

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce: Jakub Hylmar

PRAHA 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Hylmar

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu

Název anglicky

Production of plastic parts in car industry

Cíle práce

- shromáždit informace o klasických a moderních metodách výroby plastových dílů v automobilovém průmyslu,
- shromáždit informace o používaných materiálech a zařízeních.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

automobilový průmysl; prototyp; vstřikování plastů; plastové díly; 3D tisk

Doporučené zdroje informací

- BENIAK, J.: Systém rapid prototyping. Vydavatelství STU 2015.
- BERMAN, B.: 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons. 2012. 55 (2), 155-162.
- COOPER, K. G.: Rapid Prototyping Technology: Selection and Application. Taylor & Francis Inc. 2001.
- GALLIMORE, J. J., BROWN, M. E.: Visualization of 3-D Computer-Aided Design Objects. International Journal of Human-Computer Interaction. 1993. 5 (4), 361-382.
- HOPKINSON, N., HAGUE, R., DICKENS, P.: Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age. John Wiley & Sons 2006.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F., LIM, Ch. S.: Rapid Prototyping. Principles and Applications. 3rd Edition. WSPC 2010.
- CHUA, CH. K., LEONG, K. F.: 3D Printing and Additive Manufacturing. Principles and Applications. 5th Edition. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 2014.
- KHOO, Z. X., TEOH, J. E. M., LIU, Y. et al.: 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. Virtual and Physical Prototyping. 2015. 10 (3), 103-122.
- OROPALLO, W., PIEGL, L. A.: Ten challenges in 3D printing. Engineering with Computers. 2016. 32 (1), 135-148.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L.: From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change. 2016. 102, 214-224.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2018

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Podpis _____

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Milanovi Brožkovi, CSc. za jeho odborné připomínky a čas, který mi při psaní této bakalářské práce věnoval. Zároveň bych chtěl poděkovat firmě Part2Print s.r.o., která mi poskytla materiál a zázemí pro tvorbu vlastního projektu, který je součástí této bakalářské práce. Dále poděkování patří mé rodině, za neustálou podporu napříč celým studiem.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce na téma „Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu“ se v první části zabývá historií a klasickými metodami zpracování plastů a podrobným seznámením s metodou a problematikou vstřikování, která je v automobilovém průmyslu nejrozšířenější. V druhé části této práce je kladen důraz na technologie 3D tisku, které patří k moderním metodám výroby, ať už jde o prototypovou výrobu nebo výrobu samostatných součástí v automobilu. S technologiemi 3D tisku se v dnešní době setkáme takřka ve všech firmách zabývajících se výrobou automobilů. Tvoří nedílnou součást při vývoji jednotlivých součástí. Díky metodě 3D tisku se při výrobě značně ušetří čas a cena výroby. Ve třetí části je předvedena metoda 3D tisku v praxi. Je zde popsán postup výroby hlavy řadicí páky automobilu pomocí nejrozšířenější technologie 3D tisku FDM.

Klíčová slova: automobilový průmysl; prototyp; vstřikování plastů; plastové díly; 3D tisk

Abstract:

The first part of this bachelor's with topic „Production of plastic parts in car industry“ focused on history, classic methods of plastic processing and detailed familiarisation with this method and issues of plastic injection molding, which is most expanded in automotive industry. The second part focuses on modern technology of 3D print. This method is used not only for prototypes but also for automotive components. Almost every company which deals with production of cars uses 3D print technology. It is highly important part of the developments single components. Due to this method companies save time and money during development of the product. In the third part there is shown 3D print in the practice. There is shown printing proces of the shift lever with help of the most popular 3D technology called FDM.

Keywords: automotive industry; prototype; plastic injection moldind; plastic components; 3D print

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	1
3	Historie plastů v automobilovém průmyslu.....	2
4	Základní rozdělení plastů.....	3
4.1	Termoplasty.....	4
4.1.1	Amorfnní plasty.....	4
4.1.2	Semikrystalické plasty.....	4
4.2	Reaktoplasty.....	5
4.3	Elastomery.....	5
5	Zpracování plastových materiálů.....	6
5.1	Lisování a přetlačování.....	6
5.2	Válcování.....	7
5.3	Vytlačování.....	7
5.4	Vyfukování.....	8
5.4.1	Výtlačné vyfukování.....	8
5.4.2	Vstřikovací vyfukování.....	8
5.5	Vakuové tváření plastů.....	8
6	Vstřikování plastů.....	9
6.1	Vstřikovací stroje.....	9
6.2	Vstřikovací formy.....	10
6.3	Fáze vstřikování.....	10
6.3.1	Plastikační fáze.....	10
6.3.2	Vstřikovací fáze.....	11
6.3.3	Dotlaková fáze.....	11
6.3.4	Ochlazovací fáze.....	11
6.4	Hlavní parametry ovlivňující vstřikování.....	11
6.4.1	Teplota vstřikovací formy.....	11
6.4.2	Teplota taveniny.....	11
6.4.3	Velikost vstřikované dávky.....	12
6.4.4	Zpětný odpor šneku.....	12
6.4.5	Rychlost otáček šneku.....	12
6.4.6	Rychlost vstřikování.....	12
6.4.7	Doba vstřiku.....	13
6.5	Smrštění.....	13

7	Plasty používané v automobilových dílech.....	14
8	3D tisk.....	15
8.1	Úvod do 3D tisku.....	15
8.2	Rapid Prototyping (RP)	15
8.3	Co to vlastně 3D tisk je a jak funguje?	15
8.4	Historie 3D tisku.....	16
8.5	RapRap	16
9	Základní technologie 3D tisku	17
9.1	FDM.....	17
9.1.1	Komponenty FDM tiskárny	18
9.1.2	Používané materiály	19
9.2	SLA.....	19
9.2.1	Druhy osvitů u SLA tiskáren.....	19
9.2.2	Postup tisku SLA tiskárny.....	20
9.2.3	Komponenty SLA tiskárny.....	21
9.3	Používané materiály u technologie SLA	21
10	Software 3D tiskáren.....	21
10.1	Modelovací software	21
10.2	Tiskový software	22
10.3	Editor pro úpravu firmwaru.....	22
11	Format STL	22
12	3D tisk v automobilovém průmyslu	23
12.1	První energeticky výkonný prototyp automobilu vytvořen pomocí 3D tisku	24
13	3D tisk v praxi	25
13.1	Modelování.....	26
13.2	Použitá tiskárna a software	28
13.3	Příprava tiskárny.....	29
13.4	Průběh tisku	29
13.5	Výsledek	31
14	Závěr.....	32
15	Literatura	33
16	Seznam obrázků	35

1 Úvod

Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu představuje nedílnou součást celého procesu výroby automobilů, ať už jde o design nebo přímo funkční součásti vozidla za účelem zmenšení hmotnosti, zvýšení bezpečnosti nebo zaručení jednoduchosti výroby. V současné době, kdy je automobilový průmysl vystaven stále přísnějším ekologickým omezením, je aplikace plastů v automobilovém průmyslu ekonomicky nejefektivnější. Díky bohaté historii výroby plastových dílů se setkáváme s různými metodami zpracování plastů.

V dnešní době si ale automobilové firmy uvědomují, že tyto klasické metody již nejsou při některých fázích výroby nejefektivnější a stále více kladou důraz na metody výroby pomocí 3D tisku, který se stal důležitým článkem ve výrobním postupu, ať už se jedná o prototypovou výrobu nebo výrobu samostatných částí.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce na téma „Výroba plastových dílů v automobilovém průmyslu“ je přiblížení historie používání plastů v automobilovém průmyslu, zaměření se na klasické i moderní metody zpracování plastů, které jsou nezbytné pro výrobu v automobilovém průmyslu a poukázat na materiály, které se u jednotlivých dílů používají. Součástí této práce je také seznámení s moderní technologií 3D tisku při výrobě prototypů či jednotlivých součástí automobilů. Dále je zde zdokumentovaný postup 3D tisku v praxi, při kterém je vytištěna hlava řadicí páky automobilu pomocí jedné z technologií 3D tisku.

3 Historie plastů v automobilovém průmyslu

Součásti z plastu v automobilech se užívají už od dob vynalezení plastů. Největší nárůst ale zaznamenáváme až na začátku 70. let 20. století, kdy běžný automobil obsahoval asi 6 % plastů (při tunové hmotnosti automobilu je to 66 kilogramů). V dnešní době je podíl plastů v automobilech téměř na 20 % - 30 % celkové hmotnosti automobilu. [1]

Vůbec prvním plastem byl parkesin (nitrát celulózy), který vynalezl v roce 1855 Alexander Parkes z Anglie a tím vytvořil základ pro výrobu dnešních plastů. Parkesin byl ovšem vysoce hořlavý, a tak v motorových vozidlech nenašel uplatnění. Průlomem byl až rok 1909, kdy belgický chemik Leo Baekeland vynalezl bakelit, se kterým se už můžeme setkat například na starých volantech, řadicích pákách (obr. 1) a podobně. [1]



Obr. 1 - Bakelitová řadicí páka [2]

Hlavním průkopníkem v používání plastů v automobilovém průmyslu byl bezpochyby Henry Ford. Zřejmě i kvůli svému farmářskému původu podporoval biopaliva a stál za výrobou plastů ze sojového proteinu (10 % – 20 %) a vláken konopí (70 %), jako pojivo byl použitý fenolformaldehydový polykondenzát. Z těchto materiálů se pomocí technologie lisování vyráběly přístrojové desky, ovladače, volanty, části výplň dveří a další součásti automobilů jako tomu bylo u modelu Ford „Coupe“ (obr. 2). [1]



Obr. 2 - "Sojové" auto Henryho Forda [3]

K revoluci u používaných plastů došlo ve 30. letech 20. století, kdy byl vynalezen polyvinylchlorid (PVC) a polyetylen (PE). V roce 1942 si Henry Ford nechal patentovat první karoserii, která byla vyrobena z plastů na voze Ford V8. Po 2. světové válce však na vývoj a pokusy s využitím plastů u automobilů nebyl ten správný čas a od 70. let se navíc začalo více dbát na bezpečnost. Bez ohledu na bezpečnost se pak plastová karoserie proslavila hlavně u automobilů značky Trabant z tehdejší NDR, u kterého byl použit duroplast (obr. 3). [1]



Obr. 3 - Legendární Trabant 601 [4]

V 60. letech se díky výrobě nových termoplastických polymerů běžně používají plasty jako náhradní materiály v konstrukcích automobilů. V dnešní době je využití plastů v automobilovém průmyslu ekonomicky nejefektivnější a díky nízké hmotnosti, ceně a možnosti vyrábět i designově složité díly, neodmyslitelnou součástí automobilového průmyslu. [1]

4 Základní rozdělení plastů

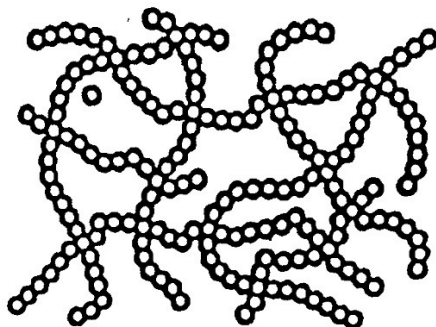
Plasty jsou polymery, které je možné za určitých podmínek tvarovat a po zafixování tvaru se chovají jako tuhá tělesa. Ve většině případů nejsou zpracovány jako čisté polymerní látky, ale jsou technologicky upravovány a přidávány do nich různé přísady jako jsou např.: maziva, změkčovadla, činidla, tepelné stabilizátory atd. [5]

4.1 Termoplasty

Tyto materiály jsou tavitelné teplem. Po dosažení hranice teploty tání měknou a dochází tak k viskoznímu tečení. Za tohoto stavu se mohou tvarovat a po následném ochlazení opět ztuhnou, aniž by ztratily původní vlastnosti. Tento cyklus je opakovatelný. Dělí se na termoplasty s amorfni a částečně krystalickou strukturou. [5]

4.1.1 Amorfni plasty

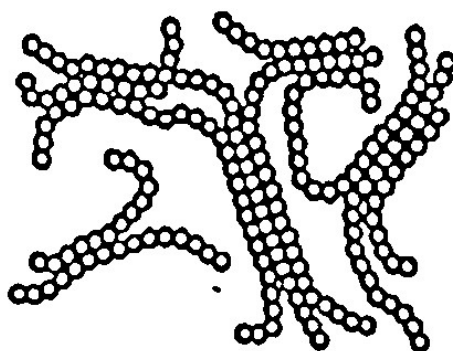
U amorfniích plastů zaujímají makromolekuly zcela nahodilou strukturu (obr. 4). Jsou charakteristické pro svou křehkost, vysokou pevnost, tvrdost, modul pružnosti a jsou díky nízkému indexu lomu průhledné. Součinitel teplotní roztažnosti α je zde menší než u částečně krystalických plastů. Používají se do teploty zesklenní T_g . Tyto plasty je výhodné použít pro výrobu přesných součástí a dílů, díky nízkému smrštění proti formě. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. [6]



Obr. 4 - Amorfni makromolekulární struktura [7]

4.1.2 Semikrystalické plasty

Makromolekuly u těchto plastů vykazují určitý stupeň uspořádání (obr. 5). Stupeň uspořádání nikdy nedosáhne hodnoty 100 %, proto se tyto plasty označují jako semikrystalické. Používání těchto plastů je možné do teploty tání T_m . Vlastnosti těchto plastů jsou vysoká pevnost, tuhost a houževnatost, které však ovlivňuje ochlazovací fáze za důsledku, že jsou pevně závislé na podílu krystalického obsahu. Patří sem např. PE, PA, PP, POM, PTFE a další. [6]



Obr. 5 - Semikrystalická makromolekulární struktura [7]

4.2 Reaktoplasty

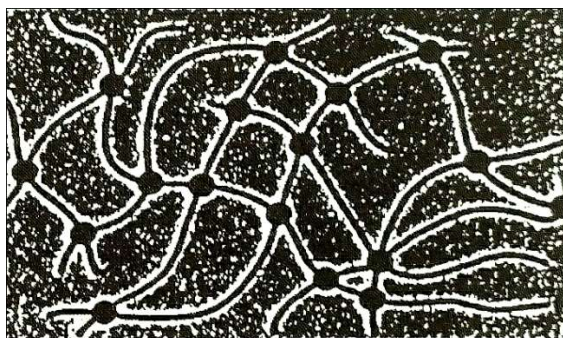
Jsou to teplem tvrditelné polymery, které po zahřátí přecházejí do nerozpustného a netavitelného stavu, a tím dochází k zesíťování strukturálních řetězců do trojrozměrné sítě. Řetězce nelze teplem rozpojit, to znamená, že není možné je opakovaně tvarovat. K nejvýznamnějším reaktoplastům patří různé druhy pryskyřice. Makromolekulární struktura reaktoplastu je vidět na obr. 6. [5]



Obr. 6 - Makromolekulární struktura reaktoplastu [7]

4.3 Elastomery

Patří k materiálům s velice nízkou tuhostí, to znamená že ho můžeme lehce deformovat bez trvalých závad a porušení. Spojky mezi řetězci jsou teplem aktivovány a okolo spojů se řetězce mohou pohybovat (obr. 7). Mezi hlavní elastomery se řadí kaučuk, který je však v jeho základním tvaru tuhý. Až jeho vulkanizací (zesíťování molekul) se vyrábí pryž. [7]



Obr. 7 - Makromolekulární struktura elastomeru [7]

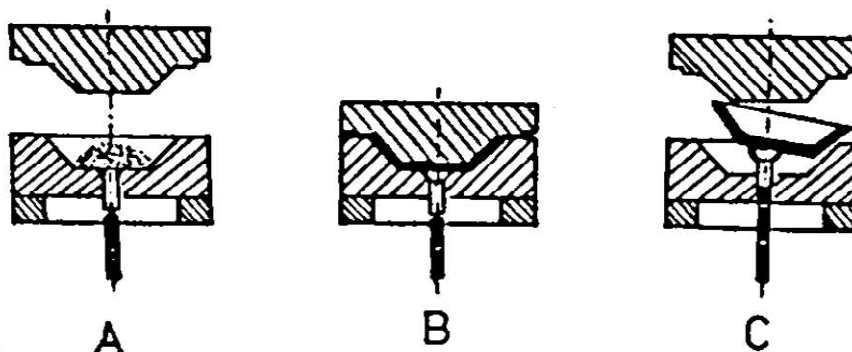
5 Zpracování plastových materiálu

Termoplastické materiály při zahřátí nad teplotu měknutí můžeme velice snadno tvarovat nebo tvářet. Naopak po ochlazení pod teplotu měknutí přesně zachovají daný tvar a jsou tuhé. Tento proces je vratný, jen je zapotřebí, aby byl přiměřený interval mezi teplotou měknutí a oblastí teplot, při jakých má být předmět vyroben. Je velice důležité, dát důraz na volbu materiálu, tak aby zvolený materiál byl jeho vlastnostmi a cenovou dostupností pro daný účel nejvíce vyhovující. [8]

V následujících podkapitolách jsou vyjmenovány základní metody zpracování plastů. Metoda vstřikování, která je v automobilovém průmyslu nejrozšířenější je podrobněji popsána dále v samostatné kapitole.

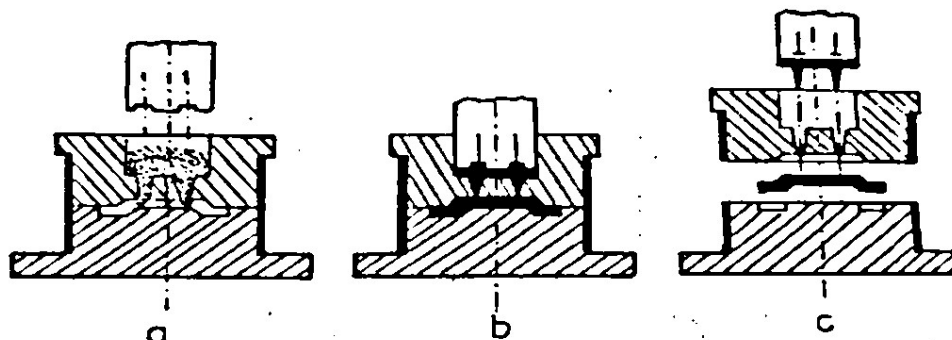
5.1 Lisování a přetlačování

Jedná se o nejstarší způsob zpracování polymerů (konec 19. století). Materiál je umístěn do formy a za pomoci tlaku a tepla se dosáhne plastického stavu a příslušná forma mu dá určitý tvar. Po vychladnutí je vylisek vyndán z formy. Princip lisování je znázorněn na obr. 8. [9]



Obr. 8 - Princip lisování, A – plnění formy, B – vlastní lisování, C – vyjímání z formy [9]

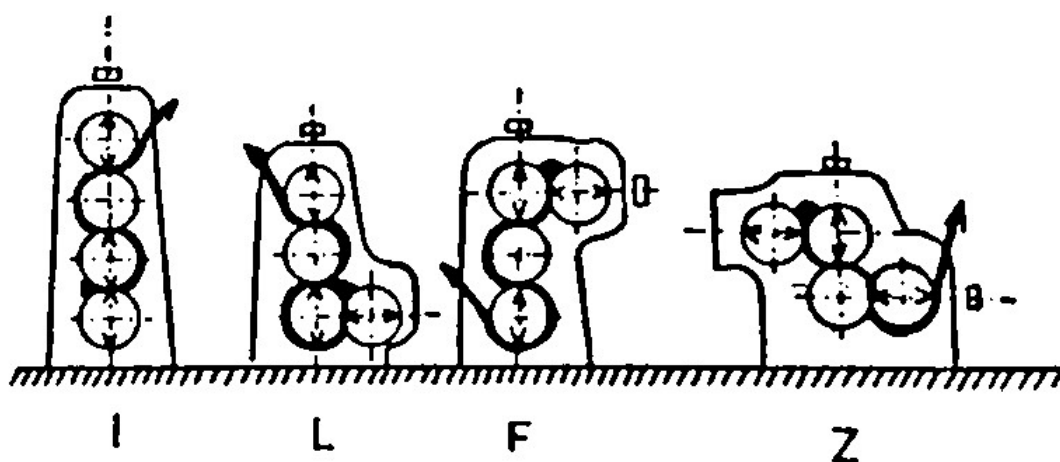
Při metodě přetlačování, která se používá pro reaktoplastické a kaučukovité směsi, je forma na začátku výrobního procesu uzavřena a materiál do ní vtéká otvory. Výhodou přetlačování je, že materiál je do formy přiveden už v plastickém stavu a méně opotřebovává tvárnice formy. Princip přetlačování je vidět na obr. 10. [9]



Obr. 9 - Princip přetlačování, A - otevřená forma s polymerním materiálem v přetlačovací komoře, B - uzavřená forma smateriálem přetlačeným do tvářecího prostoru, C - otevřená forma s vyjímáním vyliskem [9]

5.2 Válcování

Jinak také kalandrování, je způsob zpracování polymerů, používaných k výrobě desek a fólií. Materiál se pěchuje do válcovacího stroje. Veškerý přiváděný materiál však nemůže projít úzkou štěrbinou mezi válci a hromadí se před ní do tvaru ruličky. Spodní část fólie vystupuje ze štěrbin téměř bez změny, kdežto druhá část je strhována do prostoru mezi štěrbinami a rozválcována. Nejrozšířenější válcovací stroje jsou čtyřválcové do tvaru I, L, F a Z (obr. 9). [9]

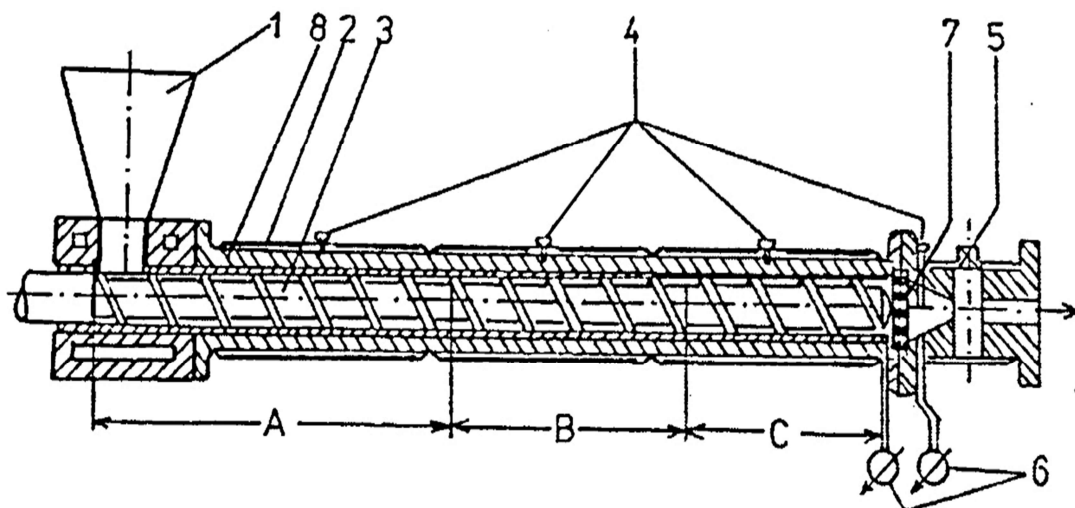


Obr. 10 - Klasifikace čtyřválců na typy I, L, F a Z [9]

5.3 Vytlačování

Tato technologie je založena na postupu, kdy materiál v podobě granulátu je po ohřevu v plastickém stavu vytlačován do volného prostoru, kdy tvar mu udává vytlačovací hlava.

Používají se šnekové vytlačovací stroje (obr. 10). Válcováním se vyrábějí trubky, tyče nebo opláštění kabelů. [9]



Obr. 11 - Schéma vytlačovacího šnekového stroje 1 – násypka, 2 – elektrické odporové topení, 3 – šnek, 4 – termočlánky k měření teploty v zónách A, B a C, 5 – ventil k regulaci tlaku, 6 – snímače tlaku, 7 – lamač, 8 – válec, A – plnicí část, B – plastikační část, C – vytlačovací část [9]

5.4 Vyfukování

Používá se na výrobu dutých předmětů jako jsou např.: lahve, konve, popelnice, tuby a další. Existují dva způsoby vyfukování. [9]

5.4.1 Výtlačné vyfukování

Polymer se vytlačuje kruhovou šterbinou, aby následně vytlačená hadice byla sevřena do formy a tlakem vzduchu vyfouknuta do tvaru formy. Aby se docílilo pevného dna, přivádí se ze spodu vzduch. [9]

5.4.2 Vstřikovací vyfukování

Hlavní rozdíl je v přípravě předlisku, který není vytlačován, ale vstřikuje se na trn. Výstřik je dodáván revolverovým systémem k vyfukovací části, kde se vyfoukne do požadovaného tvaru formy. [9]

5.5 Vakuové tváření plastů

V dnešní době často používaná metoda tváření plastů. Princip této technologie je zahřátí plastové desky nebo fólie na teplotu tváření. Po dosažení této teploty se forma požadovaného

tvary vtlačí do plastové desky a pomocí odsátí vzduchu a následného ochlazení se vytvoří výlisek. [10]

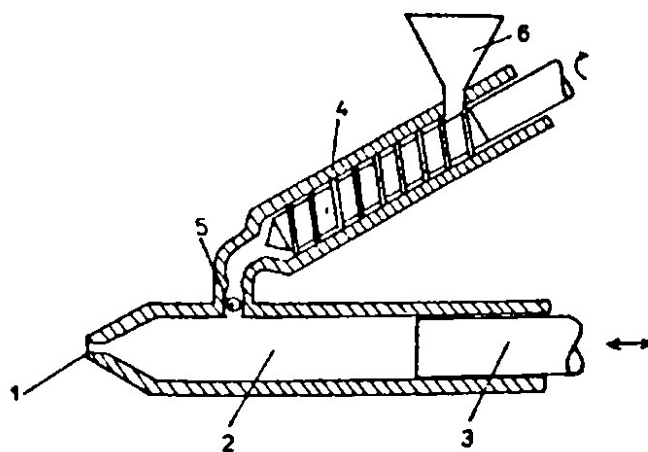
Hlavní výhodou této technologie je rychlá příprava výroby, recyklovatelnost, volba povrchu materiálu, možnost výroby velkoplošných výrobků a nízká cena při malosériové výrobě. [10]

6 Vstřikování plastů

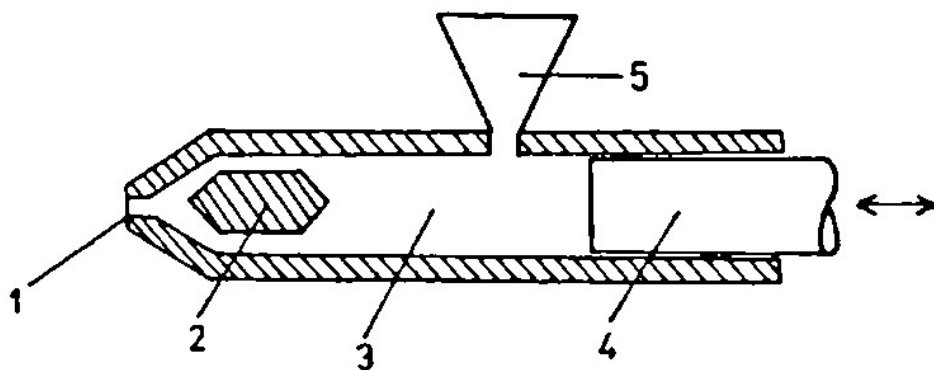
Je hlavní způsob zpracování plastů v automobilovém průmyslu. Materiál ve formě granulí, který je nutné roztavit v tavní komoře do co nehomogennějšího stavu se poté jako tavenina za pomoci tlaku vstříkne do formy požadovaného tvaru. Ve formě se ochladí, a aby po vyjmutí z formy měl požadované tvary a rozměry, v tvarové dutině se pomocí dotlakové fáze vstřikovacího procesu snažíme omezit teplotní objemovou kontrakci a po ztuhnutí se zhotovený výrobek vyjme. Velkou výhodou je, že je výrobek prakticky ihned k použití a části, které zbyly ve vtokové soustavě se dají recyklovat. [5]

6.1 Vstřikovací stroje

Dle konstrukčních provedení vstřikovacích jednotek se vstřikovací stroje rozdělují na stroje s předplastikací (obr. 11) a stroje bez předplastikace (obr. 12). U strojů bez předplastikace se materiál plastikuje v tavném válci a do formy je vstřikován pomocí pístu nebo se vstřikuje i plastikuje šnekem. Vstřikovací stroje s předplastikací, které se používají pro velké výstřiky, mají plastikační jednotku oddělenou od vstřikovací. Polymerní směs se plastikuje buď v odděleném tavném válci nebo ve šnekovém vytlačovacím stroji. Dále se směs přetlačuje do vstřikovacího válce a poté je vstřikována pístem do formy. [9]



Obr. 12 - Schéma pístového vstřikovacího stroje se šnekovou předplastikací. 1 – vstřikovací tryska, 2 – vstřikovací válec, 3 – vstřikovací píst, 4 – plastikační šnek, 5 – zpětný ventil, 6 – násypka [9]



Obr. 13 - Schéma pístového vstřikovacího stroje bez předplastikace. 1 – vstřikovací tryska, 2 – torpédo, 3 – válec, 4 – vstřikovací píst, 5 - násypka [9]

6.2 Vstřikovací formy

V procesu vstřikování je důležité věnovat zvýšenou pozornost formám. Vtokové kanály mohou být vedeny přímo k dělicí rovině nebo kolmo na ni. Dutina vstřikovací formy je negativem výstřiku. Formy se ochlazují vodou, protékající kanály cirkulace. Na kvalitu výstřiku má významný vliv i plnicí soustava neboli cesta, kudy protéká tavenina směrem ze vstřikovací trysky do dutiny formy. Plnicí soustava musí být symetricky uspořádaná, aby byla forma rovnoměrně zatěžovaná. Důležitým předpokladem k tomu jsou dostatečně velké průřezy samostatných kanálků, avšak součet průřezů všech rozváděcích kanálků musí být roven alespoň ploše nejširšího průřezu hlavního vtokového kanálku. Proti vtokovému ústí musí být v dutině formy průduchy, kterým unikne vzduch, či jiné plyny stlačované ve formě přitékající hmotou. Po vyjmutí výstřiku se odstraní vtoky a výstřik se podle potřeby obrousí a vyleští. [8]

6.3 Fáze vstřikování

Celý proces vstřikování lze rozdělit na 4 hlavní fáze, které ovlivňují kvalitu výstřiku.

6.3.1 Plastikační fáze

Základním předpokladem pro nejvhodnější naplnění tvarové dutiny formy, je zajištění homogenity taveniny před čelem šneku. K tomu napomáhá správné nastavení teplot na každém samostatném topném pásmu plastikačního válce, otáčky šneku a zpětný odpor šneku. Možná nehomogenita taveniny se zobrazí negativně zejména na kvalitě povrchu výstřiku (lesk, studené spoje, vnitřní pnutí, tokové čáry). Teplota taveniny má rozhodující vliv na orientaci molekul ve výstřiku, se zvyšováním teploty taveniny stupeň orientace klesá a výstřik se z pohledu vlastností stává izotropnější. [1]

6.3.2 Vstřikovací fáze

Termicky homogenní tavenina naplní tvarové dutiny formy tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla na každém místě průřezu tokové dráhy stejná. U tvarů jednoduchých výstřiků se stejnou tloušťkou stěny je tento předpoklad možné dodržet. Zatímco u tvarově rozmanitých výstřiků s rozdílnou tloušťkou stěny je to problematictější a to i při zapojení počítačové simulace plnicí fáze. [1]

6.3.3 Dotlaková fáze

Průběh dotlaku, který je charakterizovaný hodnotou tlakové odezvy v dutině formy se musí po dobu jeho působení volit tak, aby se dosáhlo tvaru a rozměru, který je požadován. Působení dotlakové fáze jednotlivých parametrů i jako celku nad optimum, vede ke zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výstřiku, také vzniká zbytečná činnost čerpadla – neekonomické. Dotlaková fáze se proto využívá k opravě smrštění, tedy rozměrů. [1]

6.3.4 Ochlazovací fáze

Ochlazování výstřiku ve tvarové dutině formy začíná už v momentě startu plnění dutiny taveninou a pokračuje až do vyjmutí výstřiku ven z formy. Nejnižší doba ochlazování musí zajistit takovou tuhost výstřiku, aby byl zhotovený výrobek vyjmut bez poškození nebo vad. Hledání nejvhodnější doby ochlazování má zjevný vliv na ekonomii výroby. Z hlediska jakostních požadavků by doba trvání ochlazování měla být co nejdelší, naopak z hlediska ekonomiky by měla být co nejkratší. [1]

6.4 Hlavní parametry ovlivňující vstřikování

Parametrů ovlivňující vstřikování je celá řada. V následujících bodech jsou shrnuty jen ty nejhlavnější.

6.4.1 Teplota vstřikovací formy

Z pohledu tepelných dějů, které probíhají ve vstřikovací formě, je forma velice složitý mechanismus. Z teplotního pohledu se v podstatě jedná o velmi složitý výměník tepla. V každém jednotlivém cyklu výroby je v určité dávce polymerní taveniny do formy dodán určitý tepelný obsah, který je určený celkovou hmotností výstřiku, znásobený rozdílem entalpií vstřikovaného materiálu při teplotě taveniny a entalpie stejného materiálu při teplotě vyjímání výstřiku z formy. [7]

6.4.2 Teplota taveniny

Plastikační jednotka vstřikovacího stroje má za úkol připravit před čelem šneku dávku teplotně homogenní taveniny, která má stejnou hmotnost v každém cyklu výroby,

s rovnoměrným rozdělením případných aditiv přidávaných do granulátu. Podobně jako u teploty stěny formy, také u teploty taveniny udáváme tento parametr jednou hodnotou. [7]

V reálném procesu vstřikování je však teplota taveniny v dávce, jak v podélném, tak i v příčném směru v závislosti na dráze od začátku dávky různá. Rozdíly mezi teplotami mohou být v rozmezí až 30°C. [7]

6.4.3 Velikost vstřikované dávky

Velikost dávky se může dle systému, který řídí vstřikovací stroj dráhově nebo oběhově lišit. V určitém případě je pokaždé vázaná na velikost vstřikovací komory. Objem výstřiku se jednoduše určí z 3D modelu výstřiku, či z konstrukce vstřikovací formy. Hmotnost dávky je poté určena součinem jejího objemu a hustoty vstřikovaného materiálu dané v jeho materiálovém listě. [7]

6.4.4 Zpětný odpor šneku

Zpětný odpor šneku je v plastikační komoře vstřikovacího stroje technicky realizován škrcením odtoku hydraulického oleje ven ze vstřikovacího válce v době plastikace vstřikovaného granulátu na polymerní taveninu, přičemž se šnek točí a ustupuje vzad a před jeho čelem se vytváří dávka polymerní taveniny. [7]

Škrcením se tvoří odpor proti toku hydraulického oleje do nádrže, čímž se zpomalí zpětný pohyb šneku, a to má za následek, že se vnese v důsledku otáčení šneku do vznikající taveniny větší obsah tepla a tím dojde k okamžitému navýšení teploty polymerní taveniny. [7]

6.4.5 Rychlost otáček šneku

Stejně jako zpětný odpor na šneku, tak i otáčky významně ovlivňují celý proces plastikace a úzce spolu souvisí. Otáčky šneku definujeme jako počet otáček za daný časový úsek. Obvodová rychlost šneku je jeho obvod vynásobený počtem otáček. Otáčky šneku mají přímý vliv na plastikaci, avšak kritériem je obvodová rychlost šneku. Je to tak, protože narozdíl od otáček, není závislá na průměru šneku. Můžeme ji tedy definovat obecně pro jakýkoliv vstřikovaný materiál. [7]

6.4.6 Rychlost vstřikování

Doba naplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou má vliv především na povrchové poškození výstřiku, jako jsou tokové čáry, povrch pomerančové kůry nebo stopy po studených spojích. Rychlost plnění je proto zapotřebí spolu s teplotou taveniny sjednotit tak, aby se na povrchu výstřiku neobjevovala příliš vysoká smyková napětí. Pro polymery s částicovými plnivými se jako nejlepší jeví kombinace vyšší teploty taveniny a nižší vstřikovací rychlosti. U

polymerů s vláknovými plnivými je naopak vhodnější vyšší vstřikovací rychlost na úkor nižší teploty taveniny. Při moc nízké vstřikovací rychlosti se rychle ochlazuje čelo taveniny, to zapříčiňuje růst orientace. S klesající rychlostí plnění se sice zvyšuje pevnost a houževnatost výstřiku, ale klesá lesk povrchu a snižuje pevnost studených spojů. [7]

6.4.7 Doba vstřiku

Rychlost pohybu šneku vpřed při vstřikování ať už konstantní nebo profilovanou rychlostí, ovlivňuje jeden z hlavních procesních technologických parametrů, mající výrazný vliv na povrchové vlastnosti výstřiku, a to rychlost postupu čela polymerní taveniny v tvarové dutině formy. [7]

Kontrola doby výstřiku je pouze zástupné měření bez vlivu na proces vstřikování. Podává nám pouze zprávu o reprodukovatelnosti jednotlivých vstřikovacích cyklů, nemůžeme s její pomocí optimalizovat proces a tím zvyšovat kvalitu výstřiků. [7]

6.5 Smrštění

Je to častá problematika, která se objevuje u všech plastů. U vstřikování jakéhokoliv amorfního nebo částečně krystalického termoplastu platí, že po vyjmutí výstřiku z formy jsou jeho rozměry rozdílné než rozměry měřené po nějaké době od výroby. Uvedené změny rozměru jsou často připisovány smrštění nebo deformaci. Musíme je však rozlišovat:

smrštění – změna objemu při tuhnutí polymerních tavenin a jejím základním důvodem je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a koncentrace plastů

deformace – změna tvaru při uchování stejného objemu výstřiku

Základním a zřejmým požadavkem všech uživatelů výstřiku z plastu je dodržení požadovaných parametrů, tvarů a polohy. Tvarová dutina formy tedy musí být větší o příslušné smrštění v určitém místě. I přes to, že se zdá být tento požadavek jednoduchý, je v praxi velice obtížně splnitelný. Hlavním důvodem je, že na výsledné smrštění působí vysoké množství ovlivňujících parametrů. [7]

Mezi základní ovlivňující parametry můžeme počítat:

Procesní parametry výroby – teploty, tlaky, časy

Vlastnosti a typ zpracovávaného termoplastu – plněné/neplněné plasty, amorfní/částečně krystalické

Konstrukce formy (výstřiku) – především tloušťka stěn výstřiku

Výrobní objemové smrštění lze vypočítat ze vztahu (1):

$$S_{VV} = \frac{V_F - V_V}{V_F} \cdot 100, \quad (1)$$

kde V_F = objem tvarové dutiny formy za teploty okolí 23 °C, V_V = objem výstřiku za téže teploty

7 Plasty používané v automobilových dílech

Polypropylen (PP)

V automobilech je zdaleka nejrozšířenější. Je pevný a velice odolný vůči chemickým rozpouštědlům, zásadám a kyselinám. Používá se například pro výrobu větracích mřížek, ovládacích pedálů a kabelových izolací [11]

Polyuretan (PUR)

Vysoce houževnatý a pružný. Díky své odolnosti vůči teplu, otěru a rozpouštědlům, se hodí pro výrobu tlumičů či k rámování autoskel. [12]

Polyvinylchlorid (PVC)

Tento nehořlavý materiál má velice dobrou tepelnou stabilitu a vysoký lesk. Používá se pro čalounění a potahy sedadel nebo dveří. [11]

Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)

Lesklý, pevný, nepropustný plast, který díky své odolnosti proti vnějším vlivům a chemikáliím našel uplatnění při výrobě částí karoserie, volantů a krytů kol. [12]

Polyamid (PA)

Velice houževnatý a mechanicky velmi pevný materiál, používaný na konstrukční prvky, u kterých je vyžadována vysoká pevnost a zároveň nižší cena, jako jsou například ložiska, ozubená kola, vačky a podobně. [11]

Polyethylen (PE)

U automobilů se používá díky svému širokému rozmezí tepelné odolnosti na výrobu topných soustav a sacích potrubí. Kombinací s polyamidem se využívá k výrobě nádrží. [11]

Polykarbonát (PC)

Amorfní polymer, nabízející jedinečnou kombinaci tvrdosti, tuhosti a houževnatosti. Vzhledem k jeho odolnosti proti nárazům se používá u výroby nárazníků. [12]

Polymethylmethakrylát (PMMA)

Jinak také plexisklo, je průhledný a odolný termoplast, využívající se ve sklech a displejích. [11]

8 3D tisk

Žijeme v době, ve které technologie stále více ulehčují lidem ovládnout jejich prostředí. Díky 3D tiskárnám je možné dosahovat tovární produkce pouze na pracovním stole a tím se otevírá spousta příležitostí, které lidé dodnes neznali. [13]

8.1 Úvod do 3D tisku

Během několika posledních let se objevily nové technologie, které změnily způsob uvádění produktu na trh. 3D tisk je příkladem technologie, která způsobuje revoluci v konstrukci, designu a výrobě produktů. Tato technologie se používá k výrobě fyzických, pevných částí, například forem nebo modelů. Tato technologie zkracuje dodací lhůty pro vývoj produktů. Není to tak dávno, co byl 3D tisk spojován pouze s 3D prototypováním. V dnešní době technologie 3D tisku prošla dlouhou cestou od základních prototypů až po výrobu samostatných strojů. Proces 3D tisku nabízí transformační výhody v každé části výrobního procesu. Od počátečního návrhu, po výrobu finálních produktů, které mají být uvedeny na trh. V současnosti můžeme najít velké množství 3D tiskáren a 3D technologií, proto je důležité, abychom byli důkladně informovaní a mohli vybrat správnou tiskárnu a způsob tisku pro daný výrobek. [14]

8.2 Rapid Prototyping (RP)

Rapid Prototyping neboli rychlé prototypování bylo takto nazváno kvůli funkci, kterou mělo plnit. To je urychlení zdlouhavého a nákladného procesu, který během zavádění nového produktu často bránil vývojové a kreativní fázi. Uživatelé a vývojáři této technologie si však v dnešní době uvědomují, že aditivní technologii lze použít pro mnohem více věcí než jen k výrobě prototypů, a proto tento název v mnoha odvětvích nahrazuje název 3D tisk. [15]

8.3 Co to vlastně 3D tisk je a jak funguje?

3D tisk je proces zhotovení fyzické 3D části libovolného tvaru z nahraného trojrozměrného modelu (ve formátu STL) zcela automatizovaným procesem. Objekt vzniká

postupně nanášením materiálu po vrstvách. Tento způsob výroby se nazývá aditivní (AM), což je absolutní opak subtraktivní výroby, která spočívá v obrábění materiálu. Zde materiál neodebíráme, ale naopak přidáváme. [16]

8.4 Historie 3D tisku

3D tisk se řadí mezi nové technologie. První zmínky o 3D tisku pocházejí z 80. let 20. století, kdy Američan Charles Hull přišel s první technologií 3D tisku, která se nazývá stereolitografie. V roce 1984 si nechal patentovat první 3D tiskárnu. Hull byl vůbec první, kdo vytiskl digitální 3D data. [17]

Na počátku 80. let byl počítačově podporovaný design (CAD) zatím v naprostých začátcích. Charles Hull měl tedy problém s překladem souboru CAD do formátu, který může 3D tiskárna vytisknout. S pomocí poradenské firmy vyvinul formát souboru stereolitografie (STL), který může použít kterýkoliv stroj určený pro 3D tisk. Přestože lidé stále mluví o různých omezeních STL formátu, tak v dnešní době je to stále standard pro celý 3D proces. [14]

V roce 1989 Scott Crump, zakladatel tiskového procesu modelování depozicí taveniny (FDM), vyvinul materiály na bázi akrylonitrilového butadienu styrenu (ABS) pro stroj FDM, který je nejrozšířenější a široce používán většinou 3D tiskáren. [14]

Přestože tento proces známe už od 90. let, začal se rozvíjet teprve nedávno. Částečně to způsobily velice vysoké pořizovací ceny 3D tiskáren, a z části také nízká kvalita v té době produkovaných výrobků. Za posledních pár let, ceny 3D tiskáren klesly na daleko rozumnější úroveň (1000-3000 dolarů), to zapříčinilo značný nárůst a rozvoj 3D tisku nejen v průmyslovém použití, ale také mezi amatérskými uživateli. [18]

8.5 RapRap

V roce 2005 nastal průlom v novodobé historii 3D tisku. Projekt RepRap byl v podstatě experimentem s licencí open source (všechny zdroje jsou zdarma veřejně přístupné a modifikovatelné) založen Adrianem Bowyerem a jeho účelem bylo navrhnout 3D tiskárnu, která dokáže vytisknout za co nejmenší náklady co nejvíce vlastních součástí a tím tak skládat další 3D tiskárny. Díky tomu, že byl projekt veřejně dostupný, mohli se zapojit do vývoje nadšenci z celého světa. To má za důsledek to, že tiskárny typu RepRap jsou nejrozšířenějším typem hobby tiskáren na světě a jejich pořizovací cena oproti profesionálním tiskárnám je velice nízká. Existuje velké množství konstrukčních variant, ale všechny 3D tiskárny z tohoto projektu jsou typu FDM. [15]



Obr. 14 - Tisková farma slavné české značky Průša Research s.r.o. [19]

9 Základní technologie 3D tisku

V dnešní době existuje celá řada technologií 3D tisku (SLS, MJP, SDL, LOM atd.), ale nejpoužívanější jsou 2 hlavní typy, které používají k modelování taveninu vlákna (FDM) a tiskárny pracující s pryskyřicí metodou stereolitografie (SLA). [20]

9.1 FDM

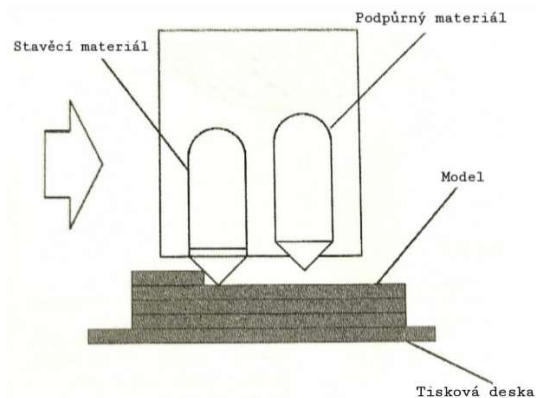
Jedná se o nejrozšířenější a zároveň nejdostupnější typy 3D tiskáren. Představují asi 90 % spotřebitelského trhu. Vhodný je především pro výrobu funkčních modelů a prototypů. Stavebním materiálem je u těchto tiskáren roztavená plastová struna neboli filament. Struna má nejčastěji průměr 1,75 mm. Oproti materiálu využívaném při tisku technologií SLA je práce s filamentem daleko jednodušší. Materiál je dodáván namotaný na cívkách. [17]

Technologie FDM vytváří 3D objekt pomocí procesu vytlačování materiálu. Vlákno prochází přes extrudér, který plast roztáhne k bodu tání a poté roztavený materiál dodává pomocí trysky na tiskovou desku. [13]

U komplikovanějších tvarů objektu nastává situace, při které by se měl roztavený plast usazovat do volného prostoru bez toho, aby byla vrstva přímo připojená k předešlé vrstvě. V takovémto případě jiná tryska průběžně vytváří z podpůrného materiálu podpěru, na kterou je možné část výrobku nanášet (obr. 15). Podpora bývá o mnoho křehčí než základní materiál. Lze ji tedy snadno odlomit nebo rozpustit v chemickém rozpouštědle, vůči kterému je základní plast odolný. [21]

Jednodušší tiskárny s pouze jednou tryskou, které nemají k dispozici podpůrný materiál, vytvářejí podpory ze stejného plastu jako je výrobek. Podporu ale spojují s výrobkem tak,

aby jí bylo možné jednoduše odlomit. Vždy zůstanou drobné stopy po odlomení, jinak to však bez podpurného materiálu udělat nelze. [21]

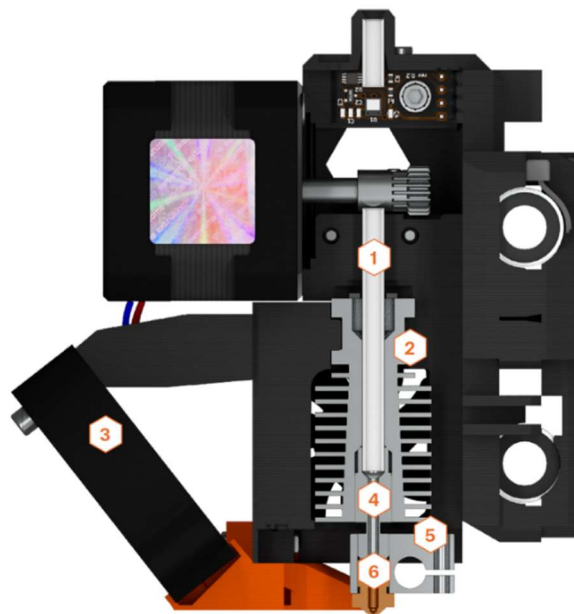


Obr. 15 - Tisková hlava FDM tiskárny [14]

9.1.1 Komponenty FDM tiskárny

Tisková deska – neboli tisková oblast je rovná a plochá deska, na kterou se nanáší materiál. Je dobré, když je deska vyhřívaná z důvodu zabránění kroucení výrobků při tisku. [17]

Extrudér – neboli tisková hlava slouží k vytlačování jednotlivých vrstev. Každá tiskárna má svůj typický extrudér. Záleží, zda tiskárna pracuje jenom se stavěcím materiálem nebo i s podpurným materiálem. Skládá se z několika dílů (obr. 15). [17]



Obr. 16 – Extrudér. 1 – teflonová trubice, 2 – chladič, 3 – tiskový ventilátor, 4 – izolátor, 5 – ohřívací blok, 6 - tryska [17]

Krokové motory – zaručují veškerý mechanický pohyb jak extrudéru ve směru osy X, Y, tak pohybu tiskové desky ve směru osy Z. Motory dále zajišťují podávání materiálu do extrudéru. [17]

Rám – konstrukce 3D tiskárny, která by svojí tuhostí a pevností měla zabraňovat vibracím a otřesům a tím tak zabránit nezhodnocení výsledného tisku. [17]

Řídicí jednotka – zaručuje chod celé tiskárny. Hlavní funkcí řídicí jednotky je čtení a zpracování vstupního textového souboru (G-code), díky kterému se vypočítají pohyby krokových motorů. [17]

9.1.2 Používané materiály

PLA (polylaktid acid) – mezi neprofesionálními 3D tiskaři se jedná o nejpoužívanější filament. Je to biologicky rozložitelný sacharid, který je velice pevný, ale zároveň křehký. Při vysokém zatížení se může přetrhnout. Měkne při teplotě asi 60 °C, proto není vhodné ho použít do prostoru, kde je vyšší teplota. Patří k nejlevnějším materiálům. [14]

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) – je to nejstarší tiskový materiál. S rozvojem 3D tisku se však stále modifikuje jejich kvalita a vylepšují se jejich tiskové vlastnosti. Tento materiál je v automobilovém průmyslu nejpoužívanější. Díky své pevnosti a zároveň flexibilitě a odolnosti vůči vysokým teplotám. Má vysoký bod tání a je snadno stlačitelný. Nevýhodou je však jeho výrazný zápach při zpracování. [14]

FLEX (flexibilní filament na bázi polyuretanu) – materiály, které jsou částečně ohebné a chováním se podobají pryži. Dají se bez prasknutí ohýbat. Jsou dostupné v několika stupních tvrdosti. Čím je struna měkčí, tím bývá tisk náročnější. Používají se při tisku kol na modely aut atd. [17]

9.2 SLA

Tyto typy tiskáren na rozdíl od FDM tiskáren nepoužívají vlákno, ale pracují s tekutou pryskyřicí (polymerem). Tato technologie je založena na principu vytvrzování materiálu pomocí ultrafialových paprsků. I tyto polymerní tiskárny tvoří své 3D výtisky po samostatných vrstvách, ale v porovnání s FDM tiskárnami jsou výtisky daleko detailnější a hladší. Tisk ale trvá déle, a i pracovní plocha je zde menší. [13]

9.2.1 Druhy osvětlení u SLA tiskáren

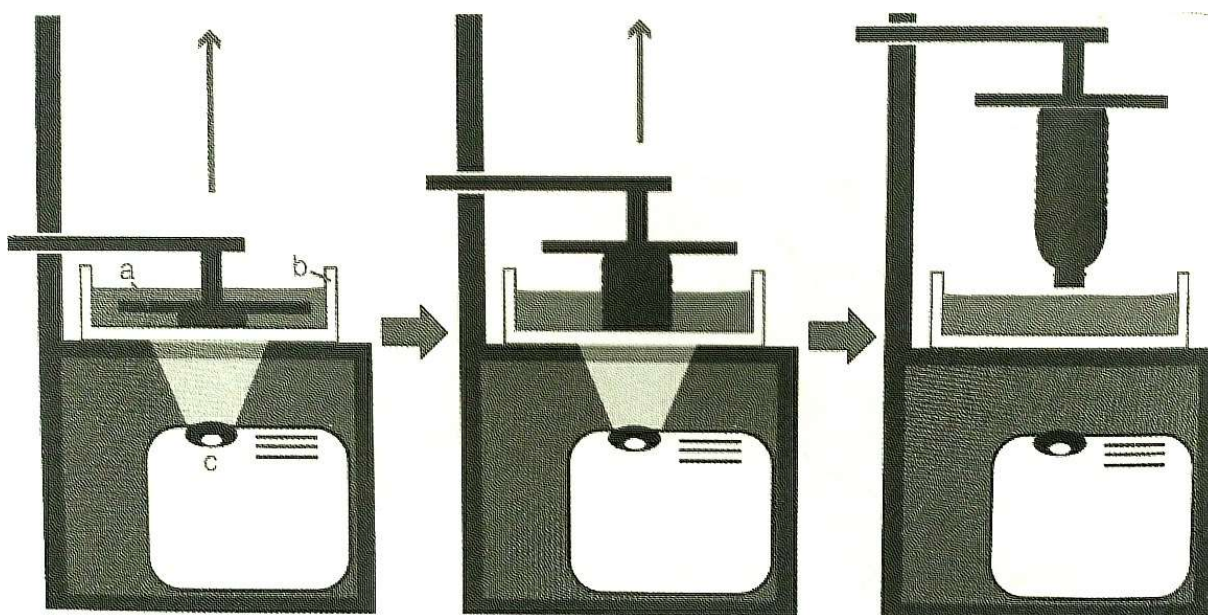
Laser – UV laserový paprsek směřovaný dvěma zrcadly, který postupně vykresluje vrstvu tisku. Při tisku větší plochy tištěného objektu, trvá celý proces tisku déle. [17]

DLP (Digital Light Processing) – osvit celé tiskové vrstvy tištěného objektu probíhá najednou za pomoci digitálního projektoru. K vytvrzení materiálu dochází v místech osvitů. Tato technologie je nezávislá na počtu objektů a jejich obsazené ploše. Tisk jednoho modelu trvá stejně dlouho jako tisk více modelů na jedné platformě. [17]

MSLA (Mask Stereolithography) – osvit probíhá pomocí UV LED a maskování celé tiskové vrstvy LCD displejem. UV světlo prostoupí jen do míst, kde jsou pixely aktivované. Jen v těchto místech dojde k vytvrzení pryskyřice. I u tohoto způsobu osvitů se vytvrzují celá vrstva, tudíž čas je stejný i při více tisknutých objektech. [17]

9.2.2 Postup tisku SLA tiskárny

Nejprve je do 3D tiskárny vložena vana s materiálem v tekutém stavu (pryskyřice). Poté se tisková deska postupně ponoří do vany, dokud mezi ní a dnem vany nezůstane pouze velmi tenká vrstva materiálu. Na tiskovou desku ze spodní strany 3D tiskárny dopadají speciálně směřované paprsky, díky nimž se materiál v určitých místech vytvrdí. Tisková deska se po tomto procesu mírně posune nahoru, paprsky znovu vytvoří obraz následující vrstvy, který se po vytvrzení připojí k předešlé vrstvě. Tento proces se opakuje až do zhotovení celého výrobku (obr. 16). [13]



Obr. 17 - Proces tisku technologií SLA [13]

Vytištěný model není vhodný pro okamžité použití, jelikož je znečištěný od nevytvrzené pryskyřice. To má za důsledek lepkavý povrch modelu. Je doporučeno model namáčet do izopropylalkoholu, aby se zbytkový materiál z modelu smyl. Také se doporučuje dodatečné vytvrzení UV světlem. [13]

9.2.3 Komponenty SLA tiskárny

Komponenty těchto tiskáren se liší podle druhu osvitů. Mezi základní však patří:

Zdroj světla – projektor, UV dioda nebo laserový paprsek, který zaručuje zdroj světla k vytvrzení materiálu.

Vanička – slouží jako zásobník materiálu v tekuté podobě. Své dno má průhledné, aby mohlo docházet k osvětlení.

Posun osy Z – u těchto druhů tiskáren dochází k pohybu pouze v ose Z. Kvůli osvětlení a vytvrzení vrstvy není zapotřebí zajistit posuny v osách X a Y.

Ovládací displej – slouží k uživatelské obsluze tiskárny

Průhledný kryt – zabraňuje přístup slunečního světla do tiskárny, aby nedocházelo k nežádoucímu vytvrzování materiálu. Také zabraňuje případné znečištění materiálu ve vaničce.

Rám – masivní rám má za úkol zaručit stabilitu celé konstrukce, aby nedocházelo k nežádoucím vlivům na tisk.

9.3 Používané materiály u technologie SLA

U tiskáren s technologií SLA se používá fotopolymerní materiál, který je tekutý a světlem vytvrditelný. Fotopolymery se skládají z jader, fotoinicíátorů a přísad. Fotopolymery se od sebe liší pouze přidanými přísadami, které jim dodávají odlišné vlastnosti, jinak jejich jádro je stejné. Cena těchto materiálů je výrazně vyšší než u strunových materiálů pro tiskárny FDM. [17]

10 Software 3D tiskáren

Jedním z hlavních požadavků na výrobu pomocí 3D tisku je vedle sestavené tiskárny i potřebný software. Existuje řada různých typů softwaru, bez kterých proces 3D tisku nelze provést.

10.1 Modelovací software

Prvním hlavním softwarem je modelovací software, ve kterém se vytvoří 3D model. K vytvoření 3D modelu lze použít velké množství programů specializujících se na vytváření neboli kreslení modelů. Programy s bezplatným softwarem jako je například Google

Scetchup nebo komerční software, ke kterým je zapotřebí zakoupit licenci. Mezi nejznámější modelovací programy patří Solidworks, Catia, AutoCAD a další. [14]

Existují také internetové portály, kde se už zhotovené 3D modely dají stáhnout online. Příkladným místem, kde se dají 3D modely stáhnout jsou Thingiverse nebo GrabCAD.

10.2 Tiskový software

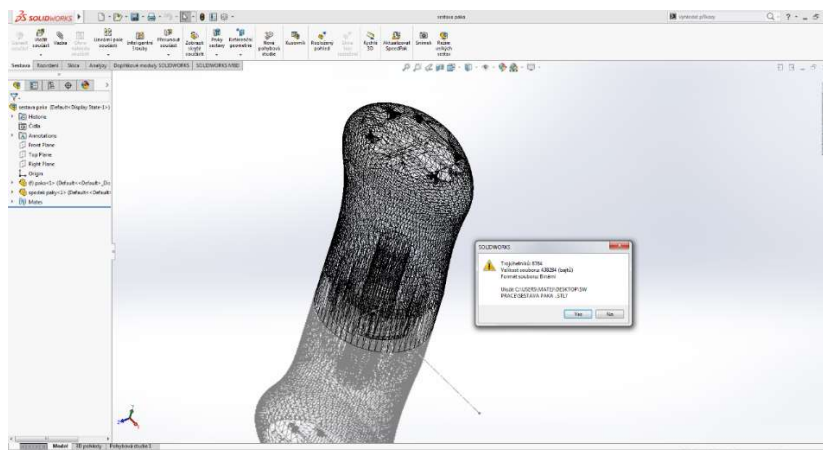
Po vytvoření 3D modelu je zapotřebí jiný software, který zaručí rozdělení objektu na jednotlivé vrstvy. To je velice důležité, protože jak už víme, 3D tiskárny tisknou po jednotlivých vrstvách. Tiskový software „krájí“ objekt na jednotlivé „plátky“ a převádí je na dráhu, kterou daný extrudér bude opisovat. Zároveň software přetváří součást do g-kódu, což je softwarový jazyk, který dokáže přeložit „nakrájený“ model do formátu, který lze vytisknout. Některé softwary pro FDM tiskárny navíc dokážou vypočítat a přidat potřebné podpory objektu. U tiskáren s technologií SLA musíme potřebné podpory v softwaru vlastnoručně vytvořit a přidat. Na trhu nalezneme celou řadu tiskových softwarů, mezi nejpoužívanější se řadí Cura, Slic3r nebo Insight od společnosti Stratasys. [14]

10.3 Editor pro úpravu firmwaru

Tento software, slouží k úpravě firmwaru, který řídí elektroniku a všechny motory 3D tiskárny. Motory, které řídí osy X, Y a Z a motor rychlosti vytlačování materiálu z extrudéru jsou všechny ovládány firmwarem. Firmware umí číst příkazy g-kódu a přenášet je do skutečných pohybů. [15]

11 Format STL

STL je standardní rozhraní pro přenos geometrických popisů z různých CAD systémů do systémů aditivní výroby. Používá se pro všechny typy 3D tiskáren už 30 let. Soubor vytvořený společností 3D Systems je vytvořen z databáze CAD. Tyto soubory ukazují pouze hodnoty povrchových a pevných entit. Informace týkající se barvy, materiálu, či historie jsou během procesu převádění ignorovány. Ignorovány jsou také všechny body, křivky a čáry, které nejsou přímo použity na tělese. Formát souboru STL představuje soubor modelovaný v CAD softwaru jako seznam trojúhelníkových faset identifikovaných jednotkovým normálovým vektorem (obr. 17). Tyto trojúhelníky jsou popsány souřadnicemi X, Y a Z a jako celek se používají k přiblížení povrchu objektu. Soubory STL se používají, protože většina prototypovacích strojů dokáže mnohem jednodušeji sledovat linearitu trojúhelníků než kterýkoli jiný objekt, a přitom si zachovat úplnost objektu. [15]



Obr. 18 - 3D model převedený ze Solidworksu na STL

12 3D tisk v automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl má v předešlých fázích Rapid prototyping (RP) více 3D tiskových aplikací než kterýkoliv jiný průmysl. Automobilový průmysl byl vždy technologicky a inovativně orientovaný. Požadavky spotřebitelů na bezpečnost, design, komfort a ekologickou přívětivost vytvářejí velké výzvy pro společnosti, aby dokázaly tyto požadavky dodržovat a navzájem mezi sebou konkurovat. Například společnost Bentley Motors, firma známá pro svoji kvalitu a luxus, využila patentovanou technologii PolyJet k urychlení výroby menších modelů, ale i dílů v reálné velikosti pro posouzení a testování před samotnou sériovou výrobou. [22]

Každá část vozu je předem vyrobena jako prototyp na 3D tiskárně v měřítku 1:10. Jakmile je miniaturní model schválen, je možné vyrábět jednotlivé součásti automobilů v reálné velikosti. Pomocí technologie PolyJet navíc lze tisknout z více různých materiálů najednou. To se využívá například při tisku pryžové pneumatiky na ráfku kola. Tím je opět celý proces méně časově náročný a nákladný. [22]

Zatímco aditivní výroba se stala nedílnou součástí vývoje produktů v automobilovém průmyslu, německá automobilová firma BMW rozšiřuje aplikaci FDM do dalších oblastí, včetně průmyslu 4.0 (digitalizace v průmyslové výrobě). Díky rozšíření aplikace FDM ušetřila společnost BMW 58 % nákladů a až 92 % času. Bez technologie FDM by prakticky ani nebylo možné vyrábět složité nástroje, jako je například nástroj pro připevnění držáků nárazníku. [22]

Také firma OPEL využívá technologie 3D tisku, avšak ne přímo k výrobě samostatných částí automobilu, ale na výrobu montážních nástrojů. Díky tomu se výrobní náklady snížily až o 90 %. Navíc jsou vytištěné nástroje zhruba o 70 % lehčí a snadněji se s nimi manipuluje. [23]

Dále značka Ford, která se v 80. letech podílela na vývoji 3D tisku, pomocí kombinací systémů SLA a FDM používá k urychlení výroby prototypových dílů. Při klasickém způsobu používání obráběcích strojů by inženýr vytvořil počítačový model například sacího potrubí, nejsložitější částí motoru a musel by počkat přibližně 4 měsíce na výrobu jednoho prototypu za cenu přesahující 500 000 amerických dolarů. Díky technologiím 3D tisku může firma Ford vytisknout stejnou část motoru za cca 4 dny bez opotřebení nástrojů za cenu 3 000 dolarů. To je obrovská úspora času a financí jak pro firmu, tak pro zákazníka. [22]

Všechny automobilové firmy si jsou velice vědomy důležitosti a budoucnosti 3D tisku, proto rozvoj 3D technologií aktivně a hojně podporují jak finančně, tak formou testování nových tiskáren a materiálů ve své výrobě. [22]

12.1 První energeticky výkonný prototyp automobilu vytvořen pomocí 3D tisku

Kanadská firma KOR EcoLogic stojí za prvním prototypem automobilu, jehož celé tělo, včetně skleněných panelů, je vytvořené pomocí 3D tisku. Vůz s názvem URBEE (obr. 18) byl navržen od základů s principy udržitelnosti životního prostředí. Toto vozidlo s hybridním pohonem nabízí působivá čísla palivové účinnosti, a přitom dosahuje spotřeby menší než 1,18 litru/100 km na dálnici a 2,35 litru/100 km při jízdě ve městě. [22]

Bez pomoci 3D tisku by kvůli potřebě různých materiálů a nástrojů trvalo vyrobit tento vůz celé měsíce, ne-li roky. Původním plánem bylo použití hliněného modelu, který by týmu trvalo vyrobit 3 měsíce. Než by vyrobili vozidlo z polymerů pomocí tradičních metod nebo panelů ze skleněných vláken, zabralo by jim to několik dalších měsíců náročné práce. Díky 3D tisku, však návrháři mohou vyladit a provést úpravu návrhu souboru v CAD a součásti mohou být vytištěny během několika dní. [22]

Před tiskem tělesa v reálné velikosti, byly nejprve jednotlivé části vytištěny v měřítku 1:6, aby mohly být ještě objeveny a upraveny případné chyby před tiskem samotného automobilu. [22]

Tělo bylo vyrobeno z ABS materiálu pomocí FDM tiskárny aplikováním termoplastů ve vrstvách od spodní části k horní. Proces FDM umožnil týmu vyrobit mimořádně lehké a silné tělo automobilu. [22]

3D tiskárny vtačovaly polymery do vrstev a nepřetržitě vytvářely celý automobil za 2 500 hodin, a to i přes to, že inženýři odešli domů. Na rozdíl od tradičních automobilů vyrobených z plechu, konstrukce automobilu URBEE nevyžadovala spojovací prvky, jako třeba matice a šrouby, ale byla vyrobena pouze z velkých kusů plastu. [22]



Obr. 19 – Ekologicky šetrný automobil URBEE [24]

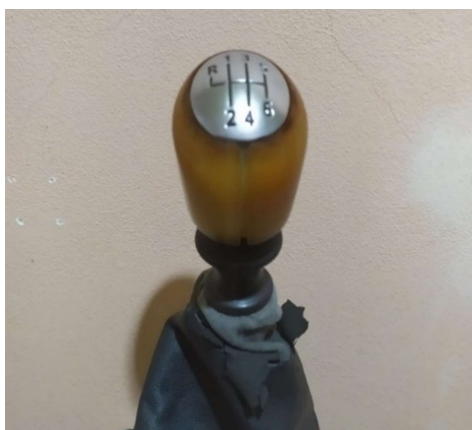
V současné době se společnost rozhodla k vytvoření dalšího projektu, a to URBEE 2, který by měl pojmout celý koncept původního URBEE automobilu. URBEE 2 by však měl být povýšen na vyšší úroveň díky plně funkčním topným tělesům, stěračům čelního skla, a dokonce i zpětným zrcátkům. Společnost plně navrhuje nový automobil v souborech CAD a poté bude spolupracovat s firmou Stratasys pro tisk prostřednictvím FDM tiskáren. [22]

Zatím co pro URBEE bylo pomocí 3D tisku vytvořeno pouze tělo, URBEE 2 bude obsahovat celý interiér vytvořený pomocí 3D tisku. Firma doufá, že s novým vozidlem posune palivové úspory ještě více a budou schopni cestovat napříč celými spojenými státy na pouhých 40 litrů biopaliva. [22]

3D tisk je v automobilovém průmyslu stále na svých počátcích a nemusí plně nahradit současný proces velkého objemu a velké rychlosti výroby. Tato technologie však bezpochybně ovlivňuje vývoj produktů a jejich testování. [22]

13 3D tisk v praxi

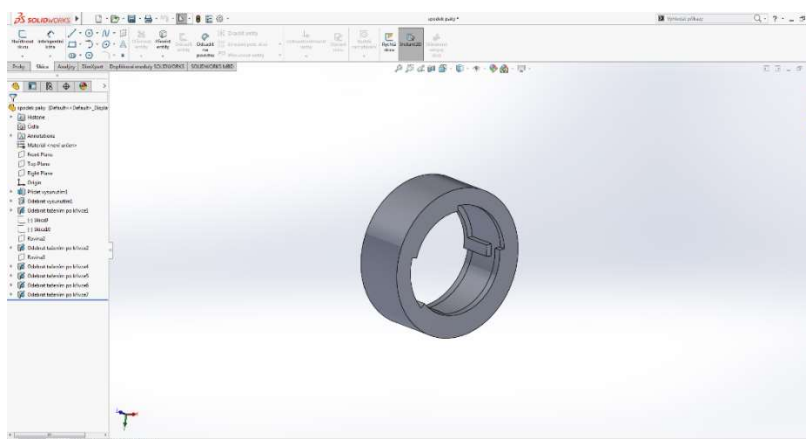
V rámci této práce byl vyzkoušen samostatný tisk součásti automobilu. Dlouho bylo rozhodováno nad věcí, která by nebyla tak časově náročná na vymodelování a samostatný tisk. Zároveň však, aby byla po vytištění použitelná a funkční v nějaké části osobního automobilu. Po zvážení všech možností bylo rozhodnuto pro vytisknutí hlavy na řadicí páce, a to konkrétně k automobilu Renault Laguna ročník 2003, která už svoji páku měla značně opotřebovanou a pořádně na řadicí páce nedržela (obr.19).



Obr. 20 - Stará hlava řadící páky u automobilu Renault Laguna

13.1 Modelování

Nejprve bylo zapotřebí hlavu z řadící páky sundat a prozkoumat, jak je vůbec k páce namontována. K tomu, aby se dala budoucí hlava k páce vůbec použít, musela se nejprve rozměrově dodržet spodní část, která zaručovala úspěšnou montáž. Proto, že spodní část byla na vymodelování složitější, bylo raději zvoleno postupné modelování, kdy byla namodelována spodní úchytná část a zbytek páky zvlášť, aby někdy v budoucnu nedošlo ke zbytečné chybě a nemusela se celá práce opakovat. K práci byl použit software Solidworks 2017 a pomocí funkcí „přidat vysunutím“, „odebrat vyříznutím“ a „odebrat po křivce“ byla namodelována spodní část (obr.20).

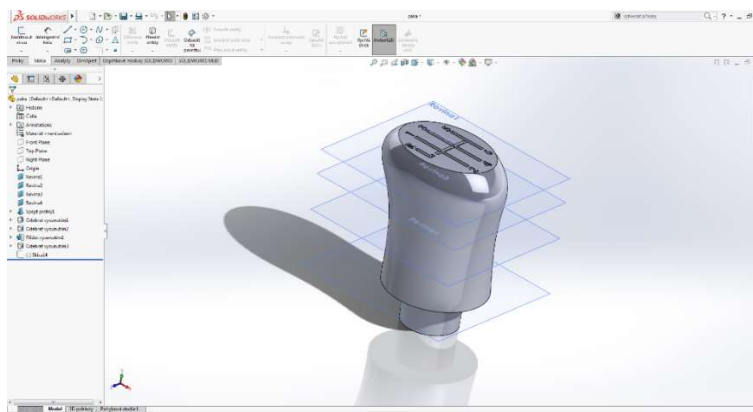


Obr. 21 - Spodní díl namodelovaný v softwaru SolidWorks 2017

Po „nakreslení“ spodní úchytné části přišla na řadu horní část s číselníkem. Protože je hlava řadící páky velice často v ruce řidiče, je důležité, aby se hlava dobře držela. K tomu je zapotřebí navrhnout takový tvar, aby vyhovoval požadavkům na komfort samotného řidiče. Postup byl jednoduchý. Do pěti od sebe různě vzdálených rovin byly načrtnuty jednotlivé

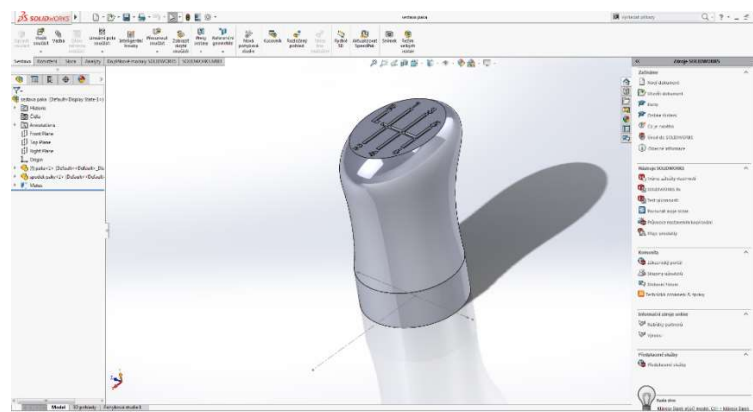
skici elipsovitého a kruhového profilu. Poté pomocí funkce „tažení spojením profilů“ se tyto skici spojily a vytvořily tak horní část hlavy řadicí páky.

Jelikož u každé řadicí páky je na vršku hlavy popis, podle kterého se jednotlivé stupně převodů řadí, ani u tohoto návrhu se nemohl tento popis opomenout. K popsání bylo využito textového pole, kam se vždy napsala jednotlivá čísla, respektive písmeno a vložila se na příslušné místo. Poté opět za pomoci funkce „Odebrat vyříznutím“ s nadefinovanou hloubkou jednoho milimetru se stal popis čitelný (obr. 21).



Obr. 22 - Horní díl namodelovaný v softwaru SolidWorks 2017

Když byly obě části hotové, bylo zapotřebí tyto části sestavit do jedné části. Solidworks má k sestavování částí vlastní okno s různými funkcemi. K tomu, aby se podařilo správně natočit spodní díl vůči hornímu, přidaly se k jednotlivým částem osy, podle kterých se dodržela orientace dílů, tak aby po vytištění mohla být správně nasazena na řadicí páku automobilu. Poté byly podle přidaných vytvořeny mezi díly vazby a tím se hlava řadicí páky sestavila (obr. 22).



Obr. 23 - Sestava 2 dílů v softwaru SolidWorks 2017

Výsledek byl uložen ve formátu STL, který je potřebný k další práci a k samotnému tisku.

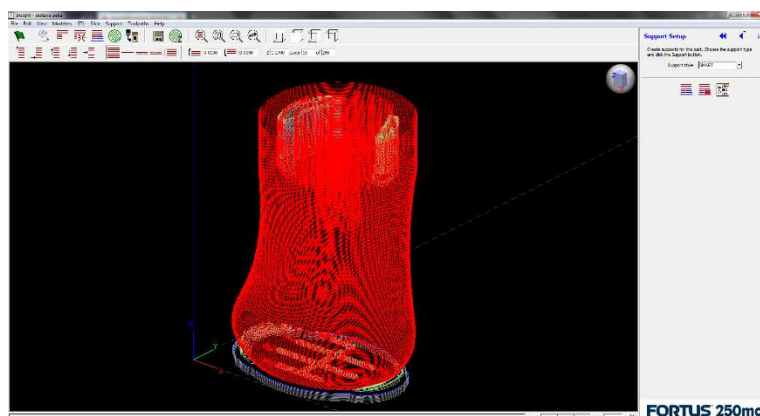
13.2 Použitá tiskárna a software

K dispozici byla tiskárna od firmy Stratasys. Původní tiskárna nese modelové jméno Dimension BST 1200 (obr. 23), ale její firmware byl přehrán na firmware používající novější model tiskárny Stratasys Fortus 250mc. Od původní tiskárny se tedy liší v možném nastavení tisku, hlavní nabídce a funkcí v menu na předním displeji.



Obr. 24 - Tiskárna Stratasys Dimension BST 1200

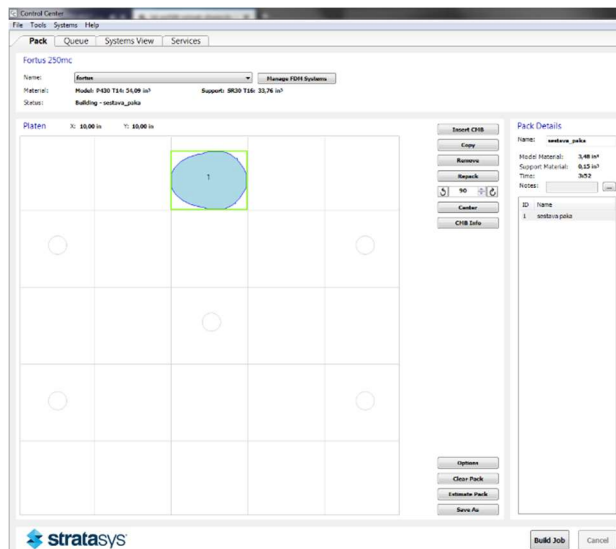
Dále je nutné použít software od firmy Stratasys Insight, která zaručuje správné „nakrájení“ modelu na jednotlivé vrstvy a přidání podpůrného materiálu. Nastaví se příslušná tloušťka vrstvy, způsob nanášení vrstvy a jednotlivé dráhy extrudéru. Jak je na obr. 24 vidět, vždy tiskárna začne prvních cca 5 mm tisknout základní plochu z podpůrného materiálu. To zaručuje snadnější odlomení od podložky a také delší životnost podložky. Kdyby se na tiskovou desku tiskl rovnou stavěcí materiál, bylo by náročné odlomit hotový výtisk bez porušení jak modelu, tak tiskové desky.



Obr. 25 - Práce v softwaru Insight

Posledním krokem před samotným tištěním je nahrání souboru do tiskárny. To zaručuje program Control Center, též od firmy Stratasys. V tomto softwaru se nastaví pozice modelu

na tiskové desce a stisknutím tlačítka „Build Job“ se pošle do tiskárny (obr. 25), která je síťovým kabelem připojena k počítači. Dále už se pracuje na samotné tiskárnou.



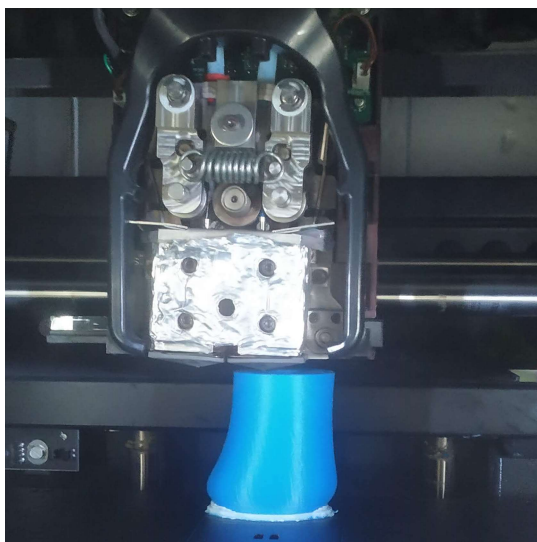
Obr. 26 - Práce v programu Control Center

13.3 Příprava tiskárny

Po zapnutí tiskárny se musí nejprve připravit a nahrát materiál. Stavěcí materiál byl zvolen ABS s průměrem struny 1,75 mm a podpůrný materiál HIPS o průměru 1,75 mm. Na displeji zvolíme „Material“ -> „Load“. Struna z boxu (materiál se odvíjí z přidělaného boxu, protože odvíjení z originální cartridge bylo nevyhovující a materiál se v ní často zasekl) je vložena otvorem do cartridge. Pomocí krokového motoru se struna odvíjí až do chvíle, kdy je struna uvnitř extrudéru. Postupně se do extrudéru navinou oba materiály. Poté je zapotřebí kousek každé struny vytlačit tryskou. V hlavním menu je zvoleno „Maintenance“ -> „Machine“ -> „Head“. Tiskárna začne zahřívat jednotlivé trysky a celé prostředí uvnitř tiskárny na určitou teplotu (v našem případě teplota trysek 310 °C a teplota prostředí 75 °C). Poté se pomocí tlačítka „Forward“ dá do pohybu kolečko extrudéru, které materiál tlačí do trysky. Po těchto krocích je tiskárna připravena k tisku.

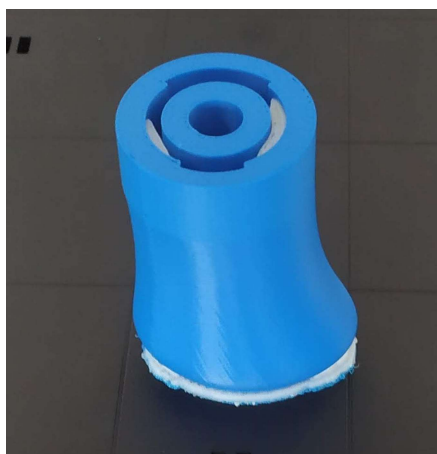
13.4 Průběh tisku

Na tiskárně zvolíme „Start model“. Tiskárna se nahřeje na nastavené teploty (310 °C trysky a 75 °C okolí) a automaticky se zkalibruje. Jelikož je tištěný model poměrně úzký a vysoký, tak byla raději nastavena první vrstva ze stavěcího materiálu. To zaručí, že se výtisk nebude samovolně odlepovat od podložky. Následuje několik vrstev z podpůrného materiálu a poté se začne tisknout nahraný 3D model a materiály se vytlačují po vrstvách a dráhách, které vypočítal program Insight. Samotný tisk, bez jakéhokoliv zastavení nebo problému byl spočítán na dobu 3 hodiny a 52 minut.



Obr. 27 - Extrudér tiskárny během průběhu tisku

Tisk proběhl až do zhotovení celého modelu bez problémů a jakéhokoliv přerušení. Když byl model zcela vytištěný, tisková deska sjela po ose Z směrem dolů a mohla být z tiskárny vyjmuta. Po odlomení modelu od podložky bylo zapotřebí očistit páku od podpůrného materiálu. Vzhledem k tomu, že podpůrný materiál byl uvnitř dutiny a nebylo ho možné jednoduše odlomit od stěn modelu, musel se použít extrakt pomerančového oleje, který zapříčinil částečné rozpuštění podpůrného materiálu a poté ho bylo možno za pomoci pinzety z modelu odstranit.



Obr. 29 - Vytištěný model

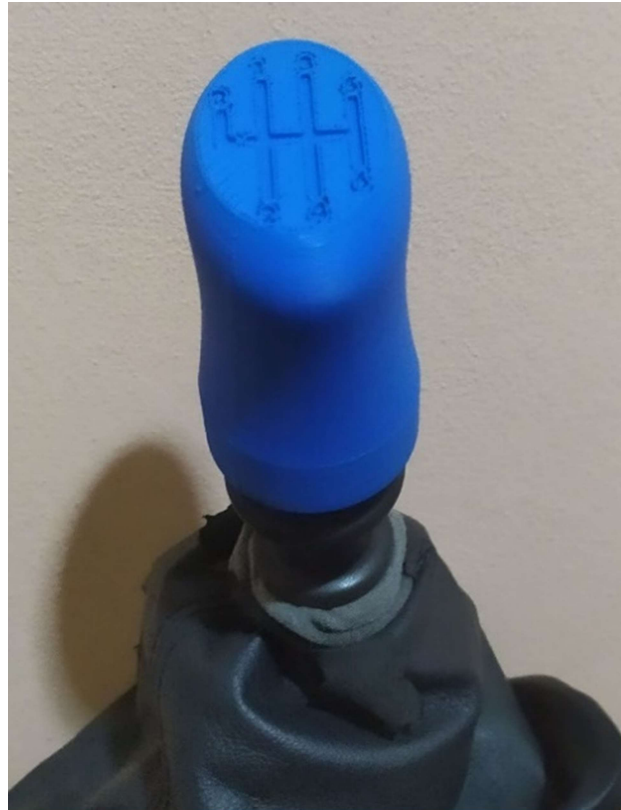


Obr. 28 - Vytištěný model bez podpůrného materiálu

Po odstranění přebytečného materiálu je hlava řadicí páky hotova a připravena k namontování na páku.

13.5 Výsledek

Tisk proběhl bez větších problémů a byl úspěšný na první pokus. Povrch je poměrně hladký, jen šev, který je způsoben začátkem a koncem dráhy extrudéru je potřeba obrousit. Horní plocha popisu páky je hrubší, protože tisk byl prováděn popisem dolů z důvodu ušetření materiálu a snadnějšího postupu tisku. Nasazení hlavy na páku bylo snadné, hlava pasovala a na páce skvěle držela (obr. 30).



Obr. 30 - Vytištěná hlava nasazená na páce

14 Závěr

V této práci je popsána historie používání a výroby plastových součástí v automobilovém průmyslu. Popsány jsou metody zpracování plastů a jejich vývoj. Důraz je kladen především na technologii vstřikování plastů, která je v automobilovém průmyslu nejrozšířenější a také na její problematiku. Součástí je také popsání jednotlivých plastových materiálů, které jsou v automobilovém průmyslu nejpoužívanější.

Dále jsou zde popsány hlavní technologie 3D tisku, které se v dnešní době v automobilovém průmyslu stále více uplatňují, ať už jde o prototypování nebo při výrobě jednotlivých součástí automobilů.

V poslední části této bakalářské práce je předvedena ukázka 3D tisku v praxi, a to konkrétně na výrobě hlavy řadicí páky automobilu. Tisk byl proveden na tiskárně Stratasys Dimension BST 1200 technologií FDM. Model byl nakreslen v programu Solidworks 2017, a dále bylo pracováno s programy od firmy Stratasys. Při tisku hlavy řadicí páky nedošlo k žádnému problému, který by zapříčinil vadu na výtisku, tudíž nebylo zapotřebí tisk hlavy vícekrát opakovat.

Cena tisku u firmy zabývající se 3D tiskem by vyšla na cca 1300 Kč. Cena originální hlavy řadicí páky je přibližně okolo 400 Kč, přičemž u 3D tisku je možnost si model hlavy páky libovolně upravit tak, aby lépe vyhovovala řidiči. Kdyby se brala v potaz pouze cena použitého materiálu s použitím vlastní 3D tiskárny, vyšla by cena tisku na pouhý zlomek této ceny, a to na cenu okolo 50 Kč. Díky takto nízké ceně za použitý materiál a rychlé výrobě je pro všechny firmy, nejen z automobilového průmyslu, velice výhodné 3D tisk využívat.

Pro zajímavost, kdyby se tisk prováděl na tiskárně s technologií SLA, se základním materiálem u firmy zabývající se 3D tiskem, výsledná cena by se pohybovala okolo 7 500 Kč, což je přibližně 6krát vyšší cena než u technologie FDM. Oproti technologii FDM by na výtisku nebyly vidět jednotlivé vrstvy a povrch by byl hladký.

15 Literatura

1. **Zeman, Lubomír.** *Vstřikování plastů, Teorie a praxe.* Praha : Grada Publishing a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. **Vacek, Zdeněk.** *Plasty.* veteran.auto.cz. [Online] [Citace: 23. březen 2020.] <https://veteran.auto.cz/galerie/retronews/384/plasty?foto=0>.
3. **Motor City Garage.** *Henry Fords soybean car.* macsmotorcitygarage.com. [Online] 24. Duben 2013. [Citace: 23. březen 2020.] <https://www.macsmotorcitygarage.com/henry-fords-soybean-car/>.
4. **Císař, Jiří.** *Trabant 601.* cysnews.cz. [Online] 6. květen 2019. [Citace: 23. březen 2020.] www.cysnews.cz/doprava/trabant-601/.
5. **Dluhoš, Jindřich.** *Materiály a technologie, Plasty a vybrané nekovové materiály.* Ostrava : Pedagogická fakulta Ostravské univerzity, 1998. ISBN 8070421312.
6. **Lenfeld, Petr.** *Zpracování plastů, část 2.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 9788073720377.
7. **Zeman, Lubomír.** *Vstřikování plastů.* Praha : BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
8. **Pech, Jaroslav.** *Výroba plastů.* Praha : SNT - Nakladatelství technické literatury, 1977.
9. **Ducháček, Vratislav.** *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
10. **Mifer.** *Vakuové tváření plastů.* mifer.cz. [Online] [Citace: 26. Březen 2020.] <https://www.mifer.cz/cs/co-nabizime/vakuove-tvareni-plastu>.
11. **Cross, Felipe.** *Why are plastics used in automotive components?* Quora. [Online] 8. Říjen 2017. [Citace: 28. Únor 2020.] <https://www.quora.com/Why-are-plastics-used-in-automotive-components>.
12. **Smith, Brett.** *The Plastics Used in Automotives.* AZOM. [Online] 23. Říjen 2018. [Citace: 11. Březen 2020.] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=17014>.
13. **Kloski, Nick a Kloski, Liza Wallach.** *Getting Started with 3D printing.* Gravenstein : Maker Media, Inc, 2016. ISBN 978-80-251-4876-1.
14. **Noorani, Rafiq.** *3D printing; Technology, applications, and selection.* Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2018. ISBN-13: 978-1-4987-8375.
15. **Gibson, Ian, Rosen, David a Stucker, Brent.** *Additive Manufacturing Technologies.* New York : Springer Science+Bussines Media New York, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
16. **Kováčik, Miroslav.** *3D tisk všeobecně.* 3dfactory. [Online] 27. Říjen 2017. [Citace: 11. březen 2020.] <https://3dfactory.cz/2017/10/27/3d-tisk-vseobecne/>.

17. **Stříteský, Ondřej.** *Základy 3D tisku s Josefem Průšou.* Praha : Prusa Research a.s., 2019.
18. **Daw, David.** *Nastal čas pro 3D tisk.* Computerworld. 2011, Sv. XXII, 7.
19. **Zuza, Mikolas.** *Tři stovky 3D tiskáren v jedné místnosti: Nová tisková farma Prusa Research.* josefprusa.cz. [Online] 9. Únor 2018. [Citace: 23. Březen 2020.] <https://josefprusa.cz/nova-tiskova-farma-prusa-research/>.
20. **Biehler, John.** *3D Printing with Autodesk.* Indianapolis : Que Publishing, 2014. ISBN-13: 978-0-7897-5328-1.
21. **Černý, Michal.** *3D tisk v amatérské praxi.* Praktická elektronika. 2018, 9.
22. **Chua, Chee Kai a Leong, Kah Fai.** *3D printing and additive manufacturing.* Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2015. ISBN 978-9814571401.
23. **Hlousek, Petr.** *3D printing: a prospective challenge for manufacturing.* Saarbrücken : OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2015. ISBN: 978-3-639-86523-3.
24. **JEREMY.** *Worlds First 3D Printed Car Urbee.* motorlust.org. [Online] 7. Červen 2013. [Citace: 23. Březen 2020.] <https://motorlust.org/2013/06/07/worlds-first-3d-printed-car-urbee/>.

16 Seznam obrázků

Obr. 1 - Bakelitová řadící páka.....	2
Obr. 2 - "Sojové" auto Hanryho Forda	3
Obr. 3 - Legendární Trabant 601	3
Obr. 4 - Amorfnní makromolekulární struktura	4
Obr. 5 - Semikrystalická makromolekulární struktura	5
Obr. 6 - Makromolekulární struktura reaktoplastu	5
Obr. 7 - Makromolekulární struktura elastomeru	6
Obr. 8 - Princip lisování	6
Obr. 9 - Princip přetlačování	7
Obr. 10 - Klasifikace čtyřválců na typy I, L, F a Z	7
Obr. 11 - Schéma vytlačovacího šnekového stroje.....	8
Obr. 12 - Schéma pístového vstřikovacího stroje se šnekovou předplastikací.....	9
Obr. 13 - Schéma pístového vstřikovacího stroje bez předplastikace	10
Obr. 14 - Tisková farma slavné české značky Průša Research	17
Obr. 15 - Tisková hlava FDM tiskárny	18
Obr. 16 – Extrudér.....	18
Obr. 17 - Proces tisku technologií SLA.....	20
Obr. 18 - 3D model převedený ze Solidworksu na STL	23
Obr. 19 – Ekologicky šetrný automobil URBEE	25
Obr. 20 - Stará hlava řadící páky u automobilu Renault Laguna	26
Obr. 21 - Spodní díl namodelovaný v softwaru SolidWorks 2017	26
Obr. 22 - Horní díl namodelovaný v softwaru SolidWorks 2017	27
Obr. 23 - Sestava 2 dílů v softwaru SolidWorks 2017	27
Obr. 24 - Tiskárna Stratasys Dimension BST 1200	28
Obr. 25 - Práce v softwaru Insight.....	28
Obr. 26 - Práce v programu Control Center	29
Obr. 27 - Extrudér tiskárny během průběhu tisku	30
Obr. 28 - Vytištěný model bez podpůrného materiálu	30
Obr. 29 - Vytištěný model	30
Obr. 30 - Vytištěná hlava nasazená na páce	31