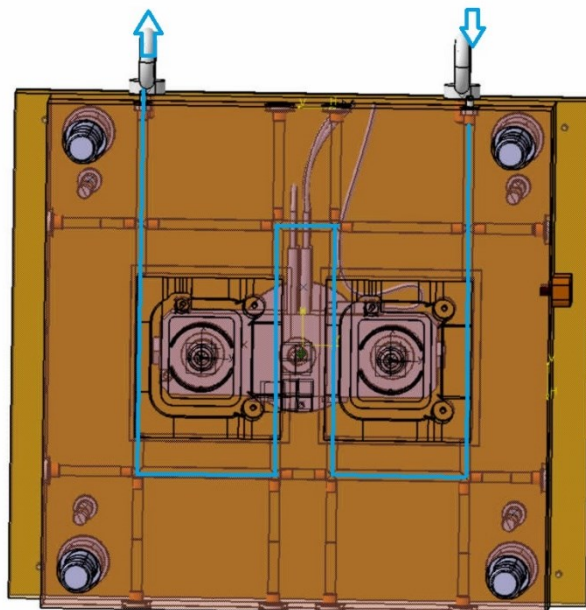
8.5 Temperanční systém formy

V průběhu pracovního cyklu vstříkovací formy se teplota neustále mění. Při vstříknutí taveniny do dutin formy teplota roste a poté se snižuje. Proto je nutné optimalizovat teplotu formy rozmístěním kanálků na pravou a levou kotevní desku a správnou volbou vhodného chladicího média a rychlosti temperace.

Temperace probíhá ve vrtaných kanálech tak, aby temperace byla symetrická v tvárníku a tvárnici. Vyvrtané otvory jsou zablokovány pomocí normalizovaných prvků firmy HASCO.



Obr. 225: Temperanční systém tvárnice

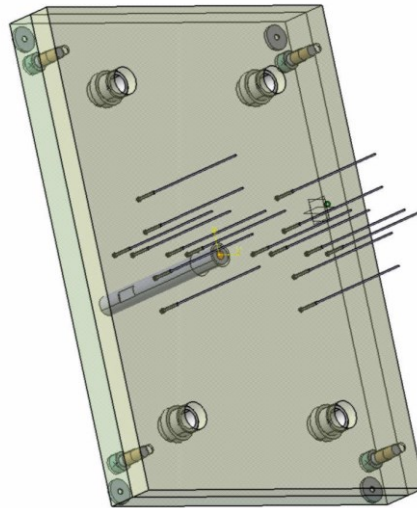


Obr. 236: Temperanční systém tvárník

8.6 Vyhazovací systém formy

Úkolem vyhazovacího systému po otevření formy je vyhodit výrobek. Operace je uskutečněna pomocí vyhazovacích kolíků. Vyhazovací systém se skládá ze dvou vyhazovacích desek, které se nazývají opěrná a kotevní. Vyhození z formy se uskutečňuje za pomoci 16 válcových vyhazovačů.

Ve vyhazovacích deskách jsou obsaženy čtyři vodící pouzdra, ve kterých jsou umístěny čtyři vodící čepy, které za pomoci táhla jsou uvedeny do pohybu. Desky taky mají čtyři dosedky, které zmírňují rázy vyhazovací soustavy.



Obr. 247: Vyhazovací systém formy

8.7 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstřikováním taveniny vyplněná vzduchem. Tavenina při vstřikování do dutiny formy stlačuje vzduch a tím roste teplota vzduchu. Stlačený vzduch může způsobit spálená místa na výstřiku. V konstrukčním návrhu vstřikovací formy se předpokládá s vůli dělicí roviny a pohyblivých ústrojí pro odvod vzduchu. Pokud se zjistí, že vzduch neuniká dostatečně, museli by se vyrobit odvzdušňovací kanály.

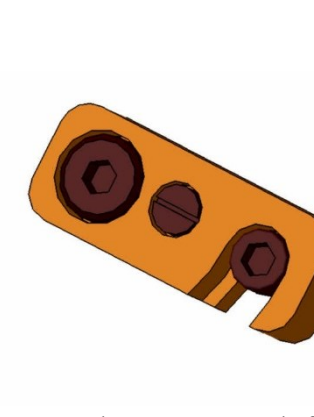
8.8 Transportní zařízení

Transportní zařízení louží k manipulaci s formou pomocí zvedacího zařízení. Bývá umístěno na horní straně formy. Transportní oko je ve formě uchyceno pomocí závitů.

Aby nedošlo k otevření dělicí roviny formy během manipulace, je forma opatřena bezpečnostním zámkem.



Obr. 258: Transportní oko



Obr. 269: Zámek formy

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstříkovací stroj byl zvolen podle vstříkovací formy, vstříkovací tlaku a charakteru výrobku zvolen vstříkovací stroj ALLROUNDER 470 A od firmy Arburg



Obr. 27: Vstříkovací stroj ALLROUNDER 470 A [22]

Tab. 1. Parametry vstříkovacího stroje [22]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	470x470	mm
Velikost upínací desky	637x637	mm
Maximální uzavírací síla	1000	kN
Maximální otevírací síla	350	kN
Maximální vyhadzovací síla	40	kN
Maximální vyhadzovací zdvih	175	mm
Elektrické připojení	26	kw
Maximální vstříkovaný tlak	2000	bar

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo, navrhnout a zkonstruovat vstříkovací formu a plastový díl včetně výkresové dokumentace. Plastový díl a vstříkovací forma byli vymodelováni v počítačovém systému CATIA.

V první části se bakalářská práce zabývá teoretickou částí. V této části jsou popsány základní druhy materiálů pro vstříkování, jejich rozdělení a úpravou. Další část popisuje technologii vstříkování, vstříkovací stroje, konstrukční zásady a konstrukci vstříkovacích forem.

V praktické části bylo úkolem zkonstruovat 3D model plastového dílu a vstříkovací formy, nakreslit výkresy ve 2D a zhotovit kusovník.

Prvním úkolem bylo zkonstruovat 3D model plastového dílu a zvolit materiál, který je PA 6.6 se 30% skleněných vláken.

Vstříkovaná forma je zkonstruována ve 3D v softwaru CATIA V5R19. Normalizované součástky byly vybrány za pomoci katalogu firmy HASCO. Forma byla zvolena jako dvojnásobná pro výrobu plastového dílu. Ve formě byl zvolen vhodný vtokový systém. Dále byl zkonstruován temperační systém formy, vyhazovací systém a rám formy. Odvzdušnění vstříkovací formy bylo řešeno přes dělicí rovinu a vůli vyhazovačů.

Pro vstříkovací formu byl zvolen vhodný vstříkovací stroj od německé firmy ARBURG s označením ALLROUNDER 470 A.

Pomocí softwaru CATIA byl vytvořen řez formou a kusovník s pozicemi jednotlivých dílů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [3] Rodriguez, Ferdinand. Plastic chemical compound. Encyclopedia Britannica 2020 [cit. 2021-03-25], Retrieved from: <https://www.britannica.com/science/plastic>.
- [4] Michel, Biron. Thermoplastics and Thermoplastic composites. 3rd ed. Plastic Design Library. [cit. 2021-03-25]. ISBN 978-0-08-102501-7.
- [5] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. Střední odborné učiliště Svitavy, 2014. ISBN 978-80-88058-68-7. [online] [cit.2016-09-28] Dostupné také z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [6] BOBČÍK, Ladislav. FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ I. DÍL -Vstřikování termoplastů. 2. Brno: UNIPLAST BRNO, 1999.
- [7] LENFELD, Petr. Vstřikování plastů [online].[cit.2016-10-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [8] Zeman, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [9] Staněk, Michal. Přednášky z Konstrukce forem. FT UTB ve Zlíně. 2019
- [10] Lenfeld, Petr. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [11] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. 1. SEKURKON, 2005. ISBN 80-86604-18-7
- [12] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. 1. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2017-01-08]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.htm>
- [13] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. Understanding Injection Molds [online]. 1. Hanser Publishers, 2013 [cit. 2017-01-08]. ISBN 978-1-56990-527-2. Dostupné z:

<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUIM00002/understanding-injection/understanding-injection>

[14]HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER.K05 -PLASTOVÉ DÍLY: STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY[online]. 1. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z:http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf

[15] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv. Horké vtoky. Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni. [online] Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf

[16]MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN.How to Make Injection Molds[online]. 3. Hanser Publishers, 2001 [cit. 2017-01-12]. ISBN 978-3-446-21256-5. Dostupné z:<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds/how-make-injection-molds>

[17] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv. Horké vtoky. Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni. [online] Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf

[18]BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů II. díl: Vstřikování termoplastů. 1. Brno: UNIPLAST Brno, 1999.

[19] Vstřikování plastických hmot. [online] z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf

[20] Ultramid® A3WG6. In: Polnac.com [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.polnac.com.mx/hojas-tecnicas-pdf/basf/UltramidA3WG6.pdf>

[21] Dominik V. Rosato, Donald V. Rosato, Marlene G. Rosato. 3rd Edition. Injeciton molding handbook 2000. ISBN 978-1-4613-7077-2.

[22] ARBURG [online]. Dostupné z: <https://www.arburg.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	Polyamid
%	Procenta
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
mm	milimetry
kN	Kilo newton
2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
g	Gram
°C	Stupeň Celsia
Bar	Jednotka tlaku
CD	Cédéčko
DVD	Digitální optický datový nosič

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení polymerů	11
Obr. 2: Vstřikovací stroj	17
Obr. 3: Vstřikovací cyklus [9]	18
Obr. 4: Vliv tloušťky stěny na technologii výroby plastového dílu	19
Obr. 5 Špatné a správné návrhy úkosů	20
Obr. 6: Základní vztahy pro výpočet žebra.....	21
Obr. 7: Značení dělicí roviny	22
Obr. 8: Správné a nesprávné průřezy vtokových kanálů	23
Obr. 9: Tunelové vtokové ústí	25
Obr. 10: Banánové vtokové ústí	25
Obr. 12: Schéma VVS	27
Obr. 15: Pneumatické vyhazování	29
Obr. 16: Temperační kanály	29
Obr. 17: Dieselův efekt [19]	31
Obr. 18: Základní vlastnosti materiálu [20].....	35
Obr. 19: Model vstřikovací formy	36
Obr. 20: Dělicí rovina	37
Obr. 21: Dělicí rovina	37
Obr. 22: Tvárník	38
Obr. 23: Tvárnice	38
Obr. 24: Horký vtokový systém.....	39
Obr. 25: Temperační systém tvárnice	40
Obr. 26: Temperační systém tvárník.....	40
Obr. 27: Vyhazovací systém formy	41
Obr. 28: Transportní oko	42
Obr. 29: Zámek formy	42
Obr. 30: Vstřikovací stroj ALLROUNDER 470 A [22].....	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Parametry vstřikovacího stroje [22]	44
---	----

SEZNAM PŘÍLOH

P1:Výkresová dokumentace:

- Výkres plastového výrobku,
- výkres sestavy formy,
- řez formou A-A,
- řez formou B-B,
- kusovník.