

Konstrukční návrh formy pro vstřikování tělesa automobilové zásuvky

Nela Vološinová

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Nela Vološinová
Osobní číslo:	T22043
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukční návrh formy pro vstřikování tělesa automobilové zásuvky

Zásady pro vypracování

- Zpracovat literární studii zabývající se daným tématem.
- Vyhotovit model zadaného vstřikovaného výrobku.
- Provést konstrukční návrh sestavy vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- Vytvořit sestavu vstřikovací formy spolu s kusovníkem a danými pohledy.

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

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. Návrh a řešení vtokových soustav: příručka pro úspěšné vstřikování plastů. Brno: Jan Svoboda, 2022. ISBN 978-80-11-01188-8.

JAROSCHEK, Ch. Design of Injection Molded Plastic Parts. Munich: Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-893-8.

KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. 3rd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou dvojnásobné vstřikovací formy pro kryt automobilové zásuvky z plastu. Teoretická část se věnuje popisu polymerních materiálů, zásadám při návrhu forem a problémům, které při vstřikovacím procesu mohou nastat.

Cílem praktické části je tvorba 3D modelu zadaného plastového výrobku a návrh vstřikovací formy. Výstupem této bakalářské práce jsou 2 výkresy. Jedná se o výkres sestavy vstřikovací formy a výkres výrobku. Ke tvorbě 3D modelu a výkresu byla použita CATIA P3 V5-62020.

Klíčová slova: vstřikování plastů, vstřikovací formy, plasty, polymery, CATIA V5 (software), 3D modelování

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of a double injection mold for plastic housing for a car power outlet. The theoretical part describes polymer materials, principles of injection mold design and problems which can occur during the injection molding process.

The objective of the practical part is to create a 3D model of the plastic part and design of an injection mold. The outputs of this bachelor thesis are 2 technical drawings. These are a drawing of an injection mold assembly and a drawing of the plastic part. CATIA P3 V5-62020 was used to create the 3D model and technical drawings.

Keywords: injection moulding, injection moulds, plastics, polymers, CATIA V5 (software), three-dimensional modelling

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěla poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych zde chtěla poděkovat svým rodičům, svému příteli a svým spolužákům za neochvějnou podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 POLYMERY.....	15
1.1 TERMOPLASTY	15
1.2 REAKTOPLASTY.....	15
1.3 ELASTOMERY	15
2 APLIKACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	17
2.1 POLYETYLEN (PE).....	17
2.1.1 Nizkohustotní polyetylen	18
2.1.2 Lineární nízkohustotní polyetylen.....	18
2.1.3 Vysokohustotní polyetylen.....	18
2.1.4 Vysokomolekulární polyetylen	18
2.2 POLYPROPYLEN (PP).....	18
2.3 POLYBUTYLEN (PB)	19
2.4 POLYVINYLCHLORID (PVC)	19
2.5 POLYAKRYLONITRIL (PAN)	20
2.6 POLYSTYREN (PS).....	20
2.7 STYRENAKRYLONITRIL (SAN)	20
2.8 AKRYLONISTILBUTADIENSTYREN (ABS)	21
2.9 POLYMETYLMETAKRYLÁT (PMMA).....	21
2.10 POLYAMID (PA, NYLON).....	21
3 VSTŘIKOVÁNÍ	23
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	23
3.2 ZVLÁŠTNÍ DRUHY VSTŘIKOVÁNÍ	24
3.2.1 Vstřikování za pomoci vody (Water-assisted injection molding) WAIM	24
3.2.2 Vstřikování za pomoci plynu (Gas-assisted injection molding) GAIM.....	25
3.2.3 Mikrobuněčné vstřikování (Microcellular injection molding).....	25
3.3 PŘÍPRAVA MATERIÁLU PRO VSTŘIKOVÁNÍ	26
3.4 DEFEKTY VZNIKAJÍCÍ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ	26
3.4.1 Smrštění.....	27
3.4.2 Křehkost	27
3.4.3 Spáleniny	28
3.4.4 Delaminace.....	28
3.4.5 Objemové nestability	29
3.4.6 Stopy po vyhazovačích	30
3.4.7 Přetoky	31

3.4.8	Lesklý povrch	32
3.4.9	Tryskání	33
3.4.10	Nedotoky	34
3.4.11	Propadliny	35
3.4.12	Černé tečky	36
3.4.13	Stříbrné pruhy	36
3.4.14	Kapsy	37
3.4.15	Deformace	38
3.4.16	Studené spoje	39
4	VSTŘIKOVACÍ STROJ	41
4.1	UZAVÍRACÍ JEDNOTKY	42
4.1.1	Hydraulické uzavírací ústrojí	42
4.1.2	Hydraulické uzavírání s mechanickým závorováním	42
4.1.3	Hydromechanické uzavírací ústrojí	42
4.1.4	Elektromechanické	43
4.2	VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY	43
4.2.1	Pístová plastikace	43
4.2.2	Šneková plastikace	43
4.2.3	Plastikační jednotky s předplastikací	44
5	NÁLEŽITOSTI FORMY	45
5.1	TVÁRNÍK A TVÁRNICE	45
5.2	NÁSOBNOST	46
5.3	DĚLÍCÍ ROVINY	46
5.4	TYPY VTOKŮ	46
5.4.1	Plné kuželový vtok	46
5.4.2	Bodový vtok	47
5.4.3	Boční vtok	47
5.4.4	Filmový vtok	48
5.4.5	Tunelový vtok	49
5.4.6	Banánový vtok	49
5.5	VTOKOVÉ SYSTÉMY	51
5.5.1	Dvoudeskový vtokový systém	51
5.5.2	Třideskový vtokový systém	52
5.5.3	Horké vtokové systémy	52
5.6	TEMPERACE	52
5.7	VYHAZOvacÍ SYSTÉMY	53
5.7.1	Válcové vyhazovače	53
5.7.2	Prizmatické vyhazovače	53
5.7.3	Trubkový vyhazovač	54
5.7.4	Stírací desky	55
5.8	ODVZDUŠNĚNÍ	55
5.9	MATERIÁL PRO VÝROBU FORMY	56

5.9.1	Oceli	57
5.9.2	Oceli pro lití	57
6	KONSTRUKCE VÝROBKU	58
6.1	MATERIÁL VÝROBKU	58
6.2	NÁLEŽITOSTI VÝROBKU	59
II	PRAKTICKÁ ČÁST	61
7	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	62
8	NÁVRH VÝROBKU	63
8.1	KONSTRUKCE VÝROBKU	63
8.2	VÝBĚR MATERIÁLU	63
9	NÁVRH FORMY	65
9.1	RÁM A KOMPONENTY FORMY	65
9.2	NÁVRH TVÁRNÍKU A TVÁRNICE	66
9.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	68
9.4	TEMPERACE	69
9.5	VTOKOVÝ SYSTÉM	70
9.6	ODVZDUŠNĚNÍ	71
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	72
11	CATIA	73
11.1	MOLD TOOLING DESIGN	73
ZÁVĚR		74
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		75
SEZNAM OBRÁZKŮ		78
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		80
SEZNAM PŘÍLOH		81

ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro automobilovou zásuvku. Vstřikování je dnes jednou z nejpoužívanějších technologií pro výrobu relativně přesných plastových výrobků. Pro návrhy forem se v dnešní době využívají kvůli své přesnosti normálie od firem jako jsou například HASCO nebo Meusburger, které tvorbu nových forem výrazně zjednodušují.

Prvním krokem při návrhu formy pro vstřikování je návrh samotného výrobku, který by měl splňovat všechny podmínky pro odformování. Dalším krokem je volba materiálu pro daný výrobek. Při volbě materiálu je nutno brát ohled na požadované vlastnosti od finálního výrobku a prostředí ve kterém bude výrobek používán. Po volbě materiálu je možno určit správný vstřikovací stroj v závislosti na výsledné velikosti a hmotnosti výrobku, určené násobností formy a potřebným vstřikovacím tlakem. Díky volbě vstřikovacího stroje lze určit výslednou velikost formy a tloušťku jejích desek. Po základní konstrukci formy a tvorbě tvárníků a tvárnice je nutno určit jaký vtokový systém použít, pokud je zvolen horký systém vtoků tak je nutno přemýšlet i nad jeho zapojením. Při volbě vtokového systému je také nutné si zvolit typ vtokového ústí. Dalším krokem je volba vhodného vyhazovacího systému, pokud je zvolen systém vyhazovačů tak jaké použít vyhazovače, kolik a kam je umístit. Dalším úkolem je poté zajištění temperace formy, kdy je nutné zvolit průřez kanálků a trasu, kterou temperační médium poteče.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou chemické látky, které se vyznačují neobvyklou mírou vlastností, kvůli obsahu atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, často také dusíku a jiných prvků ve svých makromolekulách. [1]

Ve výrobcích se polymery nachází v tuhém stavu, ale k jejich zpracování dochází ve stavu prakticky kapalném, za zvýšených teplot a tlaků. Tyto podmínky danému výrobku zaručí daný tvar dle jeho předpokládaného užití. [1]

Obecně lze polymery dělit na plasty a elastomery, dále se plasty dělí na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery se dále dělí na kaučuky. [1]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou definovány jako materiál, který se dá opakovaně tvářet za pomoci tepla. Termoplasty se po zahřátí roztaví a jejich viskozita výrazně klesne a jejich tok se stává předvídatelným. Díky těmto vlastnostem se termoplasty dají relativně jednoduše přetvářet či recyklovat. Této vlastnosti se využívá například při vstřikování. [2] [3]

Výhodou zpracovávání termoplastů oproti reaktoplastům je o dost rychlejší vstřikovací cyklus, protože chlazení termoplastu probíhá rychleji než chemická přeměna v reaktoplastech. [3]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty, se na rozdíl od termoplastů, nedají opakovaně tvářet, protože v nich probíhají nevratné chemické změny při zvýšení teploty či přidání chemikálií. Tato vlastnost umožňuje využití reaktoplastů v prostředích, které jsou zatěžovány vysokými teplotami např. úchytky kuchyňského náčiní. [2]

Reaktoplasty se dají rovněž vstřikovat. Rozdílem oproti vstřikování termoplastů je jiná teplota taveniny a formy, u reaktoplastů je běžně vyšší teplota ve formě a nižší teplota taveniny. To je kvůli tomu reaktoplast nevytvrdl již ve vstřikovacím stroji.[2]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou vysoce elastickými polymery, které lze za běžných podmínek značně deformovat. V největším zastoupení jsou v elastomerech zastoupeny kaučuky, ze kterých se vyrábí guma. [1]

Při vstřikování se elastomery zpracovávají podobně jako reaktoplasty, vyšší teplota na straně formy a nižší teplota na straně taveniny. [2]

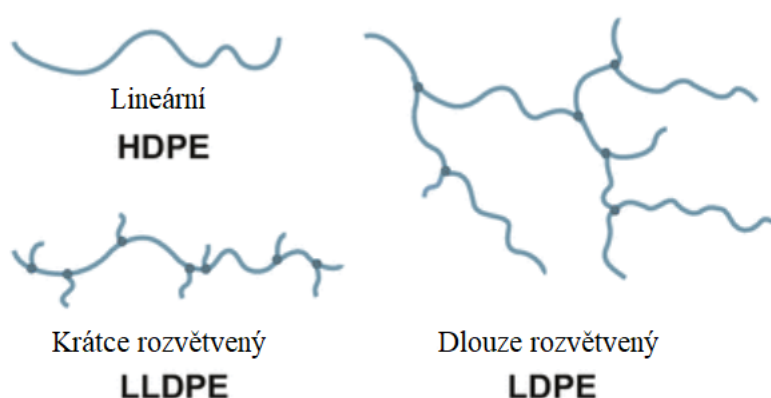
2 APLIKACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Pro výrobu součástí se z velké většiny používají termoplasty a reaktoplasty. Většina polymerních materiálů však musí být upravena přídatnými přísadami nebo plniv, která mohou upravit dané vlastnosti materiálu, například pro snížení vlivu UV záření na daný materiál, či lepší zpracovatelnost. [4]

Vlastnosti daného materiálu sice mohou být pomocí plniv či přísad zlepšeny, avšak jeho chování a charakteristické vlastnosti jsou vždy nejvíce ovlivněny daným typem polymeru. [4]

2.1 Polyetylen (PE)

Polyetylen se využívá v mnoha variacích buď jako homopolymer, nebo i kopolymer, případně i s plněním skelnými vlákny. Polyetylen je vysoce chemicky stálý, což mu zaručuje odolnost proti rozpouštědlům za pokojových teplot. Dále je polyetylen schopen odolávat alkanům a kyselinám. Má nízký koeficient tření a bez povrchových úprav je špatně obarvitelný či potisknutelný. Má výborné dielektrické vlastnosti, proto je hodně užívaný pro izolace drátů a kabelů. Polyetylenové fólie jsou průhledné, avšak s větší tloušťkou se fólie stává pouze průsvitnou. Polyetylen se dále dělí na nízkohustotní polyetylen (LDPE), lineární nízkohustotní polyetylen (LLDPE), vysokohustotní polyetylen (HDPE), vysokomolekulární polyetylen (HMWPE) a ultravysokomolekulární polyetylen (UHMWPE). [4]



Obrázek 1 Molekulární konfigurace polypropylenu

(zdroj: [5])

2.1.1 Nizkohustotní polyetylen

Homopolymer LDPE polymerizuje za vysokých tlaků. Kvůli své odolnosti proti chemikáliím a vlhkosti, vysoké odolnosti v tahu a díky nerozšiřování místních trhlinek je ideální pro vytváření tenkých obalových fólií o tloušťce v rozsahu od 25 do 125 μm . Díky dlouhým nelineárním řetězcům má LDPE nízkou krystalinitu (50 % až 60 %), což umožňuje výrobu průhledných fólií. Dále se používá pro výrobu příborů, hraček a nádob [4]

2.1.2 Lineární nízkohustotní polyetylen

LLDPE je lineární kopolymer etylenu s butanem, octanem nebo hexanem. Díky velice krátkým vedlejším řetězcům se tento materiál vyznačuje vysokou krystalinitou (nad 90 %). I když má LLDPE o trochu lepší vlastnosti než LDPE, tužší fólie, které jsou z něj vyrobeny mají menší průhlednost, než fólie vyrobeny z LDPE.[4]

2.1.3 Vysokohustotní polyetylen

HDPE má lepší vlastnosti než LDPE, a proto se používá pro výrobu silnějších fólií, desek a lašek vyfukováním, pomocí vstřikování se vyrábí např. kbelíky, krabice, víčka od lašek. Dále se využívá v aplikacích, kde je potřeba odolnost proti vodě a nízká cena. [6] [4]

2.1.4 Vysokomolekulární polyetylen

HMWPE má vyšší pevnost a lepší odolnost proti vzniku prasklin vlivem okolního prostředí a dá se zpracovat všemi základními způsoby zpracování polymerů. Používá se pro výrobu velkých nádob pomocí vyfukování a trubek. [4]

2.2 Polypropylen (PP)

Polypropylen má rozmanité druhy použití, od vláken, fólií, a spotřebičů až po automobilové nárazníky. Polypropylen se vyrábí polymerizací monomery propylenu s katalyzátorem na bázi titanu a druhým kokatalyzátorem (triethylaluminum), který je přidán pro zahájení polymerizační reakce, vodík se používá pro regulace molární hmotnosti výsledného polymeru. Nejvíce dostupný polypropylen na trhu je izotaktický a má vysoký podíl krystalů. Má výbornou tuhost a pevnost v tahu. Tyto vlastnosti se dají vylepšit pomocí plniv a nukleačních činidel. S hustotou v rozmezí od 0,90 do 0,91 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ se jedná o nejlehčí z komerčně dostupných plastů. [4] [6]

V porovnání s polyetylenem není náchylný k napět'ovému praskání vlivem prostředí. Má vyšší bod tání, což mu umožňuje použití ve vyšších teplotách, například jako kryt elektrické konvice. Syndiotaktický polypropylen je více pružný než jeho izotaktický protějšek a má lepší odolnost proti nárazům. Ataktický polypropylen je odpad z výroby a používá se v lepicích hmotách pro střechy a jako lepidlo pro obuvnický průmysl. [6] [4]

2.3 Polybutylen (PB)

Polybutylen vzniká polymerizací butylenu a krystalizuje v různých typech. Metastabilní verze vzniká při krystalizaci taveniny např. při vstřikování. Poté se tento typ během několika dní nenávratně změní stabilní typ. Vlastnostmi je polybutylen porovnatelný k nízkohustotním polyetylenům. Mezi pružnými plasty má polybutylen nejvyšší odolnost proti hydrostatickému napětí a používá se pro vytlačované trubky pro studenou a horkou vodu. [4]

2.4 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid známý také jako PVC vzniká polymerizací vinylchloridu. PVC je bezbarvý amorfni polymer. PVC má relativně vysokou hustotu v rozmezí od 1,30-1,58 g·cm⁻³. PVC je relativně inertní materiál, který je schopen odolávat kyselinám a zásadám. Má také dobré dielektrické vlastnosti. PVC má bohužel špatnou teplotní a UV stabilitu, a to natolik že se za běžných podmínek vstřikování rozkládá. Tyto nedostatky lze však odstranit s použitím vhodných stabilizátorů. [4]

Pro zvýšení ohebnosti PVC se mohou přidat plastifikátory, které mohou také zlepšit výslednou teplotní stabilitu případně zlepšit odolnost proti hoření materiálu. Přidáním plniv můžeme snížit cenu výsledného materiálu, zvýšit rázovou houževnatost a zlepšit rozměrovou stabilitu. Vlastnosti PVC lze také výrazně ovlivnit jeho prvotní polymerizací s materiálovými vlastnostmi od velice měkkých, pro použití např. v zahradních hadicích až po tvrdý a houževnatý materiál, který se dá využít např. při výrobě odpadního potrubí. PVC můžeme obecně dělit do tří typů: tvrdé, měkčené a latex.[7] [6]

Tvrdé PVC se nejvíce používá ve vytlačovaných výrobcích, nejtýpčtějším typem výrobku jsou trubky a rozvody. Vytlačované PVC se také hojně využívá ve stavebnictví pro vinylové obklady, okenní rámy a dveře. Armatury a elektrické zásuvky se vyrábí vstřikováním. [4]

Měkčené PVC se vyrábí pomocí přidání plastifikátorů např. dioktylfthalátu, které sníží teplotu skelného přechodu polymeru pod pokojovou teplotu. Měkčené PVC se používá při výrobě pružných fólií, podlah, izolací elektrických vodičů a na výrobu pásek. PVC se také hojně využívá ve zdravotnictví např. na výrobu rukavic, trubiček a krevních vaků.[4]

Plastisol je suspenze PVC částic v kapalném plastifikátoru, který je kapalný při pokojové teplotě. Při zahřátí přibližně na teplotu 177 °C se pryskyřice a plastifikátor zkombinují a vznikne měkčené PVC. Při ochlazení pod 60 °C se materiál stává pružnou, plastifikovanou tvrdou látkou. [4]

2.5 Polyakrylonitril (PAN)

Polyakrylonitril se získává polymerizací akrylonitrilu. PAN je semikrystalický polymer, který se využívá v kopolymerech jako základní složka ke spřádání syntetických vlněných vláken, kterým se říká akrylická vlákna. Pomocí PANu se vytváří průmyslově důležité kopolymery se styrenem, butadienem a akrylickým esterem např. styrenakrylonitril (SAN), akrylonitrilbutadienstyren (ABS) a akrylonitrilstyrenakrylát (ASA). PAN vlákno se používá jako základ pro výrobu uhlíkových vláken s vysokou pevností a vysokým modulem. [4]

2.6 Polystyren (PS)

Polystyren je amorfní termoplast, který vzniká polymerizací styrenu nebo vinyl benzenu, je čirý a nemá chuť ani zápach. Polystyren se dělí na semikrystalický polystyren (GPPS), s přídavkem pryže na vysoko a středně houževnatý polystyren pro aplikace kde je potřeba větší pružnost a odolnost proti rázům (HiPS a MiPS) a na pěnový polystyren (EPS). Pěnový polystyren vzniká přidáním nadouvadel, při polymerizaci. EPS je lehký a má nízkou hustotu. Využívá se v široké škále aplikací, například v kelímcích či v jednorázových přepravkách, dále se využívá např. jako výplň zásilek.[4] [6]

2.7 Styrenakrylonitril (SAN)

Styrenakrylonitril (SAN) je amorfní polymer, který je tvrdý a pevný a je schopen propouštět více než 90% světla. Vyšší poměr akrylonitridu zlepšuje mechanické vlastnosti a odolnost proti chemikáliím, nevýhodou je však to že s vyšším poměrem polymer žlutne. Proto, že si SAN zachovává své mechanické vlastnosti i při vyšších teplotách se často využívá místo polystyrenu. Díky své odolnosti proti tukům a olejům a také odolnosti proti čistícím prostředkům a také díky vzhlednému povrchu se používá pro výrobu zboží pro domácnosti

a nádobky pro kosmetiku. Také se používá v pouzdrech pro baterie a plastových optických kabelech. Hlavní nevýhodou SAN je jeho křehkost, proto vznikl kopolymer složený ze SANu a pryže, který nazývá ABS. [4]

2.8 Akrylonitilbutadienstyren (ABS)

ABS má vyvážené vlastnosti pro vstřikování v úzkých tolerancích, s vynikajícím povrchem a dobrou rázovou odolností, tvrdostí a možností pokování. ABS vzniká kombinací tří monomerů: akrylonitrilu, butadienu, a styrenu. Každý z těchto monomerů se podílí na výsledných vlastnostech ABS polymeru. Akrylonitril se podílí na tepelné odolnosti, odolnosti proti chemikáliím, a tvrdosti materiálu. Butadien polymeru dává houževnatost a rázovou odolnost, styren do systému přidává lepší zpracovatelnost, tuhost a pevnost. [6]

ABS se obvykle využívá pro výrobu krytů pro komponenty, které by mohly být mechanicky poškozeny. Navíc má ABS dobré izolační vlastnosti, velkou tvarovou stabilitu a nízkou absorpci vlhkosti. Proto se ABS nejčastěji využívá pro vytváření krytů elektrických zařízení. [8]

2.9 Polymethylmetakrylát (PMMA)

PMMA je průhledný amorfni polymer. PMMA se většinou nevyužívá ve své čisté formě, místo toho se do něj přidávají různé přísady pro zlepšení vlastností, např. pro tepelnou stabilitu, zpracovatelnost, houževnatost, vyšší tepelnou odolnost nebo UV stabilitu. Při porovnání s polystyrenem, má PMMA lepší odolnost proti rázům a UV záření. Při porovnání s polykarbonátem má PMMA nižší odolnost v rázu, ale je oproti němu levnější. Při porovnání se sklem má PMMA stejnou propustnost světla a je zároveň lehčí a má stejnou rázovou odolnost, nevýhodou PMMA oproti sklu je, že PMMA má větší náchylnost ke vzniku škrábanců. PMMA lze využít jako materiál pro vstřikování a vytlačování. [7]

2.10 Polyamid (PA, Nylon)

Polyamid je semikrystalický polymer, kterého existují různé typy, nejvíce používané typy tohoto polymeru jsou PA6 a PA66. Časem vznikly další varianty, které svými vlastnostmi byly zaměřeny na zlepšení vlastností za vysokých teplot a snížení navlhavosti materiálu. Další typy polyamidu, které je vhodné zmínit jsou PA666, PA46, PA11, PA12 a PA612. [7]

Polyamid je obecně známý pro své všestranné vlastnosti, mezi které se řadí vysoká pevnost, odolnost proti oděhům, nízká tvrdost a jasně definované tepelné vlastnosti.

Vyztužením PA pomocí skelných vláken je možno dosáhnout lepší tuhosti za vyšších teplot. [8] [7]

3 VSTŘIKOVÁNÍ

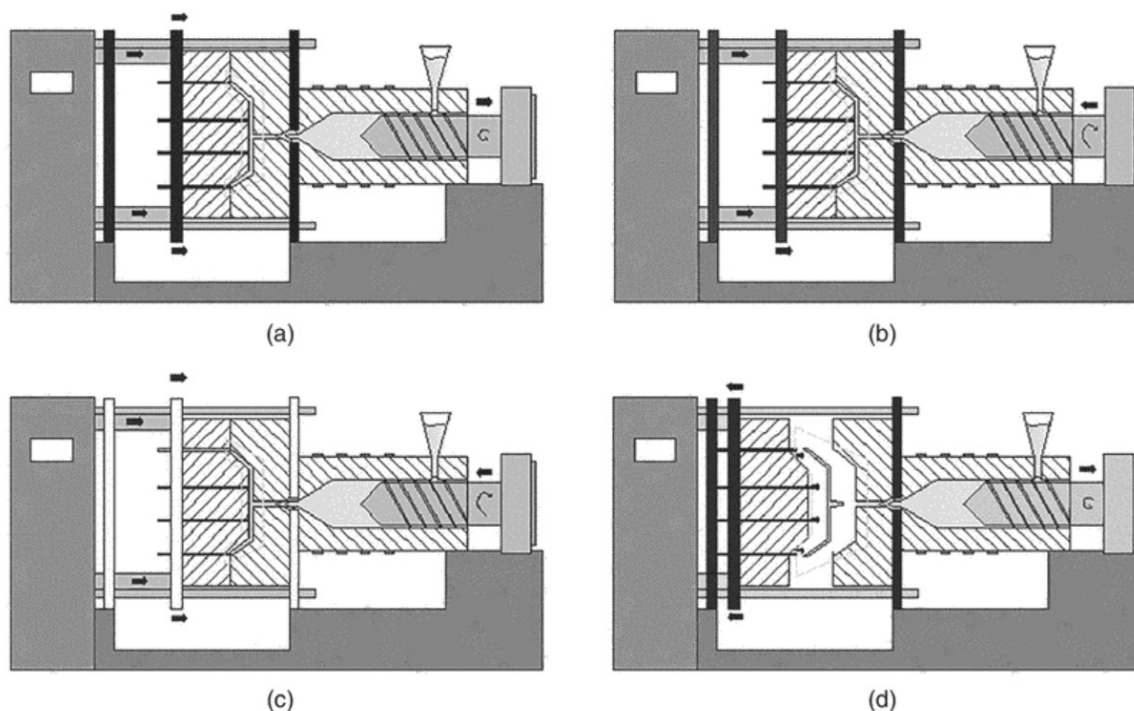
Vstřikování je jednou z nejvíce používaných technologií pro zpracování polymerů a dá se také využít pro zpracování kaučukových směsí. Využitím této technologie se dají vyrábět výrobky vysoké kvality a dostatečně přesných rozměrů. Výrobek vzniká v jedné operaci přeměnou polymerní směsi (prášku, aglomerátu, granulátu nebo pelet). Pokud je forma vhodně navržena, tak výrobek nepotřebuje žádné další úpravy. Z odpadu (vtoku a vtokových zbytků) v případě termoplastů lze vytvořit prášek, který se dá poté znovu zužítkovat při vstřikování. V případě pryží lze odpad zpracovat na regenerát, nebo drť. Ztráty materiálu při vstřikování jsou tedy minimální. [1]

3.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je založen na vstříknutí roztaveného polymeru do formy, která je podle materiálu buď chlazená (v případě termoplastů) či vyhřívána (v případě kaučukových směsí). V termoplastu dochází po vstříknutí k ztuhnutí taveniny pomocí fyzikální reakce, u kaučuku dochází k vulkanizaci pomocí reakce chemické. Po zatuhnutí polymeru se forma otevře, výrobek je vyhozen a vstřikovací cyklus začíná znovu. [1]

Vstřikovací cyklus se dá popsat pomocí několika kroků probíhající a) ve formě a za b) v plastifikační jednotce. [1]

Celý cyklus začíná uzavřením formy, poté dochází ke vstříknutí polymeru do formy, následuje dotlak a doplňování. Uvnitř formy dochází k ochlazení a vytvrzení materiálu, poté co je materiál dostatečně tvrdý se forma otevře, a dojde k vyhození materiálu, poté dochází k přípravě formy na další cyklus. Procesy, které vykonává plastifikační jednotka jsou, přísun plastifikační jednotky, následné vstříknutí materiálu a dotlak. Po dotlaku se plastifikační jednotka odjíždí a dochází v ní k přípravě dalšího materiálu pomocí plastikace, poté nastává prodleva před dalším cyklem. [5]



Obrázek 2 Schématické znázornění vstřikovacího cyklu: (a) plastikace, (b) vstřikování, (c) chladnutí, (d) vyhazování

(zdroj: [9])

3.2 Zvláštní druhy vstřikování

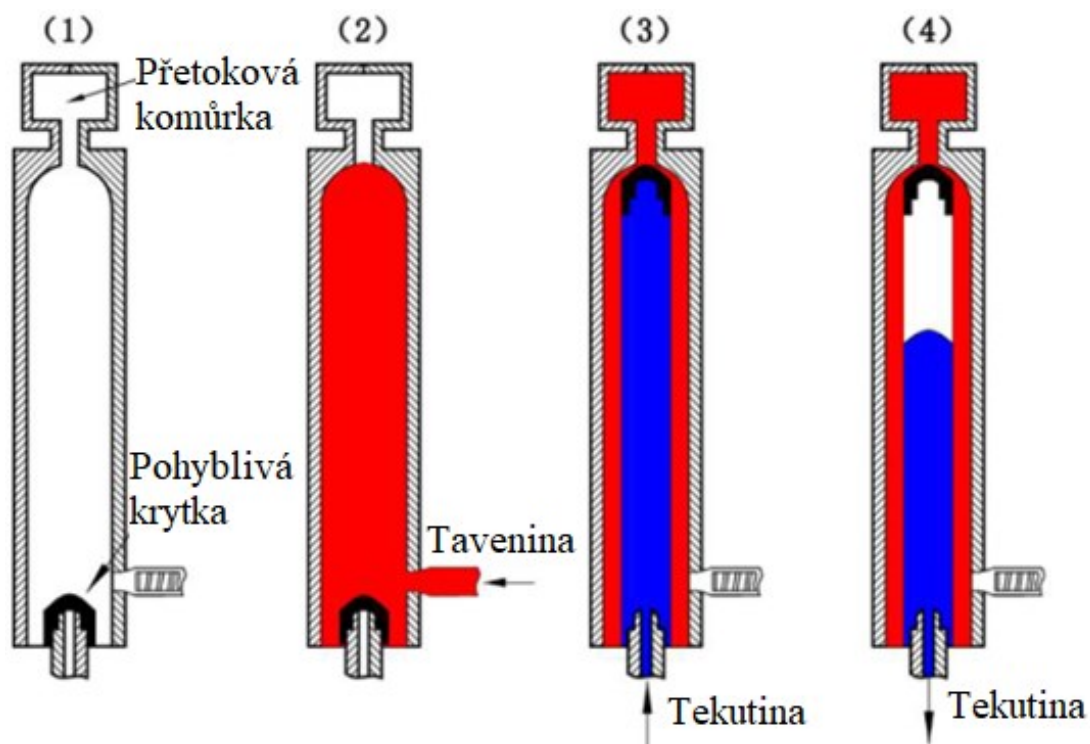
Zvláštní druhy vstřikování se nabízejí jako efektivnější a přesnější metody výroby polymerních výrobků. Tyto metody byly vyvinuty kvůli zvyšujícímu se nárokům zákazníků a výrobců na přesnosti a tvary výsledných produktů. [8]

3.2.1 Vstřikování za pomoci vody (Water-assisted injection molding) WAIM

Díky této technologii je možné vyrábět nízko hmotnostní tenkostěnné duté díly. Další výhodou této technologie je snížení doby trvání vstřikovacího cyklu. Technologie WAIM se může dělit na metodu nedotoku (short shot) a na metodu přetoku (overflow). Metody se liší mírou zaplnění formy. [8]

U metody přetoku se forma zcela zaplní polymerem, poté začne z trysky, která byla zakryta pohyblivou krytkou, téct voda pod tlakem. Pohyblivá krytka se pomocí tlaku vody nadzdvihne a vsune zbytkový polymer do přetokové komůrky. Nakonec se voda vypustí a vstřikovaný polymer se zchladí. Při metodě nedotoku se forma zaplní pouze částečně. [8]

Nevýhodou této metody je, že pokud se bublinky vody zachytí mimo vodní kanálek, tak mohou vznikat deformace na výsledném díle. [8]



Obrázek 3 Zjednodušené schéma WAIM

(zdroj: [8])

3.2.2 Vstřikování za pomoci plynu (Gas-assisted injection molding) GAIM

Při této technologii je zároveň se vstřikovaným polymerem vpouštěn do dutiny formy také plyn. Díky přidání plynu se dá při vstřikování dosáhnout rovnoměrného rozprostření materiálu ve formě. To pak snižuje míru deformace, smrštění a napětí ve vstřikované součásti. Výrobky vytvářené pomocí této metody mají vyšší přesnost a vyšší tvarovou stabilitu. [8]

Výraznou nevýhodou této metody je možný vznik spálenin na výrobku. Jejich vznik však může být omezen snížením uzavíracího tlaku. [8]

3.2.3 Mikrobuněčné vstřikování (Microcellular injection molding)

Princip této technologie spočívá ve vstřikování materiálu za vysokého tlaku, a jeho následným rychlým snížením. Použitím této technologie lze vytvořit výrobky, které mají nízkou hmotnost a vnitřní mikro buněčnou strukturu. [8]

Výsledná struktura materiálu se skládá z velkého množství malých bublinek nahuštěných na sobě. Mikrobuněčné vstřikování umožňuje snížit spotřebu materiálu

o 30 % – 40 % a zároveň dané výrobky mají vyšší odolnost vůči rázům, pevnost a lepší tepelně izolační vlastnosti. [8]

3.3 Příprava materiálu pro vstřikování

Odstraňování vlhkosti před vstřikováním polymerního materiálu je velmi důležité pro zajištění správného odformování součástí. Při procesu vstřikování se totiž vlhkost, která je přítomna v nevysušených peletách teplotou formy začne vypařovat. Tato pára zůstane přítomna v tavenině do té doby, než se dostane do dutiny formy, kde se díky vyrovnání tlaku dostane pára z taveniny a vystoupá na povrch dutiny formy, kde po zatuhnutí materiálu zanechá stříbrné pruhy. Obecně je nutno sušit hlavně hydrofilní materiály. Hydrofilní materiál je materiál, který je schopen vstřebávat vodu z okolí. Mezi hydrofilní materiály patří např. ABS, polykarbonát, polyamid, TPU, polyestery. [10]

Některé materiály, které nejsou hydrofilní samy o sobě může být nutno sušit kvůli přísadkám jako jsou například plniva. Doporučené teploty a čas lze nalézt v materiálovém listu od dodavatele. Je důležité dodržovat tyto doporučení pro zajištění důkladného usušení materiálu. [10]

Pro důkladné usušení materiálu je důležité zajistit: správné nastavení teploty, suchý vzduch, tok vzduchu a správné nastavení doby sušení. Všechny tyto podmínky jsou důležité pro sušení a pokud je některá z nich opomenuta materiál nebude dokonale vysušen. [10]

3.4 Defekty vznikající při vstřikování

I přesto, že je vstřikování relativně jednoduchý proces, při kterém se roztavený materiál vstříkne do formy, která mu určuje tvar, ve které pak ztuhne, mohou při tomto procesu vznikat různé defekty. Jednoduchým pravidlem, dle kterého se lze řídit je popsáno pomocí trojúhelníku vstřikování. Vstřikování je ovlivněno třemi faktory: tlakem, teplotou a časem, změna jednoho ramene trojúhelníku ovlivní zbytek. [11]



Obrázek 4 Vstřikovací trojúhelník

(zdroj: [11])

3.4.1 Smrštění

Smrštěním součásti se rozumí, rozdíl mezi rozměry dutiny formy za pokojové teploty a výrobku 48 hodin po vyhození. Obecně lze smrštění dělit na smrštění ve formě a smrštění po vyhození. Smrštění je závislé na všech částech výrobního procesu, od volby materiálu až po vstřikování. [12]

Smrštění ve formě lze ovlivnit pomocí změny vstřikovacích podmínek, např. vyšší vstřikovací tlak obvykle sníží smrštění. Další, ale již ne tak výrazný vliv na smrštění mají okolní podmínky jako je např. vlhkost a teplota v místnosti. [12]

3.4.2 Křehkost

Křehkost vstřikovaných částí je většinou způsobena ztrátou molární hmotnosti v polymeru. Snížením molární hmotnosti se snižují mechanické vlastnosti daného materiálu. [11]

Křehkost může být způsobena, nedostatečným vysušením materiálu. To platí zejména pro hydrofilní materiály. Pokud jsou tyto materiály roztaveny a nachází se v nich voda začne probíhat hydrolyza. Při hydrolyze dojde ke ztrátě molární hmotnosti a tím ke snížení fyzikálních vlastností materiálu. Křehkost může být způsobena také nadměrným využitím recyklátu, protože recyklát už byl vystaven teple a tím v něm již došlo ke ztrátě molární hmotnosti. Pokud recyklát nebude využit ve velkém množství, lze ztrátě molární hmotnosti předejít. [11]

3.4.3 Spáleniny

Spáleniny jsou obvykle tmavé zabarvení na povrchu součásti. Avšak podle typu materiálu může být barva v rozsahu od černé přes hnědou až k bílé. Kontaminace materiálu je jeden z možných důvodů vzniku spálenin. Spáleniny vznikají kvůli snížené teplotě tání kontaminovaného materiálu oproti materiálu nekontaminovanému. Je doporučeno se zbavit všeho kontaminovaného materiálu ze zásobníku. [11]



Obrázek 5 Příklad spáleniny

(zdroj: [10])

3.4.4 Delaminace

Delaminace nastává, pokud se vrstvy povrchu dají oddělit od sebe. Tato chyba může vést ke snížení mechanických vlastností. [11]



Obrázek 6 Příklad delaminace dvou
nekompatibilních materiálů

(zdroj: [10])

Hlavním důvodem vzniku delaminace je nekompatibilita materiálu kvůli kontaminaci. To může nastat buď kontaminací nebo smícháním dvou materiálů, ale také může nastat díky nedostatečnému vysušení materiálu. [11]

Další možností pro vznik delaminací jsou nestabilní tavné teploty. Tento problém lze spravit lepší homogenizací materiálu a zvýšením tavné teploty, případně použitím lepšího šneku. Dalším důvodem pro vznik této chyby může být velký dotlak, který může vytvořit delaminaci v místě vtoku. Tuto chybu lze vyřešit snížením dotlaku. Posledním důvodem pro vznik delaminace mohou být příliš velké teploty formy, které mohou zapříčinit přilepení povrchových vrstev na její povrch.[11]

3.4.5 Objemové nestability

Objemové nestability jsou nekonzistentní velikosti nebo hmotnosti výrobku od cyklu k cyklu. Části, které mají nižší hmotnost mohou mít horší strukturální integritu. Části, které váží více mohou vykazovat také sníženou strukturální integritu, kvůli zamrzlým napětím. Zároveň mají zvýšenou cenu na součást kvůli využití více materiálu. [11]

Nestabilní množství taveniny ve formě může být způsobeno několika faktory. Když se vstřikovací tlak mění v závislosti na čase nebo na hydraulickém tlaku, tak se hmotnost a velikost výrobku může lišit, protože jakákoliv změna v hydraulickém tlaku může zapříčinit vstříknutí příliš málo materiálu v jednom cyklu a příliš mnoho v dalším. Pokud bude využita

změna tlaku pomocí pozice šneku, tak se u výrobků může zlepšit jak hmotnost, tak i objemová stabilita. Pozice šneku může být nastavena pro zaplnění přibližně 95% dutiny, zbytek může být zaplněn dotlakem. [11]

Další možností vzniku objemových nestabilit je malá velikost trysky vstřikovací jednotky, která může omezit množství materiálu které se dostane do dutiny formy. Tento problém lze vyřešit zvětšením trysky vstřikovací jednotky. [11]

Dalším důvodem může být moc krátký čas pro odformování, který může způsobit větší smrštění na součásti. Pokud tento čas navýšíme tak se na tavenině a dutině formy udrží více a dojde ke zvětšení velikosti výrobku. [11]

3.4.6 Stopy po vyhazovačích

Úkolem vyhazovačů je vyhodit část z formy po jejím dostatečném ochlazení. Může však dojít k lokální deformaci na části kvůli silám kterými vyhazovače na část působí. Tyto deformace se mohou projevit jako vybělená místa na povrchu součásti. Stopy po vyhazovačích mohou vznikat různými způsoby. [11]



Obrázek 7 Příklad stopy po vyhazovači

(zdroj: [10])

Jedním z důvodů vzniku stop po vyhazovačích je jejich nesprávný počet, pokud jich bude použito příliš málo tak se na dílu mohou vytvořit koncentrované oblasti napětí. Tento

problém lze vyřešit zvýšením jejich počtu. Další možností pro odstranění možnosti vzniku stop je změna zakomponování podkosů do návrhu součásti a vyleštění případných nedokonalostí na dutině formy, které by mohly zabraňovat plynulému vyhození součásti. [11]

Umístění vyhazovačů je také velice důležité v předcházení vzniku otisků na výrobku. Při jejich umisťování je nutné se vyvarovat místům, která by mohla zabraňovat vyhození. Dále je nutno se vyvarovat umisťování vyhazovačů o různých délkách, neboť se může stát, že součást nebude vyhozena rovnoměrně, případně bude zdeformována. Při umisťování vyhazovačů je nutné, aby byly rozmístěny rovnoměrně po celé součásti. [11]

Pokud součást nebyla dostatečně ochlazená je možné, že se při vyhazování zdeformuje nebo, že ji vyhazovač protrhne. Tomuto problému se dá vyvarovat pomocí zlepšení systému temperace, a to buď zvýšením doby chlazení anebo snížením teploty formy, proto aby se součást stihla dostatečně ochladit před vyhozením. [11]

3.4.7 Přetoky

Přetoky lze definovat jako přebytečný materiál, který vytekl z dutiny formy. Přetoky se mohou objevit v na různých místech. Nejobvyklejším místem vzniku přetoku je dělicí rovina a k jejich vzniku dochází kvůli neúplnému uzavření formy. Dalším místem kde lze nalézt přetoky jsou odvzdušňovací kanálky, obzvláště pokud jsou moc hluboké nebo široké. Pokud forma není úplně uzavřena, tak se mohou pohyblivé části formy např. posuvné jednotky vlivem tlaku čela taveniny posunout zpátky a může dojít k zatečení taveniny do místa, které bylo předtím obsazeno posunovací jednotkou. [11]



Obrázek 8 Příklad přetoku

(zdroj: [10])

Jedním z důvodů vzniku přetoků může být nedostatečné vysušení materiálu, obzvláště v případě, že je materiál hydrofilní. Přítomnost vody v hydrofilních materiálech může snížit viskozitu. Proto je nutné hydrofilní materiály před využitím sušit. [11]

Nejběžnější opravou přetoků je snížení vstřikovacího tlaku. Přetoky mohou nastat v případě, pokud je nastaveno příliš velké dávkování, snížení velikosti dávek by mělo vést ke snížení taveniny vtlačované do dutiny formy. Další příčinou vzniku přetoku může být příliš velká teplota taveniny, která umožňuje materiálu jednodušeji zatéct do různých skulin, obzvláště v případě, pokud vstřikovací forma není zcela uzavřena. Proto je výhodné dodržovat doporučené teploty dodány dodavatelem. Pokud je materiál vstříknut do formy příliš rychle může dojít ke vzniku tepla kvůli smykovým silám, což umožní materiálu téct jednodušeji. Snížením vstřikovací rychlosti lze snížit zahřívání vznikající pomocí smyku a tím i výslednou teplotu taveniny. Velkou roli ve vzniku přetoků hrají také tokové vlastnosti materiálu, jako například jeho viskozita nebo jeho ITT. Materiály, které mají nízkou viskozitu/vysoké ITT tečou jednodušeji a projevuje se u nich zvýšené riziko vzniku přetoků. Naopak u materiálu, které vykazují vysokou viskozitu je riziko vzniku nízké. [11]

3.4.8 Lesklý povrch

Lesklé povrchy jsou definovány podle množství světla, které jsou schopny odrazit od svého povrchu. Lesklost povrchu se hodnotí podle množství světla, které je odraženo v různých úhlech a na míře rozptýleného světla. Materiály s velkou lesklostí jsou schopné odrazit většinu světla s nízkým rozptylem, zatímco materiály s nízkou mírou lesklosti projevují malou odrazivost v různých úhlech a velký rozptyl světla. Správná lesklost je určena pomocí výsledných požadavků na výrobek. [11]

Zajištěním nízké teploty taveniny je možno docílit nízké lesklosti povrchu daného výrobku. Pokud je potřeba lesklost zvýšit je nutno využít vyšších zpracovávacích teplot. V některých případech může i příliš vysoká teplota taveniny způsobit nízkou lesklost povrchu, v tomto případě je možné že se na povrchu začnou objevovat přísady, které byly přimíchány do směsi polymeru. Tento problém lze vyřešit snížením teploty taveniny. Nízký vstřikovací tlak může být další příčinou vzniku nízkého lesku. Materiál se není schopen zcela natlačit na stěny dutiny formy, a proto není schopen okopírovat její povrchovou strukturu. Zvýšením vstřikovacího tlaku lze docílit lepšího okopírování dutiny formy. [11]

Nízké teploty formy vytváří nízkou lesklost povrchu, protože v tavenině dojde k moc rychlému ochlazení, což způsobí nepřesné okopírování dutiny formy. Vyšší teploty formy

umožní tavenině zůstat déle zahřátá, což umožní zaplnění dutiny formy. Povrch a lesklost povrchu závisí na povrchu dutiny formy. Proto pokud má dutina formy matný povrch tak bude mít i výsledný výrobek matný povrch. [11]

3.4.9 Tryskání

Tryskání je fenomén, který vzniká, pokud roztavený materiál protéká přes vtok a jeho průtokem vytváří červovitou strukturu. Tato struktura se špatně spojuje s dalším materiálem, který je vstříknut do formy, kvůli rozdílu jejich teplot. V místech spoje vznikají slabá místa. Ve struktuře může také docházet k uzavření vzduchu a mohou díky ní vzniknout propadliny, tímto také dochází k snižování strukturní integrity. Vzhled povrchu se může lišit kvůli rozdílům v barvách nebo lesklosti.[11]



Obrázek 9 Příklad tryskání

(zdroj: [10])

Jedním z hlavních důvodů vzniku trykání je příliš velká vstřikovací rychlost. Při vysokých vstřikovacích rychlostech se roztavený materiál se rychle vstříkne vtoku přes dutinu formy, což vede ke vzniku červovité formace. Snižováním vstřikovací rychlosti a využíváním profilů pro redukci vstřikovací rychlosti může vést k odstranění trykání. Naopak však mohou nízké vstřikovací rychlosti způsobit příliš rychlé ochlazení taveniny, což může také vést k tvorbě trykání. V tomto případě lze snížit tuto šanci zvýšením teploty taveniny. Nízké teploty taveniny mohou také vést ke vzniku trykání, protože je při nízkých teplotách taveniny potřeba využít vyšší vstřikovací tlak k rozpořbování taveniny. Tento vyšší vstřikovací tlak

přetlačí materiál přes dutinu formy. Zvýšením teploty taveniny bude umožněno materiálu téct jednodušeji při nižších tlacích. [11]

Design vtoku je velmi důležitý pro opravu chyb, které vznikají v důsledku tryskání. Pokud má vtok příliš malý průměr, může docházet k omezení průchodu taveniny, což může vést ke zvýšení tlaku ve vtokových kanálech. Vyšší tlak protlačí taveninu přes dutinu formy. Zvětšením průměru vtoku dojde ke snížení tlaku ve vtokových kanálech. Pokud je vtok umístěn v místech kde tavenina narazí na dutinu nebo otvor v jádře, může dojít ke vzniku červování. Přesunem vtoku do míst jako jsou například stěna dutiny, zamezí vzniku červování a odstraní se tryskání. [11]

Nízké teploty formy mohou přispívat ke vzniku tryskání, tím že způsobí moc rychlé ochlazení taveniny, když dorazí do dutiny formy, což způsobí špatné propojení mezi chladnějším materiálem a teplejším materiálem, který dotéká do taveniny. Zvýšení teploty formy udrží taveninu déle ohřátou a zajistí vznik lepšího spoje s teplejším materiálem. [11]

3.4.10 Nedotoky

Nedotoky jsou oblasti na součásti které nebyly zcela zaplněny taveninou při vstřikování. Tento defekt se nejvíce vyskytuje v místech, které byly zaplněny jako poslední. [11]



Obrázek 10 Příklad nedotoku

(zdroj: [10])

Pokud je teplota taveniny příliš nízká materiál nemůže jednoduše téct, aby zaplnil celou dutinu formy. Zvýšením teploty taveniny umožní jednodušší tečení taveniny a díky tomu dojde k zaplnění více oblastí dutiny formy. Nedotoky mohou také vzniknout kvůli příliš nízkému dotlaku. Zvýšením jeho velikosti je tavenina donucena téct dále, což vede ke vhodnějšímu zaplnění formy. Nízký vstřikovací tlak může zapříčinit zvýšení viskozity v materiálu, což vede k omezení toku taveniny. Zvýšením vstřikovací rychlosti poskytne více smykového tepla materiálu, čímž dochází ke snížení viskozity a zvýšení toku taveniny. Pokud je nízká velikost dávky, může dojít k neúplnému zaplnění formy. Pro úplné zaplnění formy musí být dodáno dostatečné množství materiálu. Dalším důvodem pro vznik nedotoků může být zalepená tryska např. zchladnutým vstřikovaným plastem. [11]

Nízké teploty formy jsou jedním z nejběžnějších důvodů pro vznik nedotoků, protože dochází k příliš brzkému zatuhnutí taveniny před úplným zaplněním dutiny. Zvýšením teploty formy může udržet čelo taveniny teplé dostatečně dlouho pro úplné zaplnění formy. [11]

3.4.11 Propadliny

Propadliny jsou oblasti na části, které se vyznačují jako prohlubně nebo důlky na povrchu dílu. Propadliny vznikají, kvůli rozdílu teplot na povrchu a uvnitř taveniny. Vyšší smrštění roztaveného středu taveniny nasaje povrch což způsobí propadliny. [11]



Obrázek 11 Příklad propadlin

(zdroj: [10])

Vysoké teploty taveniny mohou způsobit propadliny, protože zvyšují čas chlazení části. Tohle zpomalí chlazení roztaveného středu taveniny. Snížením teploty taveniny se sníží doba chlazení části a sníží vznik pravděpodobnost vzniku propadlin. Pokud je dotlak příliš nízký, nebude dostatečné množství materiálu protlačeno do dutiny formy. Tento nedostatek tlaku nezajistí dostatečný odpor na roztaveném jádře, které se bude smršťovat dál od chladnější stěny. Vyšší hodnota dotlaku zajistí více tlaku na stěnu dutiny formy pro zchlazení povrchu a jádra pro zamezení vzniku propadlin. [11]

3.4.12 Černé tečky

Černé tečky jsou oblasti zdegradovaného plastu, které je viditelné na povrchu součásti. Tento defekt je nejvíce zjevný na průhledných nebo světlých součástech. [10]



Obrázek 12 Příklad černých teček na výrobku

(zdroj:[10])

Černé tečky jsou obvykle známkou toho, že materiál byl zdegradován do spálené podoby, většinou se jedná o materiál, který setrval příliš dlouho na určité teplotě. Mezi faktory, které mohou způsobit černé tečky patří, nesprávné vypnutí stroje, příliš vysoká teplota taveniny a příliš dlouhý čas strávený v pracovním válci. [10]

3.4.13 Stříbrné pruhy

Tento defekt se projevuje výraznými stříbrnými nebo bílými pruhy na součásti. Tento defekt však může být velice často zaměňován například se škrábanci, nebo viditelnou trajektorií toku, nebo delaminací proto je důležité se ujistit, že se doopravdy jedná o stříbrné pruhy. [10]



Obrázek 13 Příklad stříbrných pruhů

(zdroj: [10])

Při odstraňování stříbrných pruhů je nutné se zaměřit na jejich rozmístění, pokud jsou tyto pruhy na náhodných místech po celé součásti, může to značit problém s materiálem, nebo se samotným vstřikovacím procesem. Pokud jsou však tyto pruhy soustředěné na jednom místě tak to většinou znamená že se problém nachází na straně formy. [10]

Pokud jsou pruhy náhodně rozházeny, mohou být tyto pruhy způsobeny jedním z těchto parametrů: nedostatečné vysušení, příliš vysoká teplota taveniny, dotlak, nestabilní dávkování materiálu. [10]

U pruhů soustředěných v jednom místě, mohou tyto pruhy vznikat kvůli: nedostatečnému odvzdušnění, teplotám ve vyhřívaném vtokovém systému, ostrým rohům nebo poškozené vstřikovací formě. [10]

3.4.14 Kapsy

Kapsy jsou prázdná místa nacházející se uvnitř součástí. Tyto kapsy jsou uvnitř naplněny vakuem, které vzniká důsledkem smrštění. Kapsy mohou být někdy zaměňovány s bublinkami vznikajícími zachyceným plynem. Pro zjištění, zdali se jedná o kapsu nebo o bublinku je doporučené postižené místo pomalu zahřát. Pokud se oblast propadne jedná se o kapsu, pokud se však nafoukne jedná se o bublinku. [10]



Obrázek 14 Příklad kapsy

(zdroj: [10])

Kapsy bývají často přehlíženy, protože pokud se nejedná o průhlednou součást, nejsou vidět. Kapsy se často vytvářejí v místech, které mají tlustší stěny. Kapsy mohou vést ke snížení mechanických vlastností součásti, proto může být nutné součást rozříznout pro ujištění, že při procesu kapsy nevznikají. Vznik kapes může být ovlivněn nastavením vstřikovacího procesu anebo samotným designem formy. [10]

Kapsy mohou na straně procesu vznikat kvůli: nízké velikosti dotlaku, příliš krátkému času dotlaku, nízké nebo vysoké teplotě formy nebo vysoké teplotě taveniny. [10]

Na straně formy mohou kapsy vznikat kvůli: špatné temperaci, tlustým místům v designu formy nebo špatnému umístění vtoku. [10]

3.4.15 Deformace

Deformace jsou tvarové odchylky od původního tvaru. Deformace mohou být složité na vyřešení, protože samotným zahříváním a následným chlazením polymeru do něj vnáší napětí, které poté způsobuje smrštění a deformace. Jedním z hlavních důvodů pro vznik deformací je nerovnoměrné smrštění. [10]



Obrázek 15 Příklad deformace

(zdroj: [10])

Nerovnoměrné smrštění může vznikat kvůli nerovnoměrnému rozprostření tlaku uvnitř dutiny formy, nerovnoměrné temperaci nebo různým orientacím řetězců materiálu. [10]

Nejjednodušším způsobem, jak se vyvarovat zbytečných deformací je správně navržený výrobek. Je nutno vyvarovat se: rozdílným tloušťkám stěn, umístění vtoku do míst, kde se vyskytuje tenká stěna. Další důležité pravidla pro zamezení vzniku deformací jsou: dodržování poměru velikosti žebra ku stěně a využití zaoblených rohů při návrhu. [10]

Parametry, které mohou ovlivňovat vznik deformací ve vstřikovacím procesu mohou být: teplota formy, teplota taveniny, rozdíl tlaků nebo doba chladnutí. [10]

3.4.16 Studené spoje

Studené spoje vznikají vždy, když plast musí téct okolo nějaké překážky. Poté co na sebe tento rozpojené proudy taveniny znovu narazí vznikne studený spoj. [10]



Obrázek 16 Příklad studeného spoje

(zdroj: [10])

Studené spoje mimo vytváření vizuálních defektů ovlivňují i fyzikální vlastnosti vstřikované součásti. Optimalizace studených spojů je proto velice důležitá pro celkovou kvalitu výrobku. Při návrhu je důležité si uvědomit, kde budou studené spoje vznikat a jak závažné budou. K jejich vizualizaci může pomoci software pro simulace plnění forem. [10]

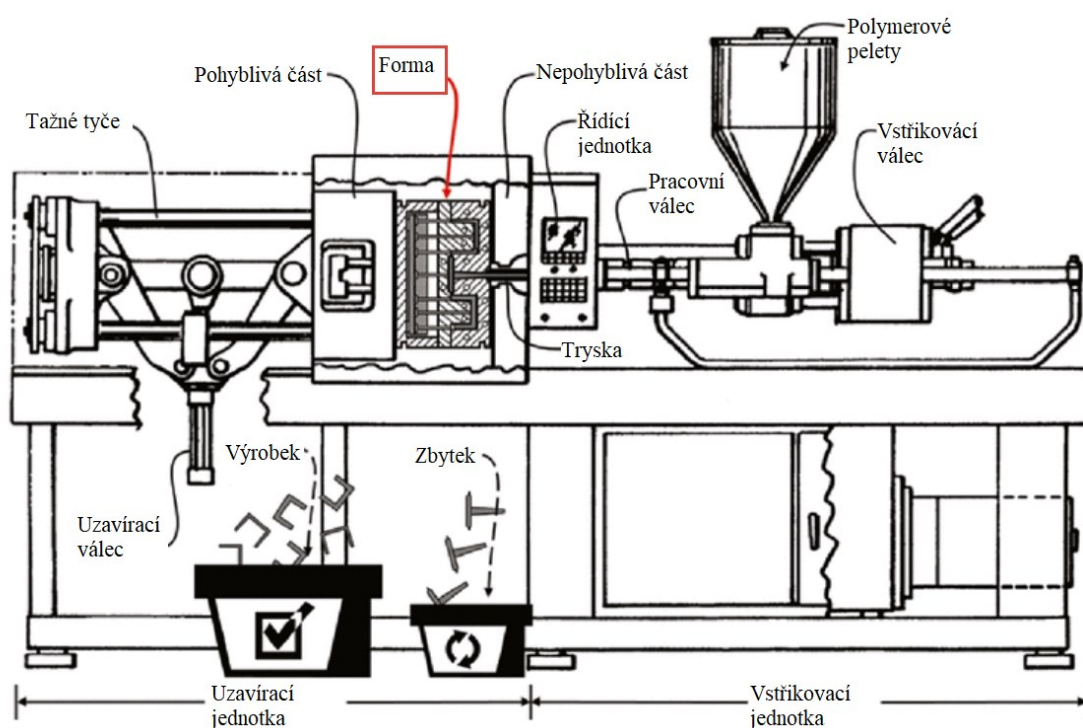
Mezi parametry na straně vstřikování, které ovlivňují vznik studených spojů patří: rychlost plnění, teplota taveniny, dotlak nebo teplota formy. [10]

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj je jedním z nejdůležitějších typů strojů pro zpracování plastů. Vstřikovací stroj umožňuje výrobu výrobků jak z plastů, tak i z kaučukových směsí. Mezi jeho hlavní části spadá uzavírací jednotka a vstřikovací jednotka. [12] [13]

Na uzavírací jednotce závisí uzavírací síla, zdvih pohyblivé desky, maximální a minimální tloušťka formy, rychlost uzavření a otevření formy atd. [14]

Typ vstřikovací jednotky ovlivňuje např. průměr šneku, maximální tlak, poměr L/D, plastikační kapacitu, maximální vstřikovaný objem, maximální rychlost vstřikování. [14]



Obrázek 17 Schéma vstřikovacího stroje

(zdroj: [15])

Při návrhu vstřikovací formy je nutno zajistit, že správně sedí na stroj a bude vstřikovací stroj dostatečně silný pro výrobu dané součásti. Je specificky nutno zajistit, aby se forma dala upnout na vstřikovací stroj a aby se byla schopna dostatečně otevřít pro vyhození daného výrobku, je také nutno zajistit, aby vstřikovací stroj byl schopen vydat dostatečně vysokou vstřikovací rychlost a tlak, pro zaplnění formy.[16]

4.1 Uzavírací jednotky

Uzavírací jednotka se stará o bezpečné otevření a uzavření formy. Uzavírací síla je závislá na ploše průřezu výstřiku v dělicí rovině a na velikosti vstřikovacího tlaku. Konfigurace a tuhost uzavírací jednotky má významný vliv na výslednou těsnost formy. [12]

Uzavírací jednotky lze dělit na: hydraulické, hydromechanické a elektromechanické. Hydraulické lze dále dělit na přímé a se závorováním. [12]

4.1.1 Hydraulické uzavírací ústrojí

Rychlost hydraulických uzavíracích ústrojí lze řídit uspořádáním a ovládáním hydraulického obvodu. Výhodou hydraulického uspořádání je jednoduchost, nevýhodou je však, že k dosažení vyšších uzavíracích sil je potřeba použít válce o velkých rozměrech. Pro zajištění dostatečných velikostí uzavíracích rychlostí je potřeba využít značné množství kapaliny a kvůli velkým v průměru pístů dochází k problémům s jejich utěsněním. Tyto nevýhody se dají odstranit pomocí využití ústrojí s pomocnými hydraulickými válci. [12]

4.1.2 Hydraulické uzavírání s mechanickým závorováním

Hydraulické uzavírání s mechanickým závorováním odstraňuje nevýhody hydraulického uzavírání. Mechanické závorování je proces, při kterém je hydraulický systém dočasně nahrazen systémem mechanickým, tzn. že mezi pohyblivou částí a základovým rámem vznikne tuhý spoj. Výhody tohoto uspořádání jsou značné hlavně u velkých vstřikovacích strojů. Rychlost pohybu lze regulovat pomocí škrcení průtoku hydraulické kapaliny. Pomocí škrcení lze také nastavit dosedací rychlost pohyblivé části na část nepohyblivou. [12]

4.1.3 Hydromechanické uzavírací ústrojí

V případě hydromechanického uzavíracího ústrojí je uzavírací rychlost závislá na kinematickém uspořádání mechanismu, díky čemuž je možno docílit minimálních dosedacích rychlostí. Zpomalování pohybu a dovírání formy probíhá nepřerušovaným a rovnoměrným pohybem uzavíracích pístů. Příznivý průběh uzavíracích rychlostí umožňují také malé rozměry s nimi související malá hmotnost u hydraulického válce. Výhodou těchto uzavíracích mechanismů je jednoduché ovládání a příznivá spotřeba energie. [12]

4.1.4 Elektromechanické

Kvůli energetické náročnosti přípravy tlakových energií pro pohony hydraulických válců se začaly používat v uzavíracích jednotkách elektrické pohony. Došlo především k náhradě hydraulického přímočarého motoru elektromotorem s klikovým mechanismem. Výhodami elektromechanických uzavíracích jednotek jsou jejich konstrukční jednoduchost, možnost dosažení vysokých uzavíracích rychlostí a jednoduchá automatizace pracovních cyklů. Mezi další z výhod patří jejich nízká energetická náročnost. [12]

4.2 Vstřikovací jednotky

Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny a zajistit dostatečně vysoký vstřikovací tlak. Vstřikovací jednotky lze dělit dle způsobu plastikace na: bez předplastikace a s předplastikací. Bez předplastikace lze dále dělit na: plastikaci v tavicí komoře při vstřikování pístem a plastikace a vstřikování šnekem. S předplastikací můžeme dělit na předplastikaci v tavicí komoře a předplastikaci šnekem, ale poté se vždy vstřikuje pístem. [12]

U vstřikovacích jednotek bez předplastikace může plastikace probíhat buď v tavicí komoře (pístová plastikace) anebo v pracovním válci (šneková plastikace). [12] [9]

4.2.1 Pístová plastikace

Výhodami pístové plastikace je jejich jednoduchá konstrukce a jednoduché dosažení relativně vysokých vstřikovacích tlaků. Největší nevýhodu pístové plastikace je horší homogenizace taveniny. [12] [9]

4.2.2 Šneková plastikace

Výhodami šnekové plastikace je, schopnost vydat vyšší výkony než pístová, zároveň zajišťují lepší rovnoměrnost prohřevu a homogenizaci taveniny. Při použití šnekové plastikace u materiálů s nízkou viskozitou se tavenina může začít vracet zpátky do šnekového kanálu, proto bývá na čele šneku zabudován zpětný uzávěr. Tyto zpětné uzávěry umožňují dosažení vyšších vstřikovacích tlaků a také zaručují že materiál ve šnekovém kanálu setrvá po dostatečně dlouhou dobu. Nevýhodou je však horší schopnost regulace vstřikovaného objemu. [9] [12]

4.2.3 Plastikační jednotky s předplastikací

Pro vytvoření dostatečného plastikačního výkonu a dokonalého zhomogenizování taveniny se vstřikovací jednotka rozdělila na část plastikační a část vstřikovací. Materiál plastikuje v plastikační jednotce a zplastikovaná tavenina se poté přepravuje do vstřikovacího válce, přes který se následně vstřikuje za pomoci pístu do formy. Tímto uspořádáním lze i výrazně zkrátit vstřikovací cyklus. Plastikace může probíhat v plastikační komoře (pístová plastikace) anebo v pracovním válci (šneková plastikace). [12]

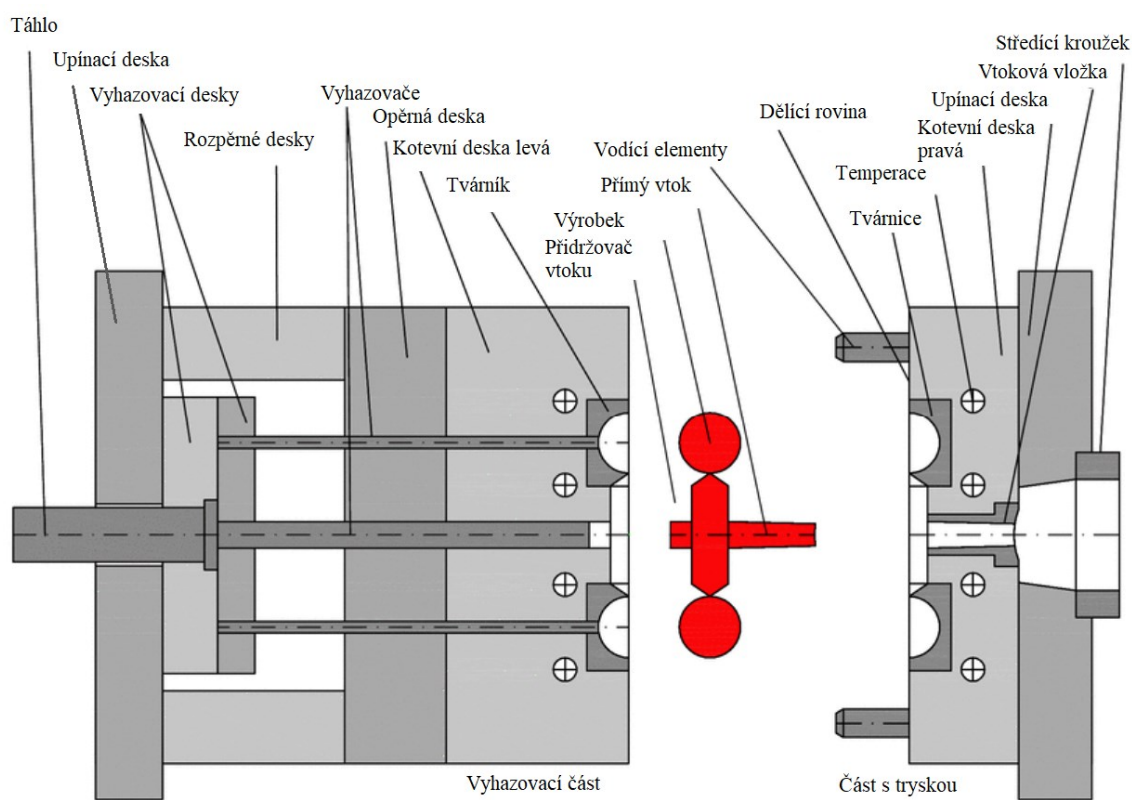
Při pístové předplastikaci dochází k přípravě materiálu v tavicí komoře, která je opatřena torpédem a topením a je zakončena hlavou, přes kterou je napojena na vstřikovací válec. Pro zamezení přetlačování taveniny ze vstřikovacího válce zpátky do tavicí komory je mezi vstřikovací válec a hlavu tavicí komory vkládá zpětný ventil. [12]

Šneková předplastikace se používá více i přesto, že je složitější. Díky tomuto uspořádání lze spojit výhody šnekové plastikace s výhodami vstřikování pístem. Tímto je možno dosáhnout rychlé a dokonalé plastikace při vysokých tlacích i rychlostech. U šnekové plastikace lze lépe ovládat plastikační podmínky a je možno dosáhnout vyšších výkonů. Nevýhodami tohoto uspořádání je složitost a větší nároky na seřizování a údržbu. Šnekovou předplastikaci lze zejména využít při vstřikování objemových výrobků. [12]

5 NÁLEŽITOSTI FORMY

Hlavním nástrojem pro vstřikování je forma, která musí fungovat společně se zbytkem systému pro vytvoření daného výrobku. Je proto důležité formu navrhnut důkladně, protože pokud nebude forma fungovat správně, tak může celý systém selhat a daná součást nebude správně vyrobena. [16]

Vstřikovací forma se nejčastěji skládá ze dvou částí, části s tryskou a vyhazovací části. V těchto částech se dále nachází tvárník, tvárnice, vtokové kanálky, vyhazovací elementy a temperace. [17]



Obrázek 18 Zjednodušený diagram dvoudeskové formy

(zdroj: [17])

5.1 Tvárník a tvárnice

Dutina formy je prázdné místo uvnitř formy, které má tvar požadovaného výrobku. Obvykle je dutina formy tvořena tvárnicí neboli prázdnou částí dutiny, která většinou určuje vnější tvar výrobku a tvárníkem, který je obvykle vystouplý a určuje vnitřní tvar výrobku. [18]

5.2 Násobnost

Formy pro velké výrobky obvykle mají pouze jednu dutinu formy, pokud se však jedná o formu pro velkovýrobu je vhodné mít ve formě dutin více, tomuto se říká násobnost. Obvyklé násobnosti forem jsou 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 48, 64. Tyto násobnosti jsou zvoleny, protože dutiny mohou být snadno uspořádány do obdélníku, což umožňuje jednodušší návrh a dimenzování vtoků. [18]

5.3 Dělicí roviny

Hlavní dělicí rovina rozděluje formu na 2 části pro možnost zaformování a následného vyjmutí vyrobeného dílce. Dělicí rovina může mít jakýkoliv tvar, ale pro zjednodušení výroby forem je preferované mít dělicí rovinu v jedné rovině. Pro zajištění dokonalého uzavření formy se desky dělicí roviny brousí. [18]

Pro tvarově složitější výrobky je potřeba využít více dělicích rovin, v tomto případě jsou nazvány dělicí roviny vedlejší. Pro vytvarování ploch ve vedlejší dělicí rovině je nutno použít vedlejší tvarové části a posuvné jednotky. [18]

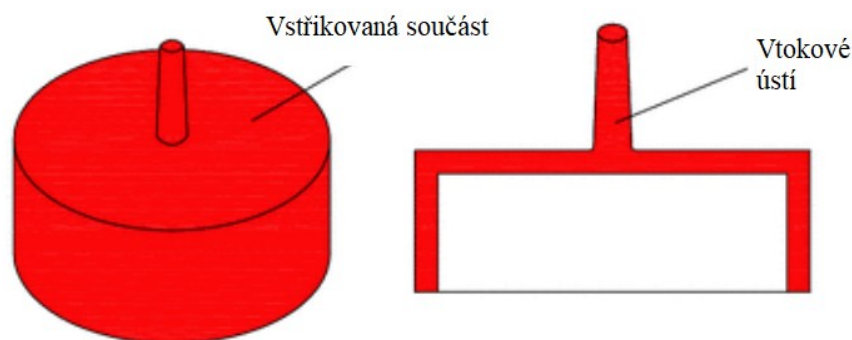
5.4 Typy vtoků

Vtoky společně s vtokovým systémem mají za úkol dostat taveninu polymeru ze vstřikovací jednotky do dutiny formy co nejkratší dráhou za co nejmenších ztrát teploty a tlaku. [17]

Vtoky lze obecně rozdělit na 2 typy. Mezi 1. typ patří vtoky, které zatvrdnou na součásti a je nutné je následně odstranit. 2. typem jsou poté vtoky, které se od výrobku automaticky odstraní. [17]

5.4.1 Plné kuželový vtok

Prvním a také nejjednodušším typem manuálně odstraňovaného vtoku je plné kuželové vtok. Tento typ vtoku je konstrukčně velice jednoduchý, ale jeho následné odstranění z části může být velice finančně náročné, proto se nyní využívá pouze ve speciálních případech. [17]



Obrázek 19 Princip plného kuželového vtoku

(zdroj: [17])

5.4.2 Bodový vtok

Bodový vtok pro svou správnou funkci potřebuje relativně velkou předkomůrku a samotné vtokové ústí by svou výškou a průměrem nemělo přesáhnout velikost 1 mm. Velikost předkomůrky je také velice důležitá, protože u nedostatečných velikostí může dojít k zatuhnutí taveniny ve vtokovém ústí. [17]

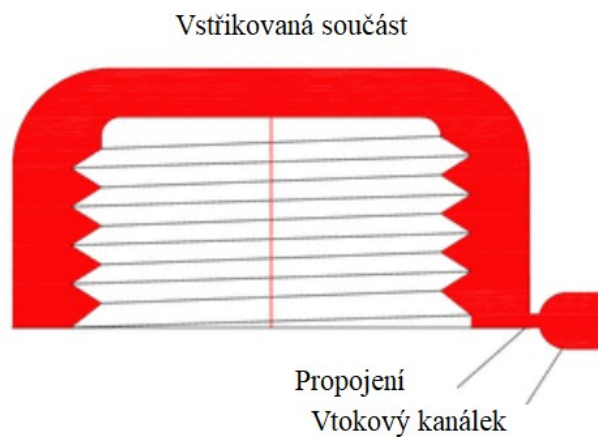


Obrázek 20 Princip středěného bodového vtokového ústí

(zdroj: [17])

5.4.3 Boční vtok

Boční vtok se většinou využívá pro formy s větší násobností, vtokový zbytek se obvykle neodstraňuje a zůstává připojený k součásti. Tento typ vtoku se většinou využívá např. pro výrobu součástí miniaturních modelů. [17]

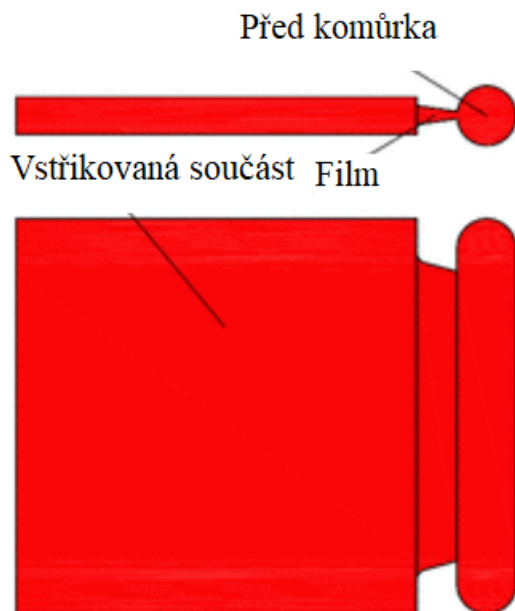


Obrázek 21 Princip bočního bodového vtoku

(zdroj: [17])

5.4.4 Filmový vtok

Filmový vtok je vhodné využít pro velké tenkostěnné součásti kde je nevhodné mít studené spoje. Filmový vtok umožňuje rovnoměrné rozložení taveniny po celé dutině formy. Při použití filmového vtoku je smrštění skoro zcela rovnoměrné a objevují se pouze malé deformace. Vtokové zbytky se na povrchu součásti neobjevují. [17]



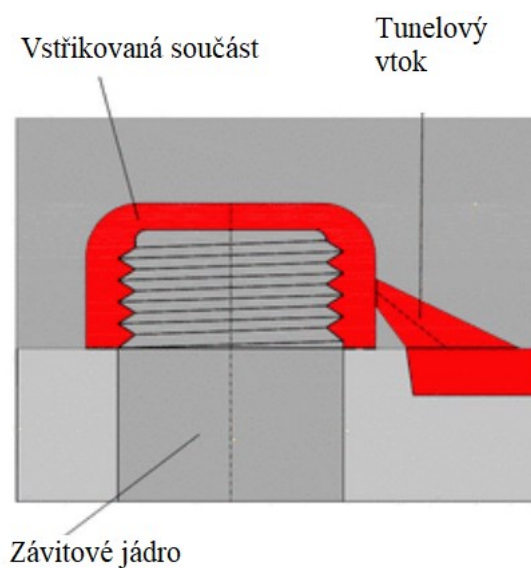
Obrázek 22 Princip filmového vtoku

(zdroj: [17])

Použitím placatého filmového vtoku je šance, že vznikne jednostranné zatížení uzavírací síly. Této nevýhodě se dá však vyhnout využitím formy s vyšší násobností. Filmové vtoky jsou obecně využívány hlavně pro výrobky, kde je potřeba zajistit co nejnížší smrštění a deformace. [17]

5.4.5 Tunelový vtok

Tunelový vtok patří mezi typ vtoků, které se při otevření formy automaticky oddělí od součásti. Tento typ vtoku je velice starý, ale stále je velice populární. Využívá se hlavně kvůli své cenové efektivitě. [17]



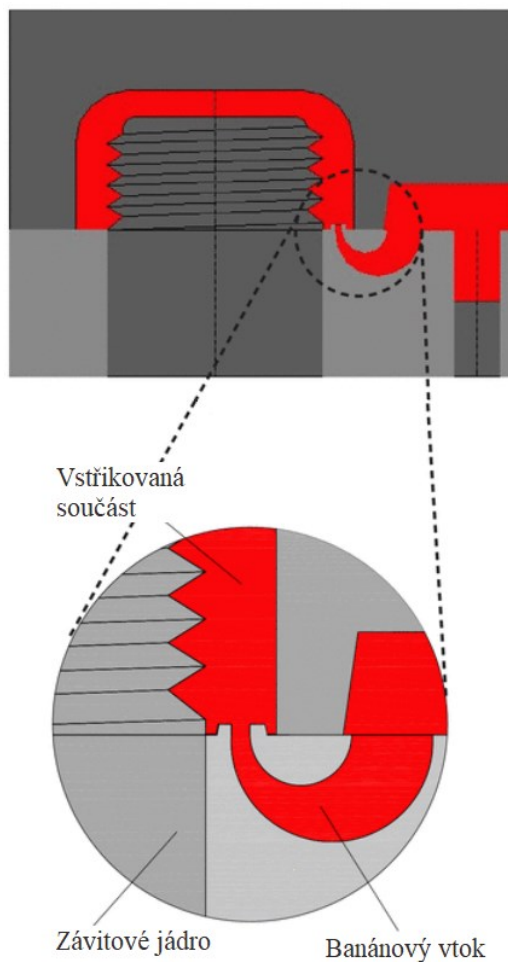
Obrázek 23 Princip tunelového vtoku

(zdroj: [17])

Tunelový vtok se hlavně využívá pro vícenásobné formy pro vstřikování malých součástek. Systém oddělování vtokového zbytku tunelového vtoku je jediný, který ke svému oddělení potřebuje pouze jednu dělicí rovinu. [17]

5.4.6 Banánový vtok

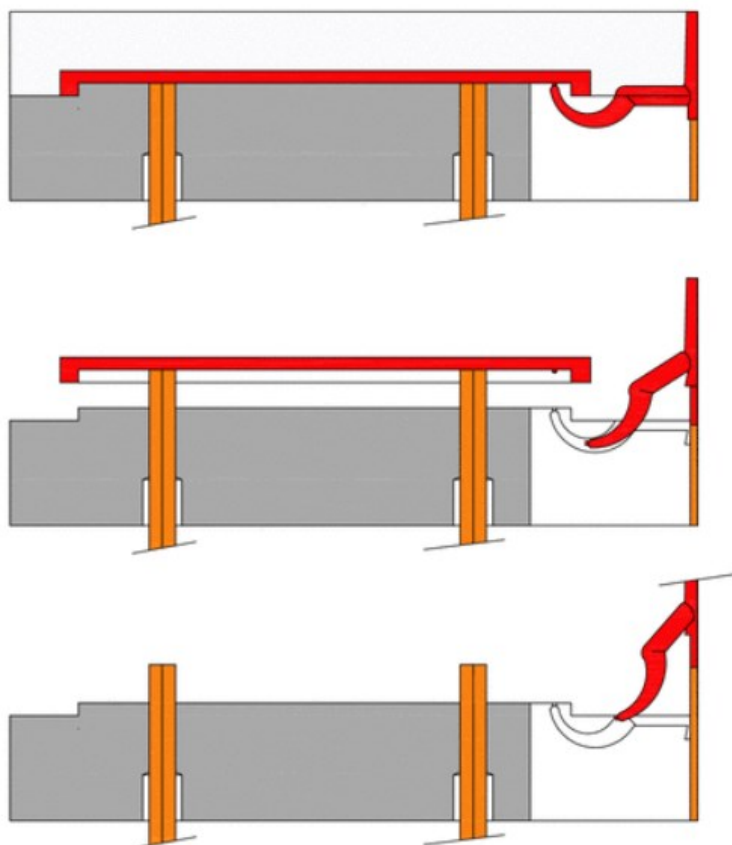
Banánový vtok, podobně jako vtok tunelový je využíván pouze v případech, kdy je nežádoucí viditelnost místa vtoku. Tento typ vtoku je velice drahý a lze použít pouze s pevnými a ohebnými polymery. Tyto polymery nesmí být vyztuženy skelnými vlákny. [17]



Obrázek 24 Princip banánového vtoku

(zdroj: [17])

Vyhazovače by měly být připevněny v blízkosti ,banánu', který nadzvedává vtok, pro možnost odšroubování součásti při vyhození. Protože se banánový vtok vždy nemůže odtrhnout bez zanechání zbytku, měla by být oblast, která bude následně odřezávána umístěna v sníženém místě. [17]



Obrázek 25 Banánový vtok s vyhazovači

(zdroj: [17])

5.5 Vtokové systémy

Pro dopravu taveniny do formy z plastikační jednotky se využívají vtokové vložky. Podle násobnosti formy může poté tavenina přímo vtékat do dutiny formy přes vtokové ústí (v případě násobnosti formy rovné 1) anebo u násobnosti 2 a více protékat přes vtokové kanálky a až poté přes vtokové ústí vtéct do dutiny formy. [18]

Obecně můžeme vtokové systémy dělit na studené a horké. Studené poté můžeme dělit na jednoduchý (dvoudeskový) systém nebo na třídeskový systém. [18]

5.5.1 Dvoudeskový vtokový systém

Výhody dvoudeskového vtokového systému spočívají v jeho jednoduchosti a nízké ceně. Jeho nevýhodou jsou však delší vstřikovací cykly a větší ztráty energie kvůli nutnosti ochlazení polymeru ve vtokových kanálcích. I přes tyto nevýhody patří dvoudeskový systém mezi nejvyužívanější typy vtokových systémů. [18]

5.5.2 Třideskový vtokový systém

Jednou z největších výhod třideskového vtokového systému je jeho automatické oddělení vtokového zbytku od výrobku, čehož dosahuje za využití dvou dělících rovin. Nevýhodou tohoto systému je jeho složitost a cena. [18]

5.5.3 Horké vtokové systémy

Horké vtokové systémy zajišťují uchování teploty taveniny při jejím průtoku přes formu až k vtokovému ústí. Horké vtokové systémy mohou mít vtokové ústí ve dvou variantách, a to buď otevřené vtokové ústí nebo vtokové ústí s klapkou. Otevřené vtokové ústí musí při otevření formy zamrznout, aby nedocházelo k vykapávání taveniny. Po uzavření musí být vstřikovací tlak schopen vytlačit zamrzlou taveninu z vtokového ústí. Vtokové ústí s klapkou je možné otevírat mechanickým, případně i elektrickým systémem. Vtokové ústí s klapkou jsou však dražší a bývají obecně větší než otevřené vtokové ústí. Výhodou horkých vtokových systémů je jejich vyšší produktivita, protože se zde neobjevuje vtokový zbytek. Nevýhodou je však vyšší cena pro výrobu formy, která je však porovnatelná s cenou třideskového systému. Další nevýhodou je vyšší citlivost systému na nečistoty vyskytující se v plastu. [18]

5.6 Temperace

Temperace formy a její produktivita jsou velice úzce propojeny. Při vstřikování se polymer zahřívá ve vstřikovacím stroji na svou teplotu tavení. Po vstříknutí do formy musí být polymer ochlazen na teplotu, kdy je dostatečně tvrdý pro možnost následného vyjmutí z formy. Temperace se ve vstřikovacích formách využívá obvykle ke zkrácení procesu chlazení, udržováním formy na určité teplotě. [18]

Pro temperaci existuje několik pravidel, které slouží k usnadnění návrhu temperace. [18]

Pravidlo 1: Pouze pohybující se temperační kapalina je efektivní pro odstraňování tepla.[18]

Pravidlo 2: Množství odstraněného tepla závisí na objemu temperační kapaliny, která protéká přes tvárník nebo tvárnici. Čím rychleji protéká, tím lepší je temperační efekt. [18]

Pravidlo 3: Temperační kapalina by měla téct turbulentním tokem. Turbulentní tok zajišťuje, víření kapaliny uvnitř temperačních kanálků, což zajišťuje lepší odvod tepla ze stěn kanálků. [18]

5.7 Vyhazovací systémy

Po dostatečném zatuhnutí vstříkované součásti je nutno ji odstranit z formy, což mají za úkol vyhazovací systémy. Vyhazovací systémy jsou většinou poháněny mechanicky, pokud to však nestačí, lze využít i vyhazovací systémy poháněné hydraulicky nebo pneumaticky. [19]

Pro vyhazování součásti se používají různé typy komponent, které bývají umístěny mezi vyhazovacími deskami. Mezi nejvyužívanější komponenty pro vyhazování patří vyhazovače. Vyhazovače můžeme obecně dělit na vyhazovače válcové, vyhazovače prizmatické a vyhazovače trubkové. Jako obecné pravidlo platí, že díra pro vyhazovač by měla být až po přibližně posledních 10 mm volná pro snížení opotřebení vyhazovače a ceny výroby formy. [15]

5.7.1 Válcové vyhazovače

Válcové vyhazovače jsou obvykle vyráběny z oceli a po jejich výrobě bývají nitridovány a leštěny. Tyto vyhazovače se dají objednat jako normalizované komponenty od řady dodavatelů a jejich běžný průměr bývá od 1 mm až po 25 mm v délkách od 150 mm až po 500 mm s možností zaříznutí dle potřeby. Pro zamezení vzpěru vyhazovačů je však doporučováno nevyužívat vyhazovače o malých průměrech a velkých délkách. [15]



Obrázek 26 Příklad válcového vyhazovače
(E 1710) od firmy Meusburger

(zdroj:[20])

5.7.2 Prizmatické vyhazovače

Pro vyhození částí, které obsahují žebrovaní je výhodné použít prizmatické vyhazovače. Tento typ vyhazovače je rozdílný od vyhazovače válcového svým tvarem, kdy je část jeho čela je upravena do tvaru obdélníku. [15]



Obrázek 27 Příklad prizmatického vyhazovače
(E 1725) od firmy Meusburger

(zdroj: [20])

5.7.3 Trubkový vyhazovač

Trubkový vyhazovač, je typ vyhazovače, který působí na povrch součásti plošně. Trubkový vyhazovač je dutý, proto je potřeba jej využívat s dalším vyhazovačem, který bude sloužit jako jádro. Toto jádro bývá obvykle tvořené z více tepelně vodivého materiálu např. z mědi. [15]



Obrázek 28 Příklad trubkového vyhazovače (E 1720)
od firmy Meusburger

(zdroj: [20])



Obrázek 29 Příklad jádra trubkového vyhazovače (E 1780)
od firmy Meusburger

(zdroj: [20])

5.7.4 Stírací desky

Stírací desky fungují na podobném principu jako trubkové vyhazovače a to tak, že působí na celou plochu výrobku. Rozdílem mezi trubkovým vyhazovačem a stírací deskou je však velikost plochy na kterou tyto komponenty působí. Dalším výrazným rozdílem je samotný tvar komponent. Stírací desky se obvykle vkládají místo levé kotevní desky mezi levou opěrnou desku a kotevní desku pravou. Pomocí stírací desky je vytvořena vedlejší dělicí rovina, která svým otevřením vyjme výrobek z tvárníku. [19]

5.8 Odvzdušnění

Při vstřikování plastu, musí tavenina vytlačit vzduch z dutiny formy. Pokud se vzduch z formy nevytlačí, forma nebude zcela zaplněna. Další jev, který může nastat je, že přílišným stlačením vzduchu se vzduch může zahřát a začne pálit vstřikovaný materiál. Složky tohoto materiálu se mohou začít rozpouštět a může dojít k poškození dutiny formy. [19]

Většina forem nepotřebuje žádné speciální odvzdušňovací elementy, protože vzduch má většinou dostatečně velký prostor opustit dutinu formy podél vyhazovačů. Vzduch také může opouštět dutiny formy přes dělicí rovinu. Pro zlepšení úniku vzduchu přes dělicí rovinu může být dělicí rovina radiálně broušena. Pokud je toto odvzdušňování nedostačující lze využít odvzdušňujících kanálků které mají dostatečně malý průměr na to, aby jimi tavenina neprotekla, ale stále dostatečně velký pro odstranění vzduchu z dutiny formy. [19]

Následky nesprávného odvzdušnění formy se projevují na výrobku, na formě, a i na celkovém vstřikovacím procesu. [19]

Mezi defekty, které se mohou objevit na součásti způsobené špatným návrhem odvzdušnění patří: spáleniny na výrobku, povrchové defekty, posunuté studené spoje, kapsy, nezaplnění formy atd. [19]

Defekty, které se mohou objevit na formě v důsledku špatného odvzdušnění mohou být: škrábance na formě, zkorodované části formy a zašpinění. [19]

Vlivy špatného odvzdušnění na proces mohou být: nepravidelnost procesu, delší vstřikovací cyklus, snížená životnost vstřikovacího stroje, delší rozběhová doba, potřeba využití více tlaku, větší energetická náročnost. [19]

5.9 Materiál pro výrobu formy

Pro výrobu vstřikovacích forem se využívají převážně kovy, specificky oceli. Rámy formy jsou skoro vždy vytvořeny z oceli, tvarové části formy se však dají vyrábět i z jiných kovů či nekovů. Tyto materiály se většinou využívají pro typy výrobků, které mají příliš složitý tvar. [19]

Vstřikovací forma se obvykle skládá z jednotlivých komponent, jejíž funkce ve formě vyžaduje určité vlastnosti, a proto je důležité pro ně zvolit vhodný materiál. Tvarové části dávají výslednému výrobku tvar a povrch, proto je zcela logické, že je nutné těmto komponentám věnovat zvýšenou pozornost v rámci volby materiálu a manipulace s nimi. [19]

Volba materiálu pro tvarové části závisí na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří ekonomická hlediska, tvar a typ výrobku a jeho použití a také např. specifické vlastnosti materiálu formy. Pro vhodný výběr materiálu formy je nutné se zaměřit na design a požadované vlastnosti výrobku a přednostně určit jeho materiál. Volbou materiálu výrobku je možno určit požadavky na dutinu formy např. nejmenší rozměry dutiny, opotřebení při zapojení ve výrobě a požadavky na povrch. Trh také určuje počet výrobků, které musí být celkově vyrobeny, což slouží k určení minimální životnosti formy a přiměřených nákladů na její výrobu. Z těchto požadavků lze také určit nároky na teplotní, mechanické a metalurgické vlastnosti. Často však musí být vytvořen kompromis kvůli protichůdným nárokům. [19]

5.9.1 Oceli

Oceli jsou většinou jediným typem materiálu, který dokáže zajistit spolehlivě funkční formy s dlouhou životností, za předpokladu že je zvolena vhodná třída oceli s vhodným tepelným zpracováním. [19]

Od ocelí jsou očekávány tyto vlastnosti: obrobitelnost, možnost bezproblémové tepelné úpravy, vyhovující houževnatost a tvrdost, odolnost vůči tepelným vlivům a opotřebení, vysoká teplotní vodivost a odolnost vůči korozi. [19]

Tvaru povrchu je dosaženo pomocí frézování, tento proces je velice časově náročný a vyžaduje drahé stroje. Po vytvarování povrchu je většinou nutné ještě upravit povrch, což vytváří další náklady pro výrobu. Pro umožnění obrábění oceli po tepelném zpracování se do těchto ocelí přidává 0,06 % až 0,1 % síry. Vyšší procento síry může způsobit nevyžádané vlastnosti, které mohou převažovat pozitivně lepší obrobitelnosti. Oceli s vysokým obsahem síry se nedají leštit tak dobře jako oceli bez síry. Tyto oceli také nelze opravit pomocí sváření. Pro obrobení oceli, které neobsahují síru lze použít metodu EDM. [19]

5.9.2 Oceli pro lití

Vytváření forem může být drahé, kvůli vysokým nákladům na obrábění a cenám zařízení. Ztráty na materiálu obráběním můžou pro velké výrobky vyšplhat až na 50 % celkového materiálu. Některé nároky na povrch výrobku nelze splnit pomocí konvenčního obrábění. Tento problém lze vyřešit pomocí přesného lití. [19]

6 KONSTRUKCE VÝROBKU

Při návrhu jakéhokoliv výrobků je nutné brát ohled na limitace dané výrobní metody. U vstřikování je nutné zajistit pomocí tvaru správné odformování, vyhození a pevnost výrobku. [6]

6.1 Materiál výrobku

Oproti materiálům jako jsou například kovy jsou polymery velice citlivé na změny teploty. Tyto změny jsou schopny způsobit výrazné změny jak v rozměrech, tak i v mechanických vlastnostech materiálu. Polymerní materiály, které mají dobrou rozměrovou stabilitu mají obecně i nízký koeficient tepelné roztažnosti a dobré mechanické vlastnosti (např. nízký creep) ve velkém rozmezí teplot a relativních vlhkostí v závislosti na využití. Protože většina materiálových vlastností závisí na teplotě je nutné brát ohled jak na nízké, tak i vysoké teplotní extrémy spojené s využitím daného výrobku. [21]

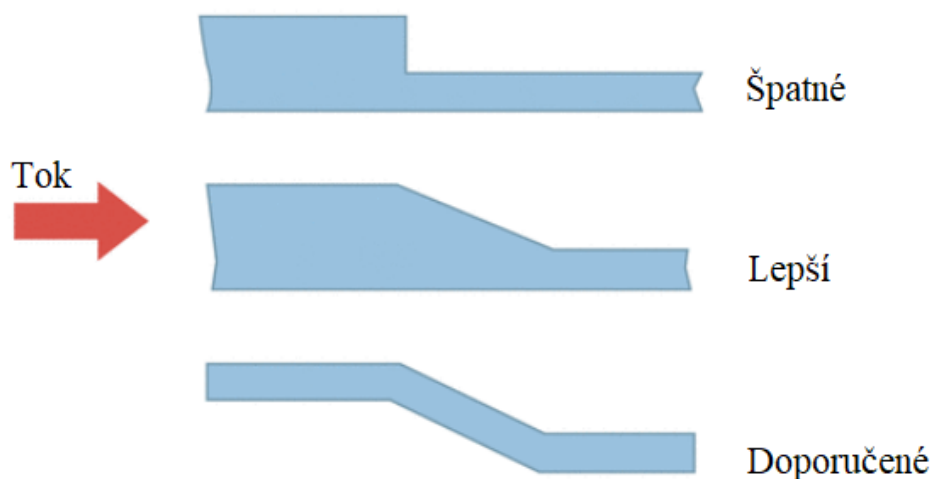
Po specifikování požadovaných vlastností od daného výrobku, lze pro něj začít hledat vhodný materiál. Výběr materiálu spočívá v porovnávání materiálových vlastností s požadovanými vlastnostmi výrobku. Díky čírému množství polymerních materiálů je pravděpodobné, že bude nalezen alespoň jeden materiál, který bude splňovat požadované vlastnosti. Obecně je však vhodné si zvolit alespoň dva materiálové kandidáty. [21]

Je obecně vhodné se zaměřit na vlastnosti, které nemohou být zlepšeny pomocí návrhu výrobku. Mezi tyto vlastnosti patří např. koeficient teplotní roztažnosti, průhlednost, odolnost vůči chemikáliím. Zaměřením se na tento typ vlastností je relativně jednoduché si zmenšit počet materiálových kandidátů pro daný výrobek. Co však může výběr materiálu ztížit je zahrnutí laků a přísad do výběru. Pomocí laků je možné upravit některé vlastnosti daného materiálu, jako např. chemickou odolnost, odolnost proti poškrábání, odolnost proti UV záření a obecný vzhled součástí. Použitím laků lze využít materiál, který by za jiných okolností nebyl svými vlastnostmi vhodný pro daný účel. Přísady mohou také hodně zkomplikovat volbu materiálu, protože jejich správným implementováním lze odstranit některé nevyžádané vlastnosti daného materiálu. [21]

6.2 Náležitosti výrobku

Důležitým požadavkem na výrobek jsou stejné a tenké stěny na výrobku. Výrobky s rozdílnými tloušťkami nebo velkými tloušťkami stěn mohou trpět na deformace a může být složité dodržet stanovený tvar výrobku. Tlusté stěny nezapříčiňují pouze vnitřní smrštění, propadliny a díry ve výrobku, ale i nerovnoměrné smrštění které může způsobit neočekávané změny tvaru a vysoké deformace. [6]

Pokud je nezbytně nutné, aby výrobek neměl stejně tlusté stěny je doporučeno zajistit pozvolnou změnu tvaru. [5]

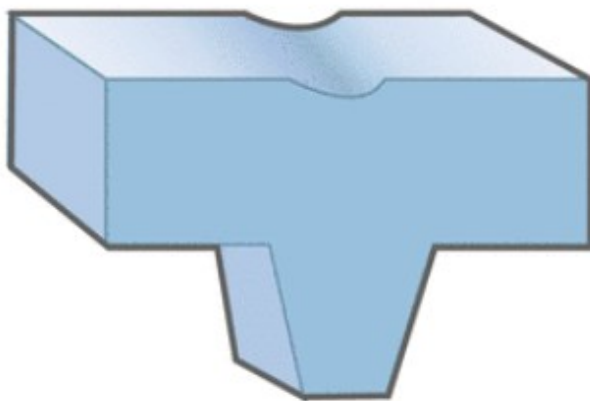


Obrázek 30 Doporučený design tloušťek na součásti

(zdroj: [5])

Při návrhu výrobku je důležité využívat zkosení a zaoblení, protože ostré rohy jsou oblasti nejvyššího soustředění napětí. [5]

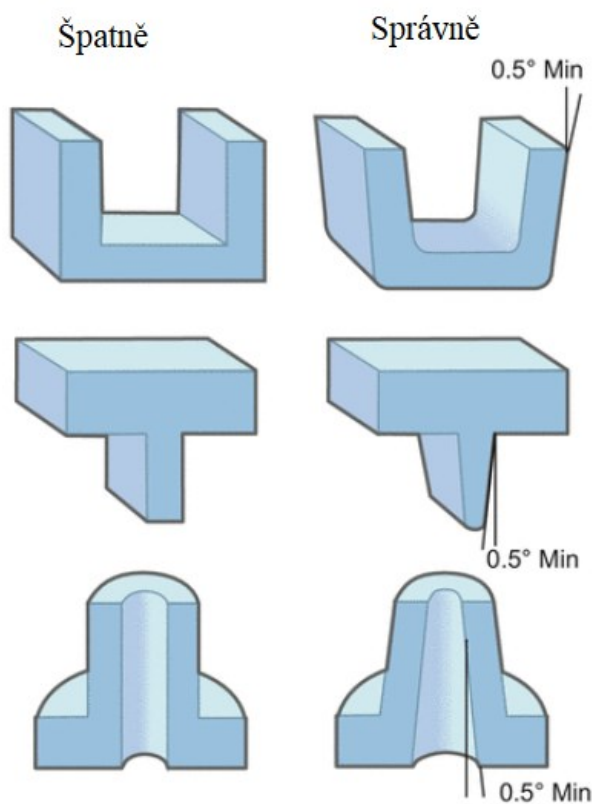
Nejčastější defekt, který vzniká při použití žebířek jsou propadliny. Tato chyba vzniká, protože při použití tlustých žebířek je odvod tepla pomalejší než odvod tepla ze stěny. Proto je doporučeno, aby byla tloušťka žebířky menší než půlka tloušťky stěny. [5]



Obrázek 31 Propadlina vznikající
naproti žeburu

(zdroj: [5])

Pro snížení tření mezi součástmi a formou při jejím otevírání je nutné zajistit zkosení na žebrech. Obecně lze říct, že čím větší je úhel zkosení, tím menší je odpor při odformování. Doporučený minimální úhel zkosení je $0,5^\circ$. [5]



Obrázek 32 Doporučené zkosení

(zdroj: [5])

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

1. Zpracovat literární studii zabývající se daným tématem
2. Vyhотовit model zadaného vstřikovaného výrobku
3. Provést konstrukční návrh sestavy vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu
4. Vytvořit sestavu vstřikovací formy spolu s kusovníkem a danými pohledy

V teoretické části byly shrnuty základní znalosti o vstřikovacím procesu, materiálové vlastnosti a jejich volba, informace o vstřikovacích strojích. Nejdůležitější kapitolou však byla kapitola zabývající se obecnými náležitostmi formy.

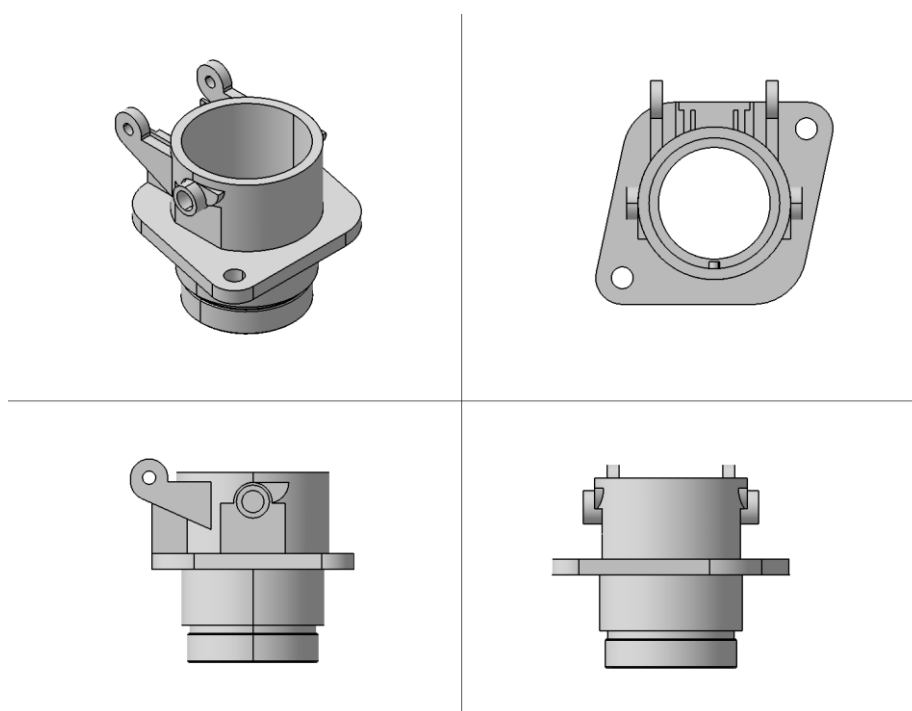
Cílem praktické části je vytvořit návrh vstřikovací formy, která bude splňovat všechny stanovené výrobní požadavky. Pro samotnou konstrukci formy byly využity stránky Meusburger, specificky průvodce stavbou forem. Pro konstrukci výrobku a tvarových částí a dokončení formy byl využit program CATIA P3 V5-62020 a jeho katalog normalizovaných součástí.

8 NÁVRH VÝROBKU

Návrh výrobku je jednou z nejdůležitějších částí designu formy, neboť dle něj je poté celá forma koncipovaná.

8.1 Konstrukce výrobku

Po zvolení výrobku pro tvorbu formy, byl výrobek změřen a vymodelován v 3D softwaru (CATIA). Kvůli tomu, že výrobek byl již vyráběn byla snaha zachovat původní rozměry a geometrie dle předlohy.



Obrázek 33 Model výrobku v programu CATIA

(zdroj: vlastní)

8.2 Výběr materiálu

Pro materiál byli zvoleni 2 kandidáti, PA 66 vyztužený skelnými vlákny a ABS.

PA 66 vyztužený vlákny má výborné tuhost i za vyšších teplot, jeho odolnost vůči rázům, jeho nevýhodou je ale vyšší navlhavost a díky vyztužení skelnými vlákny má vyšší viskozitu.

ABS má výborné odolnosti vůči rázům a skvělé izolační vlastnosti, malou navlhavost a výbornou tvarovou stabilitu.

Z důvodu složitějších podmínek pro vstřikování a obecně více vhodných materiálových byl místo PA 66 vyztuženého skelnými vlákny zvolen ABS.

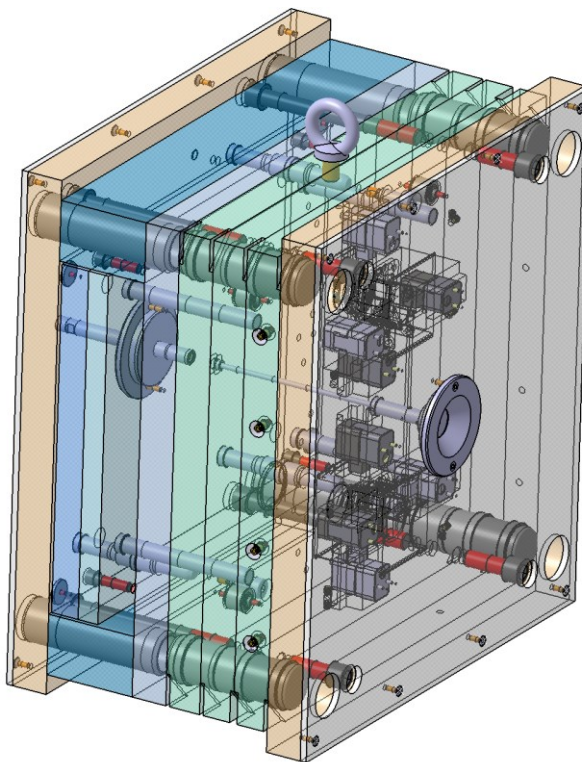
9 NÁVRH FORMY

Návrh formy může být složitou částí procesu navrhování, lze jej však výrazně ulehčit využitím normálí a designerů na webových stránkách výrobců. Obecně je nutné se při návrhu formy zabývat: velikostí a konfigurací formy, návrhem tvárníků a tvárnice, vyhazovacím systémem, temperací a vtokovým systémem.

9.1 Rám a komponenty formy

Rám formy byl vytvořen za pomoci průvodce tvorbou forem na stránkách Meusburger. Základem formy byl zvolen třídeskový systém s velikostí upínacích desek 646x596 mm. Tloušťka desek byla zvolena dle jejich dané funkce. Komponenty jako jsou např. středící kolíky, středící pouzdra, středící trubky, šrouby a dorazové podložky. Další vygenerovanou částí formy byly izolační desky, které byly vygenerovány s dírami pro upevnění.

Ostatní komponenty jako vodící kolíky, vodící pouzdra, vtoková vložka, přidržovač vtoku, středící kroužky atd. byly přidány přes program CATIA P3 V5-62020 za pomoci vbudovaného katalogu.

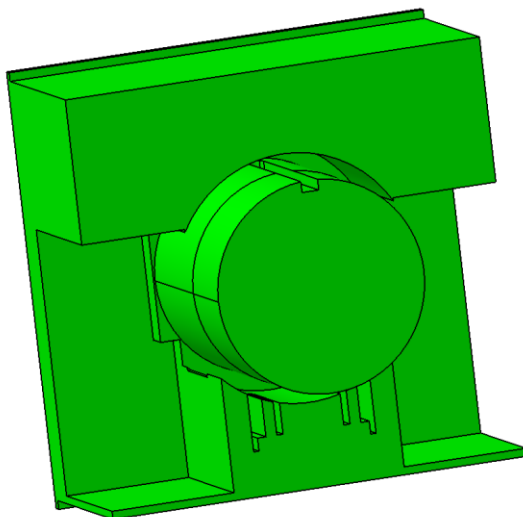


Obrázek 34 Sestava formy

(zdroj: vlastní)

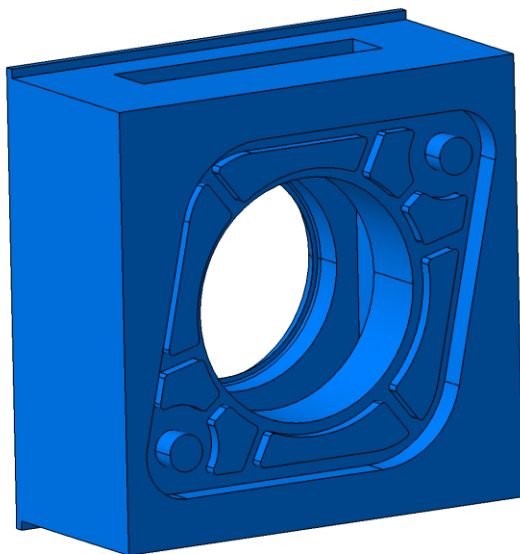
9.2 Návrh tvárníku a tvárnice

Kvůli tvarové složitosti výrobku bylo zvoleno 5 dělicího rovin. Tvarové části výrobku se skládají z tvárníku, tvárnice, jádra. Pro zamezení vypadnutí z formy je jádro přišroubováno k 2. opěrné desce levé pomocí šroubů.



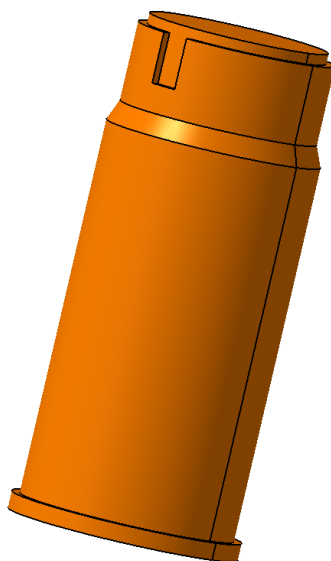
Obrázek 35 Tvárnice

(zdroj: vlastní)



Obrázek 36 Tvárník

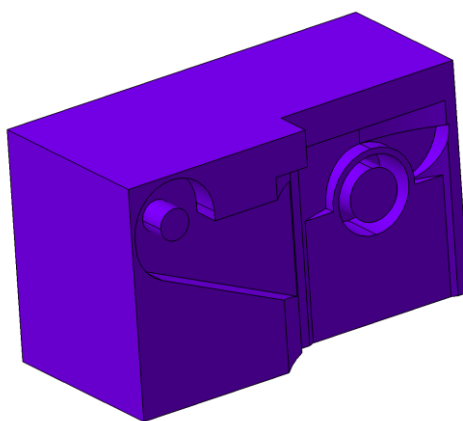
(zdroj: vlastní)



Obrázek 37 Jádro

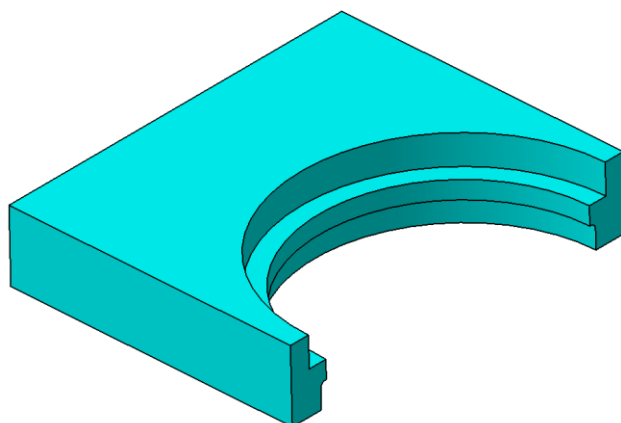
(zdroj: vlastní)

Pro vytvarování složitějších oblastí výrobku byly vytvořeny 2 typy vedlejších tvarových částí, vedlejší tvárník a vedlejší tvárnice. Tyto vedlejší tvarové části jsou symetrické a od každého typu jsou na jeden výrobek použity dvě.



Obrázek 38 Vedlejší tvárnice

(zdroj: vlastní)



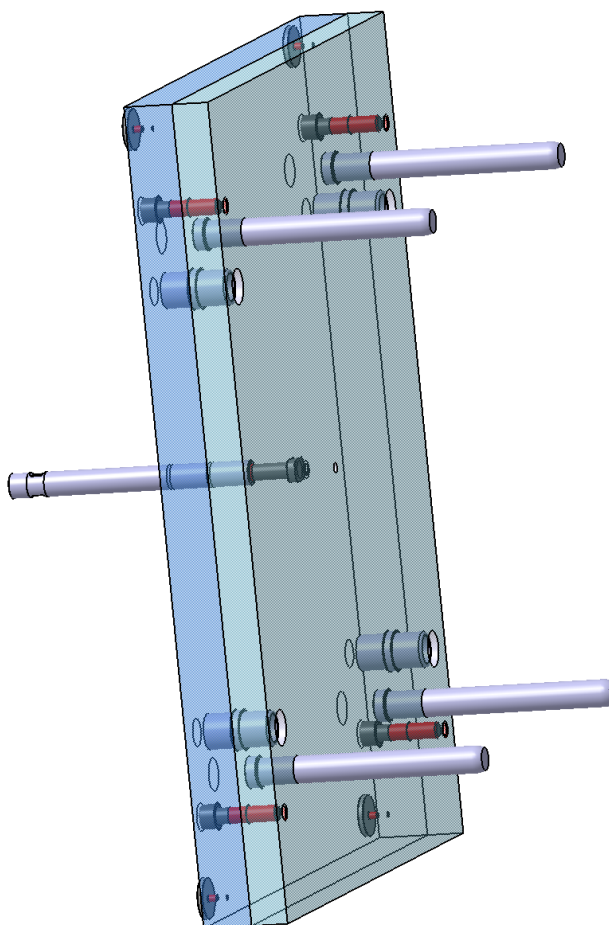
Obrázek 39 Vedlejší tvárník

(zdroj: vlastní)

Pro vysunutí vedlejších tvárníků a tvárnic byl použit systém posuvných jednotek (Z181) opřených o opěrné díly posuvné jednotky (Z1810) od firmy HASCO. Posuvné jednotky jsou přišroubovány ke stírací desce a opěrné díly posuvné jednotky jsou přišroubovány k desce upínací. Pohyb těchto jednotek je závislý na otevření dělicí roviny.

9.3 Vyhazovací systém

Pro jednoduché odformování a zamezení vzniku stop po vyhazovačích byla pro vyhazovací systém zvolena stírací deska. Pohyb stírací desky byl zajištěn pomocí vodících kolíků. Pro zamezení předběžného otevření vedlejší dělicí roviny byly využity kuličkové unašeče od firmy Meusburger za kombinace se šrouby, které po určitém pootevření dělicí roviny zajistí otevření dělicí roviny vedlejší. Pro zamezení vypadnutí tvárníku při otevření vedlejší dělicí roviny je tvárník přišroubován ke stírací desce.

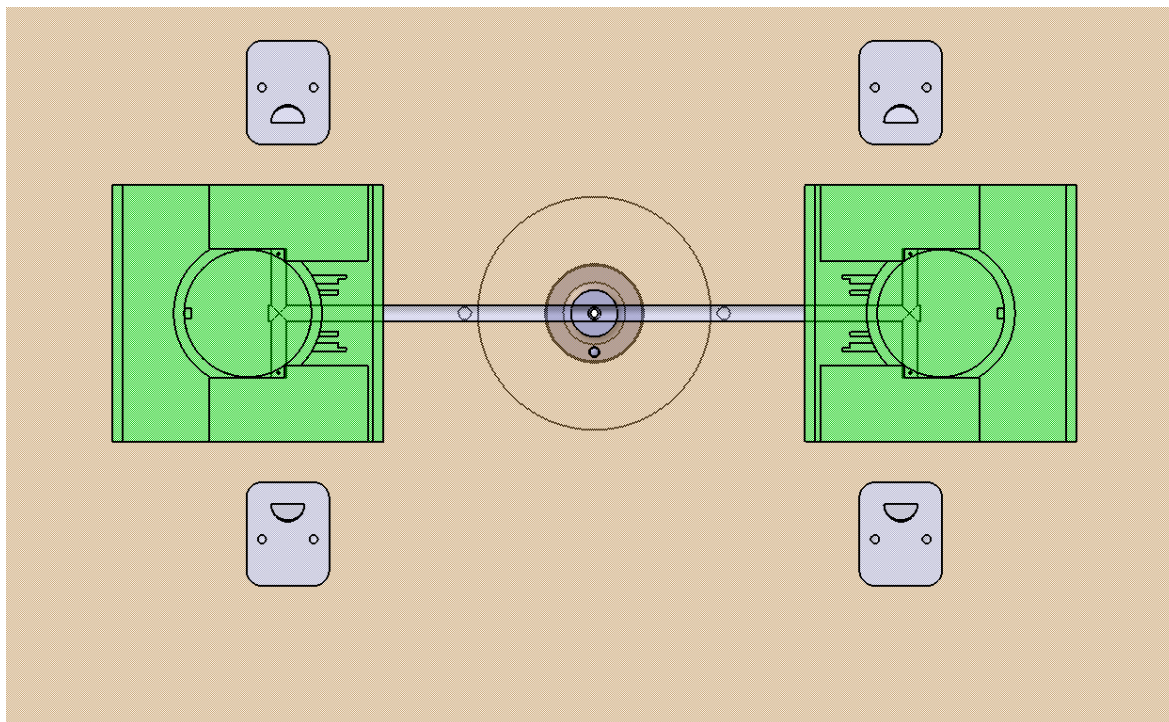


Obrázek 40 Vyhazovací systém

(zdroj: vlastní)

9.4 Temperace

Ve formě se vyskytují 2 na sobě nezávislé temperační systémy, pro každý výrobek zvlášť. Průměr temperačního kanálku je 8 mm. Pro zaslepení vrtaných děr byly využity zálepky od firmy Meusburger. Pro zapojení celého temperačního systému byly využity přípojky od rovněž firmy.



Obrázek 42 Vtokový systém

(zdroj: vlastní)

9.6 Odvzdušnění

Pro systém odvzdušnění nebylo potřeba vyvrtávat odvzdušňovací kanálky, protože je předpokládáno, že plyny a vzduch, které se budou vyskytovat v dutině formy budou schopny unikat přes dělící rovinu. Plyn či vzduch bude také schopen unikat mezi tvarovými vložkami.

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Dle velikosti formy a požadavků ze strany výrobku byl zvolen vstřikovací stroj e-motion 220 TP WP.



Obrázek 43 Obrázek vstřikovacího stroje e-motion

(zdroj: [22])

Základní parametry stroje:

Uzavírací síla	2200 kN
Vzdálenost mezi vodícími tyčemi	650 x 650 mm
Průměr šneku	40 mm
Vstřikovací jednotka	465

11 CATIA

Catia je 3D modelovací software, který obsahuje mnoho různých pracovních modulů, které nabízí řadu různých možností, od tvorby těles ve 3D až po návrh ergonomičnosti.

11.1 Mold tooling design

Mold tooling design je jeden z pracovních modulů, který umožňuje vytvářet vstřikovací formy přímo v programu. Tento pracovní prostor je schopen generovat formu různých typů od několika dodavatelů bez nebo i s komponenty. Také výrazně usnadňuje vkládání komponent od různých dodavatelů pomocí různých typů funkcí navázaných na vnitřní katalog.

Při vkládání komponent je pro ně schopen tento modul vygenerovat instalační prostory, a při změně či editaci dané komponenty je schopen tento instalační prostor i aktualizovat.

ZÁVĚR

Na základě designu zvoleného výrobku a násobnosti byla vytvořena sestava vstřikovací formy za pomoci programu CATIA P3 V5-62020.

Typ a konstrukce formy vychází z velikosti a tvaru zadané součásti. Kvůli složitosti výrobku byl zvolen typ odformování pomocí posuvných jednotek, které jsou poháněny za pomoci otevření formy. Pro vyhození výrobku byla použita stírací deska, která je operována použitím vodících kolíků navázaných na vyhazovací desky. Návrh temperace proběhl relativně bezproblémově za vytvoření 2 temperačních okruhů, 1 pro každý výrobek.

Výsledným výstupem této bakalářské práce jsou 2 výkresy. Výkres sestavy formy a výkres výrobku, které jsou dodány v příloze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Online. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0. Dostupné z: https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7080-788-0. [cit. 2024-11-10].
- [2] SHRIVASTAVA, Anshuman. *Introduction to Plastics Engineering*. Online. 2018. Elsevier, 2018. ISBN 978-0-3233-9619-6. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIPE00023/toc?cid=kpIPE00023>. [cit. 2024-11-17].
- [3] STRITZKE, Bernie. *Custom molding of thermoset elastomers: a comprehensive approach to materials, mold design, and processing*. Online. Munich: Hanser Publishers, c2009. ISBN 978-1-56990-467-1. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpCMTEACA1/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [4] STOKES, Vijay Kumar. *Introduction to Plastics Engineering*. Online. 2020. John Wiley, 2020. ISBN 978111953654. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIPE0003L/toc>. [cit. 2024-11-17].
- [5] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang. *Molding simulation: theory and practice*. Online. 2nd Edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-884-6. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpMSTP0013/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [6] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook : for injection molding of thermoplastics*. Online. 2006. Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpCPDHFIM1/toc>. [cit. 2024-11-17].
- [7] BRUDER, Ulf. *User's guide to plastic*. Online. 2019. Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-5231-3618-6. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpUGPE0007/toc?cid=kpUGPE0007>. [cit. 2024-11-17].

- [8] CZEPIEL, Mateusz; BAŃKOSZ, Magdalena a SOBCZAK-KUPIEC, Agnieszka. *Advanced Injection Molding Methods: Review*. Online. *Materials*. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16175802>. [cit. 2024-10-29].
- [9] KOÇ, Muammer a ÖZEL, Tuğrul (ed.). *Modern manufacturing processes*. Online. Hoboken: Wiley, 2020. ISBN 978-1-118-07192-2. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpMMP00011/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [10] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Online. 2nd edition. Munich: Hanser publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-834-1. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMATGE02/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [11] HARPER, Charles A. (ed.). *Handbook of Plastic Processes*. Online. Hoboken: Wiley, 2006. ISBN 9780471662556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/0471786586>. [cit. 2024-12-15].
- [12] HELŠTÝN, Josef a MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení: určeno pro posl. fak. technologické*. 2006. Učební texty vysokých škol. Brno: VUT, 1990. ISBN 80-214-0213-X. Dostupné také z: <http://kramerusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:e21dbcc0-5a1c-11e2-bcaf-005056827e52>.
- [13] ERNE, Burkhard. *Injection Molding Machines Benefit from Technology-Neutral Design Approach*. Online. MOOG INC. Moog. C2025. Dostupné z: <https://www.moog.com/news/ideas-in-motion-control/2014/10/injection-molding-machines-benefit-from-technology-neutral-design-approach.html>. [cit. 2025-05-04].
- [14] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Online. Munich: Hanser publications, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPIMSMRB7/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [15] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMDE0011/toc>. [cit. 2025-05-10].

- [16] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection mold design handbook*. Online. Munich: Hanser, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMDH0003/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [17] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding injection molds*. Online. 2nd ed. Munich: Hanser, c2013. ISBN 978-1-56990-527-2. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpUIME0002/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [18] REES, Herbert. *Understanding injection mold design*. Online. Hanser Publishers, 2001. ISBN 978-3-446-40183-9. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpUIMD0002/toc?cid=kpUIMD0002>. [cit. 2025-05-04].
- [19] MENGES, Georg; MICHAELI, Walter a MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. Online. 3rd ed. Munich: Hanser, c2001. ISBN 3-446-21256-6. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds>. [cit. 2025-05-10].
- [20] *Meusburger*. Online. C2025. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/en-gb>. [cit. 2025-05-06].
- [21] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. Online. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011. ISBN 978-1-56990-436-7. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPPDIMAI2/toc>. [cit. 2025-05-10].
- [22] *Vstřikovací stroj e-motion: Univerzální, plně elektrický vysoce výkonný stroj*. Online. In: ENGEL. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/produkty/vstrikovaci-stroje/plne-elektricky-vstrikovaci-stroj>. [cit. 2025-05-10].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Molekulární konfigurace polypropylenu	17
Obrázek 2 Schématické znázornění vstřikovacího cyklu: (a) plastikace, (b) vstřikování, (c) chlazení, (d) vyhazování	24
Obrázek 3 Zjednodušené schéma WAIM	25
Obrázek 4 Vstřikovací trojúhelník	27
Obrázek 5 Příklad spáleniny	28
Obrázek 6 Příklad delaminace dvou nekompatibilních materiálů	29
Obrázek 7 Příklad stopy po vyhazovači	30
Obrázek 8 Příklad přetoku	31
Obrázek 9 Příklad tryskání	33
Obrázek 10 Příklad nedotoku	34
Obrázek 11 Příklad propadlin	35
Obrázek 12 Příklad černých teček na výrobku	36
Obrázek 13 Příklad stříbrných pruhů	37
Obrázek 14 Příklad kapsy	38
Obrázek 15 Příklad deformace	39
Obrázek 16 Příklad studeného spoje	39
Obrázek 17 Schéma vstřikovacího stroje	41
Obrázek 18 Zjednodušený diagram dvoudeskové formy	45
Obrázek 19 Princip plného kuželového vtoku	47
Obrázek 20 Princip středního bodového vtokového ústí	47
Obrázek 21 Princip bočního bodového vtoku	48
Obrázek 22 Princip filmového vtoku	48
Obrázek 23 Princip tunelového vtoku	49
Obrázek 24 Princip banánového vtoku	50
Obrázek 25 Banánový vtok s vyhazovači	51
Obrázek 26 Příklad válcového vyhazovače (E 1710) od firmy Meusburger	53
Obrázek 27 Příklad prizmatického vyhazovače (E 1725) od firmy Meusburger	54
Obrázek 28 Příklad trubkového vyhazovače (E 1720) od firmy Meusburger	54
Obrázek 29 Příklad jádra trubkového vyhazovače (E 1780) od firmy Meusburger	55
Obrázek 30 Doporučený design tlouštěk na součásti	59
Obrázek 31 Propadlina vznikající naproti žeburu	60
Obrázek 32 Doporučené zkosení	60
Obrázek 33 Model výrobku v programu CATIA	63

Obrázek 34 Sestava formy	65
Obrázek 35 Tvárnice	66
Obrázek 36 Tvárník	66
Obrázek 37 Jádro	67
Obrázek 38 Vedlejší tvárnice	67
Obrázek 39 Vedlejší tvárník	68
Obrázek 40 Vyhazovací systém	69
Obrázek 41 Temperace	70
Obrázek 42 Vtokový systém	71
Obrázek 43 Obrázek vstřikovacího stroje e-motion	72

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV	ultrafialové záření
PE	polyetylen
LDPE	nízkohustotní polyetylen
LLDPE	linéární nízkohustotní polyetylen
HDPE	vysokohustotní polyetylen
HWDPE	vysokomolekulární polyetylen
UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylen
PP	polypropylen
PB	polybutylen
PVC	polyvinylchlorid
PAN	polyakrylonitril
SAN	styrenakrylonitril
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ASA	akrylonitrilystyrenakrylát
PS	polystyren
PMMA	polymethylmethakrylát
PA	polyamid
WAIM	vstřikování za pomoci vody
GAIM	vstřikování za pomoci plynu
TPU	termoplastický polyuretan
ITT	index toku taveniny
EDM	elektroerozivní obrábění
CATIA	Computer-Aided-Three-Dimensional-Interactive-Application
3D	trojrozměrný

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres sestavy formy

Příloha P II: Výkres vstřikovaného výrobku

Příloha P III CD obsahující model výrobku a sestavy formy ve formátu STEP

