

Konstrukční návrh vstřikovací formy pro součást regulátoru tlaku

Kristýna Miklíková

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kristýna Miklíková**
Osobní číslo: **T19225**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro součást regulátoru tlaku**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární řešení na dané téma.
2. Vytvořte model zadané vstřikované součásti.
3. Zhotovte konstrukční návrh vstřikovací formy pro danou součást.
4. Nakreslete sestavu formy včetně patřičných pohledů a kusovníku.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.

ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.

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

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

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:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek regulátoru tlaku. Teoretická část je zaměřena na popis základních informací potřebných k správnému postupu při konstrukci vstřikovacích forem. Práce popisuje používané materiály, jednotlivé typy i fáze vstřikování, formy a jejich konstrukce. Druhá praktická část práce je věnována návrhu konstrukci formy, včetně samotného popisu zadaného výrobku a konstrukční řešení vstřikovací formy. Pro návržení formy byl použit program CATIA V5.

Klíčová slova: polymer, vstřikovací forma, vstřík, součásti formy, vstřikovací stroj

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the construction of an injection mould for a given plastic product of a pressure regulator. The theoretical part has been focus on the description of the basic information needed for the correct procedure in the construction of injection moulds. The work describes the materials used, individual types and phases of injection, moulds and theirs construction. The practical part of the thesis has been devote to the design of the mould, including the description of the specified product and the design of the injection mould. The CATIA V5 program has been use to design the mould.

Keywords: polymer, injection mold, injection molding, mold components, injection molding machine

Děkuji Ing. Jiřímu Vaňkovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování této bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU VÝSTŘIKU	9
1.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR MATERIÁLU	9
1.2 ROZDĚLENÍ.....	10
1.2.1 Termoplasty.....	10
1.2.2 Reaktoplasty	10
1.2.3 Elastomery.....	11
1.2.4 Termoplastické elastomery	11
1.3 VLASTNOSTI TERMOPLASTŮ	11
1.3.1 Amorfní polymery.....	11
1.3.2 Semikrystalické polymery.....	12
1.4 RECYKLACE TERMOPLASTŮ	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	15
2.2 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	15
2.2.1 Pohyby formy a plastikační jednoty.....	16
2.2.2 Fáze vstřikování polymeru	16
2.2.3 Fáze dotlaku	17
2.2.4 Fáze plastikace	17
2.2.5 Fáze chlazení	17
2.2.6 Fáze vyhazování a příprava formy	18
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	18
2.3.1 Vstřikovací část.....	19
2.3.2 Uzavírací část	19
2.3.3 Ovládání stroje	19
2.4 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE TERMOPLASTŮ.....	20
2.4.1 Smrštění.....	20
2.4.2 Deformace	20
2.5 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	21
2.5.1 Studený spoj.....	21
2.5.2 Tryskový tok	22
2.5.3 Nedotečený polymer ve formě	22
2.5.4 Přetoky	23
2.5.5 Bubliny a lunkry	23
2.5.6 Propadliny	24
2.5.7 Spálená místa	25
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	27
3.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	27

3.2	VTOKOVÉ SYSTÉMY	28
3.2.1	Vtokové vložky	28
3.2.2	Rozváděcí kanály	29
3.2.3	Ústí vtoku	29
3.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉMY	30
3.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉMY	31
3.4.1	Mechanické vyhazování	31
3.4.2	Pneumatické vyhazování	32
3.4.3	Hydraulické vyhazování	32
3.5	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	32
3.5.1	Šikmé válcové kolíky	32
3.5.2	Lomené kolíky	32
3.5.3	Zajištění a vedení čelistí	32
3.5.4	Pneumatické tahače	33
3.5.5	Hydraulické tahače	33
3.6	MATERIÁLY FOREM	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST	35
4	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	36
5	VÝROBEK A JEHO MATERIÁL	37
6	POUŽITÉ PROGRAMY	39
7	VOLBA STROJE A JEHO PARAMETRY	40
8	NÁVRH FORMY	41
8.1	NÁSOBNOST A VTOKY	42
8.2	TVÁRNÍK A TVÁRNICE	43
8.3	VYHAZOVÁNÍ	45
8.4	ODFORMOVÁNÍ BOČNÍ DÍRY	45
8.5	SOUČÁSTI PRO SESTAVU FORMY	46
8.6	TEMPERACE	46
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ	48
8.8	TRANSPORT FORMY	49
	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK	55
	SEZNAM PŘÍLOH	56

ÚVOD

V současné době, kdy se neustále vyvíjí celosvětová výroba, jsou polymery využívány v mnoha odvětvích, od automobilových dílů až po medicínu, například pro výrobu syntetických částí lidského těla.

Polymery lze nalézt téměř ve všech oblastech průmyslu, a to v nejrůznějších kombinacích, tvarech, a dokonce i v jiném skupenství. Přitom zpracování polymerů v průmyslu nesahá do vzdálené minulosti, ale je poměrně mladou záležitostí, protože moderní syntetické polymerní materiály se řadí k nejmladším konstrukčním materiálům. Dříve nebyla vyvinuta potřebná a dostupná technologie, která by umožňovala efektivně zpracovávat polymery. Klasické materiály používané dříve nyní v konkurenci s polymery snadno přijdou o své prvenství, díky tomu, že polymery mají spoustu vhodných vlastností, jako je snadná zpracovatelnost, široká variabilita potřebná k výrobě. Také svou roli v jejich prvenství představuje poměr mezi užitnými vlastnostmi versus cena.

Pro výrobu hotových součástí existuje dnes již několik způsobů, jako je například 3D tisk (Rapid Prototyping), vytlačování nebo vstřikování. Pokud by se porovnávala metoda zpracování vstřikováním a vytlačováním a zároveň nalézt, která z metod je dnes využívanější, museli by se na to podívat podrobněji. Vstřikovací stroje mají své prvenství v počtu vyrobených kusů za určité období, protože pomocí této technologie se může vyrobit mnoho výrobků při jednom pracovním cyklu jako jsou například víčka k PET lahvím. Na druhé straně technologie vytlačování zaujímá prvenství v celkovém objemu, jelikož tímto postupem lze zhotovit například plastové trubky či oplášťování vodičů. Na základě těchto podkladů nelze tedy jednoznačně rozhodnout, která technologii využitá v průmyslu zpracovávající polymerní výrobky je lepší.

Tato práce je zaměřena na technologii vstřikování se zaměřením na konstrukci forem. Vstřikování je univerzálním procesem pro tvarování polymerů a provádí se pomocí vstřikovacích strojů. Tyto stroje se nachází v mnoha rozličných variantách (vertikální, horizontální, s více vstřikovacími hlavami). Další nezbytnou součástí v celém procesu je návrh a výroba kvalitní formy pro vstřikování. Návrhy forem se realizují v počítačových programech. Vývoj návrhu formy pro vstřikování polymerů je náročný proces, který vyžaduje zkušenosti, aby se předešlo problémům s vyrobiteľností formy a s případným vznikem vad při vstřikování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU VÝSTŘIKU

1.1 Faktory ovlivňující výběr materiálu

Faktory nejčastěji závisí na struktuře a hmotnosti makromolekuly, tokových vlastnostech polymeru neboli na reologických vlastnostech, podle těchto základních faktorů je zvolen, jaký polymer bude vhodný pro vstřikovací proces. [1]

Chování daného materiálu závisí na základní jednotce polymeru, kterou ve většině případů tvoří organická látka, složená především z uhlíku a vodíku, ale může obsahovat i další prvky jako jsou halogeny, kyslík a dusík. Tyto prvky mají rozličnou molekulovou hmotnost, což ovlivňuje druhotné vazebné síly. Polymery se vyrábí buď za pomoci tepla nebo chemických reakcí, které spojují polymery do dlouhých řetězců molekul. Řetězců je několik typů: lineární, rozvětvené a síťované. V řetězci se mohou nacházet i jiné polymery nazývané kopolymery. Dalším faktorem ovlivňujícím hmotnost polymeru je délka řetězce a přidané prvky, proto většinou se hledá střední hodnota hmotnosti i délky, jelikož je nejlepším kompromisem vlastností polymeru. Pokud by byl krátký řetězec, tak by výrobek nevydržel v pevné struktuře dlouho, a pokud by byl dlouhý, tak by zase nastala vysoká viskozita neboli odpor proti tečení. Větve, hmotnost, délka a druhotné vazby prvků ovlivňují celou řadu vlastností polymeru. [2]

Volba polymeru také závisí na teplotě tání, tečení nebo vytvrzování. Většinou jsou řetězce v klubech spojeny druhotnými vazbovými silami, ty se za tepla uvolní a řetězce se rozvinou. Poté co nastane chladnutí, začíná se to vnímat, jako odpor proti tečení. Tyto teploty jsou nejčastěji nalézány v materiálových listech, stejně jako index toku taveniny, což je bod na tokové křivce a jedná se o váhu či objem, který projde úzkou kapilárou za 10 minut, za dané teploty. Tato zkouška je normalizována, protože představuje nejjednodušší způsob, jak určit vlastnosti taveniny. [2]

Vlastnosti polymeru hodně závisí na plnivech a přísadách jako jsou například antidegradanty, ochraňující daný výrobek před nepříznivými vlivy okolí. [3]

Většina faktorů je udávána v materiálových listech, podstatou je tedy najít vhodný polymer pro danou metodu výroby. [3]

1.2 Rozdělení

V dnešní době se mohou polymery rozdělit do tří velkých skupin:

- Termoplasty,
- reaktoplasty,
- elastomery,
- termoplastické elastomery.

1.2.1 Termoplasty

Termoplasty patří do skupiny polymerů, které se dají opakovaně převést z pevné fáze na taveninu nebo velmi plastickou kapalinu. Řetězce se nemohou síťovat, většinou jejich vlastnosti závisí na teplotě a druhotných vazbách. Vlastnosti některých termoplastů se určují podle krystalinity, která určuje podíl krystalické struktury v polymeru. Termoplasty lze zpracovávat celou řadou technologií například válcováním, vytlačováním, vstřikováním, vyfukováním. [4] Mezi typické výrobky zhotovované pomocí daných technologií patří:

- Válcování – podlahové krytiny (linoleum), fólie, desky,
- Vytlačování – rovné trubky, opláštění vodičů, desky, fólie,
- Vstřikování – součásti do automobilů, lékařství, hračky, víčka se závity, a mnoho dalších výrobků,
- Vyfukování – láhve na tekutiny. [5]

1.2.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou opakem termoplastů, jelikož je nelze opakovaně převádět z pevné do tekuté podoby. Tyto polymery se formují za pomoci chemických reakcí dvou látek, které tvoří nejčastěji síťovací činidlo a pryskyřice, ale nedají se zpětně zpracovávat. Struktura reaktoplastů je tak tvořena hustou sítí. Většina těchto polymerů se vytvrzuje za tepla, nachází se i výjimky (epoxidové pryskyřice). Tyto polymery mohou být křehké a průhledné. Vstřikují se pouze do forem s vyhřívacími systémy. Nejčastěji se z reaktoplastů vyrábí kompozitní komponenty různého typu (nárazníky na vlacích a tramvajích, vesmírný průmysl) [4]

1.2.3 Elastomery

Elastomery patří mezi velmi pružné a pevné materiály, s velmi nízkou tepelnou odolností ve stavu před vulkanizací. Před vulkanizací elastomery jsou tuhé a nevykazují význačnou pružnost, při vyšších teplotách lepkavé. Po vulkanizaci jsou velmi snadno deformovatelné i při působení malých sil, ale po ukončení působení zatížení na materiál se vrací do původního tvaru. Do elastomerů se přidávají nejrůznější přísady, které nám ovlivní vlastnosti polymeru, dle požadovaných atributů na výrobek. Větším teplotám odolávají až po vulkanizaci, který daný materiál zesiluje pomocí síry, která vytvoří příčné vazby a z tohoto důvodu je nemůžeme opakovaně tvářet. Tyto pryskyřice nejsou vhodné ke vstřikování. [4]

1.2.4 Termoplastické elastomery

Tyto polymery kombinují užitečné vlastnosti termoplastů a elastomerů. Od termoplastů získali možnost opakovaného zpracování. Z elastomerních materiálů zase si propůjčili jejich vysokou pružnost. Jejich vlastnosti nedosahují vlastností jako elastomery a termoplasty. Jejich největší nevýhodou je jejich malá tepelná odolnost při vyšších teplotách. [4]

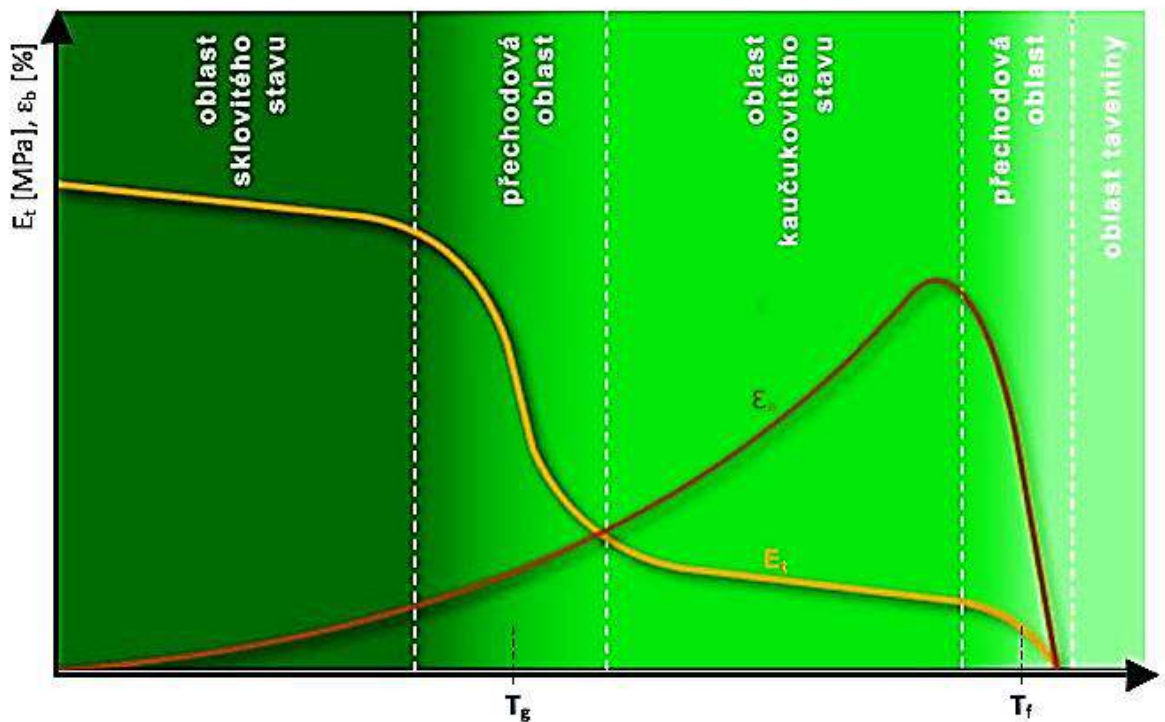
1.3 Vlastnosti termoplastů

Díky uspořádání struktury termoplastů uvnitř makromolekul se mohou vlastnosti těchto materiálů podstatně lišit, nicméně společnou vlastností je teplota degradace (vlastnosti a struktura se mění k horšímu), při které začíná polymer degradovat. Termoplasty jsou při vyšších teplotách velmi snadno tvářitelné. Jejich recyklace a jejich znovu použití do výrobků se musí předpokládat horší vlastnosti, proto se u velmi namáhaných součástí nepožívá recyklované termoplasty. Největšími výhodami je jejich malá hmotnost a dobrá zpracovatelnost. Dělí se na amorfnní a semikrystalické.

1.3.1 Amorfnní polymery

Amorfnní polymery mají neuspořádané molekuly, které se vzájemně proplétají do větších celků. Jejich charakteristickou vlastností je čirost. Tyto materiály se mohou vyskytovat ve třech stavech: skelném, kaučukovitém a jako tavenina. V normálních podmínkách okolí jsou ve sklovitém stavu, který jim udává tvrdost, ale i křehkost. V kaučukovitém stavu je materiál nevhodný k použití z důvodu velmi snadnému vzniku deformací, které jsou nevratné. Tyto

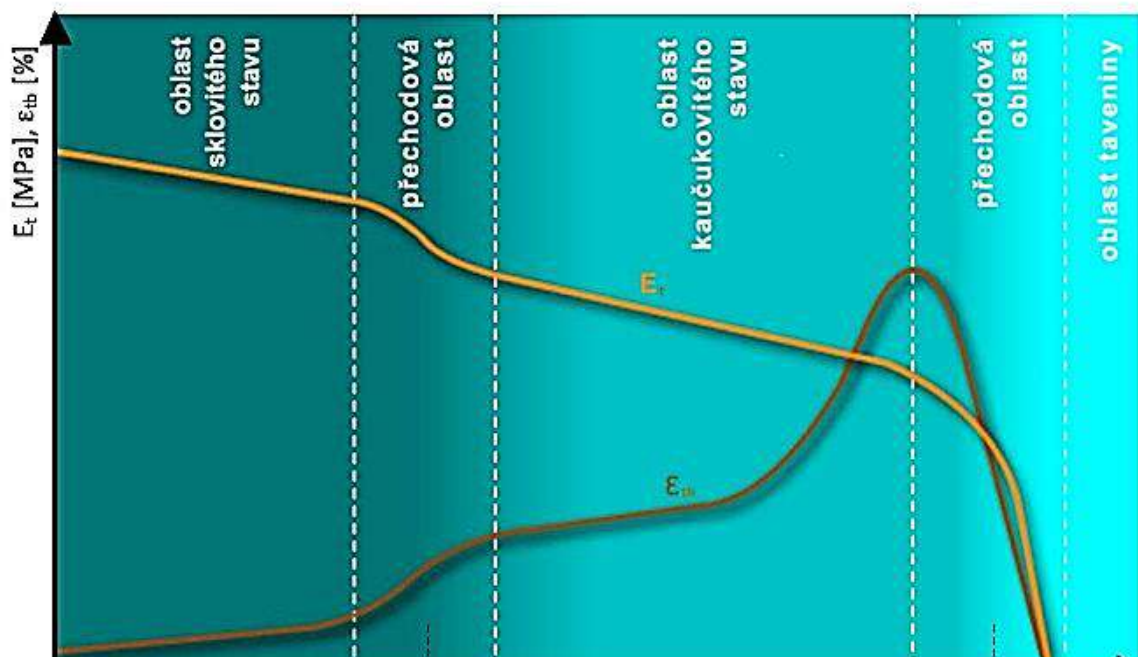
polymery jsou velmi vhodné pro vstřikování, z důvodu teploty skelného přechodu T_g , kde se začínají ustalovat vlastnosti, ve skelném stavu. [6]



Obrázek 1 Graf přechodových teplot amorfních polymerů [16]

1.3.2 Semikrystalické polymery

Struktura semikrystalických polymerů se liší od amorfních polymerů tím, že je tvořena z určité části pravidelnou krystalickou strukturou a zbylou část vyplňuje amorfní podíl. Jak velké množství krystalické struktury polymer obsahuje nám udává krystalinita, která nemá jednotku, a proto se udává v procentech. Na rozdíl od amorfních polymerů je semikrystalický neprůhledný. Tyto materiály nepřecházejí do skelné oblasti, kvůli nízké teplotě skelného přechodu. Čím vyšší stupeň krystalinity materiál vykazuje, tím méně je dosaženo viditelné změny skelného přechodu. [6]



Obrázek 2 Graf přechodových teplot semikrystalických polymerů [17]

1.4 Recyklace termoplastů

V posledních letech začaly společnosti klást značný důraz na postupy šetrné k životnímu prostředí. Jelikož udržitelný způsob výroby je výhodný nejen pro planetu, ale i pro výrobce.

Polymery můžeme recyklovat jedním ze čtyř typů recyklace:

- Mechanicky
- materiálově,
- surovinově,
- chemicky.

Termoplasty se nejčastěji recyklují mechanicky a materiálově. Využívá se toho z důvodu možnosti opakovaného použití. Přesto je však omezeno kolikrát lze daný materiál zpracovat opětovně, protože po více recyklacích se mění na odpad. Tento způsob je vhodný pouze pro polymer, který neobsahuje další polymer v řetězci nebo ve výrobku.

Jednou z dalších možností recyklace je rozdrčení a rozemletí materiálu na malé části. Vzniklé drtě se využívají jako plniva do stavebních kompozitů. Tento způsob je vhodný pro více polymerů obsažených v jednom výrobku a výrobky z reaktoplastů.

Chemická recyklace je jednou z nových metod recyklování plastů. Výhodou je návrat původních surovin, z nichž se polymer vyrábí, což by přineslo opakované použití nejen u termoplastů. Problém je však v ceně a náročnosti recyklace touto metodou, proto v dnešní době ještě není příliš rozšířená.

Obecně je recyklace polymerů náročnou disciplínou a v současnosti není známo, jak efektivně naložit s kompozitem dvou a více polymerů (vícevrstvé fólie). [7]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je v současné době jedním z nejrozšířenějších cyklických procesů pro výrobu dílů z termoplastu. Výrobky vystupují z procesu vstřikování v podobě polotvaru nebo v jejich konečné podobě. Tato technologie zvládne tvarovat velmi členité a velikostně různé výrobky.

2.1 Princip vstřikování

Základem vstřikování je vtlačování polymerní taveniny do uzavřené dutiny formy, ochlazení výrobku a jeho následné vyjmutí z formy. Na začátku výrobního procesu se dávkuje materiál v podobě granulátu do násypky, z které se následně dopravuje do pracovní části (nejčastěji komora se šnekem), kde se plastikuje za vlivu disipace (třecí síly a momenty) a teplem z topných pásů. Míra je velmi vysoká, protože musí mít plastikační jednotka dostatečný kompresní poměr. Kompresní poměr je u vstřikování poměrem objemu profilu šneku pro stoupání jednoho závitu pod násypkou k objemu materiálu na jednom závitu šneku u vstřikovací trysky. Nejčastěji se udává rozmezí poměru od 1,5 do 4,5. Úpravami šneku lze změnit kompresní poměry v plastikační jednotce. Před šnekem se hromadí zplastikovaná tavenina, která se za pomoci šneku nebo pístu vstříkne do uzavřené dutiny formy. Polymer tak zaplní dutinu formy a získá její tvar, ale kvůli smrštění se vytvoří prostor, který je nutno zaplnit. Tento problém se částečně řeší dotlakem. Dotlak dodává materiál do té doby, než vtok zatuhne. Materiál ztuhne v tvarové dutině předáváním tepla z výrobku na formu, jejíž součástí je temperační systém. Po ochlazení výstřiku se forma otevírá a výrobek se vyhazuje ven. Tento postup se opakuje cyklicky. [8]

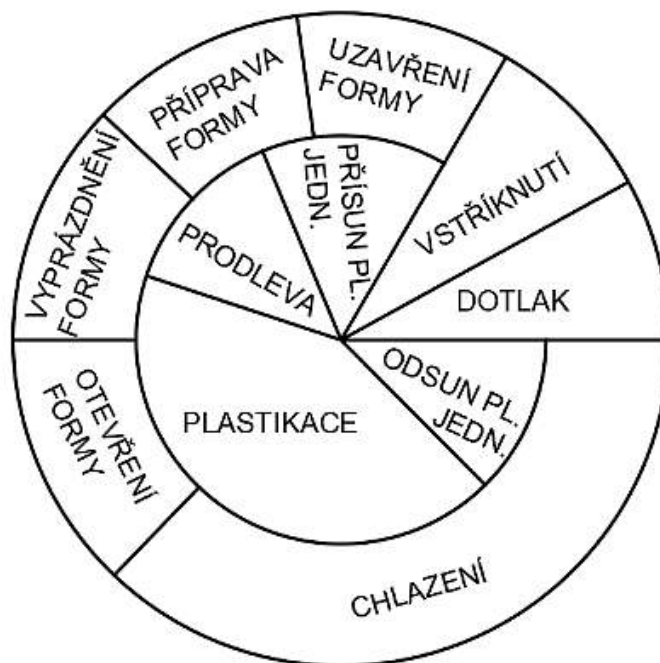
2.2 Fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus lze rozdělit na děje odehrávající se ve formě a procesy probíhající v plastikační jednotce. Cykly mají společné dvě fáze – vstřik polymerní taveniny a dotlak. Další fáze se liší podle toho, zda se bude používat vyhřívaný nebo studený vtokový systém, a to hlavně při cyklu týkajícího se formy.

Pro plastikační jednotku jsou fáze následující: odsun plastikační jednotky, plastikace, prodleva a přisun plastikační jednotky.

Pro studený vtokový systém, který se používá především pro termoplasty jsou fáze následné: chlazení, otevření formy, vyprázdnění formy, příprava formy a její uzavření. Vyhřívaný

system se liší pouze tím, že se nevyskytuje v cyklu dotlak a místo chlazení máme vytvrzování polymeru. [9]



Obrázek 3 Cyklus vstřikování pro studený systém

2.2.1 Pohyby formy a plastikační jednoty

Proces otvírání, přisunutí, zavírání a odsunutí pohyblivé části formy je závislý na čase a na dráze, který musí forma urazit. Dráha otevření a zavření formy je jednou z důležitých veličin, protože nesmí přesáhnout maximální nebo minimální délku, z důvodu volby vhodného stroje i rámu formy. Je snahou tyto části cyklu časově minimalizovat. [9]

2.2.2 Fáze vstřikování polymeru

Ve fázi vstřikování dochází k zaplnění tvarové dutiny. Tato fáze musí být co nejrychlejší z důvodů tuhnutí polymeru, jak ve vtokovém systému, a tak ve tvarové dutině. Nicméně, dráha toku musí být i dostatečně dlouhá, aby došlo k úplnému zaplnění dutiny. Také nesmí zatuhnout čelo taveniny, což by mohlo způsobit nedotečení polymeru v tvarové dutině. Polymer musí vtékat laminárně nejlépe fontánovým tokem. Tato část cyklu je závislá na teplotě taveniny, materiálu, rozměrech a tvaru tvarové dutiny včetně přísad. Nejdůležitější je však tlak uvnitř dutiny. Pokud ve formě se vyskytuje vysoká rychlost a malý tlak, tak

vznikají nedotoky. Ale pokud se malý tlak změní na vysoký tlak s vysokou rychlostí nastává vada opačného typu od nedotoků nazývaná „přetok“. U vysokých rychlostí vzniká nežádoucí tření, které přehřívá polymer, může tak dojít k degradaci taveniny. Je tedy nutné správné zvolení tlaku a rychlosti, aby byly tyto veličiny v rovnováze a zajistil se tak dobrý výstřík. [9]

2.2.3 Fáze dotlaku

Fáze dotlaku kompenzuje především smrštění vstříkovaného materiálu během chladnutí výrobku a současného snížením tlaku uvnitř formy. Její délka je ovlivněna možností přidávání polymeru, než nastane zatuhnutí ve vtokovém ústí. Průběh této fáze závisí na teplotě taveniny, formy a průřezu vtoku. Fáze dotlaku se překrývá s fází chlazení. Snížením tlaku předcházíme přílišnému namáhání formy, jejímu otevření při tlakových špičkách a defmace formy. Důležité je správné načasování, aby se předešlo možným problémům. Dodržením vhodných postupů se ovlivní konečné vlastnosti výstříku. [9]

2.2.4 Fáze plastikace

Fází plastikace se rozumí převod pevného polymeru v granulátu na taveninu a jeho přípravou na vstřík do formy. Tato fáze probíhá v plastikační jednotce. Daný polymer je plastikován za pomoci tření, které dodává dvě třetiny potřebného tepla, přičemž zbylou část dodávají topná tělesa. Nejdůležitější hodnotou je teplota taveniny určená pro polymer, protože ovlivňuje hlavně viskozitu taveniny a veškeré fáze vstříkování. Musí počítat s celkovým objemem polymeru nutný pro vstříknutí nejen do tvarové dutiny, ale i s objemem pro vtokového ústí a objemem polymeru dodaném při dotlaku. Fáze plastikace neovlivňuje délku cyklu, protože se materiál neustále plastikuje. [9]

2.2.5 Fáze chlazení

Fáze chlazení je nejdélší částí cyklu sloužící ke ztuhnutí taveniny do tuhé fáze. Tato fáze probíhá od začátku cyklu až do té doby, kdy nedochází k deformacím při otvírání formy a vyhazování, přestože je teplota vyšší než teplota okolí. Tímto se zkrátí cyklus, protože dosažení teploty okolí může trvat poměrně dlouhou dobu. Fáze chlazení je závislá na parametrech výrobku, materiálu, teplotě formy a taveniny. Délka této fáze je ovlivněna mnoha vlastnostmi, které se očekávají od výrobku. [9]

2.2.6 Fáze vyhazování a příprava formy

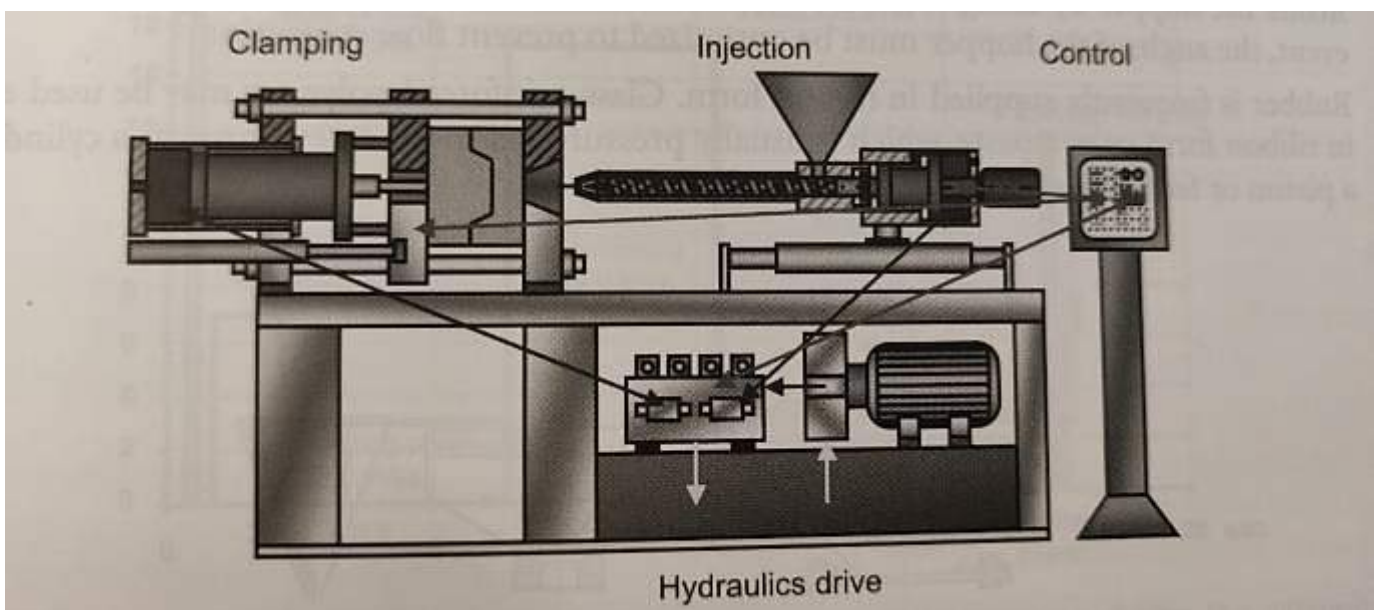
Fáze vyhazování spočívá v odstranění hotového výrobku z tvarové dutiny. Vyhazování může probíhat za pomoci robotického ramene nebo pouze vyhozením výrobku do určeného prostoru.

Příprava formy probíhá především u těch forem, kde se zalisovává část výrobku, která je nejčastěji kovová do plastového výstřiku. Může se jednat i o zběžné prohlédnutí formy, zda se ve v tvarové dutině nenachází vada. [9]

2.3 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje se nejčastěji využívají v hromadné a velkosériové výrobě z důvodu velké produktivity. V menších firmách se využívají při výrobě především poloautomatické stroje, kdežto u velkých firem nacházíme hlavně plně automatické vstřikovací stroje. Oba stroje jsou však značně nákladné na pořízení. Vstřikovací stroje existují v mnoha variantách, které se liší konstrukcí, ovládáním, rychlostí stroje, reprodukovatelností parametrů výrobku, jeho snadnou obsluhou.

Jejich konstrukce se dělí na tři části: vstřikovací část, uzavírací část a ovládání stroje. Pro automatizaci lze stroj dovybavit manipulačními roboty, míchačkami a jiným vybavením pro zlepšení kvality výrobku nebo zjednodušení manipulace s materiálem a strojem. [10]



Obrázek 4 Schéma vstřikovacího stroje [21]

Popis: Clamping – uzavírací část, Injection – vstřikovací část, Control a hydraulics drive – řídicí a ovládací část

2.3.1 Vstřikovací část

Tato část má za úkol přeměnit polymer z pevné fáze na taveninu o požadované viskozitě a následné vtlačení taveniny do tvarové dutiny formy. V dnešní době se lze setkat především se šnekovými jednotkami, ale výjimečně se vyskytují i pístové. Šneková jednotka přímo plastikuje a rozmíchává polymerní materiál šnekem, který svým posuvem následně dodává taveninu do dutiny formy. Aby se dosáho maximální produktivity, tak se nejčastěji volí optimální množství zaplnění z 80% kapacity této jednotky, a to z důvodu smrštění při chlazení ve formě.

Šneková jednotka na začátku procesu odebírá materiál z násypky, kde je někdy zařazeno i chlazení, aby nedocházelo k plastikaci vlivem tepelné vodivosti a následnému ucpání průchodu dodávaného materiálu. V další části se polymer taví a homogenizuje. Před čelem šneku je prostor, kde se shromažďuje zplastikovaný polymer, ten se vstříkne do formy tím, že se zastaví točivý pohyb šneku a šnek se použije jako píst. Šnek je nejčastěji ve tvaru komolého kužele, který se rozšiřuje směrem k formě. Plastikací jednotka se tedy skládá z šneku, plastikační komory, topných těles a dalšího vybavení. [10]

2.3.2 Uzavírací část

Hlavním úkolem uzavírací části stroje je otevírání a zavírání formy podle daného vstřikovacího cyklu. Dalším úkolem je zajistit neotevření formy během procesu vstřikování. Lze rozlišit sílu uzavírací F_u a sílu prisouvací F_p . Tyto síly lze naprogramovat podle požadavků stroje, formy i druhu polymeru, který se vstříkuje. Skládá se z táhla přípevněného na vyhazovací paket formy. Jeho pohyb lze zajistit mnoha způsoby nejčastěji pomocí hydraulický systémů, ale se někdy doplní mechanickými nebo elektrickými součástmi. Další prvky jsou pevná opěrná deska, upínací deska a vodící sloupky držící formu v nastavené poloze. [11]

2.3.3 Ovládání stroje

Tato část stroje pomáhá nastavit pracovní podmínky pro snadnou práci se strojem a pro stálost parametrů výrobku. Díky tomu lze zdokonalit kvalitu a přesnost výrobku. Pokud při kontrole výrobku kolísají nějaké parametry musí se volit vhodné řídicí a regulační součásti. Parametry, nutné pro přesnost a toleranci výrobku, jsou vstřikovací cyklus, tlak, rychlost

vstřiku a chlazení. Mechanické vlastnosti výrobku závisí na nastavení teploty a homogenizaci taveniny. (10)

2.4 Smrštění a deformace termoplastů

Smrštění a deformace jsou děje, které jsou vzájemně provázány, přesto deformace mohou vznikat i jinými způsoby. Smrštění a deformace probíhají tepelnými změnami při chladnutí taveniny. Tyto změny vždy mají nepříznivé účinky na výrobek, proto se omezují jejich příčiny vzniku smrštění a deformace na minimum.

2.4.1 Smrštění

Při tuhnutí výrobku nastává objemová změna. Tento jev vzniká stlačitelností materiálu, tepelnou rozpínavostí a kontrakcí v polymeru. U semikrystalických polymerů může smrštění ovlivnit vznik krystalického podílu ve struktuře materiálu. Tento proces probíhá především v průběhu chlazení. Jeho vznik ovlivňuje mnoho faktorů vzájemně se ovlivňujících. U semikrystalických polymerů má krystalický podíl velký vliv na smrštění, proto je snahou upravit jejich krystalinitu, aby obsahoval co nejméně procent krystalické struktury při chladnutí. Dále záleží i na změně faktorů při vstřikování ovlivňující smrštění, které je co nejmenší. Smrštění je často provázáno deformacemi. Protože tyto faktory nelze zcela odstranit, snahou je alespoň jejich následky minimalizovat. Nejčastěji se ovlivní smrštění: změnou tloušťky výrobku, zvolením vhodného vtokového ústí a procesními parametry. [11]

2.4.2 Deformace

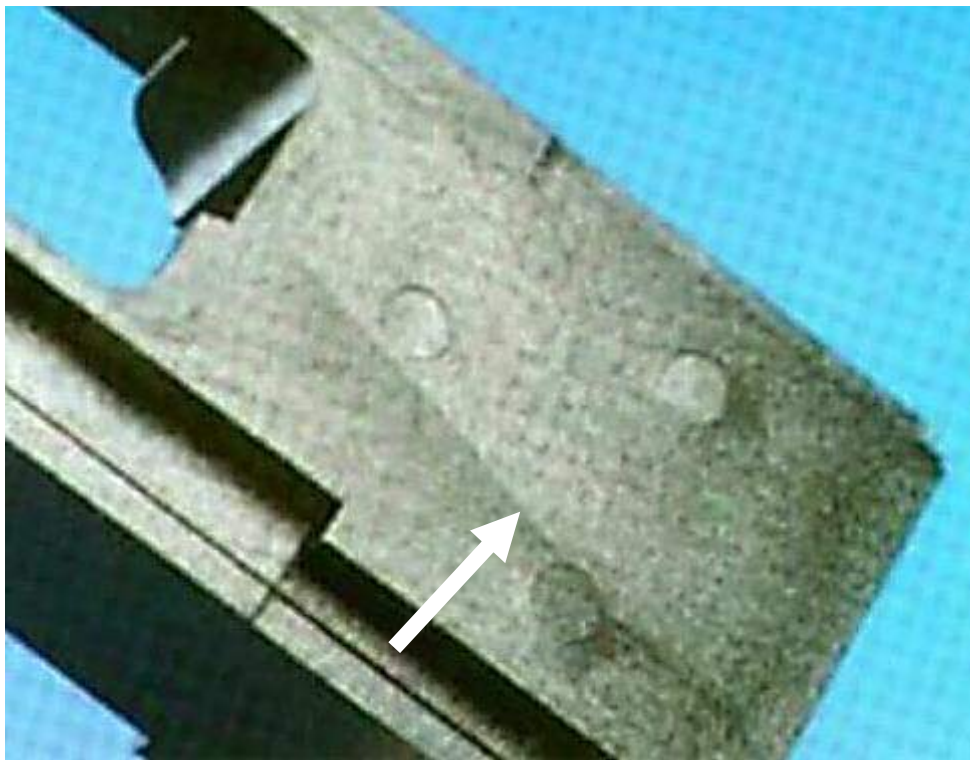
U deformace se na rozdíl od smrštění zachovává objem, ale mění se tvar výrobku. Nejčastěji se deformace projeví vadou na výrobku například prasklinou. Často vzniká při pnutích, které způsobuje různé smrštění, také může nastat při působení vnějšího zdroje například vyhazování výrobku z dutiny formy. Vnitřní pnutí jsou vyvolána deformacemi, které jsou způsobeny nerovnoměrnými změnami ve vstřikovacím procesu. Nevýznamnější pnutí je tepelné, a to může způsobit největší deformace. Další významné pnutí je deformační, které je způsobeno vnějšími silami. Nejčastěji jsou deformace u malých rádiusů a děr, protože na těchto místech jsou největší pnutí. I když jsou semikrystalické polymery náchylnější na deformace, přesto se používají na konstrukční výrobky více než amorfni, především pak s obsahem vláknitých plniv. [11]

2.5 Vady vstřikovaných výrobků

Vady u vstřikovaných výrobků mohou vznikat rozličnými faktory a mohou být v mnoha rozdílných variantách. Některé z nich, i když vzniknou rozdílnými vlivy, přesto vytvoří stejnou vadu. Z toho vyplývá, že faktory pro vstřikování jsou velmi provázené a je tedy nutné dodržet přesně stanovené požadavky na materiál. Vady mohou nastat již od nesprávně vysušeného granulátu až po deformaci vytvořenou vyhazovači pro nesprávně ztuhlý polymer. [12]

2.5.1 Studený spoj

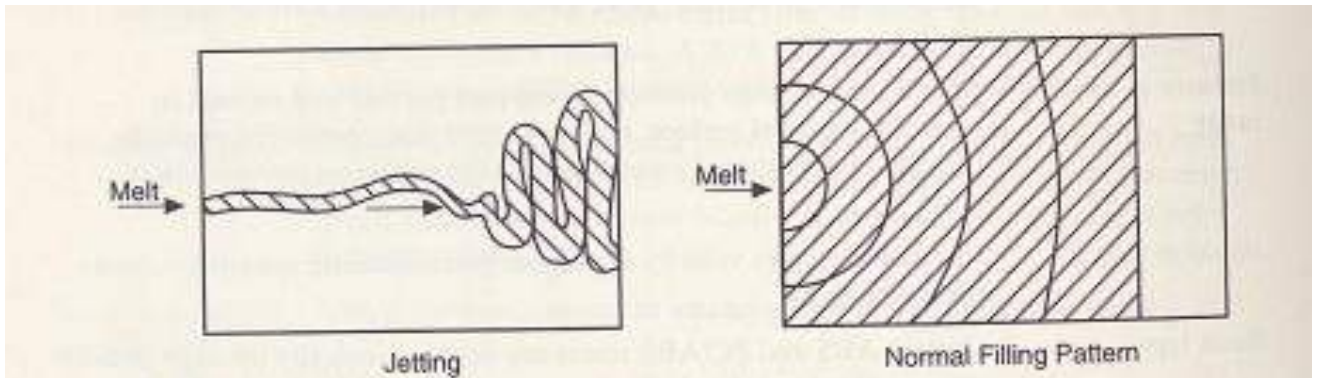
Vytvoří se, když se spojí dva toky dohromady a čela toků nedokonale propojí. Většinou se tyto vady vyskytují u děr výrobků, kde se proudy taveniny obtékají jádro opět spojí, či pokud se aplikuje více komponentní vstřikování, ale také při nesprávně nastavených parametrech formy nebo výrobku. V místech studeného spoje má výrobek horší mechanické vlastnosti. Proto je nutné umístit ústí vtoku a díry tak, aby byl co nejkratší studený spoj. Dále se minimalizuje počet studených spojů. [12]



Obrázek 5 Studený spoj [18]

2.5.2 Tryskový tok

Vzniká, když polymerní tavenina nenarazí na blízkou překážku, nebo když se vstříkne polymer velkou rychlostí do formy. Může nastat i špatnou volbou vtokového ústí, nízkou teplotou formy nebo taveniny. Je to vada, kde tavenina naplňuje formu nerovnoměrně a nehomogenně, protože vstříknutý materiál velmi rychle tuhne. Často vypadá jako stopa po hadovi. (12)



Obrázek 6 Tryskový tok a normální tok vstřikování [12]

2.5.3 Nedotečený polymer ve formě

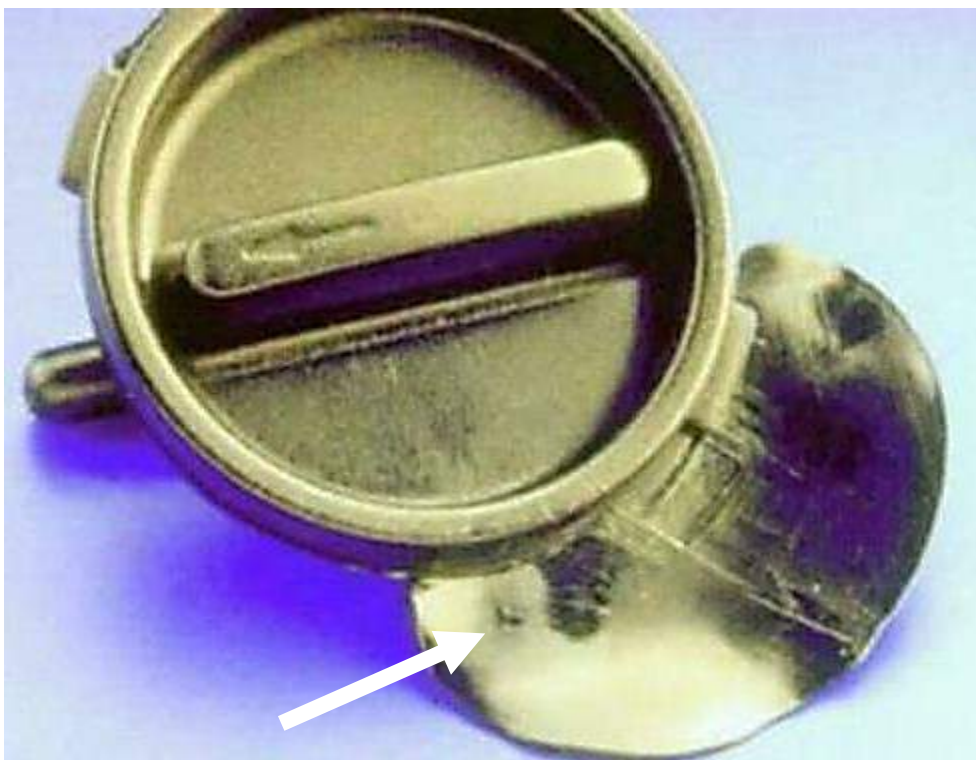
Tuto vadu lze nalézt tam, kde polymer zcela nevyplní tvarovou dutinu. U vícenásobných forem může nastat při nevyplnění krajních tvarových dutin polymerem. Nedotečená místa pro jednonásobnou formu lze opravit tak, že se změní podmínky vstřikování, vstřikovaný polymer, ústí vtoku nebo se přidá další vtok do tvarové dutiny pro výrobek. [12]



Obrázek 7 Nedotečený výrobek [19]

2.5.4 Přetoky

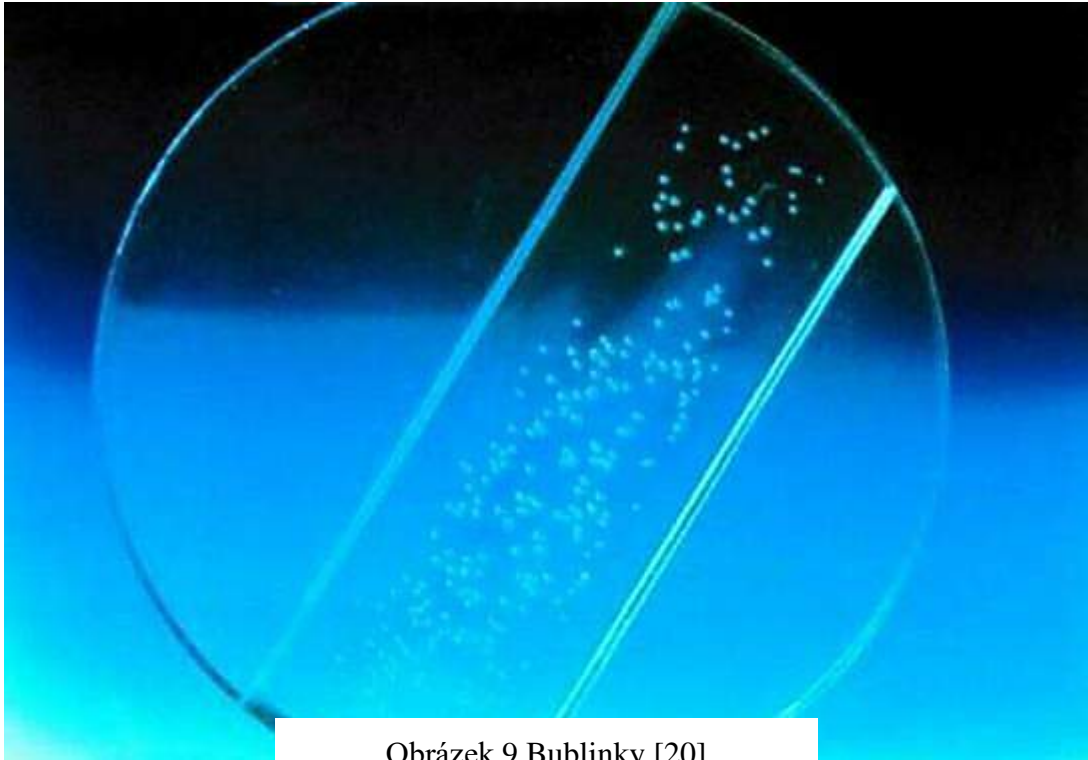
Jedná se o vadu, která nastane, když forma správně netěsní a polymer vytéká z tvarové dutiny do dělicí roviny, kde polymer nesmí být. Tato vada je nejčastěji ovlivněna silami v dělicí rovině nebo odvzdušněním. Jiné důvody pro vznik přetoků se vyskytují vzácně. Jelikož popisovaná chyba může poškodit formu, je nezbytné ji co nejrychleji odstranit. [12]



Obrázek 8 Přetok [19]

2.5.5 Bubliny a lunkry

Tyto vady vznikají uvězněním vzduch nebo prázdného prostoru polymerem. Vzduchové kapsy se nazývají bubliny a prázdný prostor lunkry. Bubliny jsou kapsy stlačeného vzduchu, které nastanou špatným odvzdušněním, a také když se spojí dva či více proudů taveniny. Lunkry nejčastěji se nalézají při špatném spojení dvou i více proudů taveniny. Často jejich vznik závisí na teplotě, tlaku, špatném odvzdušněním, konstrukcí formy, přehřátím polymeru nebo velké dávce vstříkovaného polymeru. U čirých výrobků tento typ vady se zpozoruje pouhým okem. Nejčastěji tuto chybu se odhalí tak, že tepelně se působí na výrobek a díky tomu se může rozlišit, zda jde o bublinu či lunkru. Lunkr při zvyšující se teplotě vtahuje materiál do sebe, zatímco bublina se rozpíná nebo plyn se snaží z ní uniknout. [12]



Obrázek 9 Bublinky [20]

2.5.6 Propadliny

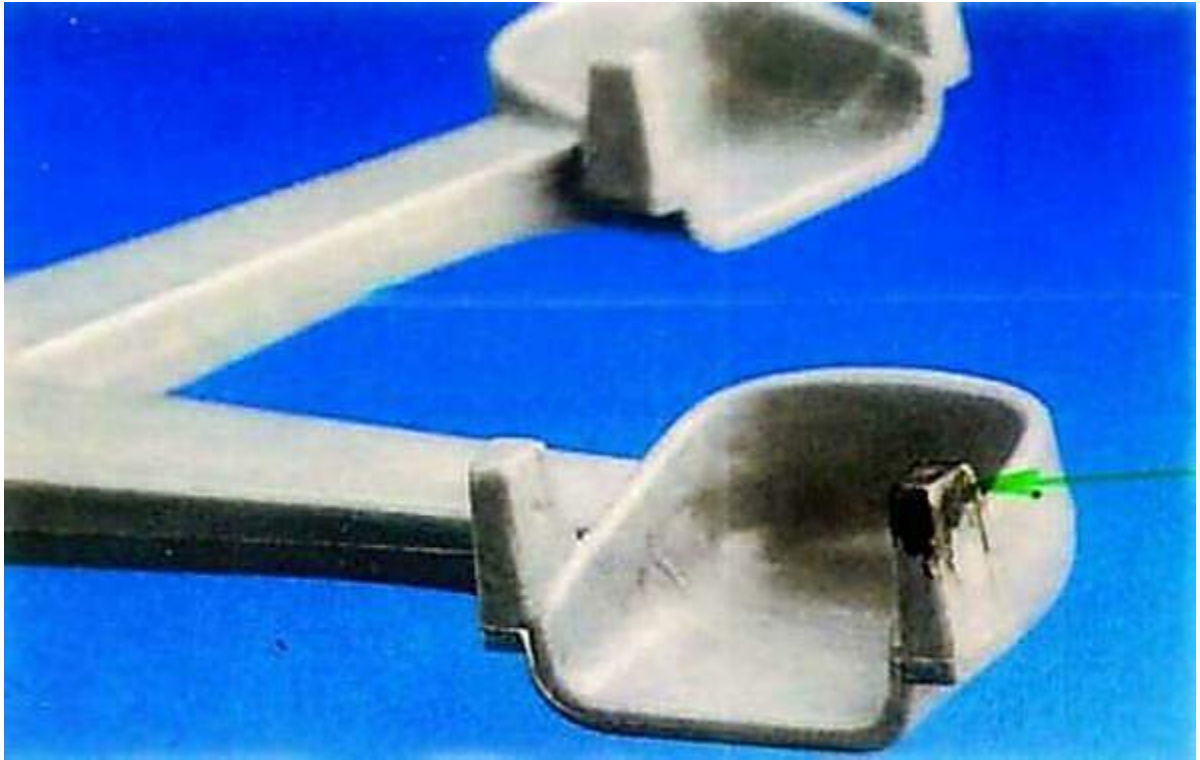
Je to vada, kdy se rovina zakříví na jednu stranu. Vyskytuje se především u silnějších tloušťek stěn. Lze tomu předcházet, když se upraví geometrie vstřikovacího výrobku, aby měl všechny stěny stejně silné. Také lze propadliny zamaskovat jako prvek výrobku, pokud to neovlivní funkci samotného dílu. Takto lze vadu eliminovat především u žeber kolmých na stěnu. Díky rozdílným tloušťkám stěn tuhne často v silnějších stěnách polymer pomaleji a při smrštění výrobku se tato místa objeví jako propadliny, protože stěny jsou již zatuhlé a dotlakem nelze dostat více polymeru do daného místa. [12]



Obrázek 10 Propadlina [20]

2.5.7 Spálená místa

Vznikají působení takzvaného dieslova efektu, kdy materiál degraduje z důvodu vysoké teploty u termoplastických materiálů. Spálená místa jsou obvykle černě zbarvena, někdy se objevují u zavřených dutin. Pokud jsou u vnějších stěn mohou zanechávat čmouhy na formě a občas tento efekt způsobí až poškození formy. [12]



Obrázek 11 Spálená místo [20]

Dalšími vadami jsou například křehkost, delaminace, lesklý povrch (pokud není chtěný), bílé nebo stříbrné pruhy, černé skvrny, zbytkový materiál, barevné skvrny, vyboulení, zdrženiny a další vady. [12]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

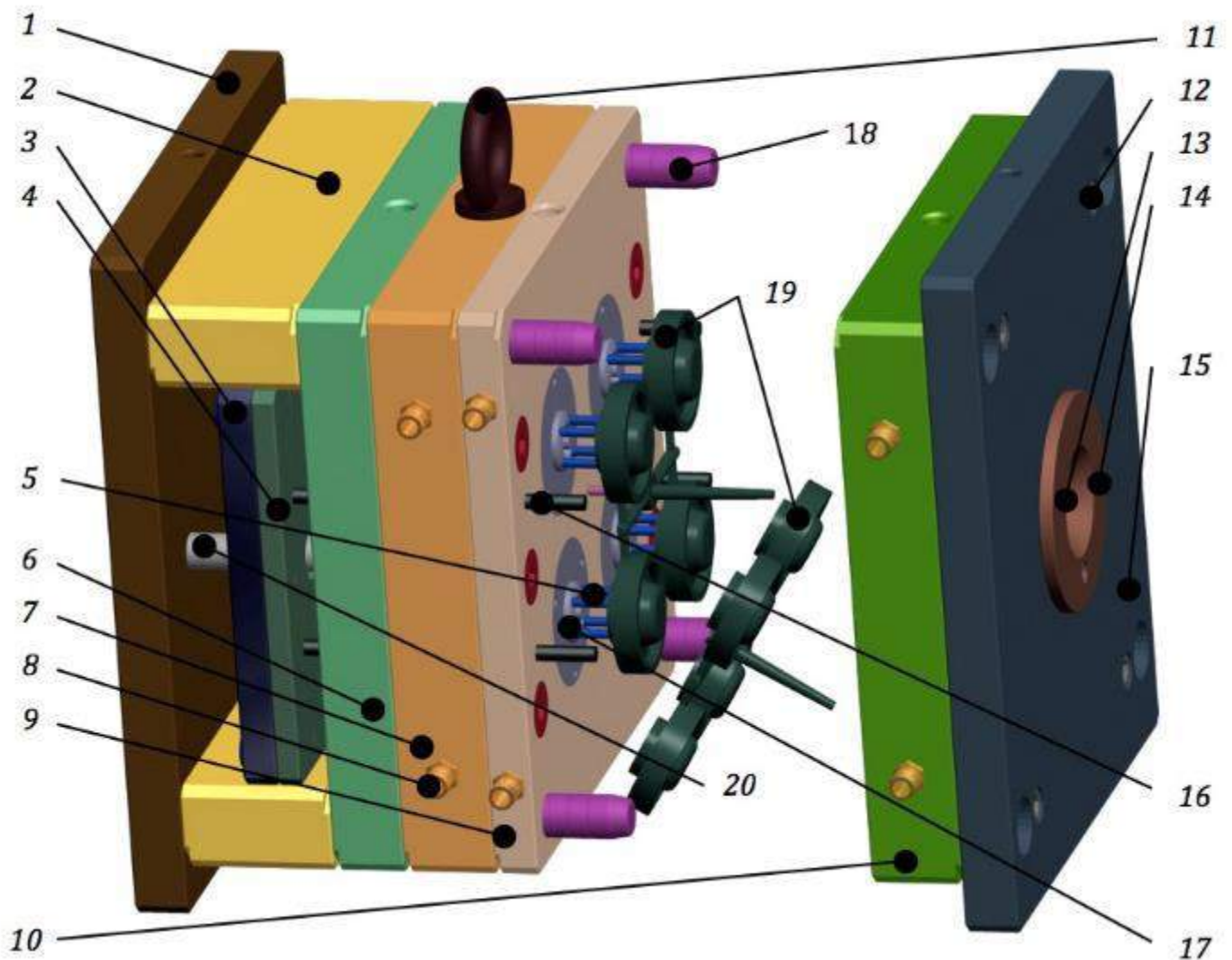
Návrh formy je náročný proces, protože je třeba znát vlastnosti polymerních materiálů a materiálů z níž se vyrábí forma. Také je důležité vědět na jakém stroji se bude pracovat, jelikož od toho se odvíjí následná velikost formy a ostatní parametry, podle kterých se forma navrhuje.

3.1 Konstrukce vstřikovacích forem

V dnešní době nejčastěji se navrhuje forma v grafických prostředích konstrukčních programů a tyto návrhy obvykle se ověřují v simulačních programech, kde lze odhalit velké množství chyb, které by mohli nastat na výrobku nebo formě. Pokud se nějaká vada ve výrobě vyskytne, je nutná úprava tak, aby se dále mohl vyrobít navrhnutý výrobek v požadované kvalitě.

Forma se dělí na tři části: pevnou, pohyblivou a vyhazovací část. Celkově se základ formy skládá z několika desek, vodících čepů, trubek, pouzder, tvárníku a tvárnice, vyhazovačů, středících kroužků, táhla, vyhazovačů, spojovacích prvků, podložek a ostatních prvků. Ve formě se dále mohou objevit další součástky a systémy například pro temperaci, či odvzdušnění. Nejčastěji se vyskytuje forma stavebnicového typu, kde lze funkční celky jednoduše sestavit, případně vyměnit součástku za jinou či potřebnou. Tyto součásti formy mají dané rozměry dle normalizovaných řad, případně stanoveny výrobcem formy. [3]

Popis: 1 Levá upínací deska, 2 Rozpínací desky, 3 Opěrná vyhazovací deska, 4 Přidržovací vyhazovací deska, 5 Vyhazovače, 6 a 7 Podpěrné desky, 8 Přípojky chlazení, 9 Kotevní deska levá, 10 Kotevní deska pravá, 11 Manipulační oko, 12 Vodící prvky, 13 Vtoková vložka, 14 Středící kroužky, 15 Upínací deska pravá, 17 Tvárník a tvárnice, 20 Táhlo, neuvedené části se liší forma od formy.



Obrázek 12 Schéma složení formy [8]

3.2 Vtokové systémy

Vtokové systémy slouží k dopravě polymerní taveniny do tvarových dutin a jsou složeny z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a ústí vtoku. U jednonásobných forem lze vtokovou vložku použít jako vtokové ústí. [13]

3.2.1 Vtokové vložky

Je orientována rovnoběžně k ose plastikační jednotky a slouží k dopravě materiálu do určité hloubky formy. Tato součást má nejčastěji kuželový vtok a dává se do pevné části formy. Její hlava je opatřena rádiusem 15,5-40 mm a její sklon pro vyhazování je 0,5°-1,5°. Musíme

zvolit vhodný materiál z důvodu tepelného a mechanického namáhání. Obvykle má kuželový vtok. Otvor vtokové vložky, který dosedá na trysku plastikační jednotky by měl být o trochu větší než trysky, kvůli nežádoucím přetokům. [13]

3.2.2 Rozváděcí kanály

Většinou se nachází v dělicí rovině a rozvádí taveninu k vtokovým ústím. Tyto kanály se často opatřují jímkami, které zachycují čelo taveniny z důvodu, aby chladnější polymer nevníkl do formy. Nejlepším rozváděcím kanálem je s kruhovým průřezem, ale tento kanál je na výrobu velmi náročný, proto se často používá kanál lichoběžníkového průřezu. V těchto kanálech vznikají nejmenší tepelné a tlakové zatížení. Kanál by měl být co nejkratší. Rozměry kanálu závisí na výrobních podmínkách pro polymer, rozměrech výrobku a stroji na, kterém vyrábíme. [13]

3.2.3 Ústí vtoku

Ústí vtoku dovádí taveninu do tvarové dutiny formy nejčastěji z rozváděcího kanálu a jedná se o zúžení tohoto kanálu. Stěna výrobku a rozváděcí kanál má větší tloušťku než ústí vtoku. Pro návrh ústí se musí dodržet, že bude co nejkratší z důvodu tlaku, který působí na pevnost tohoto vtoku. Vtokové ústí plní několik funkcí: zabraňovat zpětnému toku taveniny, snadné oddělení od rozváděcího kanálu, a hlavně přivedení taveniny z rozvodných kanálu do tvarové dutiny. Po ústí musí zůstat co nejmenší stopa, nebo je třeba zajistit snadné odstranění stopy po vstříku.

Ústí vtoku existuje mnoho typů:

- **Plný kuželový vtok** – tento vtok je výhodný v dotlakové fázi cyklu, je velmi problematický na odstranění, používá se především na velké výrobky, umísťuje se z vrchní strany výrobku, jeho zkosení bývá $0,5^\circ$ až 1° , ale některá literatura uvádí až $1,5^\circ$ zkosení vtoku. Pro výrobky se u tohoto vtoku používá čočkovité zahloubení, hlavně u výrobků menších tlouštěk. Se nalézá ho i u vtokové vložky a jednonásobné formy.

- **Bodový vtok** – je jedním z nejrozšířenějších typů vtoků, využívá třideskový systém, pracuje na principu, že vtok se odtrhne od plastikační jednotky a následně se otevírá tvarová dutina, která odtrhne výrobek od vtokového zbytku. Tento zbytek je držen na místě přidržovačem vtoku, od kterého se odpoutá při otvírání formy. U výrobku lze najít po vtoku výstupek nebo prohlubeň a předchází se této vadě tím, že se vytvoří čochovité zahloubení. Není vhodný pro větší výrobky, plněné polymery a málo viskózní polymery. Vtok je vhodné umístit z vrchní strany tvarové dutiny.
- **Tunelový vtok** – je odvozen od bodového vtoku a umísťuje se do pohyblivé části formy v dělicí rovině. Technologicky je tento vtok velmi náročný na výrobu. Je nutnost ostrých hran u oddělení u výrobku, vtok se odděluje při otevření formy. Na začátku vtoku musí být zaoblení. Je velmi namáhán tepelně i mechanicky. Objevuje se i speciální případ vtoku takzvaný banánový vtok, který se používá především, aby nebyl viditelný vtok. Je umístěn ze spodu tvarové dutiny a tento vtok je nevhodný pro křehké materiály, z důvodu těžkého odformování vtokového ústí, které by se mohlo v ústí lámat.
- **Boční vtok** – nejčastěji se najde toto vtokové ústí, na rozdíl od předchozích typů, může mít obdélníkový či lichoběžníkový tvar. Vtok leží v dělicí rovině a jeho zbytek zůstává po vyhození neoddělený. Kvůli zpětnému toku taveniny může být ve tvaru vějíře ve směru délky.
- **Filmový vtok** – patří mezi boční vtoky, je nejčastěji používaný pro trubkové a kruhové dutiny přesnějších rozměrů. Existuje mnoho typů těchto vtoků jako například deštníkové, či diskové. Ve filmovém vtoku není tok taveniny rovnoměrný, proto se volí proměnná tloušťka ústí nebo kanálů. Požaduje se vysoká přesnost, malé pnutí. [13]

3.3 Temperační systémy

Ve formě se bez temperace nachází různorodé teplotní pole, a tak se přidávají různé systémy pro ustálení tohoto pole. Úkolem je zkrátit proces výrobního cyklu a minimalizování teplotních deformací formy. Formy lze chladit nebo vyhřívat, záleží pouze na typu polymeru, který se vstříkuje. Důvodem, proč se doplňuje těmito systémy formu je zvyšující se teplota formy při každém vstřiku, se potřebuje zajistit stejné podmínky pro vstřikování. Nejčastěji se odvádí teplota z formy u termoplastů, a naopak se vyhřívá u reaktoplastů. Temperaci se rozdělí na pasivní (okolní vzduch) a aktivní (proudící kapalina ve formě). Temperační

system musí mít rovnoměrné teplotní pole hlavně v okolí, kde se formuje výrobek a odvod tepla z tvarové dutiny musí být efektivní, aby se zkrátil celý cyklus. Pokud je dobře vyřešený temperační systém, tak se zmenší teplotní a mechanické deformace. [14]

3.4 Vyhazovací systémy

Úkolem vyhazovací jednotky je odformovat a vyhodit výrobek z formy co nejdříve po jejím otevření. Při tomto procesu se často odstraňuje též vtokový zbytek. Vyhazování má dvě fáze: dopředný pohyb (vyhazování) a zpětný pohyb (návrat do počáteční polohy). Aby systém správně fungoval musí být dobře navržen výrobek, působit rovnoměrná vyhazovací síla a zanechat po sobě co nejmenší stopu. Vyhazovací síla závisí na mnoha faktorech, ale nezjišťuje se, protože bývá předimenzována. Pro hydraulické a pneumatické systémy se prakticky vyzkouší za provozu. Jejich systém je veden podobně jako pohyblivá část formy za pomoci čepů. Vyhazovací systém je umístěn v pohyblivé části formy. U těchto desek se zabezpečuje menší opotřebení pomocí dosedacích podložek zabráňujících dorážení celé plochy desek na sebe. [15]

3.4.1 Mechanické vyhazování

Jedno z nejpoužívanějších vyhazování výrobků. Tento systém má různé provedení. Nejčastěji se využívají:

- **Vyhazovací kolíky** – existují v mnoha variantách (válcové, prizmatické), jednoduché na výrobu, levné, jejich vůle zajišťuje odvzdušnění, tyto kolíky by měli být umístěny na nepohledové straně výrobku nebo žeburu.
- **Stírací deska** – působí velkou plochou na výrobek a tím jej vyhodí z tvárníku, nezanechává stopy na výrobku, deformace je velmi malá a vyhazovací síla velká, často se používá tlak táhla, u třídeskového se využívá i tah. Nejčastěji se vidá trubkový vyhazovač, který je speciálním případem tohoto vyhazovače. Musí být v dělicí rovině. Lze jej nalézt u tenkostěnných nebo rozměrných výrobků.
- **Šikmé vyhazovače** – vůči dělicí rovině jsou vyhazovací kolíky pod různým úhlem, není tak nutné přidávat čelist pro odformování, kombinuje se s jiným přímým vyhazováním, využívá se pro malé nebo středně velké výrobky.
- **Dvoustupňové vyhazování** – jsou nutné dva systémy vyhazování, mohou časově začít vyhazovat i v rozdílnou dobu a vyhodit tak rozdílný zdvih vyhazování, používá se u třídeskových forem. [15]

3.4.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické systémy působí po celém povrchu výrobku. Vzduch je veden přes ventil nebo kolík. Používá se u výrobků, kde by docházelo k deformacím nebo by byla potřeba velký zdvih pro vyhození. Hlavní využití nacházíme při výrobě tenkostěnných rozměrných dílů. [15]

3.4.3 Hydraulické vyhazování

Tyto systémy nahrazují mechanické vyhazovače pro plynulé ovládání a chod formy. Hydraulické zařízení může vyčnívat mimo formu. V dnešní době se na přímé vyhazování výrobku většinou nevyužívají. [15]

3.5 Boční odformování

Boční odformování se využívá pro tvarové dutiny, které nejdou odformovat pouze za pomoci jedné dělicí roviny, z důvodu otvorů či tvarově složitých částí, které by se nedaly vyhodit z formy. Formy opatřeny bočním odformováním jsou složité na konstrukci, a proto mají vyšší cenu. Posuvné čelisti lze nalézt na pohyblivé části formy. Ovládají se mechanicky (šikmé válcové kolíky, lomené kolíky) hydraulicky nebo pneumaticky. [12]

3.5.1 Šikmé válcové kolíky

Otevírají nuceně vedlejší čelisti pro odformování části výrobku, u kterého jsou potřeba. Umožní vyhození výrobku ve stejný čas jako otevření formy nebo s malým časovým zpožděním. Vůle mezi kolíkem a čelistí je značná, může dosahovat až 3 mm. Jejich poloha musí být jistěna z důvodu vůle a přesnosti výrobních rozměrů. U této součásti je třeba dbát ohybové síly a momenty. Šikmé kolíky mají sklon 15° až 25° výjimečně až 30° . [12]

3.5.2 Lomené kolíky

Mají stejnou funkci jako šikmé válcové kolíky, ale umožňují zpoždění otevření posuvných částí formy, v podstatě se mohou otevřít v jakékoliv fázi otvírání formy. Vůle je o hodně menší než u válcových kolíků. Sklon je také o něco menší než u šikmých válcových kolíků, ale musí být dosaženo větší uzavírací síly. Jejich průřez bývá obdélníkový. [12]

3.5.3 Zajištění a vedení čelistí

Čelisti se pohybují při otvírání a zavírání formy a k správnému pohybu slouží vedení. Také je však potřeba zajištění, aby čelist držela na místě při vstřikování. U vedení je třeba mít

dostatečné plochy s co nejmenším odporem, po kterých se pohybuje boční čelist. Zajištění musí mít velkou pevnost a tuhost, aby se čelist nepohnula a zachytila síly vznikající ze vstřikovacího tlaku. Nežádoucím posunutím těchto čelistí může vzniknout přetok. Zajištění čelistí při otevřené poloze zabezpečí například západka. [12]

3.5.4 Pneumatické tahače

U těchto zařízení je potřeba počítat se stlačitelností vzduchu. Je to zařízení využívající pístového zařízení, které se podobá hydraulickým tahačům. Vyznačují se nerovnoměrným pohybem. Pokud odformování obsahuje uzamykací systém, tak je řešen mechanicky. Nejčastěji se vyskytují, pokud jádra vyházejí z boční stěny výrobku. Naleznou se u hlubokých dutin, otvorů či tvarových prvků na výrobku. [12]

3.5.5 Hydraulické tahače

Pokud je hydraulika na stroji, tak na ni může být tahač napojen, ale může mít též samostatný okruh. Vyznačují se plynulým pohybem. Zajištění musí vydržet velké tlaky, proto se využívá hydraulických nebo mechanických zámků. Na tyto tahače se používají dvojčinné hydraulické válce. Umístění záleží na výrobku a konstrukci formy, nejčastěji je lze nalézt mimo formu. Lze je ovládat kdykoliv je potřeba. Používají se pro těžká a rozměrná jádra, především u hlubokých dutin. [12]

3.6 Materiály forem

Formy představují poměrně komplexní sestavu dílů a součástí, které musí splňovat spoustu požadavků na použité materiály. U forem se požaduje dosažení kvality pro výrobu za co nejnižší cenu, ale nesmí to být na úkor kvality výrobku a také je kladen na co nejdelší životnost. Mezi ovlivňující faktory řadíme výrobní stroj, rozměry a materiál pro výrobek a vstřikovací podmínky. Tyto parametry zužují výběr na velmi malý okruh materiálů vhodných na konstrukci formy. Přednost se dává typickým materiálům, s velkou škálou užitečných vlastností pro formu. Používané materiály jsou ocel, neželezné kovy a jejich slitiny a další materiály vhodné například na těsnění. Oceli se dává přednost především pro své výborné pevnostní a mechanické vlastnosti. Její výběr záleží na konstrukci, jak je s formou zacházeno a jak je udržována, ale také na způsobu opracování a tepelném zpracování oceli. Ve formě má každá část svou jedinečnou funkci, proto jsou kladeny rozdílné požadavky na zvolení materiálu. Nejvíce se od materiálů očekává obrobiteľnosť a pevnost materiálu. Speciální požadavky se určují pro funkční díly a kvalitu struktury. Tyto

požadavky se mohou velmi často vzájemně vylučovat a nastává čas pro hledání vhodných kompromisů v materiálech tak, aby co nejvíce vyhovovaly daným potřebám. Podmínky potřebné k splnění jsou: leštitelnost a obrobitelnost, odolnost proti otěru, minimální deformace a stálost rozměrů, pevností v tlaku a tak dále. [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly vytyčeny tyto cíle:

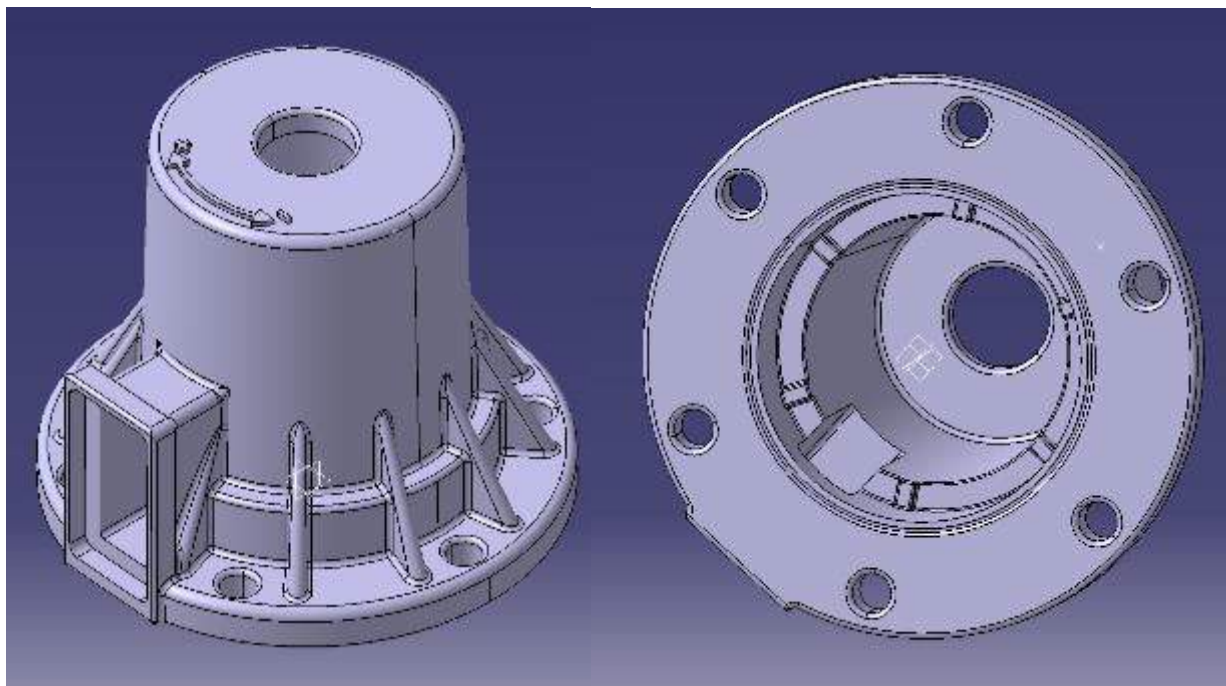
- Vypracovat literární rešerši na dané téma
- Vytvořit model zadané vstřikované součásti
- Zhotovit konstrukční návrh vstřikovací formy pro danou součást
- Nakreslit sestavu formy včetně patřičných pohledů a kusovníku

Teoretická část bakalářské práce byly popsány základní vlastnostmi polymerů, obecné informace o vstřikování a konstrukci vstřikovací formy. Také je zde byla zmíněna problematika možných způsobů recyklace a charakteristika vstřikovacího stroje a samotného cyklu vstřikování.

V praktické části byl vytvořen návrh pro konstrukci vstřikovací formy a k ní potřebných parametrů stroje včetně materiálu k vstřikování. Cílem této práce byl návrh vstřikovací formy. Návrh vstřikovací formy by měl splňovat: co nejlevnější náklady pro výrobu formy, ale přesto dodržet požadovanou kvalitu, jakost výrobku a spolehlivost formy.

5 VÝROBEK A JEHO MATERIÁL

Zadaný výrobkem vedoucím práce byla součást regulačního ventilu pro zakrytí systému regulačního ventilu (ke kompresoru).



Obrázek 13 Model výrobku

Na obrázku viz výše vidíme z vnější strany tři stupně, na nichž jsou šikmá žebra okolo celé součásti. Žebra začínají na prvním stupni a končí zhruba v polovině daného výrobku. Na prvním stupni jsou průchozí otvory pro šrouby. Na horní části se nachází díra pro připojení ovládání ventilu a také zde nalezneme značení pro ovládání. Z boční strany je obdélníková díra, která se v daném místě zúží a je dále vedena do vnitřní části. Uvnitř v místě zúžení se nachází plocha, na které jsou umístěné obdélníkové výstupky. Tuto plochu přerušuje obdélníkový otvor. Obdélníková díra nám narušuje pravidelnost žebek, ale i vzniklou plochu zúžení. Na spodní straně výrobku je půlkruhová rýha pro umístění potřebného těsnění.

Na daný výrobek byl zvolen polypropylen z důvodu jeho dobrých mechanických vlastností a zároveň i dobré chemické odolnosti. Radíme ho mezi termoplasty. Další jeho výhodou je jeho malá nasákavost. Můžeme ho často nacházet v mnoha oblastech průmyslu.

Pro tento účel jsem byl zvolen z polypropylenů kopolymer BC612WG od firmy BOREALIS, který se vyznačuje dobrými vstřikovacími vlastnostmi a zároveň dobré mechanické vlastnosti. Jejich význačnou výhodou je vysoká tepelná odolnost a odolnost vůči čistícím prostředkům.

Tab. 1 Základní parametry materiálu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	900	kg/m ³
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	5	g/10 min
Modul pevnosti v tahu (50 mm/min)	26	MPa
Charpyho tahová zkouška	9	kJ/m ²
Teplota tání	220-260	°C
Teplota formy	30-50	°C
Rychlost taveniny	100-200	mm/s
Smrštění	1,5-3	%

Pozn.: smrštění v materiálovém listě neuvedeno, nalezeno v náhradní zdroji

6 POUŽITÉ PROGRAMY

CATIA V5 2020 je komerční software vyvíjený firmou Dassault Systems. Tento počítačový software umožňuje navrhnout v 3D sestavě mnoho aplikací i procesů využívaných nejen ve strojírenském průmyslu. V tomto programu lze začít od prvotního výběru, přes samotnou sestavu soustavy součástí i jejich analýzou. Dále zde nalezneme dalších funkce, jako třeba přípravu před obráběním nebo možnost modelování ploch a převedení na objem těchto ploch. CATIA většinou vítězí před konkurencí jiných softwarů, jelikož nabízí větší rozmanitosti funkcí, které obsahuje a propojuje. Protože má množství propojených funkcí v 3D prostředí je možné provádět také simulace výrobků. Tento program má k dispozici velkou knihovnu normalizovaných součástí, snadnou orientaci a nástroje pro velké sestavy s přehledným kusovníkem nebo modelování plechových součástí. Jednou z jeho nevýhod je jeho cena.

HASCO DAKO Modul je velká knihovna pro součásti vstřikovací formy, které jsou normalizovány firmou HASCO. Má dobré propojení s mnoha dalšími softwarovými návrhovými programy. Tento program nás navádí, kde ve formě mají být součástky, a navíc nám poskytuje informace o velikosti součástí potřebných k formě.

7 VOLBA STROJE A JEHO PARAMETRY

Pro svůj vstříkovaný výrobek byl zvolen stroj ALLROUNDER 470 S multi-component s hydraulickou mechanikou od firmy ARBURG. Byl vybrán z katalogu od firmy ARBURG, podle velikosti formy, aby se dal upnout, dále dle síly potřebné k udržení uzavření formy a také velikost otevření a zavření formy. U vstříkovacího stroje bylo dbáno na další možné parametry, které se udávají v katalogu vybraného výrobce. Jedná se již o speciální nastavení pro zvolený typ stroje.

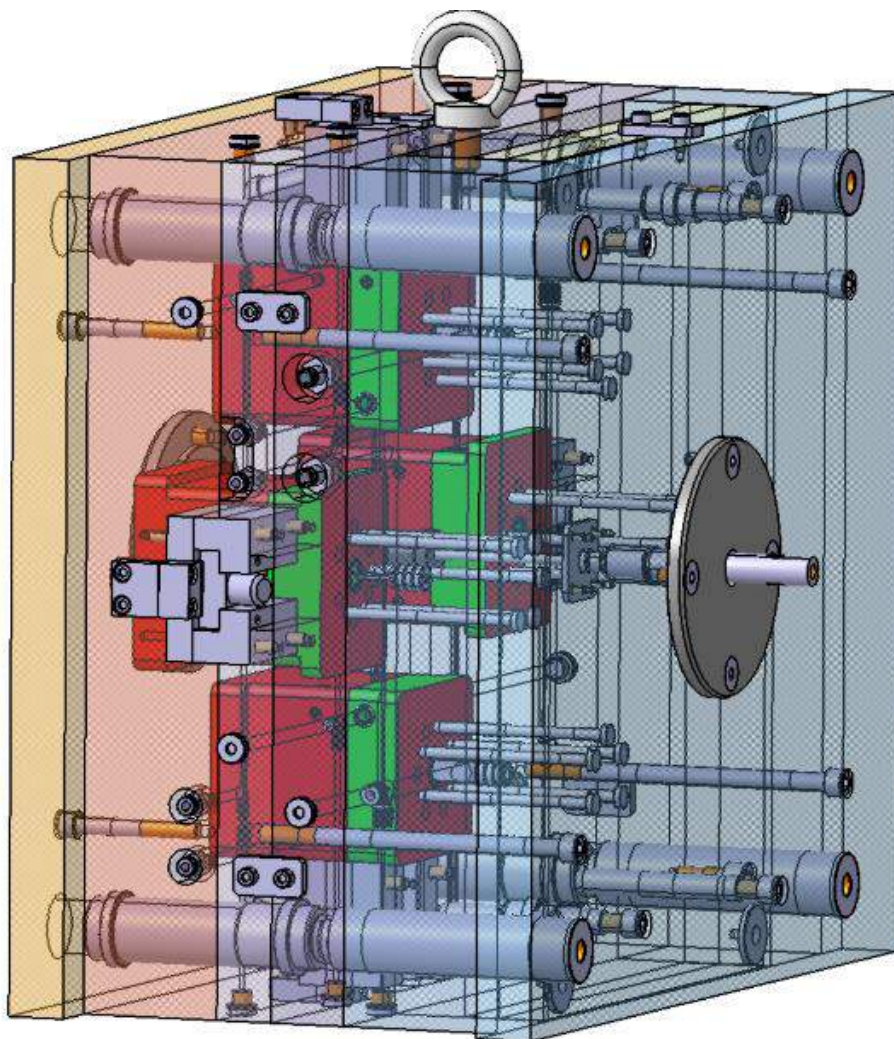
Tab. 2 Základní parametry stroje

Parametr	Hodnota	Jednotka
Uzavírací síla	1100	kN
Vzdálenost mezi vodícími čepy	470x470	mm
Minimální výška formy	250	mm
Maximální zdvih otevření	500	mm
Průměr šneku	30	mm
Délka šneku	23,3	L/D
Zdvih šneku	150	mm
Vstříkovací tlak	2500	bar
Maximální množství PP v 1 dávce	51	g

8 NÁVRH FORMY

Jednou z prioritních zásad pro konstrukci forem, bylo mít co nejjednodušší formu, aby se ekonomicky vyplatila, ale přitom dosahovala nejlepší kvality. Pro zjednodušení jsem si vybírala z katalogu normálií součástek od firmy HASCO.

Konstrukci formy jsem vypracovala v programu CATIA V5R20. Na nenormované díly se využil part design, pro tvárník a tvárnici Core and cavity, normálie a složení jsem vytvořila v Mold tooling desing s přístupem do katalogu HASCO.



Obrázek 14 Sestava formy

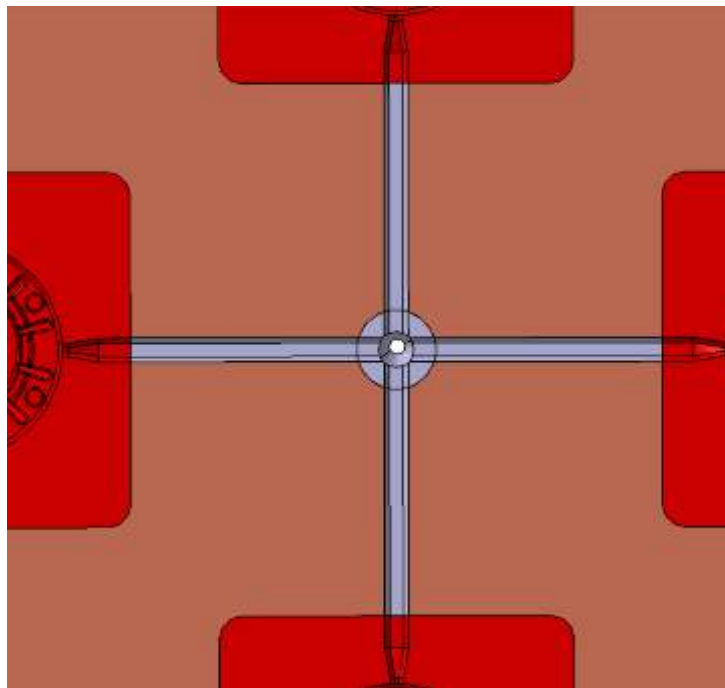
8.1 Násobnost a vtoky

Násobnost formy závisela na několika parametrech. Mezi základní řadíme tyto:

- Rozměry výrobku, tvarová složitost
- Přesnost
- Velikost stroje a jeho kapacita
- Množství výrobků
- Náklady na výrobu a nákup surovin

U výrobku nebyla z vnější strany nutná funkční přesnost, ale dbalo se zde především na vzhled. Naopak pro vnitřní stranu byly požadovány přesně opačné vlastnosti. Pro svou formu bylo zvolena čtyřnásobná forma, a to z důvodu toho, že je zde lepší produktivita, a přitom je zachována dobrá kvalita výrobku.

Z důvodu násobnosti formy se musí zkonstruovat rozvodný vtokový systém pro tvarovou dutinu. Vtokový systém zajišťuje dovedení taveniny do dutiny pro výrobek. Z dvou typů vtokových systému jsem vybrala studený vtokový systém, protože potřebuji zajistit rychlé odformování po zatuhnutí taveniny. Vtokové ústí je umístěno v díře nahoře výrobku, který se poté odstraní.



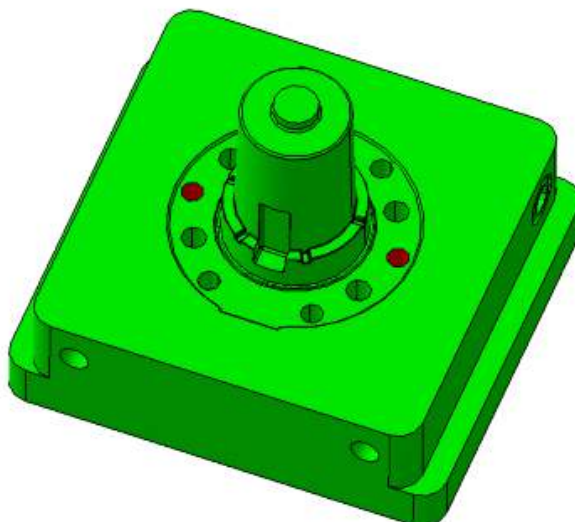
Obrázek 15 Vtokový systém

8.2 Tvárník, tvárnice a dělicí roviny

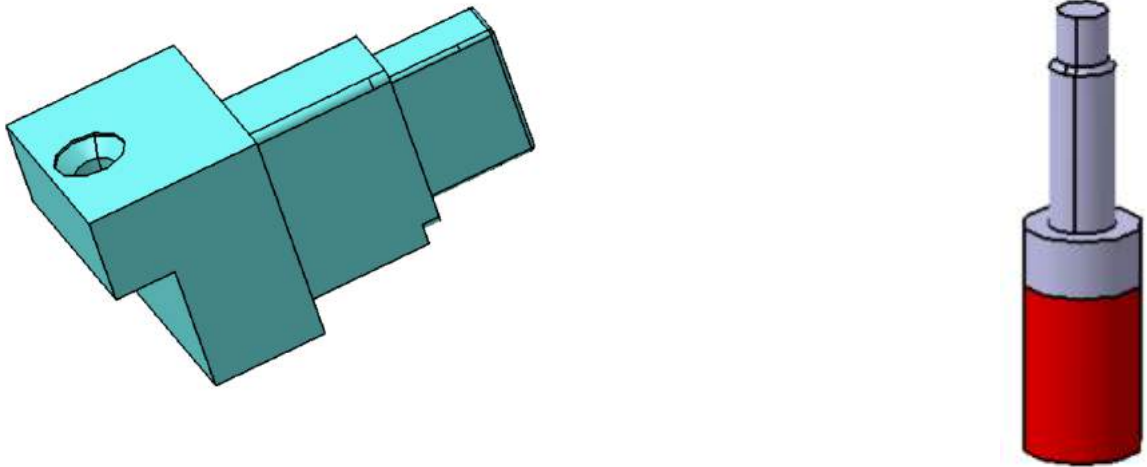
V tvárníku a tvárnici se nachází tvarová dutina, která je negativem výrobku. Tyhle části jsou odděleny od desky, aby se daly snadno vyměnit při vadě nebo při manipulaci tvárnice a tvárníku. V desce se nachází dutiny pro jejich umístění. Na levé pohyblivé straně máme tvárník a na pravé nepohyblivé straně tvárnice, další tvárnice je umístěna pro velkou díru.



Obrázek 16 Tvárnice

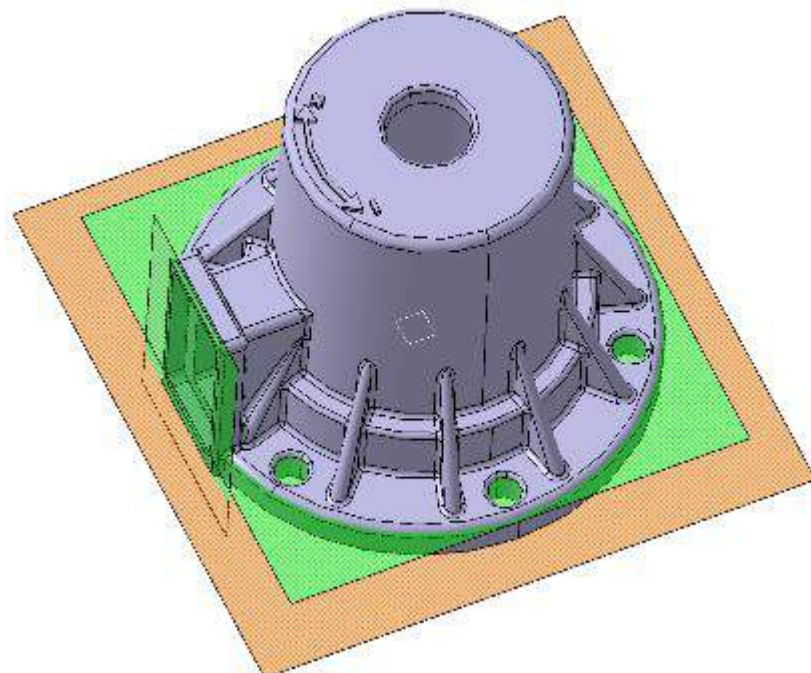


Obrázek 17 Tvárník



Obrázek 18 Boční čelist a válcová vložka

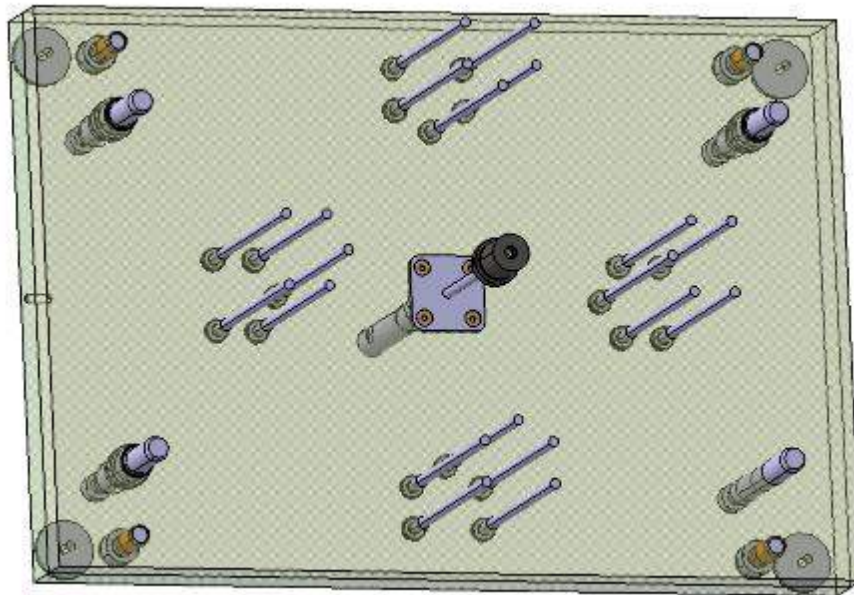
Dělicí roviny byly zvolily v závislosti na složitosti výrobku. Hlavní dělicí rovina je umístěna u dolního vrcholu rádiusu na spodní straně výrobku. Vedlejší rovina je umístěna za obdélníkovou dírou. Tato rovina zasahuje do tvárníku, proto byla nutná úprava dosednutí u této roviny. Další rovina je v dírách pro upevnění, která se nachází kousek nad hlavní rovinou.



Obrázek 19 Dělicí roviny

8.3 Vyhazování

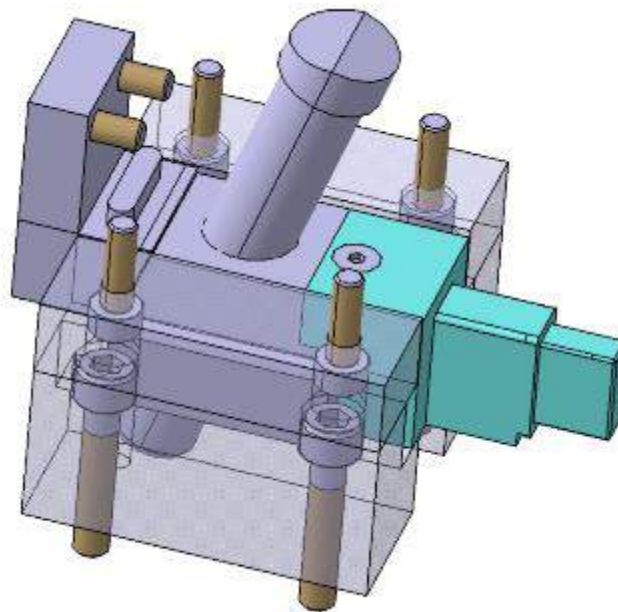
Vyhazovače slouží k odformování výrobku od formy. Pro své účely byly použity válcové vyhazovací kolíky, uložené na výstupcích z vnitřní strany. Vyhodí se dopředným pohybem po odformování obdélníkové díry z boku výrobku. Vyhazovací kolíky byly umístěny ve vyhazovací části formy a upnuty ke kotevní desce. Pro bezpečné vyhození výrobku bylo zajištěn dostatečný počet a umístění vyhazovacích kolíků. Pro dobré vyhození vtokové soustavy byl využit také vyhazovač, který musí být silnější, aby zvládl vyhodit přes přídržovač vtoku.



Obrázek 20 Vyhazovací systém

8.4 Odformování boční díry

Pro odformování bylo využito šikmého kolíku, z důvodu velkých rozměrů boční čelisti byla navržena vlastní velikost pro dané součásti. Vedení a uzamčení bylo provedeno mechanicky.



Obrázek 21 Boční odformování

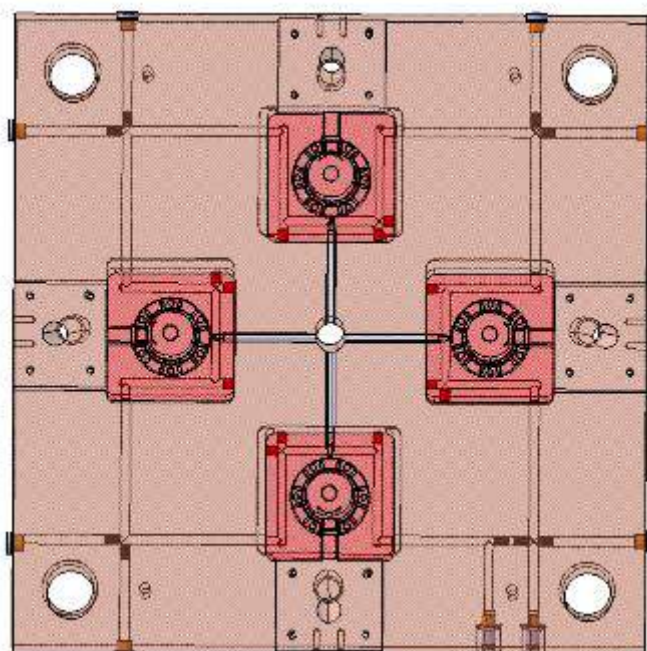
8.5 Součásti pro sestavu formy

V běžné vstřikovací formě se nachází vodící prvky pro formu (čep, pouzdro a středící trubka), na vyhazovací soustavu opět bylo využito vodících prvků. Na středu formy jsou středící kroužky určeny pro táhlo na otevření formy nebo vtok polymeru po příjezdu plastikační jednotky. Pro pevnost formy se využilo šroubů. Pro vyhazovací systém bylo použito dosedek.

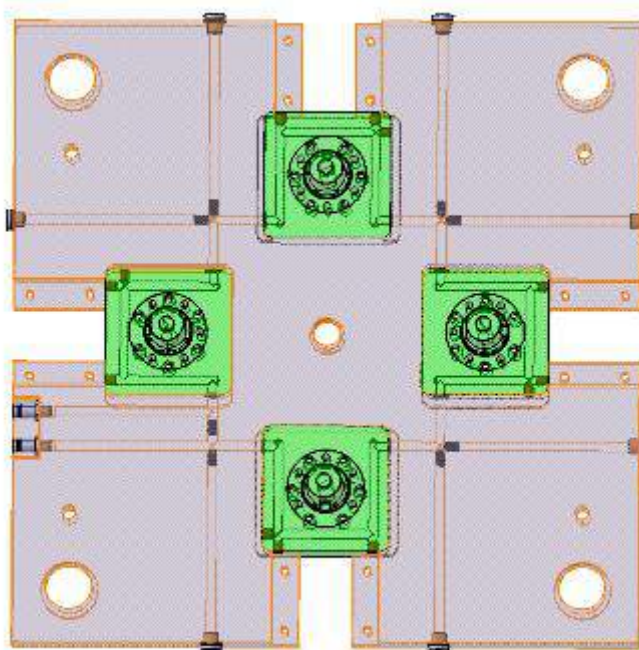
8.6 Temperace

Bylo provedeme vyvrtání kanálků chladicího systému, podle rozložení formy podle návrhu. Tyhle kanálky jsou o průměru 6 mm, ale pro lepší chlazení jsme v podpěrné desce vytvořili kanálky o průměru 10 mm z důvodu lepší průtočnosti pro jednoduchou temperační přepážku umístěnou v tvárníku. Protože nebylo možné vrtat rohy, byla navrtány příčné a kolmé kanálky a poté byly zacpány vhodnými ucpávkami, aby nám kapalina nevtekla tam, kam by neměla a další ucpávky byly umístěny na okraje formy. V obou tvarových deskách okruhy stejné, byly zavedeny tak, že vtok a výtok jsou na stejné straně, ale byly umístěny ze strany desek. Tyto vtokové vložky jsou vzájemně pootočené na desce, aby nekolidovali. Jejich trasa pro médium je stejné vtečou do tvarových součástí a vytékají na protější straně. V tvarových částech médium obtéká výrobek a mívá vedlejší čelisti. V podpěrné desce tvarové desky je čtvercový okruh, který vtéká na stejné straně desky jako v tvarové desce. V tvárníku vtéká

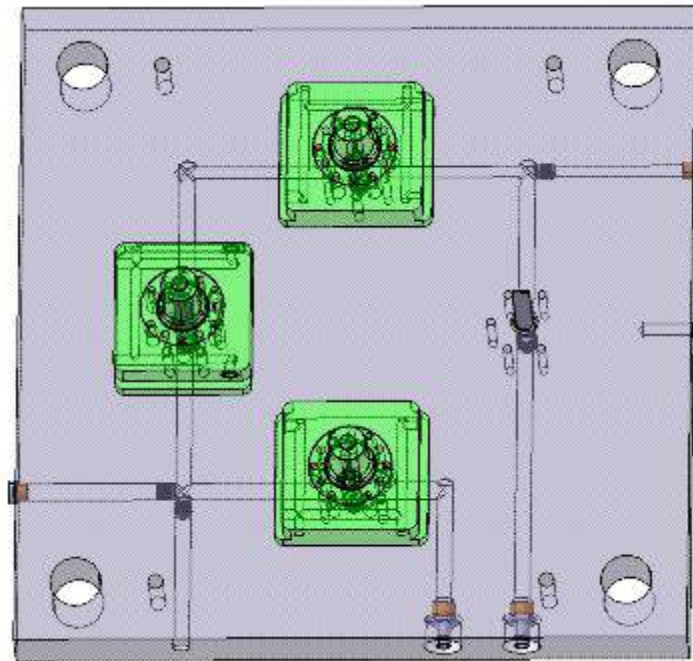
z jedné strany a vytéká na protější a v tomto okruhu je umístěna jednoduchá obtoková vložka pro tvárník.



Obrázek 22 1. Temperační okruh



Obrázek 23 2. Temperační okruh



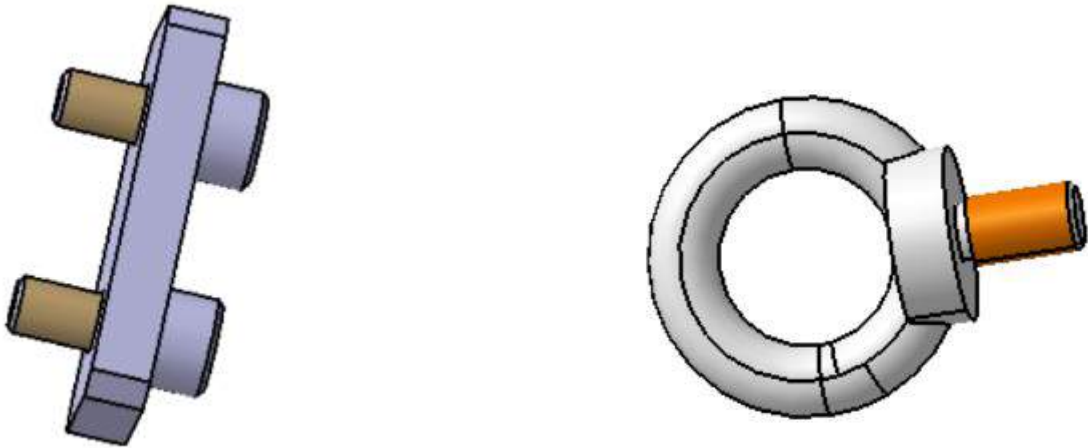
Obrázek 24 3. Temperační okruh

8.7 Odvzdušnění

Vzduch při vstřikování, pokud nemá kam uniknout se stlačuje čelem taveniny a způsobuje vady nebo degradaci polymeru. Při návrhu bylo nutno myslet na odvzdušnění. U této formy je odvzdušnění přirozeně dělicími rovinami, mezerami mezi součástmi, tak aby polymer neunikl z tvarové dutiny.

8.8 Transport formy

Byl použit šroub s okem, který byl umístěn na vrchní stranu formy. Její přemístění vykonává jeřáb, jehož hák byl uchycen k šroubu s okem. Pro zpevnění pohyblivých součástí bylo využito destičky s dvěma šrouby.



Obrázek 25 Součásti pro transport formy

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést konstrukční návrh vstřikovací formy pro regulátor tlaku.

Tato práce se dělila na teoretickou a praktickou část. Teoretická část pojednávala o vlastnostech polymerů, se zaměřením na termoplasty a jejich recyklaci. Zabývala se též obecným popisem vstřikování, vstřikovacího cyklu a samotného stroje. Hlavní teoretická část pojednávala o návrhu formy a o nejpoužívanějších součástkách a jejich druzích.

V praktické části bylo podle daného výkresu vymodelován 3D model regulátoru tlaku. Pro výrobek byl navržen kopolymer polypropylenu BC612WG, který vyhovuje požadavkům na vlastnosti pro zadaný výrobek. Podle odhadovaných rozměrů formy a zvoleného polymeru se ke zpracování byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 370 S. Z modelu se odvodily rozměry pro návrh vstřikovací formy. Ze vstřikovací formy na jeden zdvih se získali čtyři výrobky.

Pro návrh byl použit grafický program CATIE V5 2020. Byl zvolen Mold tooling desing pro normálie od firem spolu s programem Hasco DAKO Modul a také součásti od firmy Meusburger. Pro 3D model výrobku byl využit Generative Shape Desing a Part desing. K vytvoření výkresové dokumentace jsem pracovala v programu CATIE V5 2020.

Pro přítok polymeru do tvarové dutiny byl navrhnout studený vtokový systém s bočními vtoky. U formy bylo využito bočního odformování za pomoci pneumatického tahače z důvodu velké díry. Temperace se provedla za pomoci chladících kanálek obou stran formy. Vyhazování je dvoustupňové z důvodu boční díry se nejdřív odformovala díra, poté výrobek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LUBOMÍR, Zeman. *Vstřikování plastů 2*. Praha : Grada Publishing a.s., 2021. 978-80-271-1294-4.
- [2] CHHABRA, R.P. a RICHARDSON, J.F. *1.Non-Newtonian Fluid Behaviour*. Amsterdam : Elsevier, 2008. 978-0-7506-8532-0.
- [3] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů : polymery*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2013. 978-80-7204-833-5.
- [4] VRATISLAV, Ducháček. *POLYMERY: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha : VŠCHT, 2011. 978-80-7080-788-0.
- [5] RODON GROUP. *An Intro to Plastic Injection Molding*. [Online] 2021. [Citace: 30. December 2021.] <https://www.rodongroup.com/lp-ebook-download-request-form>.
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie II. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*. [Online] Technická univerzita Liberec, 2018. [Citace: 29. prosinec 2021.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm.
- [7] KRULIŠ, Zdeněk. *Recyklace plastového odpadu-Technologické možnosti a realita. Vesmír 98*. Vesmír s.r.o., 9. Prosinec 2019, 12, stránky 684-687.
- [8] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Pardubický kraj : Code Creator s.r.o., 2015. 978-80-88058-74-8.
- [9] REES, Herbert. *Mold Engineering*. Munich : Hanser Gardner, 2002. 1-5690-322-0.
- [10] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Svitavy : Code Creator, s.r.o., 2015. 978-80-88058-71-7.
- [11] LUBOMÍR, Zeman. *Vstřikování plastů - teorie a praxe*. Praha : Grada Publishing s.r.o., 2018. 978-80-271-0614-1.
- [12] OSSWALD, Tim A. *Injection molding handbook*. Munich : Hanser Gardner Publications, 2008. 978-3-446-40781-7.
- [13] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich : Hanser Publishing, 2016. 978-1-56990-571-5.
- [14] CHEN, Shia-Chung a další. *Advanced injection molding technologies*. Munich : Hanser Publications, 2019. 9781569906033.
- [15] MALLOY, Robert A. *PLASTIC PART DESIGN FOR INJECTION MOLDING*. Munich : Hanser Publishers, 2010. 978-3-446-40468-7.
- [16] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding : scientific molding, recommendations, and best practices*. Munich : Hanser publications, 2020. 978-1-56990-689-7.

- [17] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Svitavy : Creator, 2016. 978-80-88058-68-7.
- [18] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje*. *MM Science Journal*. [Online] 3. březen 2010. [Citace: 15. leden 2022.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>.
- [19] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady*. *MM Science Journal*. [Online] 2010. březen 2010. [Citace: 15. leden 2022.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>.
- [20] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 3. díl: Vady vzhledové*. *MM Science Journal*. [Online] 26. duben 2010. [Citace: 15. leden 2022.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>.
- [21] JOHANNAYER, Friedrich. *Injection molding machines*. Munich : Hanser Gardner Publications, 2008. 978-3-446-22581-7

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	procento
°C	stupeň Celsia
D	průměr
E	napětí
g	gram
kg	kilogram
kJ	kilojoule
kN	kilonewton
L	délka
m ²	metr čtverečný
m ³	metr krychlový
min	minuta
mm	milimetry
MPa	megapascal
PET	polyetyletereftalát
T	teplota
s	sekunda

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Graf přechodových teplot amorfních polymerů [16]	12
Obrázek 2 Graf přechodových teplot semikrystalických polymerů [17].....	13
Obrázek 3 Cyklus vstřikování pro studený systém.....	16
Obrázek 4 Schéma vstřikovacího stroje [21]	18
Obrázek 5 Studený spoj [18]	21
Obrázek 6 Tryskový tok a normální tok vstřikování [12]	22
Obrázek 7 Nedotečený výrobek [19]	22
Obrázek 8 Přetok [19].....	23
Obrázek 9 Bublinky [20]	24
Obrázek 10 Propadlina [20].....	25
Obrázek 11 Spálená místo [20].....	26
Obrázek 12 Schéma složení formy [8]	28
Obrázek 13 Model výrobku	37
Obrázek 14 Sestava formy	41
Obrázek 15 Vtokový systém.....	42
Obrázek 16 Tvárnice.....	43
Obrázek 17 Tvárník	43
Obrázek 18 Boční čelist a válcová vložka	44
Obrázek 19 Dělicí roviny.....	44
Obrázek 20 Vyhazovací systém.....	45
Obrázek 21 Boční odformování.....	46
Obrázek 22 1. Temperační okruh	47
Obrázek 23 2. Temperační okruh	47
Obrázek 24 3. Temperační okruh	48
Obrázek 25 Součásti pro transport formy	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní parametry materiálu.....	37
Tab. 2 Základní parametry stroje.....	40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Parametry stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace

- Výkres výrobku
- Výkres sestavy formy
- Pravá strana formy
- Levá strana formy
- Kusovník

Příloha P IV: CD disk

