

Návrh vstřikovací formy pro součást nabíjecí základny

Michal Machálek

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Machálek**
Osobní číslo: **T19309**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Návrh vstříkovací formy pro součást nabíjecí základny**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární studii na dané téma.
2. Zhotovte trojrozměrný model zadané vstříkované součásti.
3. Proveďte konstrukční návrh vstříkovací 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: **5. ledna 2021**

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

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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 návrhem vstřikovací formy pro součást nabíjecí základny. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. Teoretická část obsahuje obecné informace ohledně polymerních materiálů, vstřikování a konstrukce forem. Praktická část se pak zaměřuje na tvorbu 3D modelu výrobku dle vzoru, volbu vstřikovacího stroje a návrhem vstřikovací formy s výkresovou dokumentací. Vše je zrealizováno v programu CATIA V5R19.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, CATIA V5R19

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of the injection mold for part of the charging base. Thesis is divided into two main parts. The theoretical section contains general information about polymer materials, injection molding and mold design. The practical section then focuses on creating 3D model of the product according to the real model, choice of injection molding machine and design of the injection mold including drawing documentation. Everything is realized in CATIA V5R19 software.

Keywords: injection molding, injection mold, CATIA V5R19

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, za užitečné rady, odborné vedení a čas, který mi při vedení této práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a kamarádům, za projevenou podporu po celou dobu studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	11
1.1 HISTORIE POLYMERŮ	12
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.2.1 Reaktoplasty	13
1.2.1 Termoplasty.....	14
1.2.1 Elastomery.....	15
1.3 VLASTNOSTI POLYMERŮ	16
1.4 RECYKLACE POLYMERŮ	18
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	19
2.1 PŘÍPRAVA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	19
2.2 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	20
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	22
2.4.1 Pístové vstřikovací stroje	24
2.4.2 Šnekové vstřikovací stroje	24
2.5 ZÁSADY KONSTRUKCE PLASTOVÝCH DÍLŮ	25
2.6 VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	25
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	27
3.1 KONSTRUKCE FORMY	28
3.2 NÁSOBNOST FORMY	30
3.3 ZAFORMOVÁNÍ A VOLBA DĚLICÍ ROVINY	30
3.4 VTOKOVÉ SYSTÉMY	31
3.4.1 Studené vtokové systémy	31
3.4.2 Vyhřívané vtokové systémy	33
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	34
3.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	35
3.7 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	37
3.8 MATERIÁLY FORMY	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	42
5 POUŽITÉ PROGRAMY	43

5.1	CATIA V5R19	43
5.2	HASCO KATALOG	43
5.3	MEUSBURGER KATALOG	43
6	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	44
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	45
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	46
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	47
8.1	NÁSOBNOST FORMY	48
8.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	49
8.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	50
8.4	LEVÁ ČÁST FORMY	51
8.5	PRAVÁ ČÁST FORMY	52
8.6	VTKOVÝ SYSTÉM	53
8.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	54
8.8	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	55
8.9	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	56
8.10	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	57
8.11	MANIPULACE	57
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK.....	64
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

ÚVOD

Polymery v poslední době zaujímají čím dál tím silnější postavení v celé oblasti průmyslu. Tyto materiály začínají nahrazovat standardní materiály, jako jsou ocel, dřevo, keramika nebo sklo. Plasty mají využití v nejrůznějších průmyslových odvětvích, jako je například potravinářství, automobilový průmysl, strojírenství nebo zdravotnictví a mnoho dalších.

Plasty se staly stále více vyhledávanými především díky jejich širokému spektru vlastností a tím pádem také obrovským možnostem v oblasti jejich využití. Polymery jsou také oproti například ocelovým materiálům poměrně snadno zpracovatelné.

Polymery se zpracovávají nejrůznějšími způsoby. Tato bakalářská práce se bude věnovat jedné z nejrozšířenějších metod zpracovávání plastů, která se nazývá vstřikování plastů.

Vstřikování plastů je složitý tepelně-mechanický proces tváření, který se skládá z volby výchozího materiálu, předem určeného výrobního cyklu a vstřikovací formy. Vstřikováním lze vyrábět díly nejrůznějších velikostí, složitosti tvarů a různých materiálů.

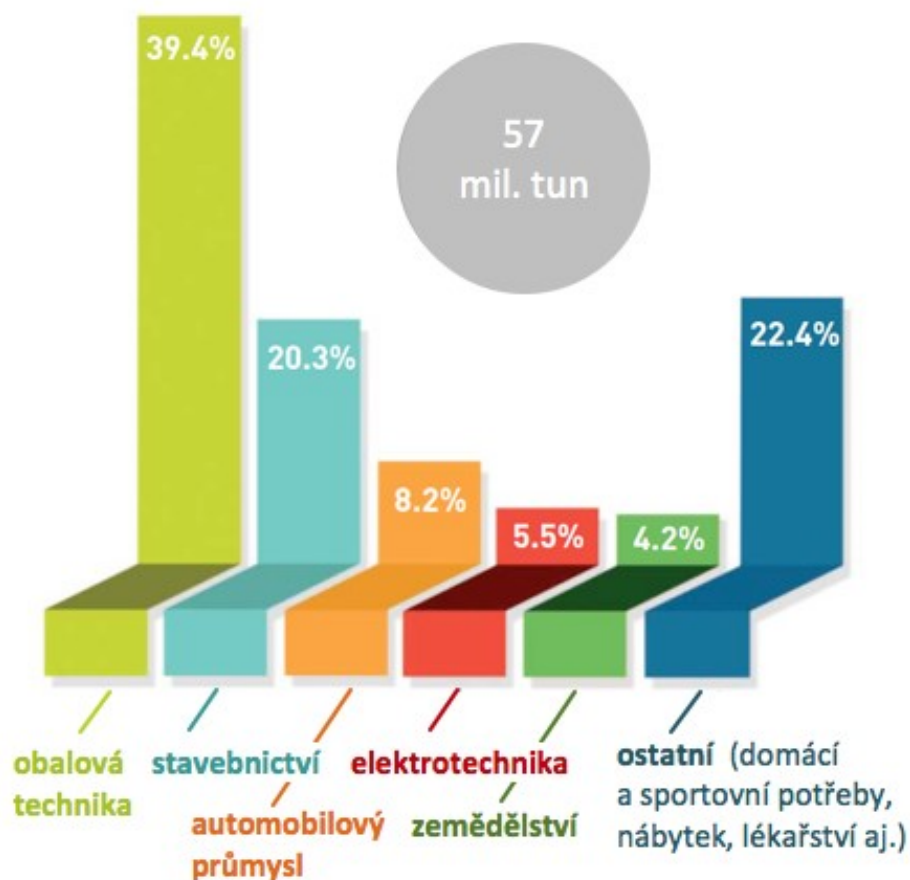
Tvar výrobku určuje vstřikovací forma. Forma se skládá z velkého počtu dílů a její konstrukce je s ohledem na danou součást poměrně složitá. V dnešní době se již ke zjednodušení práce a větší efektivitě používají ke konstrukci forem nejrůznější softwary, v této bakalářské práci budu pracovat se softwarem CATIA V5 R19.

Cílem této bakalářské práce je návrh a celkové seznámení s problematikou návrhu vstřikovací formy pro součást nabíjecí základny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky neobvyklého spektra vlastností, obsahující ve svých makromolekulách atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku a jiných prvků. Z chemického hlediska se jedná především o organické látky, přírodního nebo syntetického původu. Typickými příklady organických látek jsou dřevo, rostliny, ropa, zemní plyn a další. Pro polymery je charakteristické, že mají velké molekuly, tzv. makromolekuly. S vývojem lidské společnosti je úzce spjat i vývoj požadavků na technické výrobky a strojní zařízení, které společnost pro svůj život nezbytně potřebuje. S ohledem na zvýšené požadavky na vlastnosti výrobků se polymery stále více prosazují jako konstrukční materiály, které nachází uplatnění v širokém měřítku průmyslových odvětví, tak jak popisuje obrázek 1. [1,2]



Obrázek 1 Evropská spotřeba polymerů (pozn.: rok 2012) [2]

1.1 Historie polymerů

Lidská společnost se setkává s makromolekulárními látkami prakticky odnepaměti, aniž by to dříve tušila. Historie polymerů je mnohem starší, než je obecně předpokládáno. I když rozvoj syntetických polymerů v moderním smyslu nastal až ve dvacátém století, některé polymerní materiály (zejména přírodního charakteru) byly známy a využívány již mnohem dříve. Mezi ně patří například kaučuk. Kaučuk je v Evropě znám již od roku 1496, po návratu Kryštofa Kolumba ze své druhé cesty do Nového světa byl dovezen v podobě kaučukových míčů. Trvalo však dalších téměř tři sta let, než kaučuk našel první uplatnění. Kaučuky jsou základní surovinou pro výrobu pryží, milně označovaných i jako guma. [2,3]

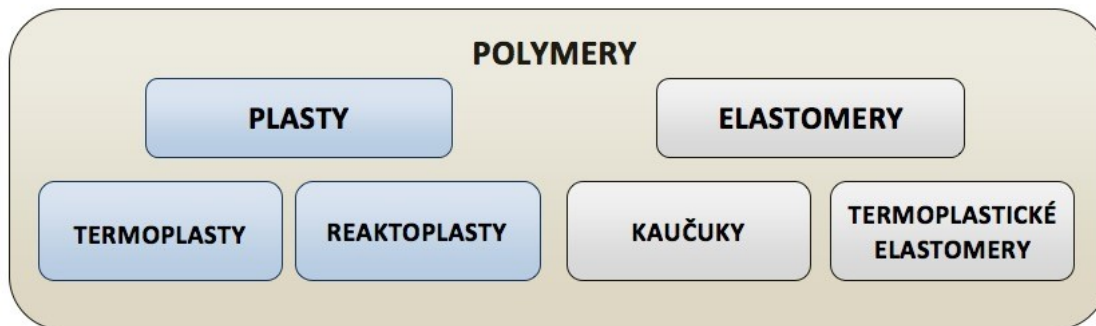
V roce 1770 se začaly kaučukové kostičky používat na gumování. Významnější však bylo použití přírodního kaučuku k impregnaci bavlněné tkaniny pro výrobu nepromokavých pláštěů, nebo pro výrobu pryže pomocí vulkanizace sírou. Další významný milník nastal v roce 1888, kdy byla britským vynálezcem Johnem Boydem Dunlopem patentována pneumatika. První pneumatiky byly určeny pro jízdní kola, teprve od roku 1906 byly vyráběny pneumatiky také pro automobily.[2]

Prvním přírodním polymerem, jemuž se dostalo obchodní využití, byla v roce 1843 gutaperča. Průkopníkem syntetických polymerů se stal nitrát celulózy, který byl popsán již v roce 1846. Tento materiál se z počátku využíval jako výbušnina, teprve později k přípravě polymeru. Z nitrátu celulózy později vznikl vůbec první plast a to celuloid, který později umožnil rozvoj filmového průmyslu a kinematografie. Dále je historicky patrný vzájemný vztah mezi vývojem polymerů a elektrotechnikou, což pokračuje dodnes. Zajímavostí je, že počátky gumárenské technologie v ČR jsou spojeny s firmou Baťa ve Zlíně, kde byly v roce 1931 připraveny první pláště pro jízdní kola. [2]

Z historického hlediska patří syntetické polymerní materiály k nejmladším konstrukčním materiálům, navzdory tomu však představují nejvýznamnější segment ze všech materiálů dle objemu výroby a spotřeby. V konkurenci s běžnými materiály, jako jsou zejména kovy, se polymery prosazují především svou snadnou zpracovatelností a také některé polymery mají navzdory nízké ceně obdivuhodné konstrukční vlastnosti. Také na výrobu plastů i na jejich zpracování je vynaloženo mnohem méně energie i práce než u kovů. S ohledem na všechny tyto faktory si již dnes běžný život bez polymerních materiálů nelze představit. [1,2]

1.2 Rozdělení polymerů

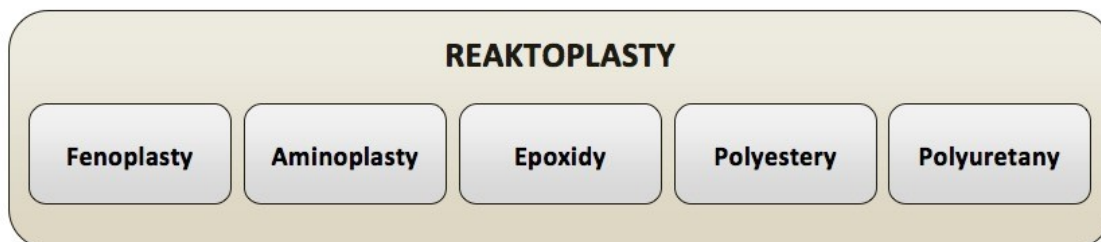
Polymery lze rozdělit podle několika kritérií. Základními skupinami jsou plasty a elastomery. Dle schématu (viz obrázek 2) se plasty dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery jsou poté rozděleny na kaučuky a termoplastické elastomery. Podrobněji budou jednotlivé skupiny popsány v následujících podkapitolách. [2]



Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [2]

1.2.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřívání dochází k chemické změně, při které se původní molekuly změny do zesíťovaného stavu a od tohoto okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné, neboli ztrácejí termoplastický charakter. Chemická reakce způsobující vznik zesíťované struktury se nazývá vytvrzování. Je to proces nevratný a vytvrzený materiál nelze znovu tvarovat, svařovat ani převést do taveniny. Reaktoplasty jsou amorfni polymery. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. Reaktoplasty se často používají například na výrobu lepidel, polyuretanových pěn, lisovacích a nátěrových hmot, pojiv a mnoho dalších. Skupina reaktoplastů se dále dělí do následujících skupin dle obrázku 3, těmito skupinami se ovšem tato práce nebude podrobně zabývat. [1,2]



Obrázek 3 Základní rozdělení reaktoplastů [2]

1.2.2 Termoplasty

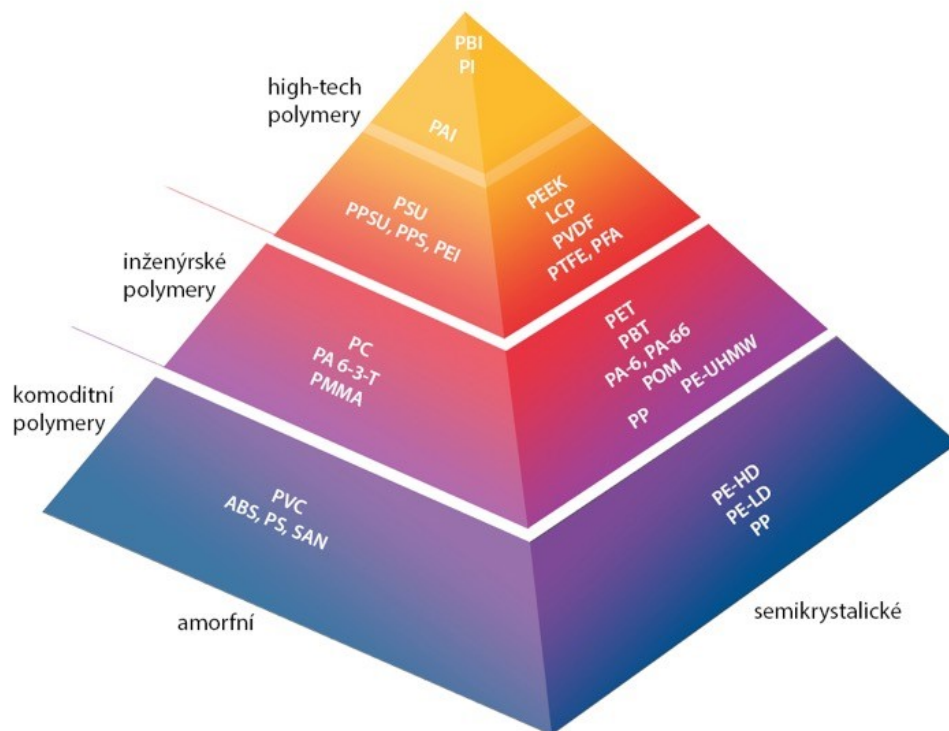
Z jednotlivých skupin plastů jsou nejrozšířenější termoplasty. Termoplasty jsou definovány jako polymery, které lze tavit a přetavovat téměř neomezeně. Jsou to materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu a lze je tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání nebo tečení, dle druhu polymeru. Zpětným ochlazením pod tuto teplotu přechází opět do tuhého stavu. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na semikrystalické a amorfni. Při zahřívání neprobíhá chemická reakce a během zpracování se nemění jejich chemická struktura. Změny materiálu mají pouze fyzikální charakter. Proces měknutí a tuhnutí je vratný, tedy materiál lze po jeho roztavení a opětovném vytvrzení znovu tvarovat. [2,4,5]

- **Semikrystalické termoplasty**

Mezi významné znaky semikrystalických termoplastů patří jejich schopnost vytvářet z taveniny krystalickou strukturu. Obsah krystalického podílu může dosáhnout až 80 % v závislosti na chemické stavbě polymeru a technologických podmínkách vstřikování. Tato skutečnost má za následek větší smrštění výstřiků proti formě, které se pohybuje od 1 do 2,5 %. Jejich vlastnosti, a to zejména tuhost, pevnost a houževnatost jsou závislé na obsahu krystalického podílu, a proto je výrazně ovlivňuje fáze ochlazování. Teplota T_g neboli teplota skelného přechodu je z hlediska procesu vstřikování u semikrystalických polymerů málo významná. Zásadní teplotou pro tyto polymery je teplota bodu tání T_m . Až do této teploty si materiál zachovává určitou pevnost a tuhost a nebortí se. Nad touto teplotou je oblast taveniny, tedy tekutý stav. V oblasti taveniny probíhá proces vstřikování. [6]

- **Amorfni termoplasty**

Využitelnost výrobků z amorfni plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer je v tomto stavu pevný. Mezi typické znaky mnohých druhů amorfni termoplastů patří možnost transparentního provedení. Tyto polymery se vyznačují nízkým smrštěním proti formě (pod 1 %). Což je ideální při výrobě rozměrově přesných dílů. Pro amorfni polymery je z hlediska technologie vstřikování i z aplikačního hlediska dominantní teplota T_g . Z celkového množství vyráběných amorfni termoplastů je určeno pro technologii vstřikování asi 20 %. Vedle spotřebního zboží a elektrotechnických aplikací jsou tyto polymery v podstatě nepostradatelné pro automobilový průmysl. [4,6]



Obrázek 4 Rozdělení polymerů dle postavení na trhu [2]

1.2.3 Elastomery

Elastomery jsou vysoce pružné (elastické) materiály s nízkou tuhostí, které můžeme za běžných podmínek malou silou významně deformovat. Při této deformaci ovšem nedochází k žádnému nevratnému porušení materiálu. Typickým představitelem jsou kaučuky, z nichž se vulkanizací vyrábí pryže. Pryže jsou vysoce pružné materiály, odolné vůči trvalé deformaci. Pryž je vulkanizovaný elastomer a je charakterizována chemickými vazbami mezi makromolekulami. [2]

Surový kaučuk je za tepla lepkavý, za studena tuhý a nepružný, zatímco pryž je elastická v širokém rozmezí teplot. Pryže se dále vyznačují převážně amorfni strukturou a nízkou teplotou skelného přechodu. Průmyslově vyráběných kaučuků je velký počet. Základně je lze rozdělit na kaučuky pro všeobecné použití, z nichž se vyrábí většina běžných pryžových výrobků a poté na kaučuky speciální, které jsou oleji vzdorné nebo teplotvzdorné. Přestože existuje široká paleta syntetických kaučuků, hlavní surovinou pro výrobu pryží dále zůstává přírodní kaučuk. Skupinou elastomerů se dále tato práce nebude příliš zabývat a bude se jim věnovat pouze okrajově. [2]

1.3 Vlastnosti polymerů

Jednotlivé druhy polymerů mají své typické funkční i zpracovatelské vlastnosti. Ty se mohou částečně měnit nebo upravovat pomocí různých přísad. Mezi časté přísady patří například prášková plniva, změkčovadla, barviva nebo různé stabilizátory. Z funkčního hlediska se hodnotí především tyto vlastnosti:

- Mechanická pevnost – dlouhodobá i krátkodobá, při statickém i dynamickém zatížení,
- elektrické vlastnosti – vodivost, dielektrická pevnost a další,
- chemická odolnost – proti chemikáliím a také pro potravinářské účely,
- optické vlastnosti – barva, lesk a průhlednost.


Z hlediska zpracovatelského jsou nejdůležitější tyto vlastnosti:

- Tekutost – ovlivňuje velikost vtoků, zaformování a tloušťku stěny výrobku,
- velikost smrštění – výrobní přesnost výrobku,
- technologické parametry výrobního zařízení. [4]

Výběr polymeru pro výrobu různých součástí a zařízení je založen zejména na znalosti fyzikálních, mechanických, chemických, tepelných a technologických vlastností. První krok výběru polymeru spočívá v rozboru jeho vlastností z hlediska jejich důležitosti. Po zjištění nejdůležitějších vlastností polymeru, lze pro danou oblast použití vybrat ten nejvhodnější typ polymeru. Při výběru vhodného polymeru hraje obvykle velkou roli i jeho finanční dostupnost, tak aby nedocházelo ke zbytečnému prodražování. Základní vlastnosti polymerů ovlivňuje:

- Chemické složení,
- molekulární struktura,
- přísady,
- uspořádání makromolekul,
- teplota a vlhkost okolí,
- atmosférické podmínky – světlo, UV záření, vodní srážky,
- zatěžování – způsob, velikost a doba zatěžování. [2]

Vlastnosti polymerů lze souhrnně nalézt v jejich technické specifikaci, která se nazývá materiálový list. Zde je uveden nejen typ polymeru, případně jeho složení, ale také jeho základní vlastnosti. [2]

CAMPUS® Materiálový list		 The Chemical Company			
Ultramid® A3K PA-66					
BASF					
Charakteristika materiálu					
Vysoce tekoucí materiál pro rychlé zpracování technologií vstřikování. Používá se pro vysoce namáhané konstrukční díly, jako jsou ložiska, ozubená kola nebo izolanty v elektrotechnice pro svorky a konektory kabelů.					
Reologické vlastnosti		suchý /	navlhlý	jednotka	předpis
Objemový index toku taveniny (275 °C, 5 kg)	120	/	*	cm ³ /10min	ISO 1133
Výrobní smrštění, rovnoběžný směr	1,4	/	*	%	ISO 294-4
Výrobní smrštění, kolmý směr	1,7	/	*	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti					
Modul pružnosti v tahu	3100	/	1100	MPa	ISO 527-1/2
Napětí na mezi kluzu	85	/	50	MPa	ISO 527-1/2
Poměrné prodloužení na mezi kluzu	5	/	20	%	ISO 527-1/2
Jmenovité poměrné prodloužení při přetržení	30	/	>50	%	ISO 527-1/2
Křipový modul v tahu, 1h	*	/	1100	MPa	ISO 899-1
Křipový modul v tahu, 1000 h	*	/	700	MPa	ISO 899-1
Rázová houževnatost Charpy, +23 °C	N	/	N	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU
Rázová houževnatost Charpy, -30 °C	N	/	-	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU
Vrubová houževnatost Charpy, +23 °C	5	/	20	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost Charpy, -30 °C	4	/	-	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Teplotní vlastnosti					
Teplota tání, 10 °C/min	260	/	*	°C	ISO 11357-1/3
Teplota skelného přechodu, 10 °C/min	72	/	*	°C	ISO 11357-1/2
Teplota průhybu při zatížení, 1,80 MPa	75	/	*	°C	ISO 75-1/2
Teplota měknutí podle Vicata, 50 °C/h, 50 N	250	/	*	°C	ISO 306
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	85	/	*	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1/2
Hořlavost, 1,5 mm tloušťka	V-2	/	*	třída	IEC 60695-11-10
Kyslíkové číslo	28	/	*	%	ISO 4589-1/2
Elektrické vlastnosti					
Relativní permitivita, 1 MHz	3,2	/	5	-	IEC 60250
Ztrátový činitel, 1 MHz	250	/	2000	-	IEC 60250
Měrný vnitřní izolační odpor	1·10 ¹³	/	1·10 ¹⁰	Ω·m	IEC 60093
Měrný povrchový izolační odpor	*	/	1·10 ¹⁰	Ω	IEC 60093
Elektrická pevnost	41	/	29	kV/mm	IEC 60243-1
Ostatní vlastnosti					
Nasákavost	8,5	/	*	%	ISO 62
Navlhavost	2,8	/	*	%	ISO 62
Hustota	1130	/	-	kg/m ³	ISO 1183-1
Specifické vlastnosti materiálu					
Viskózní číslo	150	/	*	cm ³ /g	ISO 307
Technologické parametry					
PŘED VSTŘIKOVÁNÍM					
Maximální zbytková vlhkost	0,15	%			
Teplota sušení	80	°C			
Doba sušení	4	h			
PROCESNÍ (BĚHEM VSTŘIKOVÁNÍ)					
Teplotní rozsah taveniny	280 °C až 300 °C				
Doporučená teplota taveniny:	290 °C				
Teplotní rozsah formy:	60 °C až 80 °C				
Doporučená teplota formy:	60 °C				

Obrázek 5 Ukázka materiálového listu [2]

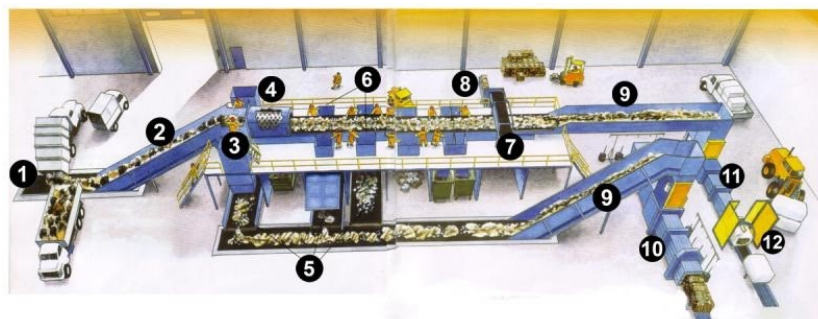
1.4 Recyklace polymerů

Velký rozmach výroby a použití polymerů má kromě pozitiv, mezi které patří především rozvoj národního hospodářství, i svá negativa. Hlavním problémem je enormně se zvětšující podíl odpadu, který vzniká při zpracování polymerů. Odpad dle vzniku a vlastností lze rozdělit na technologický a užitný. [1,7]

Technologický odpad je odpad, který vzniká při výrobě. Užitný odpad jsou plastové díly, které byly používány v rozdílných aplikacích, jako je například tříděný odpad ze spotřebního zboží, automobilů, a mnoho dalších. Jedná se tedy o díly, u kterých se projevuje proces stárnutí ve všech možných podobách (časové, tepelné, oxidační a vlivem povětrnosti). Technologický odpad se může z hlediska ekonomické i ekologické šetrnosti vracet do výroby. Jedná se totiž o materiál, který vykazuje obdobné vlastnosti, jako má originální polymer. Užitný odpad je většinou znehodnocen nejenom nevratnou změnou vlastností, ale většinou i znečištěním a povrchovými úpravami, proto se používá jen velmi omezeně. [7]

Technologický nebo užitný odpad je možné pro další zpracování používat buď ve formě recyklátu, nebo regranulátu. Recyklát jsou plastové díly a plastový odpad, který je pouze nadrcený a rozemletý. Regranulát je rozemletý nebo nadrcený odpad, který byl před dalším zpracováním granulovaný a případně upravený přísadami, plnivými nebo aditivami. [7]

Recyklaci plastů celkově vnímáme jako proces renovace zbytkových nebo odpadních plastů. Polymerní materiály mají různé vlastnosti a dále jsou výrobky zhotoveny různými technologiemi. Při recyklaci tedy musíme uvážit mnoho další aspektů. Z těchto důvodů máme mnoho typů recyklačních linek. [8]



Obrázek 6 Třídící linka k recyklaci polymerů [7]

1) přijímací dopravník, 2) plnicí dopravník, 3) předtřídňovací stanoviště, 4) bubnové síto, 5) zásobníkový dopravník, 6) třídící stanoviště, 7) magnetický separátor, 8) kovový lis, 9) plnicí dopravník, 10) balička netříděného odpadu, 11) balička tříděného odpadu, 12) balička fólie

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

V současné době je technologie vstřikování jedna z nejdůležitějších a nejrozšířenějších technologií, která se používá pro zpracování plastů. Technologie vstřikování se využívá v mnoha odvětvích průmyslu, jako je například spotřební, automobilový, letecký, zbrojní, medicínský, vojenský a potravinářský. Vstřikování se vyznačuje poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, forma a vstřikovací stroj. V průběhu vstřikování je zplastikovaný materiál ve vstřikovacím stroji tlakem dopravován do dutiny formy, tam je poté ochlazen a vzniká daný tvar vyráběné součásti. Výhodou je především možnost zhotovení velmi členitých tvarů a velikostí z velkého množství termoplastických i reaktoplastických materiálů. Kvalita použitého plastu bude vždy důležitá a bude mít podstatný vliv na konečnou aplikaci. Správná volba plastu musí být dále podpořena správným technologickým postupem, který je nutné dokonale znát a během celého procesu výroby ho respektovat. [4,7,8]

2.1 Příprava plastů před vstřikováním

Plasty pro vstřikování se dodávají granulované. Většinou jsou dodávány v pytlích, tak aby byli chráněné proti navlhnutí. Před zpracováním plastů metodou vstřikování se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, který je pro konkrétní výrobek určený. Přípravné technologie slouží nejen k ovlivnění konečných vlastností plastů, ale také k přípravě plastů z hlediska jejich dávkování a dopravy. Mezi technologie přípravného zpracování plastů patří např. technologie míchání a hnětení, granulace, tabletování, recyklace, sušení a doprava materiálu. Všechny uvedené úkony upravují plast do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bez potíží a výsledná aplikace vyhověla všem požadavkům na výrobek. [4,7]



Obrázek 7 Granule termoplastů [7]

2.2 Princip vstřikování

Vstřikování je vysoce produktivní proces, pomocí kterého lze efektivně produkovat všestranné díly v úzkých rozměrových tolerancích. Ovšem před tím, než je možné určitý díl vyrobit pomocí vstřikování, musí být navržena a vyrobena příslušná vstřikovací forma. Technologie vstřikování je takový způsob zpracování plastů, při kterém je potřebná dávka zpracovávaného materiálu ve formě taveniny vstříknuta pomocí šneku nebo pístu velkou rychlostí z plastikační komory do uzavřené dutiny většinou kovové vstřikovací formy, kde ztuhne v konečný výrobek. [7,9]

Princip technologie vstřikování je následující. Plast, nejčastěji v podobě granulí, je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje, tedy šnekem, nebo pístem. Šnek, případně píst, pak hmotu dopravuje do plastikační komory, kde za současného účinku tření a topení se materiál plastikuje a tím vzniká tavenina. Ta je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a dále postupným ochlazováním ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý výrobní proces se cyklicky opakuje. [7]

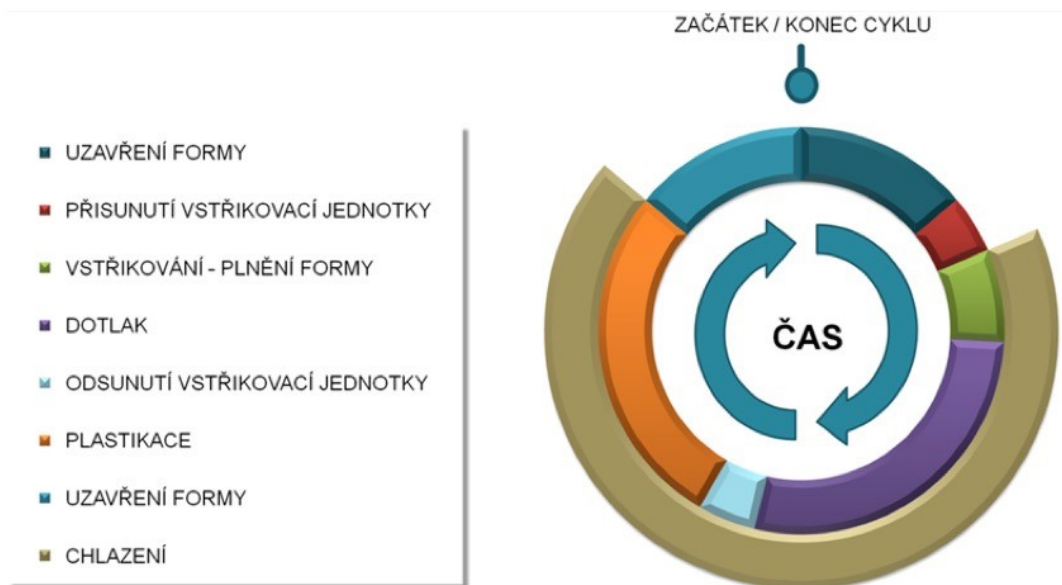
2.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se realizuje pomocí vstřikovacího stroje. Tvoří posloupnost přesně specifikovaných operací, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Je to proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Pro popis cyklu je nutné jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek vstřikovacího cyklu lze považovat uzavření vstřikovací formy. I když proces vstřikování termoplastů může být realizován v několika operačních i konstrukčních variantách, skládá se obvykle z těchto kroků:

- Plastikace,
- vstřikování,
- dotlak,
- chlazení,
- pohyby vstřikovací formy. [4,7,9]

Vstřikovací cyklus je zahájen plastikací. Během plastikace je polymer většinou převáděn z tuhých granulí do roztaveného stavu. Toto se děje za současného působení tepla

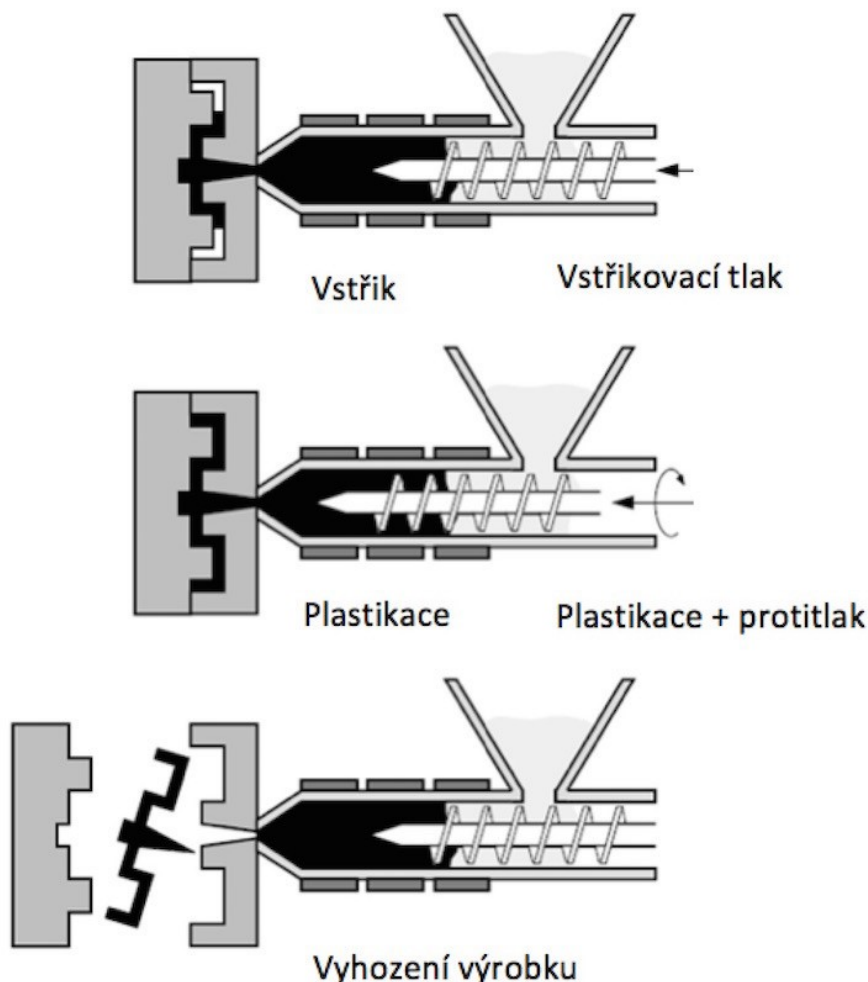
vyvíjeného tepelným zdrojem a tepla vyvíjeného třením tuhých granulí o vnitřní dutinu plastikační komory vstřikovacího stroje. Dále během fáze vstřikování je roztavený polymer dopravován z plastikační komory vstřikovacího stroje přes vtokový systém do jedné nebo více dutin vstřikovací formy. Poté co je dutina formy naplněna taveninou plastu přibližně na úroveň 90-99 % konečného objemu, tak nastává fáze dotlaku. Během fáze dotlaku je doplňováno určité množství taveniny polymeru, pomocí kterého se vyrovnávají objemové změny dílu při jeho chladnutí. Při chladnutí polymeru dochází také k jeho smrštění. Hodnota smrštění je specifická pro různé druhy polymerů. Po uplynutí určité doby chladnutí ustává tok taveniny a plast ztuhne. Fáze chlazení umožňuje plastu v dutině vstřikovací formy zatuhnout do té míry, aby bylo možné jej bez jakýchkoliv obtíží odformovat. Poté vstřikovací stroj provede potřebné pohyby formy a vstřikovaný díl je vyhozen ze vstřikovací formy. [9]



Obrázek 8 Časové schéma vstřikovacího cyklu [9]

Čas plnění by měl být vzhledem k lepší produktivitě co nejkratší. Čas dotlaku by měl být ukončen ve chvíli zatuhnutí polymeru ve vtokovém ústí. Poté je jeho působení už zbytečné. Fáze chlazení je prakticky zahájena prvním kontaktem taveniny se stěnou dutiny vstřikovací formy. Dle obrázku můžeme vidět, že se jedná o nejdelší fázi vstřikovacího cyklu. Někdy ovšem může dojít k situaci, kdy doba plastikace překročí dobu chlazení. Toto se děje zejména u velkoobjemových dílů z materiálů vyžadující nízké otáčky šneku při

plastikaci. Dále by měly být optimalizovány také pohyby formy, tak aby nedocházelo k zbytečnému prodlužování výrobního cyklu, což by zvýšilo výrobní náklady na vstříkovaný díl. [9]

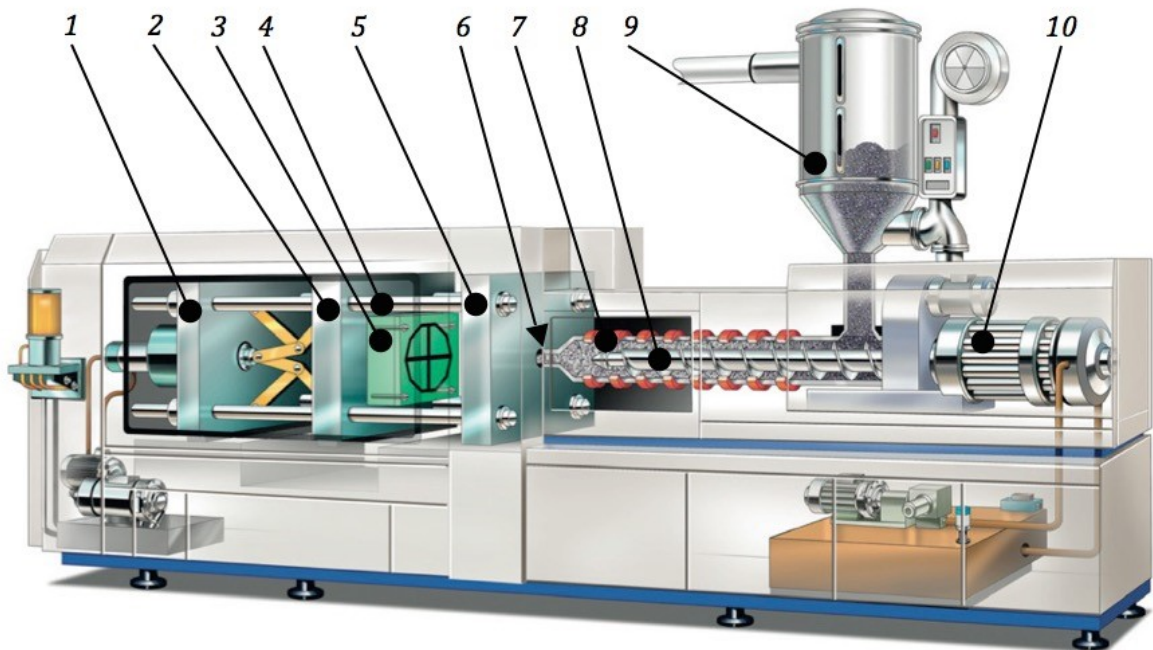


Obrázek 9 Proces vstříkování plastů [8]

2.4 Vstříkovací stroje

V současné době existuje velký počet strojů různých konstrukcí, které se od sebe liší svým provedením, stupněm výroby, rychlostí výroby a cenou. Vstříkovací stroje mají mnoho součástí a jsou dostupné v různých konfiguracích. Plně funkční vstříkovací stroj s pravidelně prováděnou údržbou je samozřejmostí pro optimalizaci procesu vstříkování. Nezbytným vybavením pro technologii vstříkování jsou vstříkovací stroj, vstříkovací forma a periferní zařízení. Vzájemná součinnost těchto tří základních součástí je řízena prostřednictvím technologických parametrů, jako jsou například teplota, tlak, čas, dráha a rychlost. Pro zajištění základních funkcí je nezbytné, aby vstříkovací stroj byl napojen na zdroj elektrické energie, vodní okruh s ohledem na chlazení stroje a případně na zdroj

stlačeného vzduchu. Ve všech případech je zdroj napojen na centrální rozvaděč, který zajišťuje jeho regulaci a nasměrování k systémům, kde má své uplatnění. Vstřikovací stroje jsou primárně určeny pro zpracování polymerních materiálů, především v podobě granulí. Dále mohou být polymery a směsi dodávány ve formě prášku či hmoty těstovité konzistence. [3,4,10,16]



Obrázek 10 Vstřikovací stroj pro vstřikování termoplastů, popis obrázku: [9]

1) uzavírací jednotka, 2) pohyblivá upínací deska, 3) pohyblivá část vstřikovací formy, 4) vodící sloupky, 5) pevná upínací deska, 6) čelo špičky vstřikovací trysky, 7) tavící komora, 8) šnek, 9) násypka pro plastový polotovar, 10) pohonná jednotka šneku

Vstřikovací stroje lze také možné dělit do skupin dle různých kritérií:

- Dle hlavního pohonu vstřikovacího stroje:
 - Hydraulické vstřikovací stroje,
 - elektrické vstřikovací stroje,
 - hybridní vstřikovací stroje (kombinace obou typů pohonů).
- Dle pracovního členu vstřikovací jednotky:
 - Pístové vstřikovací stroje,
 - šnekové vstřikovací stroje.

- Dle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky:
 - Horizontální vstříkovací stroje (zleva doprava nebo naopak),
 - vertikální vstříkovací stroje (shora dolů nebo naopak).
- Dle typu zpracovávaného plastu:
 - Vstříkovací stroje pro termoplasty,
 - vstříkovací stroje pro reaktoplasty,
 - vstříkovací stroje pro elastomery. [10]

2.4.1 Pístové vstříkovací stroje

Nejstarším typem vstříkovacích strojů jsou ty, které mají ve vstříkovací jednotce písty. Pokud je píst v zadní pozici, padá před něj z násypky plast. Pohybem pístu vpřed dochází k posunu plastu dále do vytápěné části tavicí komory, kde se pevné částice plastu vlivem působícího tepla mění ve viskózní taveninu. Tlakem pístu se tavenina dostává až k trysce umístěné na konci tavicí komory a dále do vstříkovací formy. Před tryskou vstříkovací jednotky je umístěno ještě torpédo, které tavenina plastu musí obtékat, čímž je zajištěno aspoň částečně její promíchání. V současnosti jsou pístové vstříkovací stroje již velkou vzácností. Pomalu, ale jistě byly téměř vytlačeny vstříkovacími stroji, jejichž vstříkovací jednotka je osazena šnekem. Šnek zajišťuje lepší promíchání taveniny před jejím vstříknutím do formy. [10]

2.4.2 Šnekové vstříkovací stroje

Šnekové vstříkovací stroje jsou v dnešní době nejvíce používané a postupem času již v podstatě zcela vytlačili pístové vstříkovací stroje. Skládají se z vstříkovací, uzavírací, řídicí a kontrolní jednotky. Běžnější jsou s horizontálně orientovanou uzavírací jednotkou. Další možností je poté vertikální orientace. Vstříkovací jednotka může být orientována téměř libovolně. Běžně je však opět používaná horizontální nebo vertikální orientace. Vzhledem k velkému množství typů polymerů, které lze pomocí technologie vstříkování zpracovávat, stále vyšším nárokům na složitost i rozměry výrobků a energetické úspory, nabízejí výrobci vstříkovacích strojů velké množství typů strojů různých velikostí. Hlavní výhody šnekových vstříkovacích strojů jsou například plastikační kapacita, vstříkovací kapacita či parametry šneku, kterými jsou jeho průměr a délka. Mimo charakteristiky vstříkovací jednotky je ještě udávána charakteristika uzavírací jednotky, která je vyjádřena

maximální velikostí uzavírací síly. Dále se udává ještě typ šneku, kterým je vstřikovací jednotka osazena, pokud jde o jiný než standardní šnek. [10]

2.5 Zásady konstrukce plastových dílů

Konstrukční návrhy plastových součástí se řídí zcela odlišnými zásadami než kovové součásti. Konstruktor musí pečlivě zvažovat, co všechno se při vstřikování v plastovém dílu bude dít. To vyžaduje znalost technologie jejich zpracování. Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a také jejich vlastností, které by se neměly překračovat. Také všeobecně platí, čím jednodušší součást, tím snadnější dodržení rozměrů a tím lacinější výroba. [4]

Rozměry plastových součástí jsou jedním z hlavních ukazatelů jakosti. Stanoví se podle potřebné funkce a s ohledem na specifické vlastnosti plastu. Zbytečně by se neměly upřesňovat, protože s rostoucí přesností rostou i výrobní náklady. K základním podkladům pro konstrukci formy slouží výkres součástí. Tvar součásti má být řešen jak z funkčního tak z ekonomického hlediska. Plastová součást má splňovat pravidla pro její zaformování, dělicí rovina musí mít vhodnou polohu, k tomu se dále váže i koncepce vyhazování, vtokového systému, odvodu vzduchu a mnoho dalších. Tloušťka stěn musí být jednotná a pokud možno s ohledem na funkci součásti co nejtenčí. Dále jakékoliv hrany, rohy nebo kouty musí být zaoblené, tak aby součást neměla žádné ostré hrany. Z dalších prvků se při konstrukci plastových součástí využívají například žebra. Ty se dělí podle účinku, které plní. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součástí. Technologická naproti tomu umožňují optimální plnění dutiny formy. V některých případech se žebra volí i s ohledem na zlepšení vzhledu výrobku. Otvory na součásti se poté volí takovým způsobem, aby při výrobě činily co nejmenší potíže. Výroba otvorů se realizuje pomocí jader, kolíků či trnů. [4]

2.6 Vady při vstřikování plastů

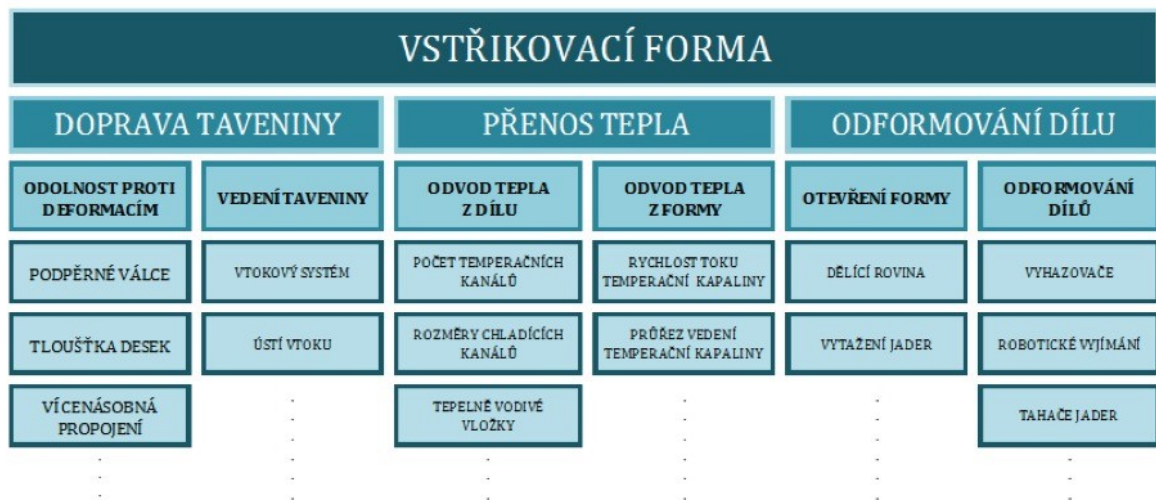
Výroba vstřikováním je složitý proces, proto může při výrobě docházet k nejrůznějším vadám. Některé typy vad si zde stručně popíšeme:

- Deformace dílce:
 - Nedostatečná doba chlazení,
 - příliš vysoká teplota formy,

- špatný výběr materiálu.
- Křehkost dílce:
 - Špatné sušení materiálu,
 - degradace materiálu.
- Černé skvrny:
 - Vtlačené nečistoty,
 - příliš dlouhý prostoj stroje.
- Bubliny:
 - Nízký tlak při vstřikování,
 - nízká teplota formy,
 - nedostatečné odvzdušnění formy.
- Přetok:
 - Příliš vysoký tlak při vstřikování,
 - špatné upnutí formy.
- Vzhledové vady plastu:
 - Příliš rychlé vstřikování,
 - studený materiál. [4]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

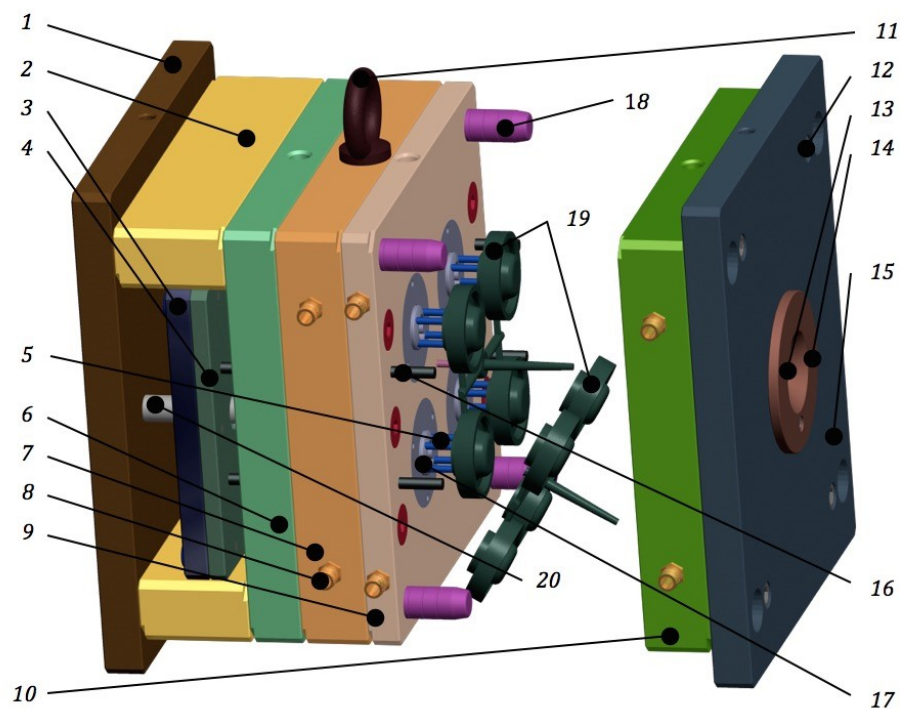
Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí současně plnit mnoho požadavků vycházejících z procesu vstřikování plastů. Základní funkcí formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její naplnění. Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměr. To vše při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Sekundární funkcí vstřikovací formy je efektivní odvod tepla přivedeného taveninou polymeru. Dále musí být zajištěno bezpečné, rychlé a v krátké periodě opakující se vyjmutí dílu. Zajištění těchto tří hlavních funkcí vstřikovací formy vyžaduje i přítomnost dalších vedlejších funkcí. Tyto vedlejší funkce mohou dále generovat další požadavky na vstřikovací formu, zejména v případě speciálních modifikací vstřikovacího procesu. [4,9]



Obrázek 11 Základní hlavní a vedlejší funkce a vlastnosti vstřikovací formy [9]

Konstrukce a výroba formy je velmi náročná. Kvalitní forma by měla plnit tyto hlavní skupiny požadavků:

- Technické – zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v dostatečné kvalitě a přesnosti,
- ekonomické – nízká cena, snadná a rychlá výroba dílů s vysokou produktivitou,
- společenskoestetické – vhodné pracovní prostředí, bezpečnost práce. [4]



Obrázek 12 Vstřikovací forma dvoudesková [9]

1) upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2) rozpěra, 3) hlavní vyhadzovací deska, 4) přidržovací vyhadzovací deska, 5) vyhadzovač, 6) podpěrná deska, 7) opěrná deska, 8) přípojka chlazení, 9) kotevní deska levá, 10) kotevní deska pravá, 11) manipulační oko, 12) hlavní montážní šrouby, 13) vtoková vložka, 14) středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15) upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16) vracecí kolíky, 17) pevné jádro, 18) vodící sloupky, 19) vstřikovaný díl, 20) podpěrné válce

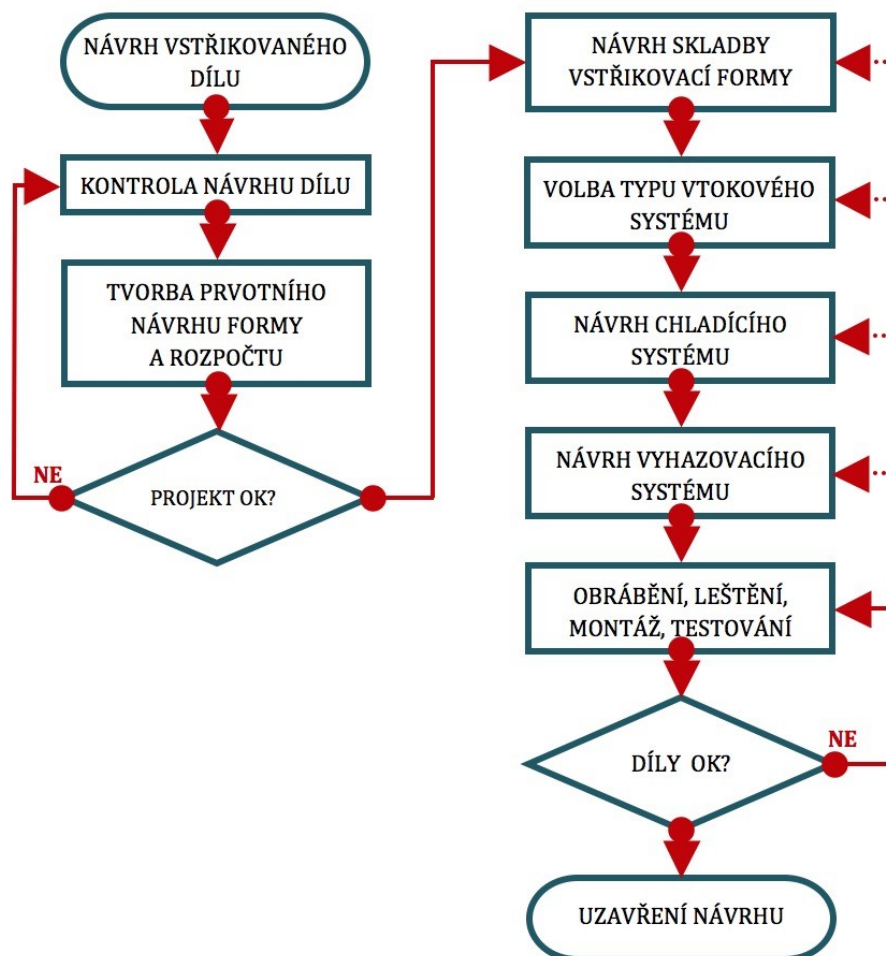
3.1 Konstrukce formy

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve vstřikovací formě, za působení dostatečného tlaku a teploty a jiných nutných parametrů. Poté co je forma navržena, obrobena, vyleštěna a smontována, jsou provedeny zkoušky vstřikováním s cílem ověřit základní funkčnosti vstřikovací formy. V případě, že se během tohoto testování nevyskytnou významné problémy, jsou vstřikované díly tzv. „vyvzorkovány“ a jejich kvalita je porovnávána s požadavky stanovenými před zahájením výroby vstřikovací formy. Většinou je nutné provést ještě několik úprav vstřikovací formy, protože není možné předem zohlednit všechny aspekty provozu vstřikovací formy. Také se ale může stát, že při zkouškách vstřikováním je odhalena natolik závažná chyba v konstrukci vstřikovací formy, že oprava není možná, nebo je velmi nákladná. Proto je při konstrukci forem velmi důležité postupovat velice obezřetně a během celého procesu několikrát ověřit zda je konstrukce vstřikovací formy v pořádku, a to vše ještě před zahájením výroby formy. [4,9]

Základní požadavky na konstrukci formy:

- Vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy,
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění a temperování,
- optimální životnost zaručená výrobou, konstrukcí a materiálem.

Vyšší nároky na přesnost a jakost forem se projeví zvýšenou pracností při jejich konstrukci i výrobě. Velká robustnost forem, kterou vyžadují použité tlaky při vstřikování, často vede k méně šetrnému zacházení. To může být příčinou jejich nedokonalé funkce, menší životnosti i přesnosti. Proto musíme respektovat zásady při jejich konstrukci, výrobě i obsluze. Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k snadné výrobní technologii dle předem stanovených požadavků. [4]



Obrázek 13 Postup při konstrukci vstřikovací formy [9]

3.2 Násobnost formy

Násobnost vstřikovací formy se volí především podle požadovaného množství, složitosti a velikosti výrobku. Dále také dle typu stroje, který je k dispozici. Pro malé série se volí jednonásobné jednoduché formy z důvodů malých nákladů na jejich výrobu. Pro hromadnou výrobu je nutno vypracovat ekonomický a technický rozbor o volbě násobnosti formy. Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, které násobnost ovlivňují:

- Charakter a přesnost výstřiku,
- požadované množství výrobků,
- velikost a kapacita vstřikovacího stroje,
- požadovaný termín dodávky,
- ekonomika výroby. [4,11]

Součásti tvarově náročné, pro které je třeba k výrobě velmi složitou formu se většinou také vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je vhodné, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí zavádí vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin také další nezanedbatelné chyby, jako jsou nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění dutin, rozdílné vstřikovací tlaky a mnoho dalších chyb, které způsobují další rozměrové nepřesnosti. Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem a uzavírací silou musí bezpečně a s rezervou naplnit celou uzavřenou vstřikovací formu. [4]

3.3 Zaformování a volba dělicí roviny

Správné zaformování výrobku a vhodná volba dělicí roviny patří k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku a vychází z konstrukčního řešení formy. V rámci návrhu rozvržení formy musí dále konstruktér vybrat pro daný výrobek nejvhodnější typ formy a materiály jednotlivých dílů formy, jader. Volba materiálů jednotlivých dílů je prováděna zejména s ohledem na požadovanou životnost vstřikovací formy a druh vstřikovaného dílu. Dělicí rovina je kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí vstřikovací formy. Patrně nejdůležitějším účelem dělicí roviny je kvalitní utěsnění dutiny vstřikovací formy a tím zabránění úniku taveniny. Dělicí rovina bývá většinou jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Samozřejmě však může být

v různých případech například šikmá nebo různě tvarovaná. Taková koncepce však způsobuje složitější výrobu formy, proto je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnosti v dělicí rovině mohou způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo také zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je důležité, aby dělicí rovina umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy, byla pravidelná a snadno vyrobitelná. Musí být umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a také souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy. A v neposlední řadě stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo kosmetických vad. [4,9]

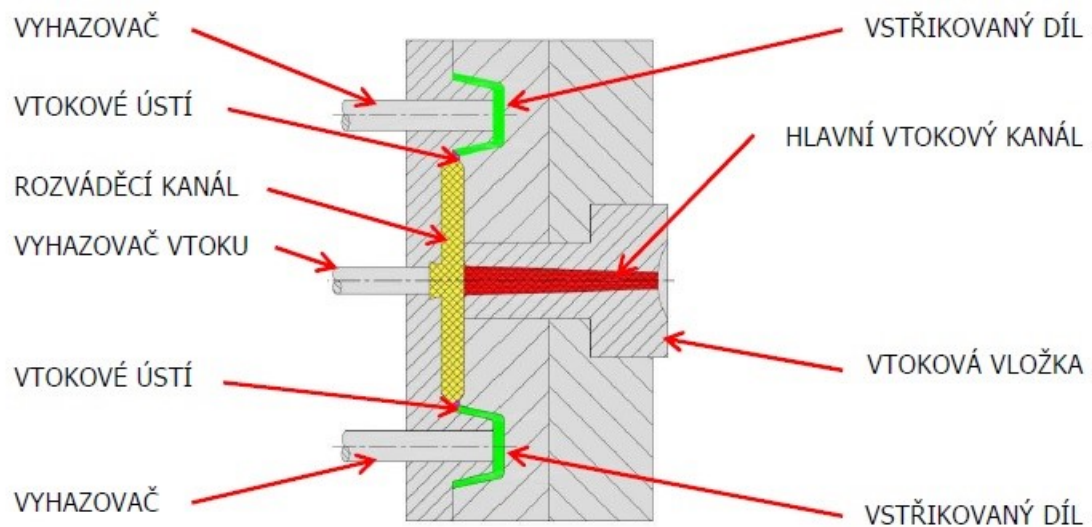
3.4 Vtokové systémy

Jedním z velmi důležitých aspektů při konstrukci vstřikovacích forem je řešení vtokového systému. Vtokový systém se skládá z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích vtokových kanálů a ústí do tvarové dutiny formy. Při řešení vtokové soustavy je třeba dodržovat následující zásady:

- Dle možností co nejrovnoměrnější plnění jednotlivých tvarových dutin formy.
- Správně volit vtokové ústí, dle následujících pravidel:
 - Nesmí vznikat studené spoje na výstřiku,
 - zbytkové napětí musí být co nejmenší,
 - vyhazování výstřiků by mělo být co nejsnazší,
 - snadné začišťování vtoků na výstřiku. [11]

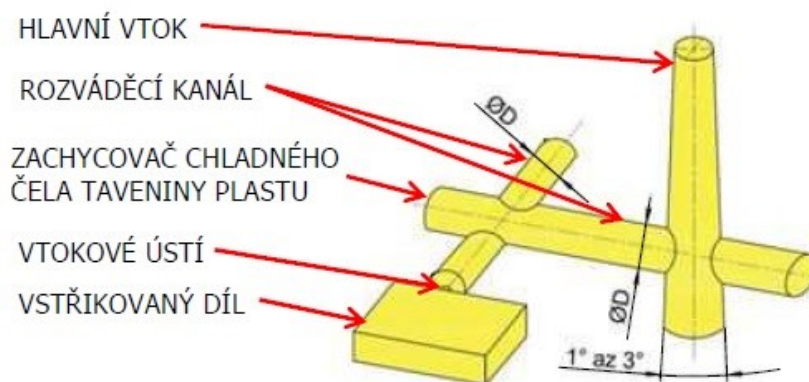
3.4.1 Studené vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení taveniny ze vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Studené vtokové systémy se skládají z několika základních částí, které zajišťují dopravení taveniny do formy. Mezi základní části patří hlavní vtokový kanál, rozváděcí kanál a vtokové ústí. [4,12]



Obrázek 14 Studený vtokový systém [12]

Při vstříknutí taveniny do studeného vtokového systému začíná tavenina na jeho stěnách ihned tuhnout. Na stěnách se tak vytvoří izolační vrstva ztuhlého plastu a samotná tavenina proudí horkým jádrem. Z těchto důvodů je důležité správné odstupňování velikosti rozváděcích kanálů. Tímto se zajistí rovnoměrné zaplnění všech dutin. Tavenina vstupuje do dutiny přes vtokové ústí, které může být řešeno několika způsoby dle konstrukce formy a typu vstříkovaného dílu. [12]



Obrázek 15 Schéma vtokové soustavy [12]

Výhody studených vtokových systémů:

- Levnější a jednodušší provedení formy,
- komponenty jsou dodávány jako standardizované díly,

- nepotřebuje energetické připojení,
- jednoduché provedení vícenásobné formy.

Nevýhody studených vtokových systémů:

- Větší spotřeba plastu,
- nutnost zajistit oddělování zbytků vtokového systému,
- vyhazování vtokového zbytku. [12]

3.4.2 Vyhřívané vtokové systémy

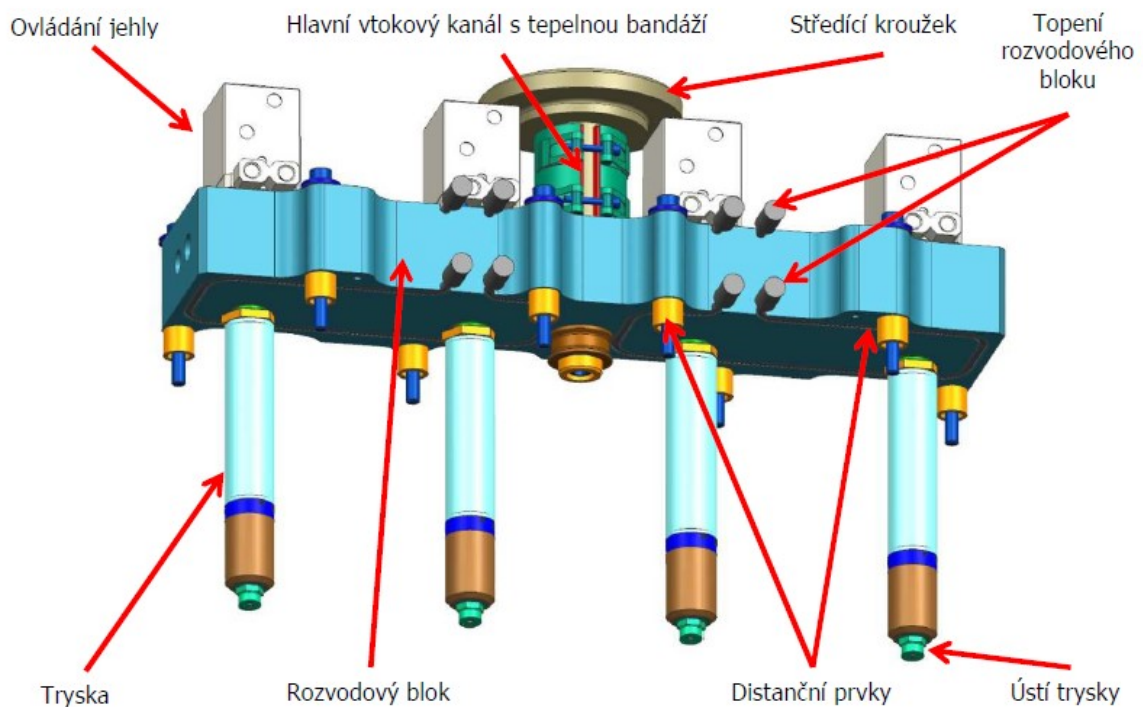
Z důvodu úspory plastu i práce se často používá metoda vstřikování bez vtokového zbytku. Tato metoda se realizuje pomocí vyhřívaných vtokových soustav. Vyhřívaným vtokovým soustavám předcházela řada jednodušších systémů, které se však postupně zdokonalovaly. Moderní vyhřívané vtokové soustavy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. Vyhřívaný vtokový systém je sestava vyhřívaných komponent a skládá se z hlavního vtoku, rozvodové desky, trysky a ovládání jehly. Tyto komponenty udržují vstřikovaný polymer při konstantní teplotě. Polymer má tímto zaručenou stálou viskozitu v celé délce rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy. [4,13]

Výhody vyhřívaných vtokových systémů:

- Časové zkrácení výrobního cyklu,
- není zapotřebí výroba vtokových kanálů,
- umožňuje automatizaci výroby,
- snížení spotřeby plastu a eliminace odpadu,
- snižuje náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků.

Nevýhody vyhřívaných vtokových systémů:

- Složitější a výrobně nákladnější formy,
- větší pořizovací náklady a nároky na obsluhu,
- zvýšení provozních nákladů,
- nelze použít pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo. [4,13,14]



Obrázek 16 Vyhřívaný vtokový systém [13]

3.5 Temperační systémy

Temperační systémy slouží k udržování konstantní teploty formy při vstřikování. Cílem je dosáhnout optimálního vstřikovacího cyklu při zachování všech technologických požadavků. Důležitým faktorem ovlivňujícím výrobní proces vstřikování plastů je teplota vstřikovací formy, tedy způsob a podmínky temperace vstřikovací formy. Temperace má přímý vliv na kvalitu vyráběného dílu, náklady vstřikovaného dílu, velikost smrštění dílu a má schopnost reprodukovat požadovaný povrch. Teplotou formy, vhodnou volbou temperačního prostředku a jeho konstrukcí lze v praxi dosáhnout požadované kvality vstřikovaných výrobků a také zkrácení vstřikovacího cyklu. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výrobku. [9,15]

Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém dalším vstřiku se forma opět ohřívá a proto je nutné přebytečné teplo během cyklu odvést temperačním systémem formy, protože každý další vstřik je třeba zhotovit opět při optimální teplotě. Forma se nepodílí pouze na výsledné kvalitě výrobku, ale stejně tak představuje i významný faktor při posuzování rentability celé výroby. Ke splnění ekonomických požadavků, musí být tedy vstřikovací forma velmi dobře zkonstruována a promyšlena nejen jako celek mechanických prvků, ale stejně tak i prvků

temperačního systému. Ekonomická výhodnost celého procesu vstřikování je poté velmi úzce spojena s hodinovou produkcí, kterou je schopna forma dosáhnout. S ohledem na tuto skutečnost je vyžadován co nejkratší vstřikovací cyklus, při zachování požadované kvality výrobků nikoliv v případě že by urychlení mělo negativní vliv na kvalitu výrobků. [9,15]

Hlavním úkolem temperačního systému během procesu vstřikování plastů je nastavit požadovanou teplotu dutiny vstřikovací formy v krátkém časovém okamžiku a udržet tuto teplotu v minimálním rozsahu. Temperace formy zahrnuje také odvod tepla při chlazení výrobku, aby mohl být výrobek vyjmut z formy. Teplota ovlivňuje chování taveniny během výroby i poté. Délka chlazení může být ovlivněna kromě temperačního systému také vstřikovaným materiálem, který je specifikován teplotou taveniny a doporučenou teplotou dílu, při které je možné provést jeho bezpečné odformování. Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina. Tato kapalina zajišťuje udržení teploty temperovaných částí na požadované výši. Temperační systém bývá umístěn buď v pevné, nebo v pohyblivé části formy. Je tedy zřejmé, že s ohledem na vlastnosti vstřikovaných dílů i ekonomiku procesu, musí být temperační systém navržen správně a dle určitých zásad. V neposlední řadě také musí být temperační systém snadno a intuitivně zapojitelný. Tomu musí být přizpůsoben zejména počet připojení a jejich srozumitelné a jasné označení. [9,15]

Tabulka 1 Doporučené teploty při procesu vstřikování plastů

TYP MATERIÁLU	TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA6	40-120	230-290	110-130
ABS	50-85	190-250	80-100
PC	85-120	280-320	140
PP	20-100	170-280	70-90
PE	20-60	180-270	60-90
SAN	50-80	230-260	80-95
POM	50-120	180-220	90-130
PA66	80-100	275-295	100

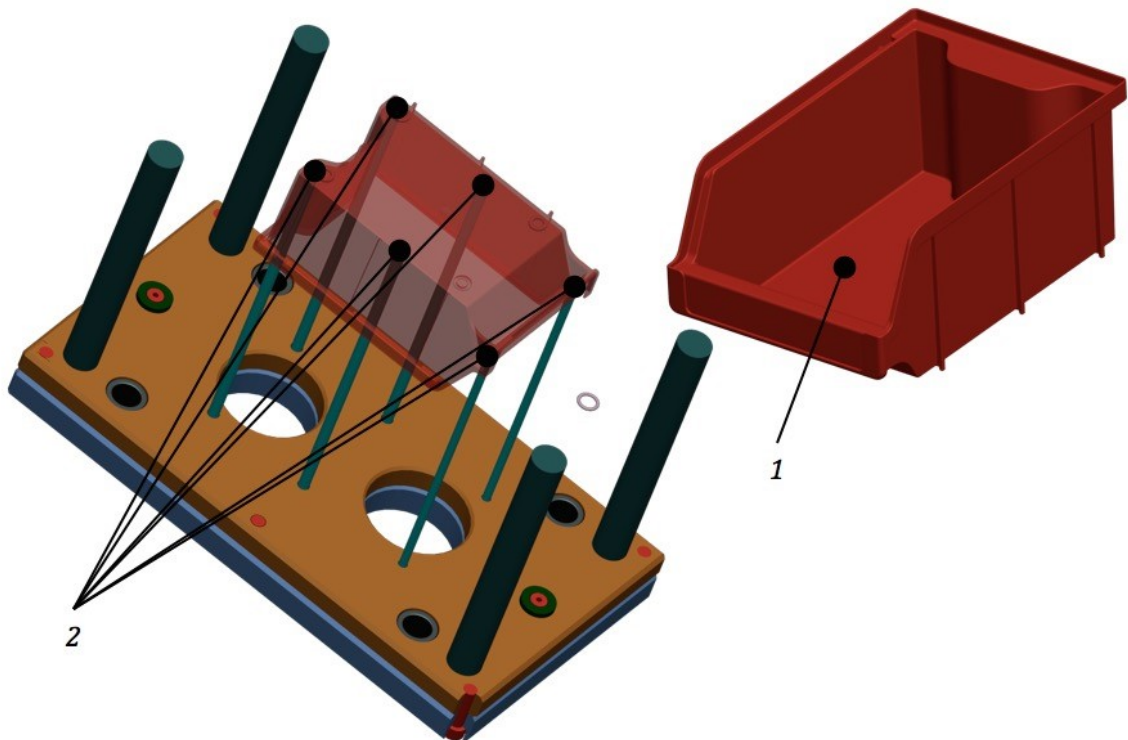
3.6 Vyhazovací systémy

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, při které se z dutiny vstřikovací formy nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výrobek. Komplexnost vyhazovacího systému se může velmi výrazně lišit podle konkrétních požadavků. Aby vyhazovací systém spolu se vstřikovací formou fungoval, musí být dodrženy tyto podmínky:

- Určit osy směrů pohybů vyhazovacího systému,
- správné rozložení vyhazovačů na vstříkovaném dílu,
- dostatečná síla na vyhazování.

Vyhazovací systém má tyto fáze:

- Dopředný pohyb,
- vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb (návrat vyhazovacího systému do původní polohy). [9,15]



Obrázek 17 Vyhazovací systém vstříkovací formy [9]

1) vstříkovaný díl, 2) umístění vyhazovačů na vstříkovaném dílu

Základní podmínkou dobrého vyhazování výrobku je hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výrobek vysouvat rovnoměrně, tak aby se nezpříčil a nedošlo k jeho poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Poté co se vstříkovací forma otevře, vysune vstříkovací stroj svůj vyhazovací mechanismus do stanovené vzdálenosti a tím dojde i k vysunutí vyhazovacího systému vstříkovací formy. Vstříkovaný díl je tímto vysunut neboli odformován z dutiny vstříkovací formy a padá vlivem působení gravitace do prostoru pod vstříkovací formou.

Následuje zasunutí vyhadzovacího mechanismu, zavření vstřikovací formy a cyklus se opakuje. Pohyb vyhadzovacího systému se vyvine hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které bývá příslušenstvím vstřikovacího stroje. Zasunutí vyhadzovacího systému je obvykle dosaženo zasunutím vyhadzovacího mechanismu vstřikovacího stroje. Vyhadzovací systém je tedy zasunut prostřednictvím pohybu formy do zadní pozice. Pokud je to možné, měl by konstruktér vždy směřovat k nejjednoduššímu provedení odformování dílu, tak aby se složitost formy zbytečně nezvyšovala. Ovšem poměrně běžně se vyskytují vstřikované díly, které vyžadují i přítomnost dalších odformovacích prvků vedle klasických vyhadzovačů. Bez ohledu na typ a řešení vyhadzovacího systému, by měl splnit následující požadavky:

- Snadné odformování vstřikovaného dílu,
- odformování vstřikovaného dílu bez jeho deformací,
- vstřikované díly musí při otevření zůstat na té straně formy, na které je vyhadzovacím systémem,
- odformování vtokového systému.

Možnosti řešení vyhadzovacího systému vstřikovací formy:

- Stírací desky a kroužky (kruhové vstřikované díly nebo díly s malou tloušťkou),
- trubkové vyhadzovače (vstřikované díly s malými vnitřními prostory a malou tloušťkou stěny ve směru odformování),
- stlačeným vzduchem (vstřikované díly plochého tvaru s malou kontaktní plochou),
- speciální např.: vytáčení vyhadzovací systém (vstřikované díly s vnitřním závitem),
- vzájemná kombinace jednotlivých typů vyhadzovacích systémů. [9,15]

3.7 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne, až když je forma vyrobena a uvedena do provozu. Může být příčinou nekvalitního vzhledu, nebo nízkých mechanických vlastností výrobku. Současná doba klade na výrobu výstřiků stále větší nároky. To výrobce vede k nákupu stále dokonalejších vstřikovacích strojů a k aplikaci různých modifikací technologie vstřikování. I přes velkou snahu výrobců se nelze v průběhu výroby vyhnout

vadám výstřiků. Jak je výše zmíněno, jedním ze zdánlivě méně důležitých problémů je odvzdušnění vstřikovací formy a s tím spojené vady výstřiků. Jak tavenina vstupuje do dutiny vstřikovací formy, rychle před sebou vytlačuje vzduch, který po uzavření formy v dutině zůstane. Přestože určité množství vzduchu unikne přes dělicí rovinu nebo vodičnými plochami vyhazovačů, musí být většina vstřikovacích forem opatřena dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. Neodvedený vzduch uzavřený v tvarových dutinách vstřikovací formy může vyvolat tyto vady nebo problémy:

- Nedostříky - zamrznutí postupu čela taveniny,
- uzavření vzduchu - tvorba bublin ve stěnách výstřiků s větší tloušťkou stěn,
- zvýšené nebezpečí výskytu studených spojů a s nimi spojených vad povrchu a lokální snížení pevnosti - vzniká při pomalém plnění,
- spálená místa na výstřiku - při rychlém plnění se stlačí vzduch, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt,
- vnitřní pnutí ve výstřiku,
- zvýšení anizotropie vlastností výstřiku,
- nutnost enormního zvýšení vstřikovacího tlaku,
- velké tlakové spády v dutině formy. [3,9,15]

Tabulka 2 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů dle typu plastu [9]

TYP PLASTU	ŠÍŘKA ODVZDUŠŇOVACÍHO KANÁLU [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05 - 0,05
strukturální pěny	max. 0,1

Tyto problémy s odvodem vzduchu z tvarových dutin vstřikovacích forem je možné řešit již při konstrukci forem. Může se řešit využitím znalostí a zkušeností daného konstruktéra nebo s využitím počítačových analýz plnění dutin formy. Pokud ani jedna z možností není k dispozici, musí se problém vyřešit při zkoušení nové formy, kdy jeho řešení může být jednoduché, ale i velmi obtížné a finančně nákladné. [3]

3.8 Materiály formy

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při zhotovení výrobků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a také nízkých pořizovacích nákladů. Důležitým faktorem pro splnění těchto požadavků je materiál formy. Materiál formy je ovlivněn těmito faktory:

- Druh vstřikovaného plastu,
- přesnost a jakost výrobku,
- podmínky vstřikování,
- druh vstřikovacího stroje. [15]

Pro výrobu forem je třeba používat materiály, které splňují všechny tyto požadavky v rozumné míře s ohledem na výrobní náklady formy. Přednost se dává materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem vlastností. Jsou to především tyto druhy materiálů:

- Oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů - měď, hliník,
- ostatní materiály - izolační, tepelně nevodivé. [15]

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu vstřikovacích forem. Vynikají svou pevností a dobrými mechanickými vlastnostmi, proto se dají jen obtížně nahradit. Samozřejmě je však nutné věnovat pozornost i ostatním druhům materiálů. Některé jejich fyzikální i další vlastnosti jako je například tepelná vodivost je předurčují pro speciální použití na některé díly forem a bylo by velmi obtížné se bez těchto materiálů obejít. [15]

- **Druhy ocelí používané na formy a jejich vlastnosti**

Pokud jde o výrobu vstřikovacích forem, výběr správné nástrojové oceli může mít obrovský vliv. Nesprávná volba může způsobit velké komplikace. Výběr nevhodné

nástrojové oceli pro vstřikovací formu může znamenat prasklé jádro nebo dutinu. Optimální určení druhu oceli pro konkrétní součást záleží na její funkci. Úspěšné předpoklady pro dostatečnou životnost a funkční vhodnost jsou správné rozměry, zacházení i údržba. Výslednou životnost může také ovlivnit způsob výroby a tepelné zpracování. Pro výrobu forem si lze vybrat ze dvou základních typů ocelí: kalená ocel a předtvrzená ocel. [15,17]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto jsou vyžadovány specifické požadavky na volbu materiálu. Jejich výběr má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. Od materiálů použitých na formy je vyžadováno:

- Dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť,
- dobrá leštiteľnosť, obrusiteľnosť a zvýšená odolnosť proti otěru,
- odolnosť proti korozi a chemickým vlivům,
- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost. [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena do tří hlavních kapitol, které se postupně zabývají obecným seznámením s polymerními materiály, technologií vstřikování a na závěr konstrukcí vstřikovacích forem. Cílem teoretické části práce bylo zpracovat literární rešerši výše zmíněných oblastí a seznámit se s jejich problematikou.

Cílem praktické části bakalářské práce pak bylo navrhnout 3D model výrobku, který vycházel z reálného dílu zadaného vedoucím práce. Dále pak zkonstruovat 3D model vstřikovací formy pro tento výrobek včetně 2D výkresů.

V zadání bakalářské práce byly stanoveny tyto cíle:

- 1) Zpracujte literární studii na dané téma.
- 2) Zhotovte trojrozměrný model zadané vstřikovací součásti.
- 3) Proveďte konstrukční návrh vstřikovací formy pro danou součást.
- 4) Nakreslete sestavu formy včetně patřičných pohledů a kusovníků.

5 POUŽITÉ PROGRAMY

5.1 Catia V5R19

K tvorbě 3D modelu zadaného výrobku, formy a vytvoření 2D výkresů byl použit program Catia V5R19. Je to jeden z nejpoužívanějších programů v oblasti 3D modelování. Catia je program francouzské firmy Dassault Systemes, který nabízí široké spektrum řešení integrovaných do jednoho pracovního prostředí. Z důvodů široké oblasti využití lze navrhnout a vymodelovat vše potřebné počínaje 3D modelem dílu až po kompletní 3D model vstříkovací formy včetně výkresů. Při konstrukci vstříkovaného dílu bylo využito výhradně prostředí Part Design a Generative Shape Design. Naproti tomu při konstrukci formy bylo využíváno prostředí Mold Tooling Design a Assembly Design.

5.2 Hasco katalog

Pro návrh vstříkovací formy bylo využito mimo jiné normálí společnosti Hasco, které byly buď integrovány v programu Catia, nebo byly staženy z digitálního katalogu normalizovaných dílů z webových stránek společnosti Hasco. Tento katalog umožňuje zvolit potřebné normalizované rozměry součástí a formou 3D modelů jejich snadné vložení do sestavy formy.

5.3 Meusburger katalog

Obdobně jako u katalogu společnosti Hasco, byly při tvorbě vstříkovací formy využity také normálie společnosti Meusburger, které jsou pro tvorbu vstříkovací formy obdobně kvalitní. Díly z digitálního katalogu Meusburger byly využity z důvodu širšího spektra výběru vhodných komponent pro konstrukci dané vstříkovací formy. Stejně jako Hasco tak i Meusburger umožňuje snadný výběr potřebných součástí daných rozměrů a jejich následné vložení do sestavy formy.

6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

S ohledem na rozměry vstřikovací formy byl zvolen elektrický vstřikovací stroj od německé firmy Arburg. Jedná se o model ALLROUNDER 370 E, který splňuje všechny potřebné požadavky pro danou vstřikovací formu.



Obrázek 18 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 370E [18]

Tabulka 3 Specifikace vstřikovacího stroje [18]

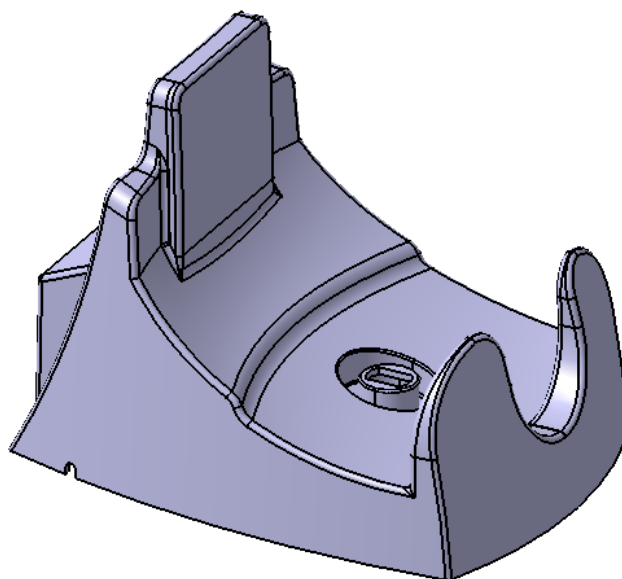
Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální uzavírací síla	600	kN
Maximální otevírací síla	300	kN
Maximální délka otevření	300	mm
Výška formy	200-400	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	370x370	mm
Velikost upínací desky	510x510	mm
Maximální zdvih vyhadzovacího systému	100	mm
Maximální vyhadzovací síla	25	kN
Průměr šneku	35	mm
Maximální objem vstřikovaného polymeru	154	cm ³ /s
Maximální vstřikovací tlak	1170	bar
Maximální krouticí moment šneku	290	N.m

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný vstříkovaný díl slouží jako nabíjecí základna pro elektronické zařízení. Jedná se o tenkostěnný výrobek s tloušťkou stěny 1,8 mm. Ve spodní části se nachází otvor pro připojení nabíjecího kabelu, v zadní části jsou pak otvory sloužící k případnému upnutí základny. Základní rozměry výrobku jsou 98x99,6x134 mm. Model tohoto dílu byl vytvořen v Catii V5R19 v prostředí Part Design a Generative Shape Design. Materiálem výrobku je dle zadání ABS, tento materiál bude blíže popsán v následující kapitole.



Obrázek 19 Zadaný díl



Obrázek 20 3D model dílu

7.1 Materiál výrobku

Materiál výrobku byl zvolen dle zadaného dílu, který byl vyrobený z materiálu ABS, ten pro potřeby výrobku vyhovuje, a tak není třeba jej měnit. Akrylonitrilbutadienstyren neboli ABS se obvykle skládá z přibližně poloviny styrenu a druhé poloviny tvořené stejným dílem butadienu a akrylonitrilu. Je to mimořádně houževnatý a pevný plast s vysokou odolností vůči mechanickému poškození. Použití tohoto plastu pak není vhodné pro koncentrované kyseliny, silné alkálie, organická rozpouštědla, estery, ketony a aromatické uhlovodíky. [19, 20]

Vlastnosti a využití ABS

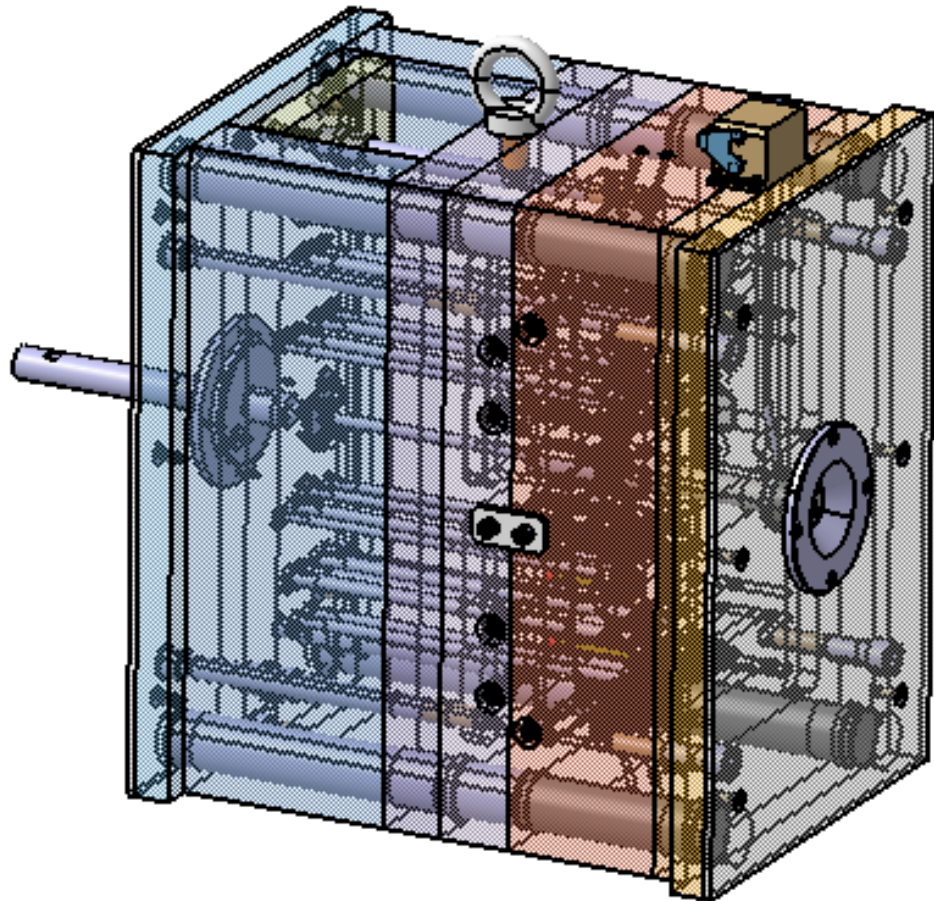
ABS má vysokou pevnost v tahu, rozměrovou stálost, tvrdost povrchu a také tuhost v širokém rozsahu teplot. Je flexibilní, chemicky odolný, má lesklý povrch a relativně nízké výrobní náklady. Z těchto důvodů se ABS používá v široké škále produktů, od hraček až po díly pro průmyslové odvětví. Přidáním přísad v určitých poměrech lze dosáhnout různých druhů ABS, které mají celou řadu požadovaných vlastností. ABS je dále snadno mísitelný s jinými polymery jako jsou například PVC nebo polykarbonát, což zvyšuje rozsah jeho použití. Rozsah teplot pro jeho použití obvykle bývá -40 až 85 °C. Konečné vlastnosti ovlivňuje do jisté míry i to, za jakých podmínek musí být materiál nahříván a ochlazován při procesu tepelného tvarování. Neupravený plast z ABS má neprůhlednou bílou nebo krémovou barvu, lze jej snadno barvit různými pigmenty a barvivy. [20]

Tabulka 4 Vlastnosti ABS [21]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Hustota	1050	kg/m ³
Smrštění	0,4 - 0,7	%
Pevnost ohybu	70	MPa
Modul pružnosti v tahu	2150	MPa
Teplota měknutí	102	°C
Index toku taveniny	6,6	g/10 min

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

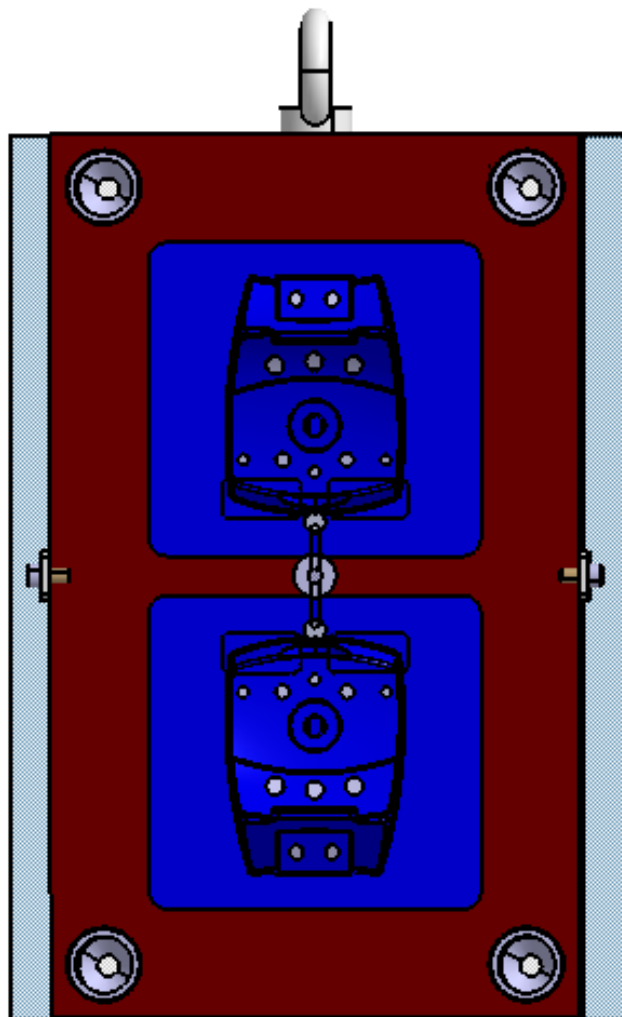
Základem konstrukce vstřikovací formy je to, aby byla řešena dle složitosti výrobku co nejjednodušeji s ohledem na výrobu a finanční náklady. Konstrukce byla provedena v programu Catia V5R19, převážně v prostředí Mold tooling design a Assembly design. Během konstrukce bylo dále využito velké množství normalizovaných součástí, které byly nejčastěji vkládány z katalogu společnosti Hasco a Meusburger. Nenormalizované díly pak byly vymodelovány v prostředí Part designu. Vstřikovací forma jako celek se skládá ze tří hlavních částí: pravá vstřikovací strana, levá uzavírací strana a vyhazovací systém.



Obrázek 21 3D model vstřikovací formy

8.1 Násobnost formy

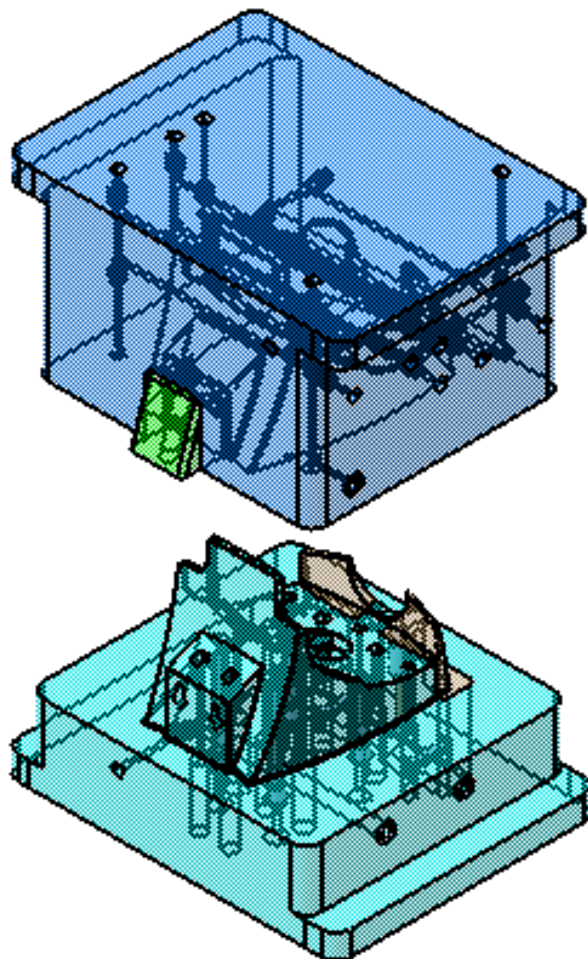
Násobnost formy udává, kolik výrobků je ve formě vyrobeno na jeden pracovní zdvih. Při volbě násobnosti vstřikovací formy je třeba brát ohled na spoustu faktorů, jako je efektivita a ekonomická náročnost výroby, tvar a velikost výrobku a parametry vstřikovacího stroje. Z těchto zmíněných důvodů byla zvolena jako nejvhodnější dvojnásobná vstřikovací forma.



Obrázek 22 Pohled na násobnost formy

8.2 Zaformování výrobku

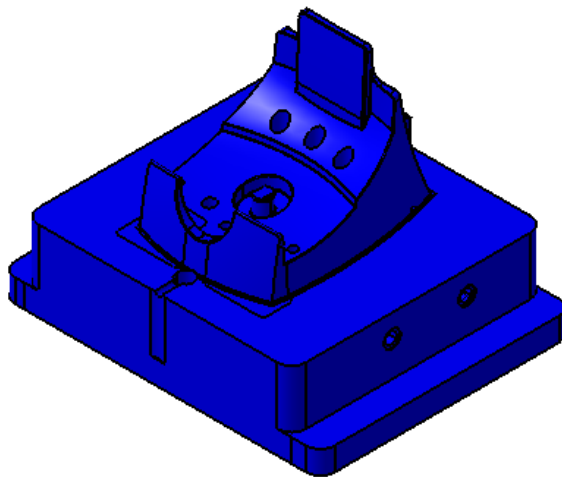
Při návrhu vstřikovací formy je jedním z nejdůležitějších kritérií zaformování výrobku, které má zásadní vliv na tvar dílu a způsob jeho vyhození z formy. Správné zvolení dělicí roviny je rozhodující operace při konstrukci vstřikovací formy. Dělicí rovina by měla být zvolena co nejjednodušeji s ohledem na snadné odformování výrobku. Pro zadaný díl byla zvolena jedna hlavní dělicí rovina, která je zvolena rovnoběžně s upínacími deskami formy a to tak, že lícuje s podstavou celého výrobku. Dále je navržena jedna vedlejší dělicí rovina, která je nutná z důvodu odformování otvorů na zadní straně výrobku. Zaformování bylo navrženo takovým způsobem, že výrobek zůstává po odformování v levé části formy, zároveň dochází k odformování děr pomocí pružinového systému a následně je výrobek vyhozen pomocí vyhazovacího systému.



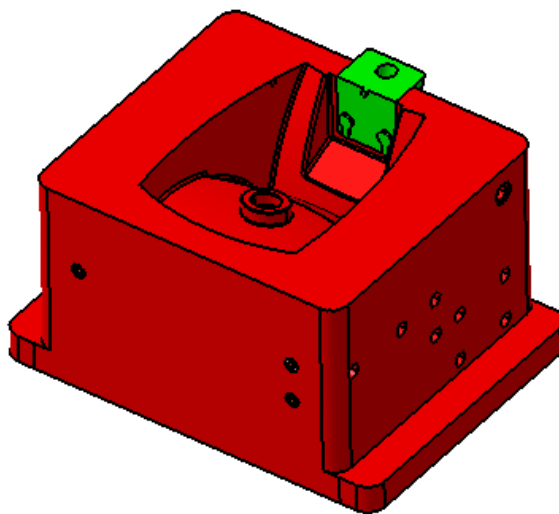
Obrázek 23 Pohled na zaformování výrobku

8.3 Tvarové části formy

Tvarová část formy se skládá ze dvou hlavních částí z tvárníku a tvárnice. U této vstřikovací formy jsou tyto tvarové části ještě doplněny o boční posuvné čelisti. Tyto díly společně vytvářejí tvarovou dutinu formy. Tvárník a tvárnice jsou v přímém kontaktu se vstřikovaným polymerem a svojí dutinou udávají jeho výsledný tvar. Protože je vstřikovací forma dvojnásobná, tak jsou použity dvě tvárnice a dva tvárníky, které jsou uloženy v kotevních deskách. Tvárnice společně s bočními čelistmi je uložena v pravé části formy a udává vnější tvar výrobku, naopak tvárník je uložen v levé části formy a udává jeho vnitřní tvar.



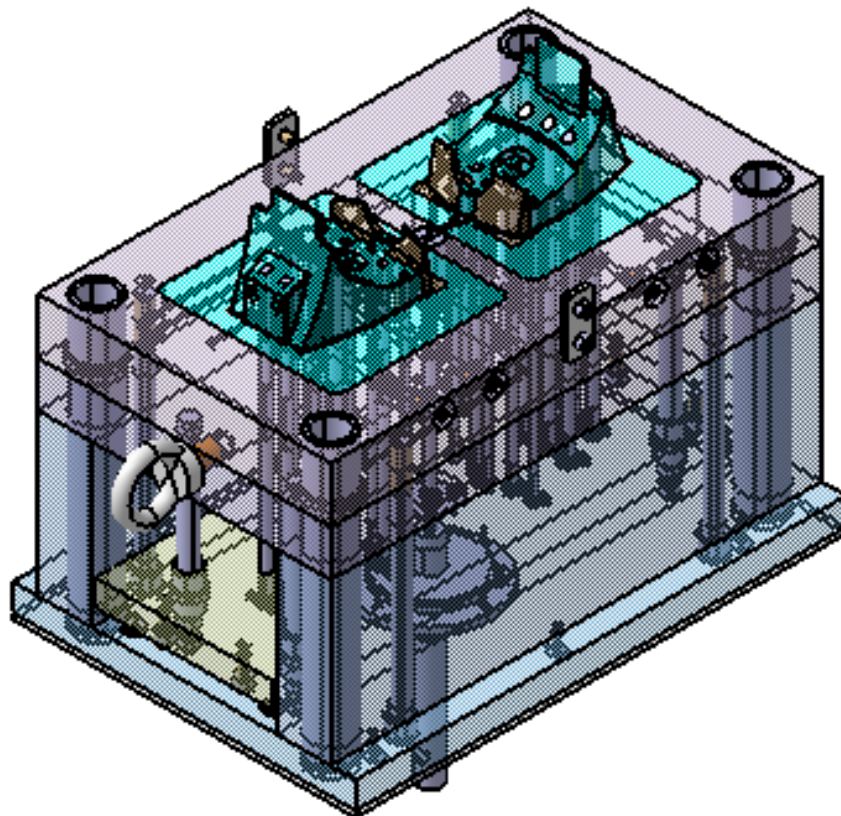
Obrázek 24 Tvárník



Obrázek 25 Tvárnice a boční čelist

8.4 Levá část formy

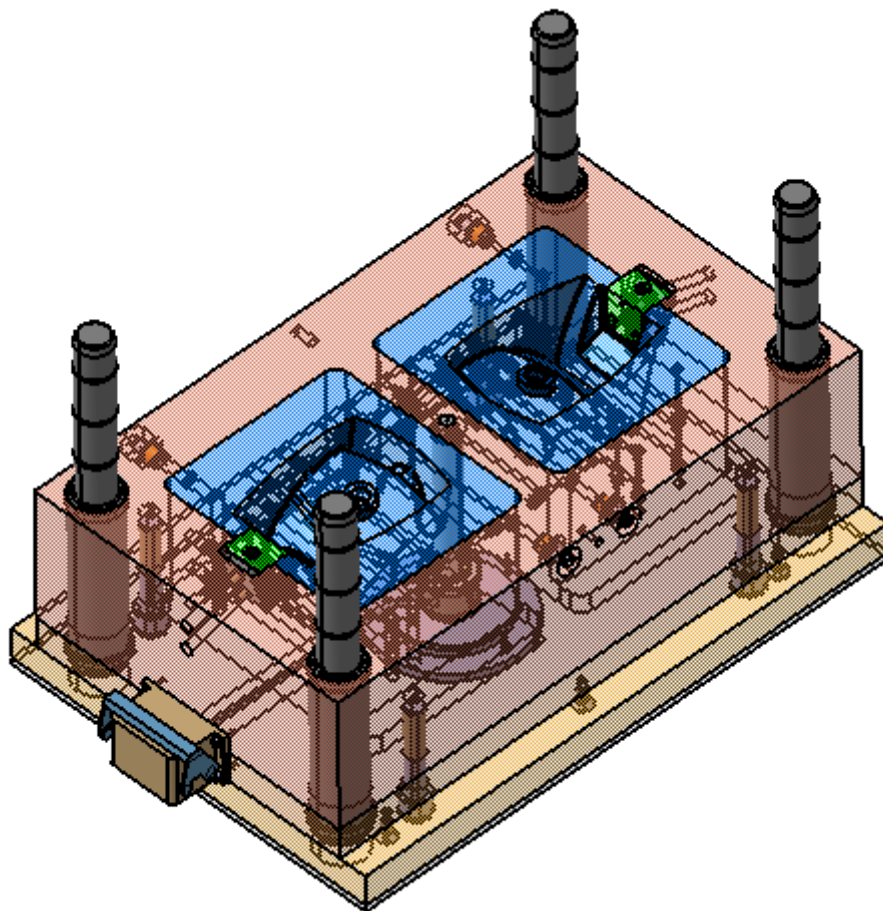
Levá neboli uzavírací část vstřikovací formy je pohyblivá část formy, která zajišťuje uzavírání a otevírání formy vzhledem k její pravé části. Uzavírací část je vedena pomocí vodících pouzder a středících trubek, které jsou vedeny po vodících čepech připevněných v pravé části formy. Levou stranu formy tvoří kotevní deska, ve které jsou uloženy dva tvárníky. Následuje opěrná deska, která slouží k uložení kotevní desky. Dále se zde nachází dvě rozpěrné desky, které vymezují prostor pro vyhazovací systém. Součástí levé strany formy je také upínací a izolační deska. Veškeré tyto desky jsou sešroubovány šrouby s šestihřannou hlavou tak, aby tvořily funkční celek. Na levé straně formy se nachází také vyhazovací systém, který zajišťuje vyhození výrobku z formy.



Obrázek 26 Levá uzavírací část formy

8.5 Pravá část formy

Jedná se o nepohyblivou část vstřikovací formy. Ta je pevně připevněna k rámu vstřikovacího stroje a přijíždí k ní plastikační jednotka vstřikovacího stroje. K spojení s plastikační jednotkou a k vystředění formy slouží středící kroužek. Pravá část formy je vycentrována pomocí vodících čepů, které zapadají do vodících pouzder a středících trubek, které jsou upevněny v levé části formy. Vstřikovací část formy tvoří kotevní deska, ve které jsou uloženy dvě tvárnice s bočními čelistmi. Následuje opěrná deska, která slouží k připevnění kotevní desky. Součástí vstřikovací strany formy je stejně jako u levé části formy upínací a izolační deska. Veškeré zmíněné desky jsou opět sešroubovány šrouby s šestihlannou hlavou a tvoří tak jeden celek. V pravé části formy se také nachází vtokový systém, který slouží k dopravě polymerní taveniny do jednotlivých tvarových dutin.



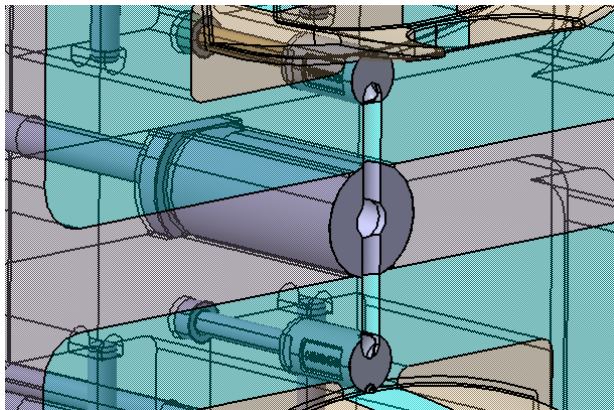
Obrázek 27 Pravá vstřikovací část formy

8.6 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k zajištění dopravy roztaveného polymeru ze vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Pro tuto formu byla zvolena kombinace horkého a studeného vtokového systému. Výhodou této varianty je zejména menší spotřeba polymeru v důsledku minimalizace vtokových zbytků, dále zkrácení vstřikovacího cyklu a také menší nárůst pořizovací ceny oproti kompletně horkému vtokovému systému. Při návrhu vtokového systému je nutné zajistit, aby tavenina zatekla do všech míst současně, jinak by při sériové výrobě docházelo k výrobě dílů o různých vlastnostech. Zplastikovaný polymer je veden přes horkou trysku, která ústí do pouzdra přídržovače vtoku, z kterého jsou vyvedeny rozvodné kanálky do podúrovňových vtokových vložek, přes které pak tavenina putuje přímo do individuálních dutin formy.



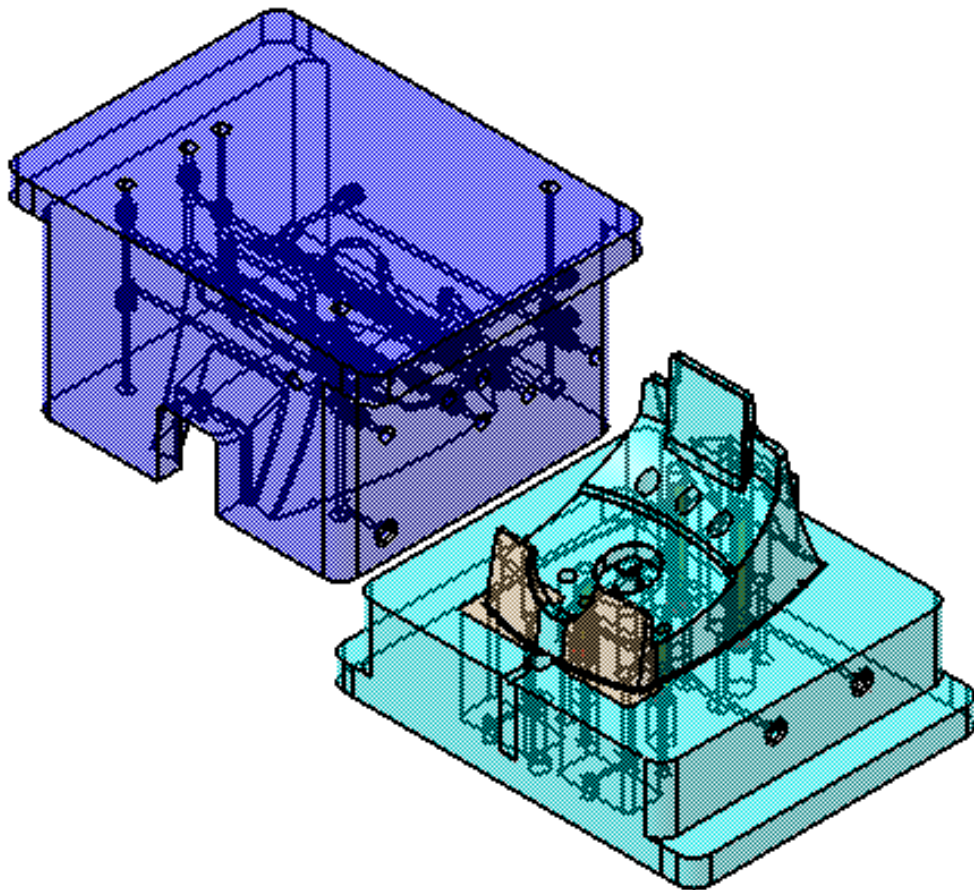
Obrázek 28 Horká tryska včetně kabelů a zásuvky



Obrázek 29 Pouzdro přídržovače vtoku, vtokové vložky a rozvodné kanálky

8.7 Temperační systém

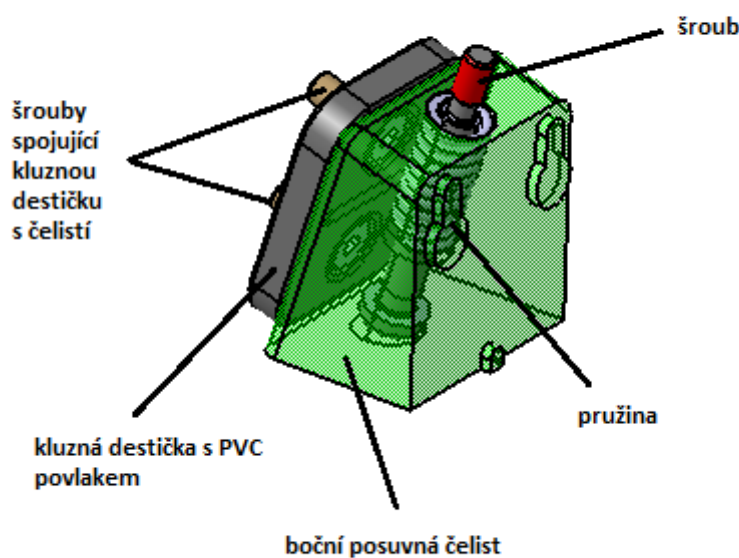
Zplastikovaný polymer po vstříknutí do dutiny formy předává svoje teplo do desek formy a tím prudce roste teplota celé formy. K odvodu tohoto vzniklého tepla slouží temperační systém. Hlavním úkolem temperačního systému je stanovit vhodnou teplotu dutiny formy a udržet ji po celou dobu vstřikovacího cyklu. Obecně je nutné v co nejkratším čase zajistit ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu. Temperační systém se skládá z levého okruhu neboli okruhu pro tvárník a z pravého okruhu tzv. okruhu tvárnice. Temperace závisí na vhodném rozvržení kanálků a také na typu temperačního média. Při temperaci byly použity tyto komponenty: rychlospojky, ucpávky (tvárnice i tvárník) a přepážky (tvárník).



Obrázek 30 Pohled na temperační okruh tvárnice a tvárníku

8.8 Boční odformování

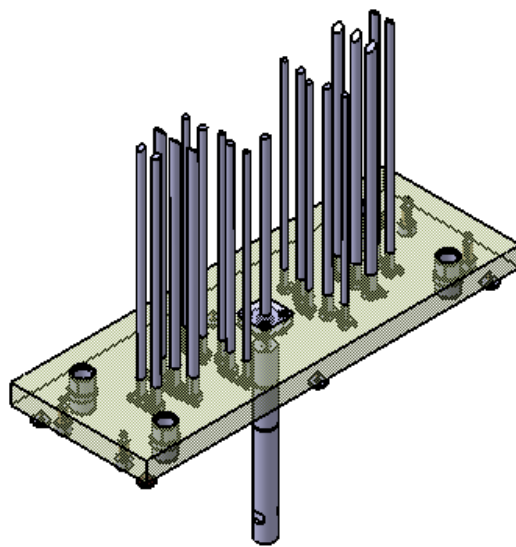
Boční odformování je nutné využít, protože všechny části výrobku není možné odformovat pouze v hlavní dělicí rovině. Vzhledem ke konstrukci zadaného dílu je možné použít pružinový systém bočního odformování, který je pro daný výrobek dostačující a na rozdíl od odformování pomocí šikmých kolíků s posuvnými čelistmi je konstrukčně mnohem jednodušší. Posuvný mechanismus bočního odformování je umístěn v pravé části formy a slouží k odformování dvou tvarových otvorů na zadní straně výrobku. Mechanismus se skládá z pružiny, šroubu, čelisti a kluzné destičky s PVC povlakem, která slouží k zachování životnosti mechanismu. Při otevírání formy se stlačená pružina začne uvolňovat a posouvat čelist směrem k levé části formy, čímž dojde k odformování tvarových děr. Zdvih mechanismu je omezen délkou šroubu a měl by být roven minimálně tloušťce stěny výrobku, tedy 1,8 mm. Reálný zdvih byl nadimenzován na 3 mm, což je pro odformování dostačující.



Obrázek 31 Mechanismus bočního odformování

8.9 Vyhazovací systém

Úkolem vyhazovacího systému je vyhodit výrobek z dutiny formy po jejím otevření. Vyhazovací systém dále musí být navržen tak, aby vyhazovače nezanechávaly stopy na pohledové části výrobku. Podmínkou je, že výrobek musí být ochlazen na danou vyhazovací teplotu. Vyhazovací systém je umístěn v levé (uzavírací) části vstřikovací formy. Z tohoto důvodu je nutné, aby výrobek po otevření formy zůstal na její levé straně. U naší vstřikovací formy je k vyhození jednoho výrobku použito celkem 10 vyhazovačů o různých průměrech. Forma je dvojnásobná, takže celkem je použito 20 vyhazovačů. Dále je pak použit 1 středový vyhazovač, který slouží k vyhození vtoku. Vtok je po ochlazení držen přídržovačem vtoku na levé straně formy a po vysunutí vyhazovačů včetně středového dojde k oddělení vtokového zbytku od výrobku a k jeho následnému vyhození. Všechny použité vyhazovače jsou válcové a musí být zajištěny proti pootočení. V tomto případě k tomu bylo zvoleno válcových kolíků a zploštění hlav vyhazovačů. Vyhazovací systém se dále skládá z táhla vyhazovacího paketu, které je připevněno k opěrné vyhazovací desce. Součástí vyhazovacího systému jsou také 4 vodící pouzdra, která se pohybují po vodících čepech, uložených v levé upínací desce. Vyhazovací desky jsou k sobě sešroubovány a zajištěny dosedkami tak, aby nedoléhaly na stěnu vstřikovací formy a nedocházelo k jejímu poškození. Celkový pohyb vyhazovacího systému je zajištěn táhlem, které je připevněno ke stroji.



Obrázek 32 Vyhazovací systém

8.10 Odvzdušnění formy

Před vstřikováním je dutina formy vyplněna vzduchem. Při vstřikování taveniny do formy dochází ke stlačování tohoto vzduchu, což může negativně ovlivnit vlastnosti výrobku a narušit jeho tvar. Úkolem odvzdušnění formy je tento nežádoucí vzduch odvést mimo dutinu formy. K odvodu tohoto vzduchu se mohou vytvořit například odvzdušňovací kanálky. U této vstřikovací formy však bylo rozhodnuto, že není potřeba vytvářet kanálky a bude dostačující odvod nežádoucího vzduchu kolem vyhazovačů, přes hlavní a vedlejší dělicí rovinu a skrz posuvné čelisti. V případě nedostatečného odvzdušnění je nutné po odzkoušení v praxi vytvořit vhodné odvzdušňovací kanálky.

8.11 Manipulace

Vstřikovací forma je z důvodu lepší manipulace opatřena manipulačním okem, které je připevněno pomocí závitu na horní straně formy. Závěsné oko je umístěno v těžišti vstřikovací formy a slouží k jednoduchému přesunu formy pomocí manipulačního zařízení.



Obrázek 33 Manipulační oko

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový díl, tedy součást nabíjecí základny pro elektronické zařízení. Tato bakalářská práce se skládá ze dvou základních částí, z teoretické a praktické.

V úvodu této bakalářské práce bylo nejprve nutné se v rámci teoretické části obecně seznámit s problematikou polymerních materiálů, technologií vstřikování a následně se zásadní oblastí pro tuto práci tedy problematikou konstrukcí vstřikovacích forem.

Úkolem praktické části bakalářské práce bylo vytvoření 3D modelu zadaného plastového dílu. 3D model dílu byl vytvořen dle předlohy skutečné zadané nabíjecí základny. Na základě tohoto modelu byl následně vytvořen tvárník a tvárnice a navrhnutá konstrukce celé vstřikovací formy.

Postup při praktické části bakalářské práce byl následující. Celá tvorba praktické části práce od modelu dílu, přes konstrukci formy až po zhotovení výkresů probíhala v programu Catia V5R19, který byl zvolen s ohledem na vyhovující pracovní prostředí pro tvorbu forem a to především díky modulu Mold Tooling Design a Assembly Design, ale také s ohledem na dostupnost katalogu Hasco a Meusburger přímo v softwaru Catia. Při samotném modelování, bylo nejprve nutné vytvořit 3D model výrobku dle zadání v prostředí Part Designu a Generative Shape Designu a dle tohoto zhotoveného modelu následně vytvořit tvarové části formy, tedy tvárník a tvárnici. Jako materiál vstřikovaného dílu byl zvolen dle reálného výrobku materiál akrylonitrilbutadienstyren neboli ABS. Na základě celkových parametrů výrobku byl poté zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 370 E od německé firmy Arburg. Následovala samotná konstrukce vstřikovací formy, při které bylo nejprve na základě složitosti a rozměrů výrobku rozhodnuto o velikosti desek formy a o tom že forma bude dvojnásobná. Z důvodu tvarových děr na zadní části výrobku bylo nutné pro zaformování využít kromě tvárníku a tvárnice také boční posuvné čelisti. Dále byl pro formu vybrán vtokový systém, který byl z důvodů menší spotřeby polymeru a také snížení finančních nákladů zvolen jako kombinace horkého a studeného systému. V návrhu vstřikovací formy byl dále použit adekvátní temperační systém s ohledem na umístění vyhazovačů a prostor v tvárníku a tvárnici. Vyhazovací systém byl pak na základě funkčnosti inspirován rozmístěním dle reálného výrobku. Všechny části formy jsou podrobně popsány v daných kapitolách. Na závěr byly vytvořeny 2D výkresy formy, které jsou součástí samostatné přílohy práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1995. ISBN 80-708-0241-3.
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2020-10-17]. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [3] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: Vstřikování termoplastů 1. díl. 2. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [5] Thermoplastics [online]. PlasticsEurope [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family/thermoplastics>
- [6] <https://www.mmspektrum.com/clanek.html>. Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování. 2012.
- [7] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2020-10-25]. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [8] AUSPERGER, Aleš. Technologie zpracování plastů [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2020-10-25]. ISBN 978-80-88058-77-9.
- [9] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2020-10-26]. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [10] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2020-10-28]. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [11] KULHÁNEK, Jan. Formy pro tváření plastických hmot. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
- [12] HYNEK, Martin. Studené a živé vtokové systémy [online]. Plzeň: Fakulta strojní, 2013 [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf

- [13] HYNEK, Martin. Horké vtoky [online]. Plzeň: Fakulta strojní, 2013 [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [14] STANĚK, Michal. Přednášky Konstrukce forem - TYKF [online]. UTB, 2020 [cit. 2020-11-20].
- [15] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: Vstřikování termoplastů 2. díl. 1. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [16] Injection Molding [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [17] IVORY, Rena. Understand Common Steels Used in Injection Mold Making [online]. 2013 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://info.crescentind.com/blog/bid/66085/understand-common-steels-used-in-injection-mold-making>
- [18] ARBURG Allrounder 370e golden edition. [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/technische_daten/arburg_allrounder_370e_golden_electric_td_681293_en_gb.pdf
- [19] VERKON [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/vlastnosti-plastu/>
- [20] ABS Thermoplast [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/ABS/>
- [21] VM Plast [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.vmplast.cz/sortiment/abs> [online]. [cit. 2021-5-1].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

tzv.	Takzvaně
pozn.:	Poznámka
T _g	Teplota skelného přechodu
T _m	Teplota bodu tání
%	Procento
UV	Ultrafialové záření
°C	Stupeň celsia
PC	Polykarbonát
POM	Polyoxymethylen
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PA	Polyamid
PBT	Polybutyrentereftalát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
SAN	Styrenakrylonitril
mm	Milimetr
max.	Maximálně
3D	Trojrozměrný prostor
2D	Dvojrzměrný prostor
kN	Kilo Newton
cm	Centimetr krychlový
s	Sekunda
N	Newton
m	Metr

PVC Polyvinylchlorid

kg Kilogram

m³ Metr krychlový

MPa Megapascal

g Gram

min Minuta

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Evropská spotřeba polymerů (pozn.: rok 2012) [2]	11
Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [2].....	13
Obrázek 3 Základní rozdělení reaktoplastů [2].....	13
Obrázek 4 Rozdělení polymerů dle postavení na trhu [2]	15
Obrázek 5 Ukázka materiálového listu [2]	17
Obrázek 6 Třídící linka k recyklaci polymerů [7]	18
Obrázek 7 Granule termoplastů [7]	19
Obrázek 8 Časové schéma vstřikovacího cyklu [9].....	21
Obrázek 9 Proces vstřikování plastů [8]	22
Obrázek 10 Vstřikovací stroj pro vstřikování termoplastů [9]	23
Obrázek 11 Základní hlavní a vedlejší funkce a vlastnosti vstřikovací formy [9]	27
Obrázek 12 Vstřikovací forma dvoudesková [9].....	28
Obrázek 13 Postup při konstrukci vstřikovací formy [9]	29
Obrázek 14 Studený vtokový systém [12].....	32
Obrázek 15 Schéma vtokové soustavy [12].....	32
Obrázek 16 Vyhřívaný vtokový systémy [13].....	34
Obrázek 17 Vyhazovací systém vstřikovací formy [9]	36
Obrázek 18 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 370E [18].....	44
Obrázek 19 Zadaný díl.....	45
Obrázek 20 3D model dílu.....	45
Obrázek 21 3D model vstřikovací formy	47
Obrázek 22 Pohled na násobnost formy	48
Obrázek 23 Pohled na zaformování výrobku	49
Obrázek 24 Tvárník	50
Obrázek 25 Tvárnice a boční čelist.....	50
Obrázek 26 Levá uzavírací část formy	51
Obrázek 27 Pravá vstřikovací část formy	52
Obrázek 28 Horká tryska včetně kabelů a zásuvky	53
Obrázek 29 Pouzdro přídržovače vtoku, vtokové vložky a rozvodné kanálky	53
Obrázek 30 Pohled na temperační okruh tvárnice a tvárníku	54
Obrázek 31 Mechanismus bočního odformování	55
Obrázek 32 Vyhazovací systém.....	56
Obrázek 33 Manipulační oko.....	57

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené teploty při procesu vstřikování plastů	35
Tabulka 2 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů dle typu plastu [9]	39
Tabulka 3 Specifikace vstřikovacího stroje [18]	44
Tabulka 4 Vlastnosti ABS [21].....	46

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkresová dokumentace

- Celková sestava formy
- Pohled do levé a pravé strany formy
- Kusovník sestavy formy
- Výkres vstříkovaného dílu