

Návrh a výroba dílu zpětného zrcátka automobilu

Jan Andrýsek

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jan Andrásek
Osobní číslo:	T22002
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh a výroba dílu zpětného zrcátka automobilu

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracovat literární studii na dané téma
- 2) Navrhnout díl zrcátka
- 3) Vyrobit díl zrcátka
- 4) Provést povrchovou úpravu dílu

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

Seznam doporučené literatury:

GIBSON, I. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. 2015, ISBN 9781493921126

Tulka J.: Povrchové úpravy materiálů, 2009, ISBN 80-214-3062-1

P. Le Masson, Design theory: methods and organization for innovation. 2017. ISBN: 9783319502779

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

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

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 4. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje popisu základních metod Rapid Prototypingu. V teoretické části je zmíněna historie metod, popsány materiály používané u jednotlivých technologií. Rovněž je popisována problematika postprocessingu. V praktické části je zhotoven návrh dílu zrcátka, následně je realizována jeho výroba pomocí 3D tisku a v neposlední řadě je provedena konečná povrchová úprava výrobku. Na závěr následuje ekonomické zhodnocení výroby dílu.

Klíčová slova: Rapid Prototyping, 3D tisk, Kryt zrcátka automobilu

ABSTRACT

This bachelor's thesis is devoted to the description of the basic methods of Rapid Prototyping, where the theoretical part mentions the history of the methods, describes the materials used in individual technologies. The issue of postprocessing is also mentioned here. In the practical part, a mirror design is made, then its production using 3D printing is initiated and finally the final surface treatment of the product is completed. Finally, an economic evaluation of the production of the part follows.

Keywords: Rapid Prototyping, 3D printing, Car mirror cover

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Vojtěchovi Šenkeříkovi, Ph.D. za vstřícnost, cenné konzultace a odborné vedení, které mi poskytl při zpracování mé bakalářské práce.

Rovněž bych rád chtěl poděkovat firmě Evektor, spol. s r.o., za umožnění realizace praktické části této bakalářské práce.

Také bych rád vyjádřil poděkování své rodině za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 RAPID PROTOTYPING.....	13
1.1 VYUŽITÍ RAPID PROTOTYPING	13
1.2 HISTORIE A VÝVOJ RAPID PROTOTYPINGU.....	14
2 METODY RAPID PROTOTYPINGU.....	16
2.1 PEVNOLÁTKOVÉ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPINGU.....	16
2.1.1 FFF – Fused Filament Fabrication	16
2.1.2 LOM – Laminated Object Manufacturing	20
2.2 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPINGU NA PRINCIPU TEKUTÝCH MATERIÁLŮ	22
2.2.1 SLA – Stereolitography (Stereolitografie).....	23
2.2.2 SGC – Solid Ground Curing	24
2.3 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPINGU NA PRINCIPU PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLŮ	26
2.3.1 SLS – Selective Laser Sintering.....	26
2.3.2 LENS – Laser Engineered Net Shaping	28
3 MATERIÁLY RP.....	30
3.1 ASA – AKRYLONITRIL – STYREN – AKRYLÁT	30
3.2 PET – POLYETHYLEN – TEREFTALÁT	30
3.3 PA 66 – POLYAMID 66.....	31
3.4 PP – POLYPROPYLEN	31
3.5 PLA – KYSELINA POLYMLÉČNÁ.....	31
3.6 PVA – POLYVINYLALKOHOL	32
3.7 PC – POLYKARBONÁT	32
3.8 ALUMIDE	32
3.9 PRYSKYŘICE	33
3.10 KOVOVÉ MATERIÁLY.....	33
4 VYTVOŘENÍ SOUČÁSTI POMOCÍ RAPID PROTOTYPINGU	36
4.1 VYTVOŘENÍ CAD MODELU.....	36
4.2 VHODNÁ VOLBA MATERIÁLU A METODY RP.....	39
4.3 VÝROBA SOUČÁSTI.....	39
4.4 POSTPROCESSING A FINÁLNÍ ÚPRAVY	41
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	43
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	44
6 DEMONTÁŽ KRYTU ZPĚTNÉHO ZRCÁTKA AUTOMOBILU.....	45

7	SKENOVÁNÍ SOUČÁSTI	47
7.1	PŘÍPRAVA SKENOVANÉ SOUČÁSTI.....	48
7.2	SKENOVÁNÍ	48
7.3	PROGRAM POLYWORKS	50
8	VYTVOŘENÍ 3D CAD MODELU.....	51
8.1	PROGRAM CATIA V5.....	51
8.2	KVALITA SKENU	51
8.3	VYTVOŘENÍ MODELU	52
9	TISK DÍLU.....	55
9.1	PŘÍPRAVA TISKU	55
9.2	TISK	56
9.3	POVRCHOVÉ ÚPRAVY	58
10	SESTAVENÍ CELKU ZRCÁTKA.....	61
11	ZHODNOCENÍ VÝROBY	62
	ZÁVĚR.....	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	68
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Rapid Prototyping, známý také jako rychlá výroba prototypů, v dnešní době představuje velký pokrok ve výrobním průmyslu. Jedná se o soubor aditivních technologií výroby, které umožňují rychlou a přesnou tvorbu prototypů nebo fyzických modelů, případně funkčních sestav. Díky výborným mechanickým vlastnostem a kvalitě povrchu vyrobené součásti lze produkty i přímo prezentovat bez dodatečných povrchových a tepelných úprav výrobku. Tyto technologie výrazně urychlují a zjednodušují proces vývoje a výroby nových produktů, rovněž snižují náklady na výrobu oproti tradičním výrobním postupům např. konvenčními metodami výroby.

Rapid Prototyping je skupina výrobních technologií, které se neobejdou bez počítačové podpory výroby. K tomu, aby bylo možné tyto výrobní technologie používat, je nutné vytvoření 3D virtuálního modelu, který se obvykle vytváří v CAD programech jako např. Solid Edge nebo Catia.

V dnešní době, kdy je kladen stále větší důraz na rychlost výroby jednotlivých výrobků a zkracování doby představení výrobku na trh, se Rapid Prototyping stává velmi užitečným nástrojem zejména ve výrobním průmyslu. Rovněž mění způsob, jakým přistupujeme k návrhu a výrobě produktů. Uplatnění je velmi široké od automobilového a leteckého průmyslu až po medicínu nebo elektrotechniku. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 RAPID PROTOTYPING

Jedná se o soubor výrobních technologií, které umožňují rychlou a přesnou výrobu prototypů, výrobků či funkčních sestav. V dnešní době se jedná o moderní výrobní technologie, které umožňují vytvářet fyzické modely nebo funkční součásti přímo z virtuálních 3D modelů. Tyto modely nejčastěji vznikají v CAD programech, které jsou určené pro konstruování a navrhování. Je také nutné podotknout, že 3D virtuální modely se mohou vytvářet rovněž v grafických programech, případně se mohou získávat 3D skenováním. Na rozdíl od třískového obrábění se zde materiál neubírá ve formě třísek, nýbrž se přidává po vrstvách, a proto se dané technologie označují jako aditivní. Základním stavebním materiálem může být např. polymer, kov nebo pryskyřice a keramika.

Výhody Rapid Prototyping:

- rychlost: umožňuje vytvořit prototypy velmi rychle oproti tradičním výrobním metodám,
- snížení nákladů na výrobu: výrazně snižuje náklady na vývoj a výrobu nových produktů, zejména kvůli tomu, že umožňuje odhalit problémy na začátku vývoje a výroby nových produktů,
- vizualizace připravovaného produktu: zákazník si tak díky tomu dokáže lépe představit finální produkt,
- testování: pomáhá odhalit nedostatky produktu před finální výrobou. [1]

1.1 Využití Rapid Prototyping

Umožňuje firmám a vývojářům rychle testovat a vylepšovat své nápady, snižovat rizika spojená s vývojem nových produktů a urychlit celý proces od konceptu k finálnímu produktu, což vede k tomu, že nachází široké uplatnění nejen ve výrobním průmyslu.

Rapid Prototyping se nejčastěji používá v:

- produktovém designu: pro lepší představení nového designu u daného výrobku,
- průmyslovém a výrobním inženýrství: návrh nových součástek,
- architektuře a stavebnictví: návrh 3D modelů budov,
- zdravotnictví: výroba implantátů,
- gastronomie: výroba předmětů z jedlých surovin. [1]

1.2 Historie a vývoj Rapid Prototypingu

Historie Rapid Prototypingu je poměrně mladá, avšak velmi rychle se rozvíjí. První zmínky se objevily na konci osmdesátých let minulého století. Zejména se jednalo o technologii 3D tisku; tato technologie měla sloužit jako inovativní nový způsob výroby prototypů. Je také důležité zmínit, že Rapid Prototyping se vyvinul z prvních numericky řízených NC strojů, které byly vynalezeny v roce 1951, z nichž se později vyvinuly CNC stroje. K vývoji Rapid Prototypingu také přispěl vývoj počítačem podporovaného designu CAD a později kolem roku 1970 pokroky v CAD/CAM technologiích umožnily komplexnější 3D modelování. V roce 1981 Hideo Kodama v Japonsku publikoval první funkční systém Rapid Prototypingu využívající fotopolymery. Jeho práce položila základy pro budoucí vývoj metody stereolitografie. V roce 1984 Charles Hull vynalezl stereografii (SLA), což je považováno za opravdový začátek moderního Rapid Prototypingu. Hull vyvinul metodu, která využívala UV laser k vytvrzování tenkých vrstev fotopolymeru. Pomocí toho se postupně vytvořil požadovaný fyzický 3D objekt. [2]



Obr. 1: První 3D tiskárna, kterou vyrobil Charles Hull [3]

V roce 1986 Charles Hull založil společnost 3D Systems, která se stala první firmou zaměřenou zejména na 3D tisk. V roce 1987 tato společnost představila na trh první 3D komerční tiskárnu SLA-1. V roce 1991 společnost Stratasys, kterou založil Scott Crumpem, patentovala technologii FDM. Tato metoda, využívající tavení a nanášení polymerních vláken, se následně stala jednou z nejpoužívanějších technologií 3D tisku. V téže roce společnost Cubital představila technologii Solid Ground Curing, nicméně tato technologie se dlouhodobě neuchytila. V roce 1992 firma DTM Corporation představila na trh Selective Laser Sintering stroj, známý také jako SLS. Jedná se o stroj umožňující tisk z práškových materiálů, včetně kovu a keramiky. V roce 1995 firma Z Corporation uvedla na trh první

barevné 3D tiskárny. Kolem roku 2000 došlo k výraznému zlevnění technologií a tudíž rozšíření do více odvětví. V roce 2005 společnost RepRap založená Adrianem Bowyerem vyvinula 3D tiskárnu, která výrazně přispěla k popularizaci technologie 3D tisku mezi širokou veřejností. RepRap je projekt zaměřený na vývoj samonásobících se 3D tiskáren, tedy tiskáren, které jsou schopny vytisknout většinu svých vlastních částí. Projekt je open – source, což znamená, že si kdokoli může postavit vlastní tiskárnu nebo ji upravit podle potřeby. V roce 2009 byla představena a nabídnuta k prodeji první komerčně dostupná 3D tiskárna založená na principu RepRap, která vedla k výraznému snížení cen 3D tiskáren a tudíž k dalšímu rozšíření mezi širokou veřejností a vyznavačů v rámci hobby. Kolem roku 2010 došlo ještě k masivnějšímu rozšíření technologie a také došlo k řadám inovací v oblasti 3D tisku. Například se Rapid Prototyping stal běžnou součástí mnoha průmyslových odvětví, probíhal také vývoj nových materiálů pro 3D tisk jako kov, keramika nebo dokonce i biomateriály. Došlo také k vytvoření prvních online platform pro 3D tisk, např. Shapeways nebo se rovněž prováděly experimenty s 3D tiskem lidské tkáně. Na závěr této kapitoly je vhodné zmínit i něco ze současnosti a případně i budoucího vývoje této technologie. V současné době se jedná o velmi populární a rychle se vyvíjející výrobní technologie. V současnosti je například snaha propojit umělou inteligenci a Rapid Prototyping, neustále se také vyvíjejí nové materiály pro 3D tisk, zejména kompozity a biomateriály. V dnešní době se Rapid Prototyping rozšiřuje do nových oblastí, jako je biotisk orgánů, 3D tisk elektroniky nebo rozšíření 3D tisku do leteckého a kosmického průmyslu. V budoucnu bude snaha zvětšovat rychlost a přesnost tisku, stejně jako zvětšovat velikost tisknutelných objektů. Dá se také předpokládat, že v budoucnu bude snaha rozšiřovat tuto technologii v sériové výrobě a nejen pouze pro prototypování. [2], [3]

2 METODY RAPID PROTOTYPINGU

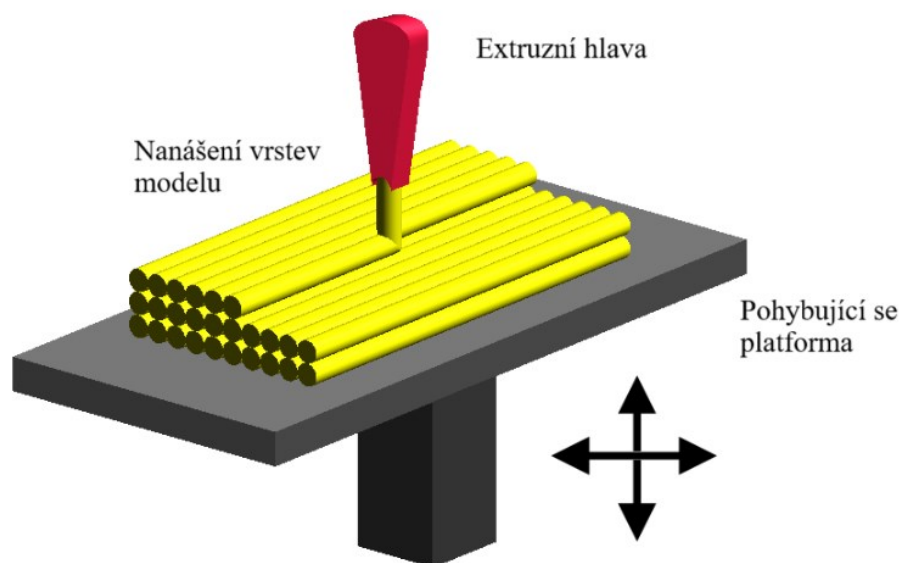
V dnešní době existuje velké množství metod Rapid Prototypingu, zejména je lze rozdělit podle fyzikálního stavu materiálu. Materiály mohou být ve formě prášku, kapaliny nebo mohou být tuhé. [4]

2.1 Pevnolátkové technologie Rapid Prototypingu

Materiály do tiskárny nejčastěji vstupují ve formě drátu navinutého na cívkách, případně materiál může být ve formě pelet nebo navinutý na rolích. Do této technologie spadají následující metody: [5]

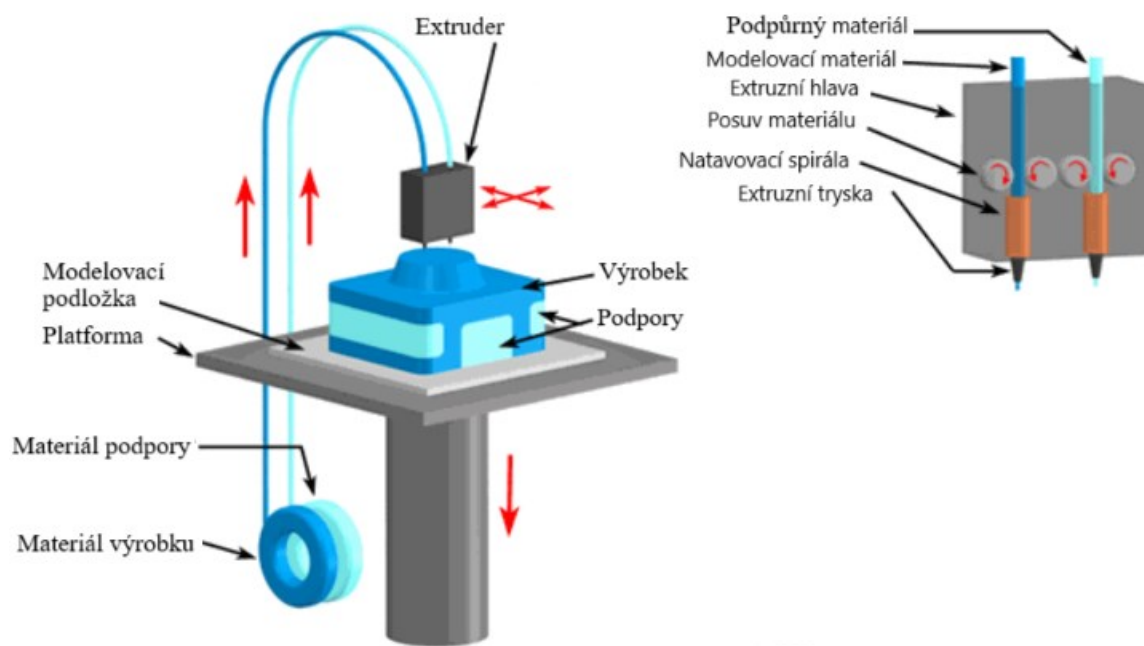
2.1.1 FFF – Fused Filament Fabrication

Jedná se o moderní a jednu z nejrozšířenějších metod 3D tisku. V průmyslové praxi se nejčastěji používá metoda FDM, která je principiálně stejná jako FFF. Rozdíl je hlavně v tom, že FDM je chráněn ochrannou známkou společnosti Stratasys. Používá se tedy hlavně u jejích komerčních 3D tiskáren, zatímco metoda FFF se používá u nekomerčních a hobby 3D tiskáren. FFF technologie funguje na principu nanášení roztaveného termoplastického materiálu vrstvu po vrstvě. Tloušťka vrstvy se obvykle pohybuje v rozmezí 0,1 mm až 0,4 mm. Materiál, který je nejčastěji ve formě vlákna neboli filamentu, je podáván do vyhřívané trysky, kde se taví. Roztavený materiál je pak extrudován a nanášen v tenkých vrstvách podle předem naplánované trajektorie, která odpovídá 3D modelu. Přesnost tisku metodou FFF je obvykle v řádu $\pm 0,1$ mm. Rychlost tisku závisí zejména na složitosti modelu a požadované kvalitě vytištěné součásti, většinou může dosahovat několik desítek cm^3 za hodinu. Metoda vyžaduje podpory, které se po dokončení tisku odstraní. Na druhou stranu nevyžaduje žádné specifické a náročné podmínky, je tichá a materiály, se kterými pracuje, jsou zdravotně nezávadné. [5], [6], [7]



Obr. 2: Princip nanášení vrstev u FFF tisku [8]

U FFF tisku se používají dva druhy materiálů a podmínkou je, aby oba tyto materiály byly v jednotlivých zásobnících, potom může být spuštěn tisk. První je materiál modelovací a druhý materiál je podpůrný, který slouží jako podpora, jež se následně odstraní. Nejčastěji používanými modelovacími materiály jsou termoplasty jako ABS (Akrylonitrilbutadienstyren), PLA (Kyselina polymléčná), PET-G (Polyethylentereftalát glykol) a nylon. Tyto materiály se vyznačují různými mechanickými a tepelnými vlastnostmi, což umožňuje širokou škálu aplikací. Materiály jsou obvykle dodávány ve formě filamentu navinutého na cívkách, méně často ve formě pelet nebo materiálů navinutých na rolích. [5], [9], [8]



Obr. 3: Princip FFF tisku [10]

Základní součásti 3D FFF tiskárny:

- extruder – zařízení pro podávání a tavení materiálu,
- tisková hlava s tryskou – pro přesné nanášení roztaveného materiálu,
- vyhřívaná tisková podložka – pro lepší adhezi první vrstvy a prevenci deformací,
- systém pohybu – zajišťuje pohyb v osách X, Y a Z.

Výhody FFF:

- cenově dostupná metoda,
- vhodná pro koncepční modely a funkční prototypy,
- široká škála dostupných materiálů,
- minimální odpad, díky tomu, že tryska dodává jenom potřebné množství materiálu, tudíž v podstatě neexistuje žádný odpadový materiál,
- zdravotně nezávadný.

Nevýhody FFF:

- nižší přesnost a kvalita povrchu ve srovnání s některými jinými metodami,
- pomalý proces tisku z důvodu tisku materiálu po vrstvách. [5], [7], [10]

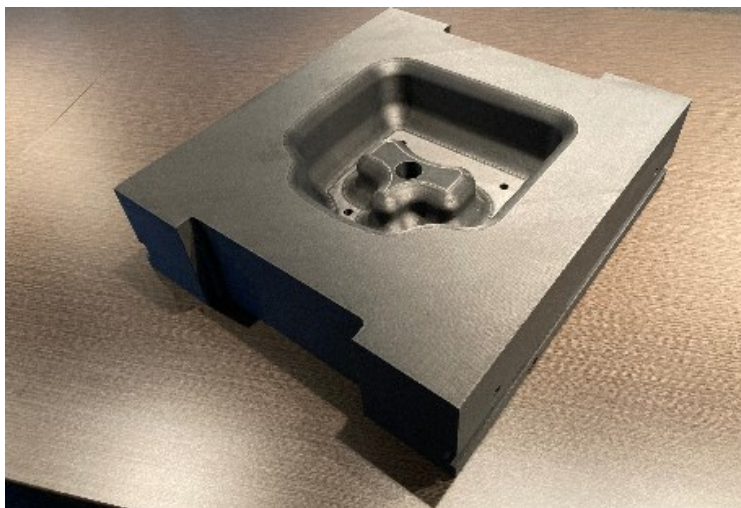
Využití technologie FFF (FDM):

Nejčastěji se technologie FFF využívá v oblasti testování funkčnosti a designu nových produktů, kde umožňuje rychlou a ekonomickou výrobu prototypů a funkčních dílů. FFF tedy nachází uplatnění v různých odvětvích, zejména v oblasti:

- rychlého prototypování v průmyslovém designu a strojírenství,
- výroby funkčních dílů pro koncové použití,
- automobilového a leteckého průmyslu pro výrobu lehkých a komplexních součástí,
- zdravotnictví pro výrobu individualizovaných pomůcek a protéz,
- vzdělávání a výzkumu. [6]

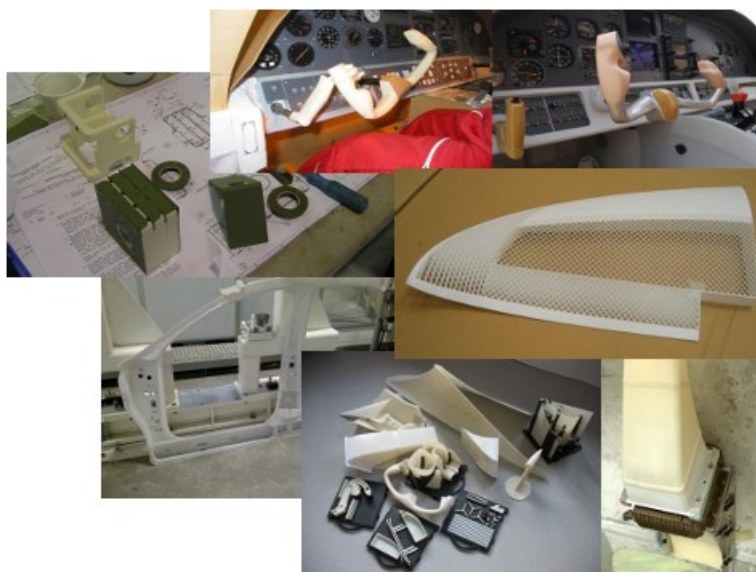
Konkrétní využití FDM technologie

Společnost 99P Labs, která se zabývá zkušebními inovacemi v oblasti mobility a energie, použila 3D tisk k vytvoření univerzálního nástroje pro tváření nových plechových dílů. K procesu tváření plechů pro automobilový a letecký průmysl se obvykle používají ocelové formy a zápustky vyrobené z nástrojové oceli, nicméně tento způsob tváření je efektivní pouze pro sériovou výrobu. Z důvodu velkých nákladů na výrobu forem a zápustek je tento způsob nevhodný pro prototypovou výrobu. Řešením může být kompozitní materiál pro 3D tisk z uhlíkových vláken. Nástroje pro tváření plechů vyrobené 3D tiskem představují cenově zajímavou alternativu ke klasickým obráběným kovovým nástrojům. Nástroj je vytištěný z Nylonu 12CF; jedná se o kompozitní polymer naplněný z 35 % hmotnosti nasekaným uhlíkovým vláknem. Společnost 99P Labs uvádí, že použití 3D tisku k vyrobení tvářecího nástroje vedlo ke snížení nákladů na výrobu o 65 % ve srovnání s tradiční možností obráběného kovového nástroje. [11]



Obr. 4: 3D tištěný tvářecí nástroj [11]

Na následujícím obrázku jsou znázorněny součásti a sestavy vytištěné 3D FDM tiskem a vyrobené firmou Evektor, spol. s.r.o. Jedná se o společnost, která se zabývá leteckým, automobilovým a spotřebním průmyslem. [12]



Obr. 5: Ukázka vytištěných výrobků firmy Evektor [12]

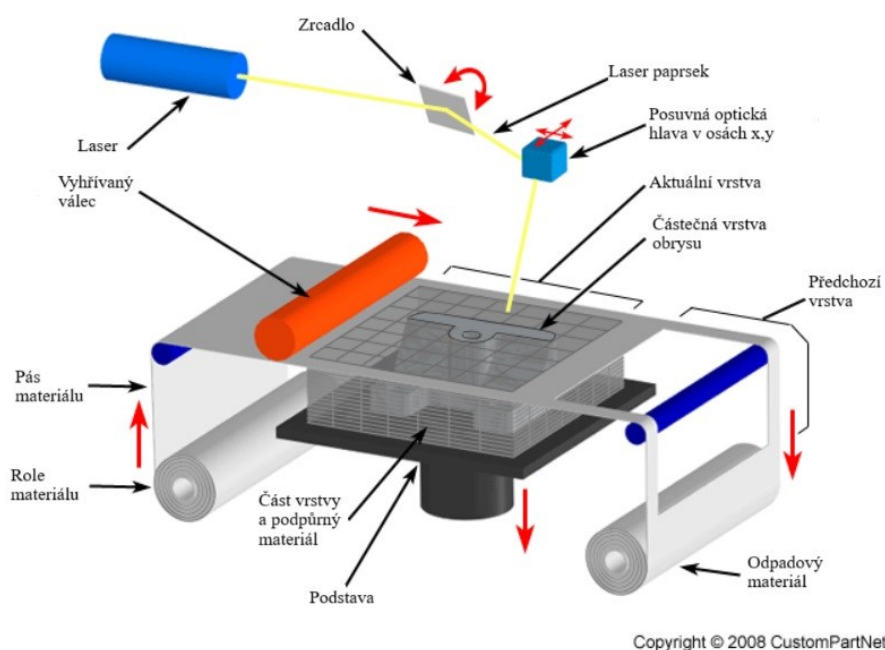
2.1.2 LOM – Laminated Object Manufacturing

Jedná se o aditivní výrobní technologii, která byla vyvinuta v 90. letech 20. století společností Helisys Inc. Tato metoda byla jednou z prvních komerčně dostupných technologií rychlého prototypování. [13]

Proces lze rozdělit do několika kroků. Jako první probíhá příprava vrstvy, tenký list materiálu se umístí na pracovní plochu. Tloušťka jedné vrstvy obvykle bývá mezi 0,08 až

0,25 mm, závisí to ovšem na použitém materiálu. Následně probíhá laminace, vrstva je přitlačena vyhřívaným válcem, který aktivuje adhezivní vrstvu. Po této operaci následuje řezání kontury, laser nebo nůž vyřeže obrys aktuální vrstvy podle CAD modelu. Odstranění podpor a přebytečného materiálu na hotovém modelu probíhá mechanicky a musí se provést velmi opatrně. Po dokončení řezání kontury se celý proces opakuje, platforma se sníží o tloušťku jedné vrstvy a všechny operace začnou probíhat znovu. Po dokončení modelu musí být odstraněno laminační lepidlo. [9], [5], [13]

V současnosti lze 3D modely tisknout LOM technologií, která umožňuje tisk pouze z obyčejného plátu papíru a lepidla, kterým se spojí dané vrstvy. Z toho lze předpokládat, že cena tisku by se mohla ještě snížit, nicméně pořizovací cena LOM tiskárny je poměrně vysoká např. oproti FDM tiskárně. Většinou výrobky vytisknuté LOM technologií slouží pouze jako vizualizace, a nikoli jako funkční, případně náhradní díly. [14]



Obr. 6: Princip metody LOM [13]

Co se týče materiálů, technologie LOM obvykle využívá materiály ve formě tenkých vrstev, nejčastěji fólie. Ty se nejčastěji skladují ve formě rolí, zejména kvůli snadné manipulaci. Fólie bývají tvořeny:

- papírem: nejčastěji používaný materiál, cenově dostupný,
- polymery: jejich použití např. místo papíru snižuje šetrnost technologie k životnímu prostředí,

- kompozity: nejčastěji na bázi polymerů vyztužených uhlíkovými vlákny nebo keramikou,
- kovy: pro specializované aplikace, méně časté, cenově méně dostupné. [14]

Výhody LOM:

- nízké náklady na materiál, zejména při použití papíru,
- možnost vytvářet velké objekty,
- minimální vnitřní pnutí ve výrobku,
- výsledné součásti mají podobné vlastnosti, jako by byly vyrobené ze dřeva.

Nevýhody LOM:

- omezené množství použitelných materiálů ve srovnání s jinými metodami,
- při tisku vzniká hodně odpadu,
- k dosažení požadované drsnosti povrchu je potřeba součást ručně povrchově dokončit. [9], [14]

Využití technologie LOM:

tato technologie se hlavně používá pro výrobu geometrických a funkčních prototypů. Nejčastěji se používá pro vizualizaci budoucího výrobku. Vytisknutá součást se povrchově upravuje a většinou se používá pro prezentaci nových, případně vylepšených výrobků. Často se také používá při vývoji nových nástrojů. Papírový LOM 3D tisk je také vhodný pro tvorbu architektonických modelů. [13], [14]

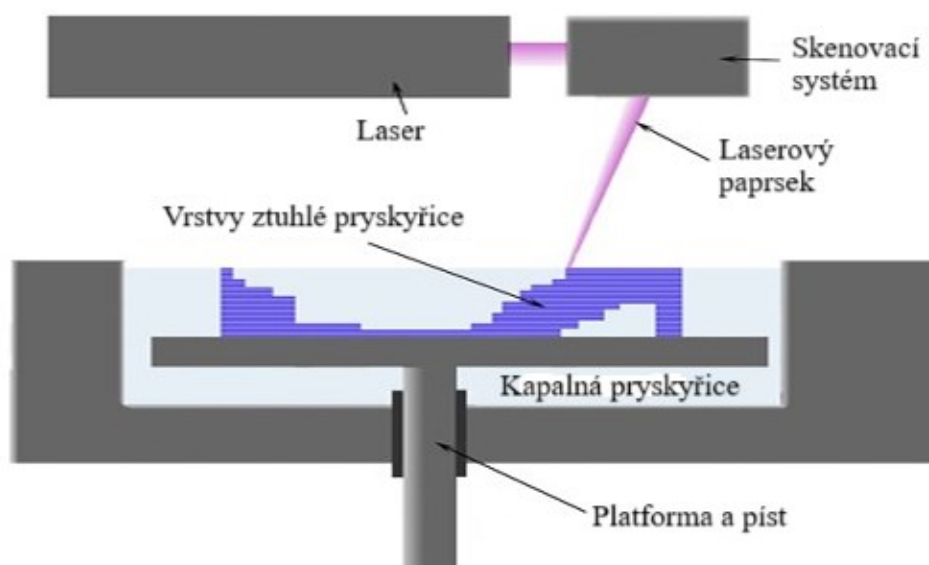
2.2 Technologie Rapid Prototypingu na principu tekutých materiálů

Jsou to materiály, které jsou na začátku procesu v tekuté fázi a v průběhu procesu se vytvrzují a vzniká tak tuhé těleso. V praxi to funguje tak, že výroba součástí těmito metodami Rapid Prototypingu probíhá obvykle v nádrži s foto-tvrditelnou kapalnou pryskyřicí, která se vytvrdí působením laserového paprsku nejčastěji v UV spektru. Součást se vyrábí na podkladové desce, jež je umístěna na vertikálním vedení, jež se po vytvrzení každé vrstvy posune směrem dolů o jeden krok. Tímto způsobem se vyrábí celá součást, vrstva po vrstvě. Jakmile je součást hotová, zbývající pryskyřice se vypustí, součást se vyjme a případně pokračuje k dalším operacím jako např. povrchové úpravě atd. Do této technologie spadají následující metody: [5], [6], [15]

2.2.1 SLA – Stereolithography (Stereolitografie)

Stereolitografie je jedna z nejstarších a nejpresnějších metod 3D tisku. Vyvinul ji Charles Hull v roce 1986, následně pak založil 3D Systems. SLA představovala revoluci v oblasti rychlého prototypování a položila základy pro moderní aditivní výrobu. [15]

SLA využívá proces fotopolymerizace k vytvoření trojrozměrných objektů. Proces lze rozdělit do několika kroků. Jako první probíhá příprava, CAD model je rozdělen na tenké vrstvy. Po přípravě následuje expozice, UV laser selektivně vytvrzuje tekutý fotopolymer v nádrži. Následně probíhá recoating, platforma se ponoří hlouběji do pryskyřice pro další vrstvu. Poté se provede opakování celého procesu, dokud není objekt dokončen. Po úplném dokončení procesu probíhá postprocessing, který zahrnuje čištění alkoholem nebo etherem, aby se odstranila přebytečná tekutá pryskyřice z povrchu součástí. Následně ještě probíhá dodatečné vytvrzování a případně dokončovací práce. [15]



Obr. 7: Princip metody SLA [16]

Co se týká materiálů, SLA primárně využívá fotopolymerní pryskyřice. Tyto materiály jsou dostupné v široké škále variant:

- akrylát: nejstarší typ materiálu, má velké smrštění a horší pevnost,
- epoxid: má malé smrštění a vyšší přesnost,
- plněné pryskyřice: plní se zejména organickými materiály. [5]

Výhody technologie SLA:

- vysoká přesnost,
- dobrá povrchová drsnost,
- velký stavební objem,
- široká škála dostupných materiálů s různými vlastnostmi. [5]

Nevýhody technologie SLA:

- vyšší náklady na zařízení a materiály ve srovnání s některými jinými metodami,
- nutnost postprocessingu (čištění a dodatečné vytvrzování),
- křehké díly,
- uzavřené objemy. [5]

Tato technologie se používá pro všeobecné prototypování. Zejména se však používá pro vytvoření modelů, které obsahují malé otvory a velmi přesné detaily. Příklady konkrétního uplatnění v praxi:

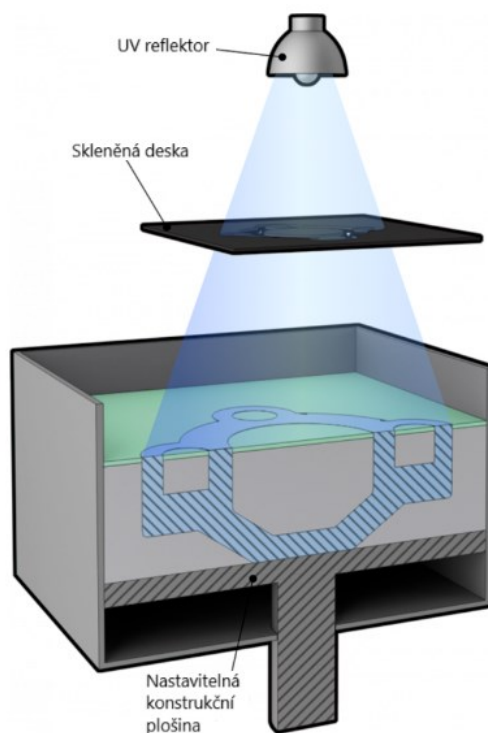
- automobilový průmysl: prototypování interiérových a exteriérových dílů,
- letectví a kosmonautika: výroba komplexních součástí a modelů pro testování,
- zdravotnictví: výroba chirurgických pomůcek, dentálních modelů a protetiky,
- šperkařství: tvorba přesných modelů pro odlévání,
- průmyslový design: funkční prototypy a prezentační modely. [6], [15]

2.2.2 SGC – Solid Ground Curing

Tato technologie je méně známá. Vyvinula ji izraelská společnost Cubital Ltd. v 80. letech 20. století. Tato společnost je rovněž známá pod názvem Solider process. V roce 1991 společnost vydala na trh první stroje pro SGC technologii. [17], [18]

Metoda je velmi podobná metodě SLA, jenom s tím rozdílem, že SGC pracuje na principu vytvrzování celých vrstev fotopolymerní pryskyřice najednou. Proces se opět dělí do několika kroků. Jako první se provede vytvoření masky, negativní obraz vrstvy je vytvořen na skleněné desce pomocí elektrostatického procesu. Jakmile se vytvoří maska, následuje expozice UV zářením. Celá vrstva je vystavena UV záření přes masku a díky tomu dojde k vytvrzení požadovaných oblastí. Následně probíhá odstranění nevytvrzeného materiálu.

Nevytvrzená pryskyřice je odsáta a nahrazena voskem. Jako poslední se povrch vyrovná frézováním. Pak se celý proces opakuje pro každou vrstvu, dokud není objekt dokončen. [17], [19][20]



Obr. 8: Princip metody SGC [19]

Podobně jako stereolitografie i technologie SGC nejčastěji využívá fotocitlivou pryskyřici. Využívá také podpůrný vosk pro vyplnění nevytvrzených oblastí. [17]

Výhody technologie SGC:

- není potřeba nosná konstrukce, protože vosk dokonale podpírá model ve všech směrech,
- dobrá rozměrová přesnost,
- velký pracovní prostor,
- poměrně rychlá technologie. [20]

Nevýhody technologie SGC:

- hůře dostupné materiály v porovnání s ostatními metodami,
- velké množství odpadu kvůli nevyužitému vosku a pryskyřici,

- drahé výrobní zařízení. [20]

Přestože technologie SGC není tak používaná jako ostatní metody 3D tisku, našla své uplatnění v ověřování designu, funkci a kompletaci vyrobených součástí. Hojně se tedy používá při představování nových produktů a případně průzkumu trhu. Konkrétní použití je např. pro lití ztraceného vosku. Své uplatnění technologie našla také ve výrobě nástrojů, zejména pro malosériovou výrobu. [20]

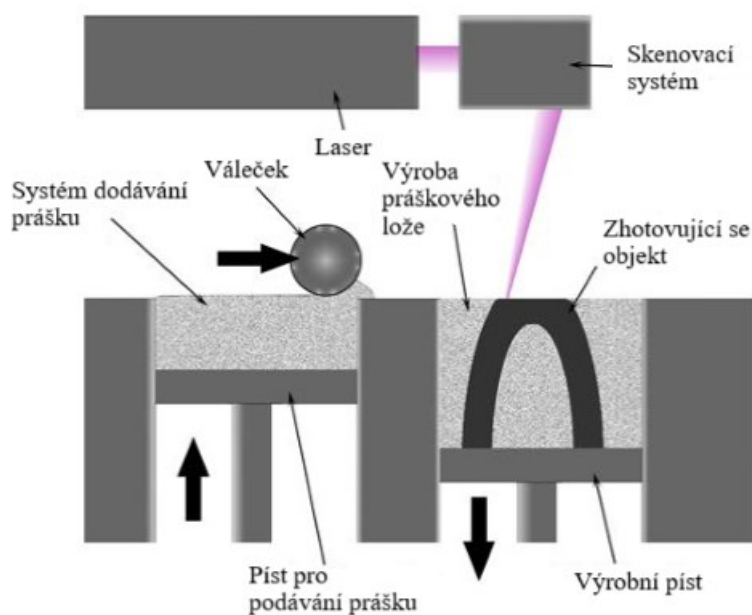
2.3 Technologie Rapid Prototypingu na principu práškových materiálů

Co se týče prášku, v podstatě se také jedná o materiál v tuhém stavu, ale aby se jednotlivé technologie Rapid Prototypingu rozlišily, vytvořila se nová kategorie na principu zrnitého materiálu. Patří sem následující technologie:

2.3.1 SLS – Selective Laser Sintering

Jedná se o technologii Rapid prototypingu, která patří do kategorie práškového spékání. V roce 1989 si ji nechal patentovat Carl Deckard na Texaské univerzitě v Austinu. Od té doby se stala jednou z nejpoužívanějších technologií 3D tisku v průmyslovém odvětví. [21]

SLS využívá výkonný CO₂ laser k selektivnímu spékání práškového materiálu do požadovaného tvaru. Celý proces lze rozdělit do několika kroků. Jako první probíhá příprava stavební komory. Stavební komora se přehřívá na teplotu blízkou bodu tání tisknutelného materiálu. Díky tomu, že je stavební komora přehřívána, se minimalizuje vznik tepelné deformace. Následně probíhá nanesení vrstvy prášku. Tenká vrstva se rovnoměrně rozprostře na stavební platformu pomocí válečkového nebo stěrkového mechanismu. Přesnost nanesení vrstvy prášku je velmi důležitá pro výslednou kvalitu tisku. Po nanesení vrstvy prášku následuje skenování laserem. Výkonný laser skenuje průřez objektu v dané vrstvě. Laser také dodává potřebnou energii k zahřátí prášku na teplotu, kdy dojde k jeho spékání. Jednotlivé částice prášku se spojí a vytvářejí pevnou strukturu. Po dokončení skenování se stavební platforma sníží o tloušťku jedné vrstvy. Poté se celý proces zopakuje, dokud není zhotoven finální výrobek. Po dokončení tisku se celá stavební komora začne pozvolna ochlazovat, aby se zabránilo vnitřnímu pnutí v tištěné součásti. Nespečený prášek může sloužit jako podpora pro převisy a dutiny. Vytisknutá součást je poté vyjmuta ze stavební komory a nespečený prášek se odstraní. Na závěr celého procesu se provádějí dokončovací operace jako např. tryskání, leštění, případně lakování.[5], [21], [22]



Obr. 9: Princip metody SLS [22]

Technologie SLS je schopná zpracovat širokou škálu materiálů jako např.:

- polymery (např. nylon, polyamid),
- kovy a jejich slitiny,
- keramiku,
- kompozitní materiály. [21]

Výhody technologie SLS:

- velké množství použitelných materiálů,
- díly lze následně snadno obrábět např. oproti SLA,
- možnost výroby funkčních prototypů i finálních výrobků. [21]

Nevýhody technologie SLS:

- proces je energeticky náročný,
- poměrně malý pracovní objem. [5]

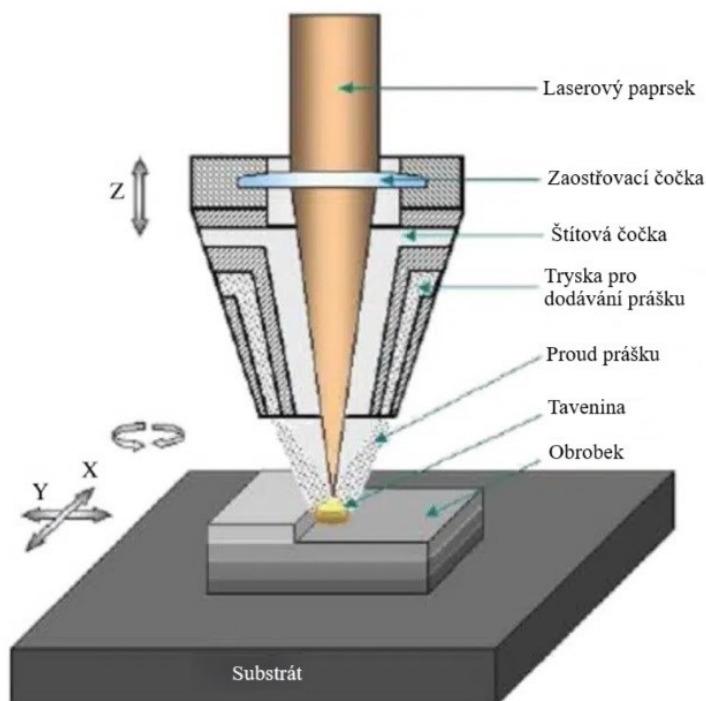
Součásti vyrobené metodou SLS se v praxi využívají jako funkční modely, případně jako plnohodnotné komponenty. Před použitím součásti vyrobené metodou SLS je potřeba brát v potaz vnitřní pnutí, která vznikají kvůli chladnutí materiálu. Metoda SLS se často využívá pro výrobu vstřikovacích forem, dále se také často využívá pro výrobu součástí v leteckém

a automobilovém průmyslu. Své uplatnění nachází metoda SLS také ve zdravotnictví, kde slouží k výrobě kolenních a zubních implantátů. [5] [21]

2.3.2 LENS – Laser Engineered Net Shaping

Výzkumná instituce Sandia National Laboratories a komerční firma Optomec Design Corp vyvinuly tuto aditivní technologii v roce 1998. Často se rovněž používá označení Laser Powder Forming. Jedná se o pokročilou metodu Rapid Prototypingu a aditivní výroby. Technologie je zejména vhodná pro výrobu kovových součástí s vysokou přesností a mechanickou pevností. [23]

LENS využívá vysoce výkonný laser k tavení kovového prášku, který je přiváděn do fokusovaného laserového paprsku. Celý proces probíhá v ochranné atmosféře inertního plynu, nejčastěji je to argon, aby se zabránilo oxidaci. Součást se vytváří vrstvu po vrstvě na pohyblivém substrátu. Po dokončení tisku se na součásti mohou provádět další úpravy jako tepelné zpracování, obrábění, případně povrchové úpravy. [23], [24]



Obr. 10: Princip metody LENS [25]

LENS pracuje s velkou škálou kovových materiálů, včetně titanu, nerezové oceli, niklu a jeho slitin, a dokonce i Inconel. [24]

Výhody technologie LENS:

- možnost výroby plně funkčních kovových součástí,
- minimální odpad materiálu,
- možnost vytvářet velké díly,
- možnost kombinace různých materiálů. [23]

Nevýhody technologie LENS:

- horší drsnost povrchu,
- obtížná tepelná regulace během procesu. [23]

Technologie se nejčastěji využívá v leteckém a kosmickém průmyslu, dále také v automobilovém průmyslu a v medicíně pro výrobu ortopedických implantátů. Využití najde také v dalších odvětvích, kde se vyžadují vysoce kvalitní kovové součásti s komplexní geometrií. [23]

3 MATERIÁLY RP

Na začátku RP využíval pouze úzký sortiment materiálů. Postupným vývojem dalších látek se vývoj materiálů rozšířil na takovou úroveň, že dnes je možné vyrobit téměř každý předmět pomocí 3D tisku. RP v současné době využívá širokou škálu materiálů podle konkrétní technologie a požadavků na výsledný výrobek. Je také důležité zmínit, že každá 3D tiskárna by měla podporovat dva základní materiály, a to PLA a ASA, o kterých se zmiňuje text níže. V následujících kapitolách jsou zmíněny běžně používané materiály.

3.1 ASA – Akrylonitril – Styren – Akrylát

Jedná se o termoplastický materiál obvykle používaný pro metodu 3D tisku FFF. Je považován za nástupce ABS. Oproti němu je podstatně odolnější vůči UV záření, také má menší tendenci se kroutit a zapáchat. ASA je mechanicky odolný, má vysokou pevnost a stabilitu. Materiál vyniká i odolností vůči UV a také teplotní odolností, díky čemuž je vhodný pro venkovní použití a výrobu technických dílů. Další pozitivní vlastností je rozpustnost v acetonu; díky tomu lze snadno dosáhnout hladké a lesklé úpravy povrchu a stejně tak odlišných mechanických vlastností. Mezi nevýhody materiálu ASA patří zejména silné kroucení, které je způsobeno teplotním rozdílem mezi modelem a okolím. Další nevýhodou je, že materiál během tisku uvolňuje nebezpečné výpary, tudíž by měl tisk probíhat v dobře odvětrávané místnosti. [26]

3.2 PET – Polyethylen – tereftalát

Jedná se o termoplastický polyester. Vznikl polykondenzací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Může existovat jak v amorfní, tak v semikrystalické formě. V současné době je hojně využíván zejména pro svou pevnost, stálost a nízkou tepelnou roztažnost. Ve srovnání s ASA poskytuje lepší chemickou odolnost a také menší tendenci ke kroucení během tisku, což v praxi znamená, že většina objektů je tištěných bez vyhřívání podložky. Jeho hlavní výhodou je recyklovatelnost. Je také transparentní a lze ho i snadno barvit. Mezi jeho nevýhody patří např. nízká rychlost tisku, aby se každá vrstva mohla dostatečně ochladit, než se nanese další vrstva. Je i náchylný k deformaci během tisku. [27]

3.3 PA 66 – Polyamid 66

Je také známý jako Nylon 66, jedná se o syntetický polymer spadající do skupiny polyamidů. Mezi jeho charakteristické vlastnosti patří např. vysoká mechanická pevnost, odolnost proti opotřebení a dále chemická odolnost. Vyniká také nízkým koeficientem tření a trvanlivostí. V současné době se materiál využívá především v technologii SLS a také v modifikované formě pro FFF. Má ovšem také řadu nevýhod jako např. tendenci k absorpci vlhkosti. Doporučuje se tedy materiál skladovat v suchém prostředí a před tiskem ho případně vysušit. V neposlední řadě vyžaduje vyšší teploty zpracování. V praxi se využívá pro výrobu funkčních prototypů, mechanických součástí a dílů vystaveným většímu opotřebení. Může být rovněž vhodnou alternativou k materiálům, jako je polykarbonát, kdy je schopen poskytnout snadnější tisk a vyšší odolnost. [28]

3.4 PP – Polypropylen

Jedná se o termoplastický polymer. Materiál vyniká svou všestranností a kombinací užitečných vlastností. Jedná se o polotuhý a lehký materiál. Jeho semikrystalická struktura může způsobit deformaci dílů po vytištění a vychladnutí. Oproti jiným materiálům se vyznačuje také vysokou odolností proti únavě a dobrou flexibilitou. Nejčastěji se využívá pro technologii FFF, kde slouží např. pro výrobu flexibilních dílů, které mají zároveň mít nízkou hmotnost. V praxi se využívá pro výrobu pantů, popruhů nebo vodítek. Jeho hlavní nevýhodou je nižší pevnost oproti ostatním materiálům. V porovnání s jinými materiály se také jedná o cenově dražší materiál. [29]

3.5 PLA – Kyselina polyléčná

Jedná se o biodegradabilní termoplastický polyester, který získává stále větší oblibu v oblasti Rapid Prototypingu. Polymer se vyrábí z obnovitelných zdrojů, nejčastěji z kukuřičného škrobu nebo cukrové třtiny. Materiál se hojně používá zejména pro své ekologické vlastnosti a snadné zpracování. Je kompostovatelný za průmyslových podmínek. Vyznačuje se také nízkou tepelnou odolností, snadnou tisknutelností a křehkostí. Mezi jeho pozitivní vlastnosti patří také minimální tendence ke smrštění během tištění a široká dostupnost. PLA se rovněž jako předchozí materiály využívá zejména pro technologii FFF, kde slouží např. pro výrobu prototypů s nízkými mechanickými nároky nebo také pro výrobu dekorativních předmětů. Mezi jeho negativní vlastnosti patří nízká tepelná odolnost, křehkost nebo také tendence k degradaci při zvýšené vlhkosti. [30]

3.6 PVA – Polyvinylalkohol

Jedná se o syntetický polymer rozpustný ve vodě, který nachází významné uplatnění jako podpůrný materiál pro 3D tisk. Je rozpustný ve vodě, což umožňuje jeho snadné odstranění po tisku. PVA je biologicky odbouratelný, což výrazně přispívá k jeho ekologické šetrnosti. Využívá se zejména pro technologii FFF, kde se díky němu vytvářejí např. rozpustná jádra pro duté struktury nebo se pomocí něj tisknou extrémně složité tvary. PVA lze stejně tak využít jako modelový materiál pro výrobu prototypů. Má také řadu negativních vlastností. Je citlivý na vlhkost, vyžaduje důkladné skladování a manipulaci. Jeho cena je vyšší ve srovnání s jinými podpůrnými materiály. Díky PVA často dochází k ucpání horké trysky, když zrovna nevytlačuje. [31]

3.7 PC – Polykarbonát

Je to termoplastický polymer a má amorfni strukturu. Vykazuje výbornou odolnost vůči nárazu a vysokou houževnatost a také tepelnou stabilitu. Z PC se tedy dají vyrábět tepelně odolné výrobky až do teploty 110 °C. Má dobrou optickou průhlednost, v čiré formě je vysoce transparentní a srovnatelný se sklem. Rovněž má dobré izolační vlastnosti v širokém rozmezí teplot. Při tisku se doporučuje použití prostředků, které zajistí dobrou adhezi první vrstvy, zejména kvůli tomu, že PC má tendenci k deformacím (warpingu). Rovněž se doporučuje tisknout v uzavřené tiskové komoře, aby se minimalizovaly teplotní výkyvy, případně deformace během tisku. Je zpracováván zejména technologií FFF, kdy se s jeho pomocí vyrábějí transparentní modely a prototypy, u nichž je vyžadována vysoká mechanická odolnost a tepelná stabilita. Jednou z jeho nevýhod jsou vyšší teploty při zpracování v porovnání s běžnými filamenty. Je citlivý na UV záření a chemikálie, může i uvolňovat částice bisfenolu, kvůli čemuž nemusí být vhodný pro použití v potravinářském průmyslu. [32]

3.8 Alumide

Jedná se o kompozitní materiál, který nejčastěji využívá metoda selektivního laserového slinování (SLS). Materiál je složen z polyamidu s příměsí jemného hliníkového prášku. Díky svému složení kombinuje flexibilitu a houževnatost polyamidu s pevností a povrchovým vzhledem příbuzných kovů.

Jednou z hlavních výhod tohoto materiálu je snadná obrobitelnost. Mezi jeho další výhody patří např. schopnost odolávat teplotám až do 130 °C, díky čemuž je vhodný pro výrobu

prototypů a dílů pro funkční testování. Povrch Alumide má jemně zrnité kovové zakončení, díky tomu je vhodný pro výrobu pohledových prototypů.

Materiál Alumide se často využívá v automobilovém a leteckém průmyslu, zejména při výrobě složitých designových modelů. Využívá se také v oblastech, kde je důležitá kombinace pevnosti, odolnosti a estetiky. [33]

3.9 Pryskyřice

Jedná se o často používaný materiál v aditivních technologiích, zejména ho využívá metoda stereolitografie (SLA) nebo metoda digitálního zpracování světla (DLP). Jde o tekutý fotopolymer, který se za působení světla vytvrzuje do pevného stavu. Kvůli této vlastnosti poskytuje pryskyřice vysokou přesnost a jemné detaily, díky tomu je ideální pro výrobu prototypů a modelů se složitými geometrickými tvary.

V dnešní době existuje velké množství druhů pryskyřic. Od standartních pryskyřic až po speciální typy, které se mohou vyznačovat zvýšenou pevností, pružností nebo dokonce teplotní odolností. Některé pryskyřice mohou být zase odolné vůči chemikáliím nebo mohou mít elastické vlastnosti, což umožňuje jejich velké uplatnění v průmyslovém designu, lékařství a rovněž výrobě funkčních dílů.

Mezi přední výhody pryskyřice patří zejména její detailní zpracování, díky použití UV světla pro vytvrzování pryskyřice můžeme vytvářet složité tvary s přesnými detaily. Je vhodné zmínit, že výrobky vytvořené z pryskyřice mají hladký povrch. Nevýhodou použití pryskyřice může být vyšší cena materiálu. Protože se musí každá vrstva pryskyřice vytvrdit UV světlem, je tento proces poměrně pomalý a zdlouhavý. [34]

3.10 Kovové materiály

V současné době se v aditivních technologiích hojně využívají také kovové materiály, které nabízejí různé mechanické vlastnosti, odolnost a vhodnost využití pro různé aplikace. Mezi nejčastěji používané kovové materiály patří:

Nerezová ocel

Je velmi oblíbená pro své vlastnosti, jako je pevnost, odolnost vůči korozi a také mechanická stabilita. Má rovněž schopnost vytvářet lesklý a leštěný povrch. Kvůli těmto vlastnostem se často využívá pro funkční prototypy, zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Je i možné tisknout bronzové nebo zlaté prototypy, kdy nerezová ocel slouží jako základní

materiál. Toho můžeme dosáhnout např. pokrytím nerezových práškových vrstev bronzovým injekčním lepidlem. [35]

Titan

Jedná se o velmi pevný, ale zároveň lehký materiál, který je rovněž schopen odolávat korozi a vysokým teplotám. Běžně se dodává ve formě prášku nebo vlákna. Jeho hlavní nevýhodou je vysoká cena. Využívá se hlavně v leteckém, kosmickém a zdravotnickém průmyslu. [35]

Hliník

Tento materiál je často používaný pro svoji nízkou hmotnost, dobrou tepelnou vodivost a také dobrou obrobitelnost. Kromě těchto vlastností je i odolný vůči korozi a má dobrou svařitelnost. Využití nachází ve výrobě prototypů v automobilovém a spotřebním průmyslu. [35]

Inconel

Jedná se o slitinu niklu a chromu, která má schopnost odolávat extrémním teplotám a korozi. Využívá se proto pro výrobu velmi namáhaných komponentů v leteckém a energetickém průmyslu.

Měď

Zejména kvůli své výborné tepelné a elektrické vodivosti se využívá pro výrobu prototypů, které vyžadují přenos tepla nebo elektrického proudu. Je k dispozici ve formě prášku nebo filamentu. [35]

Kobalt-chrom

Tento materiál se vyznačuje vysokou pevností a odolností vůči korozi a opotřebení. Využívá se hlavně ve zdravotnictví, například pro výrobu dentálních implantátů nebo ortopedických náhrad. Kromě zdravotnictví se stejně tak používá i pro výrobu nástrojů a forem. [35]

Bronz

Používá se méně oproti výše zmíněným materiálům. Ovšem díky svým estetickým a antikorozním vlastnostem nachází uplatnění zejména ve výrobě uměleckých nebo dekorativních prototypů. [35]

Nástrojová ocel

Jedná se o speciální typ oceli, který se využívá hlavně pro výrobu dílů, jež jsou vystaveny vysokému zatížení. Vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, odolností vůči opotřebení a také teplotní stabilitou. Těchto vlastností je dosaženo zejména kvůli vysokému obsahu hliníku a dalších legujících prvků, jako je např. chrom, molybden, wolfram nebo vanad, tyto prvky zvyšují tvrdost a pevnost oceli.

V oblasti Rapid Prototypingu se využívá zejména pro výrobu forem a nástrojů, které jsou vystaveny náročným podmínkám během testování. [35]

4 VYTVOŘENÍ SOUČÁSTI POMOCÍ RAPID PROTOTYPINGU

Výroba součásti pomocí Rapid Prototypingu se obvykle liší podle použité metody, nicméně celý proces lze obecně rozdělit do čtyř základních kroků, kterými musí projít každá součást pro úspěšné dokončení. Jako první krok se provede tvorba 3D modelu, poté se zvolí vhodný materiál, ze kterého bude díl vyroben. Následně je důležité zvolit vhodnou technologii Rapid Prototypingu, tak aby finální výrobek byl vyroben v požadovaných přesnostech, času a rovněž nebyl extra finančně náročný. Po zvolení vhodného materiálu a technologie se uskuteční příprava pro tisk a následně samotný tisk. Po dokončení procesu tisku se provede postprocessing a finální úpravy. Každý z výše uvedených kroků je velmi podstatný pro dosažení požadované přesnosti, funkčnosti a finanční návratnosti dané součásti.

4.1 Vytvoření CAD modelu

Model součásti je nejdříve vytvořen na počítači v příslušném modelovacím softwaru jako např. Autodesk Inventor, Solid Edge nebo Catia. Tento model slouží jako předloha pro následnou výrobu součásti. Další cestou k získání 3D modelu součásti může být získání příslušných dat od výrobců nebo v on-line knihovnách. Kromě výše zmíněných možností se může rovněž využít prostorové skenování reálného tělesa. Laserový scanner je schopný získat důležitá data o tvaru a dokonce i barvě součásti. Tuto možnost je výhodné využít např. u součástí, které se budou renovovat a není k nim přístupná technická dokumentace.

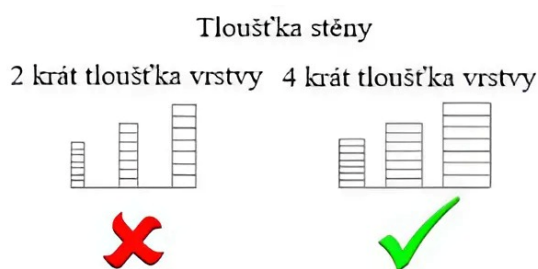


Obr. 11: Skenování součásti [36]

Jakmile je model hotový, je potřeba zkontrolovat a případně upravit jeho konstrukční prvky, aby byl zabezpečen správný průběh tisku a díl plnil požadavky budoucího použití. Mezi konstrukční prvky, které je dobré vhodně uzpůsobit, patří např. otvory, tloušťky stěn, závity, zaoblení, zkosení a žebrování. [37]

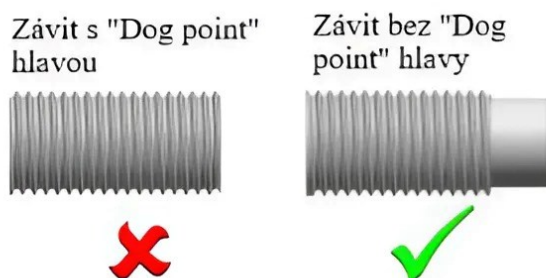
Při tisku metodou FFF dochází po vychladnutí dílce ke smrštění otvorů díky tepelné roztažnosti materiálu. Tento nechtěný jev se běžně eliminuje úpravou rozměrů již při tvorbě modelu. Korekce rozměru se běžně stanovuje praktickou zkouškou tisku testovacího dílce, stejně tak i softwary mají v sobě zavedenou korekci pro tvorbu technologie tisku. [37]

Tloušťka stěn se stanovuje jako násobek tloušťky tisknuté vrstvy a doporučená hodnota bývá přibližně dvojnásobkem této tloušťky. Je nutné podotknout, že tyto hodnoty jsou pouze orientační a liší se v závislosti na konkrétní technologii. [37]



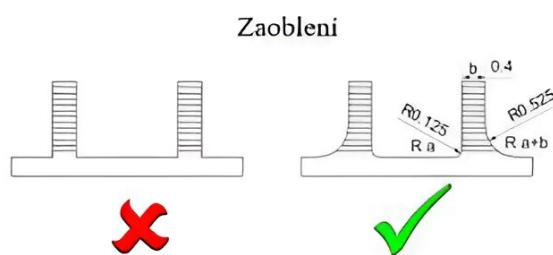
Obr. 12: Volba tloušťky stěny [37]

Při navrhování závitů je vhodné se vyvarovat ostrých hran, které by mohly způsobit nežádoucí koncentraci napětí. Průměr otvoru pro vnitřní závit by neměl být menší než 1,6 mm. Závity vytvořené 3D tiskem jsou méně pevné a přesné, proto se doporučuje využití závitových vložek. Doporučuje se také využití tzv. "Dog point" hlavy s průměrem alespoň 0,8 mm. Tato hlava usnadňuje správné vytištění závitu viz. obr. [37]



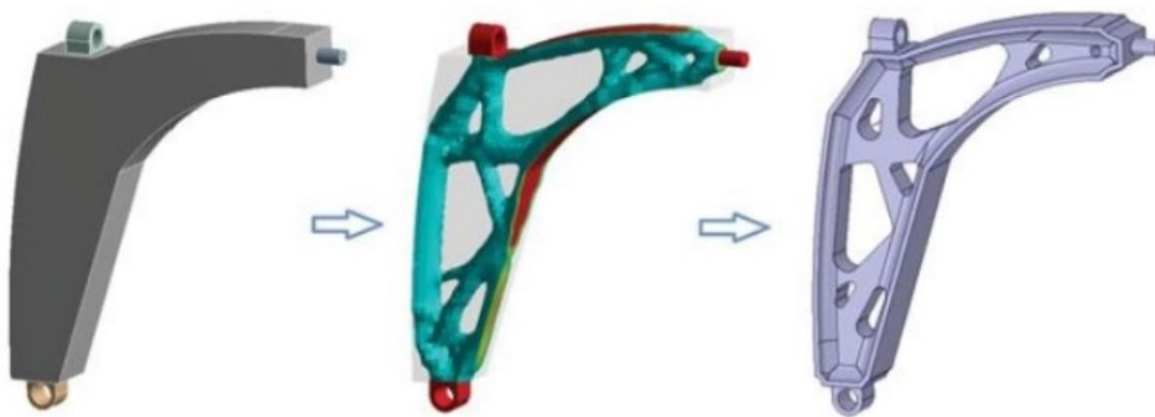
Obr. 13: Použití „Dog point“ hlavy [37]

Ve srovnání se vstřikováním polymerů do forem zde není nutné vytvářet úkoso a zaoblovat hrany, nicméně může to být vhodné, pokud by mělo dojít ke koncentraci napětí v určitých hranách a rozích. Použití žebér jako výztuh může výrazně snížit spotřebu materiálu a také zvýšit výslednou tuhost součásti. Žebra jsou zejména vhodná pro zpevnění výčnělek, skořepinových konstrukcí, případně dutých částí, kde pomáhají zlepšit mechanické vlastnosti bez nutnosti zbytečného zvyšování hmotnosti součásti. [37]



Obr. 14: Vhodná volba zaoblení [37]

Kvůli rozsáhlým možnostem 3D tisku lze vyráběné součásti konstruovat tak, aby byly vyrobeny při co nejmenší spotřebě materiálu a zároveň si zachovaly, případně zlepšily své mechanické vlastnosti. Metoda, která toto umožňuje, se nazývá topologická optimalizace. Metoda ke vhodnému rozložení materiálu používá výpočetní algoritmy, které pracují na základě specifikovaných podmínek, jako jsou vazby, působící síly, tlaky, případně volba materiálu. Funguje na principu odstranění přebytečného materiálu z oblastí, které nejsou vystaveny podstatnému zatížení, což vede k redukci hmotnosti. Finální tvary z topologické optimalizace obvykle připomínají organické struktury, které by se obtížně realizovaly běžnými výrobními metodami. [38]



Obr. 15: Princip topologické optimalizace [39]

Jestliže již je zhotovený 3D model součásti z konstrukčního hlediska, může se přistoupit k převodu CAD 3D modelu do formátu, který podporuje daná 3D tiskárna. Nejčastěji se využívá formát STL.

4.2 Vhodná volba materiálu a metody RP

Při výběru vhodného materiálu a technologie pro výrobu součásti pomocí RP je důležité zohlednit následující vlivy, jako jsou funkce, využití, mechanické vlastnosti, geometrie a případně povrchové úpravy budoucí vyráběné součásti. Hlavním účelem celého procesu je tedy nalézt kompromis mezi finanční náročností výroby a požadované kvality vyráběné součásti. [40]

Obecně se doporučuje jako první zvolit materiál, ze kterého bude součást vyráběna, podle toho je pak volena technologie tisku. Jak již bylo v práci zmíněno, polymerní materiály jako ASA a PLA jsou běžně využívány pro svou snadnou dostupnost a zpracování. Kovové materiály je zase vhodné použít pro výrobky, které vyžadují vysokou pevnost a tepelnou stabilitu. Pro polymerní výrobky jsou vhodné technologie jako FFF, SLA a nebo SLS. Na druhou stranu pro kovové výrobky je vhodná technologie LENS a stejně tak i SLS. Před výběrem konkrétní technologie je rovněž důležité kromě výběru materiálu brát v potaz požadované povrchové úpravy, které se budou na součásti provádět. Některé technologie nabízejí různé možnosti dokončení povrchu, případně lepší výslednou kvalitu součásti. [40]

Po dokončení návrhu modelu a volby materiálu je důležité zohlednit výrobní proveditelnost. Ta zahrnuje výběr vhodné tloušťky stěny, přesnosti, velikosti a podpůrných struktur, tak aby byla zachována kvalita vyráběného dílu. Je rovněž vhodné ověřit, že zvolená technologie tisku je schopna zhotovit daný tvar výrobku. U větších součástí je potřebné počítat s tím, že velikost tiskové plochy je omezená a je nutné danou součást vyrábět jako dva či více kusů, které se následně spojí. [40]

4.3 Výroba součásti

Výroba součásti technologií 3D tisku obsahuje několik důležitých fází, díky kterým je zajištěn správný tisk a požadované kvality vytištěné součásti. Proces lze obecně rozdělit na přípravu tisku a samotný tisk.

Po vymodelování součásti v příslušném programu a převedení nejčastěji do formátu STL je potřeba připravit model pomocí tzv. sliceru – softwaru. Tento software převádí 3D model na

G – kód, který slouží jako instrukce pro tiskárnu. Proces slicování zahrnuje nastavení výšky vrstvy, která ovlivňuje kvalitu a rychlost tisku (viz. obr). [41]



Obr. 16: Ovlivnění kvality a rychlostí tisku výškou vrstvy [41]

Dále proces slicování obsahuje rovněž nastavení hustoty výplně, která ovlivňuje dobu tisku, trvanlivost tištěného objektu a spotřebu filamentu. Výplň se nastavuje v procentech, běžně se volí mezi 10 až 20 %. Stejně tak je možné nastavit i vzor výplně např. ve tvaru křivky, spirály, linie nebo včelí plástve. Ve slicer – softwaru se nastavuje také použití podpor, které slouží pro podpírání převisů nebo částí, jež jsou ve vzduchu. Musí být navrženy tak, aby se daly snadno odstranit. Cílem je optimalizovat počet podpor, aby bylo potřeba co nejméně, případně žádné, protože platí, že čím méně podpor, tím rychlejší tisk a lepší vzhled výrobku. Významným pokrokem bylo zavedení organických podpor, které svým tvarem připomínají větvení stromu. Tento typ podpor umožňuje rychlejší tisk a snižuje spotřebu filamentu, přitom ale pořád poskytuje dostatečnou podporu pro převisy na modelu. [41]



Obr. 17: Organické podpory modelu [41]

Pokud model již prošel procesem slicování, je důležité provést správnou přípravu tiskové podložky, což je nezbytné pro úspěšný tisk. Jako první se provede vyrovnání tiskové plochy, aby první vrstva správně přilnula. Používají se různé tiskové podložky, jako je sklo, PEI folie, případně různé speciální povrchy. Důležité je rovněž povrch očistit a případně nanést separační vrstvu, např. lepidlo u PETG, aby se model po tisku lehce oddělil. [41]

Jakmile je tiskárna připravená, tisk začne zahřátím trysky a tiskové podložky na požadovanou teplotu. Poté tiskárna začne extrudovat materiál podle připraveného G – kódu a vrstvu po vrstvě vytváří fyzický objekt. Různé metody 3D tisku se liší v mechanismu nanášení materiálu, například metoda FFF využívá tavné struny polymeru, zatímco SLA tiskárny pracují s fotopolymerem vytvrzovaným UV světlem. [41]

4.4 Postprocessing a finální úpravy

Postprocessing 3D tisknutých objektů je důležitým krokem k dosažení požadovaného vzhledu součásti. Některé vytištěné funkční součásti jsou ihned připravené k použití a není u nich nutné provádět postprocessing. Mezi základní kroky postprocessingu patří broušení, leštění, barvení, případně lepení jednotlivých částí. [41]

Před post – processingem

Po post – processingu



Obr. 18: Význam postprocessingu [41]

Vyhlazování povrchu se může provádět mechanicky broušením, u toho ale hrozí, že elektrické brusky mohou způsobit přehřátí materiálu a deformaci. Je také možné modely ošetřit tmelem nebo plničem, které umožňují hladké lakování. Pro materiály jako ABS nebo ASA je rovněž možné použít acetonové výpary, které rozpouštějí povrch a vytvářejí hladký a lesklý efekt viz Obr. [41]



Obr. 19: Význam použití acetonových výparů [41]

Dále je také možné odstranit jemná vlákna na povrchu pomocí horkovzdušné pistole. Pro spojování tištěných dílů se využívají vteřinová lepidla, případně aktivátory pro rychlejší vytvrzení spoje. [41]

Co se týče kovových dílů, u nich se také provádí postprocessing. Proces postprocessingu u kovových součástí probíhá v několika krocích. Jako první dojde k odstranění podpůrných struktur a zbytků prášku. Na tištěné kovové součásti se také provádí tepelné zpracování, které slouží k dosažení lepších mechanických vlastností a odstranění vnitřního pnutí. Mezi tepelné zpracování patří zejména kalení a žihání, díky kterým se dosahuje požadované tvrdosti a pevnosti součástí. Pro dosažení hladkého a estetického povrchu se využívají metody jako pískování, omílání nebo elektrochemické leštění. V případech, že je na výrobku vyžadována vysoká rozměrová přesnost, se často provádí dodatečné frézování, soustružení nebo elektroerozivní obrábění. Je velmi důležité zmínit, že po dokončení postprocessingových kroků je nezbytné provést kontrolu kvality, do které spadá měření rozměrů, kontrola povrchové drsnosti a případně nedestruktivní zkoušky materiálu. [42]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem teoretické části této bakalářské práce bylo provést rešerši na téma technologií Rapid Prototyping. Tato rešerše zahrnuje přehled používaných technologií a materiálů, dále se také zabývá problematikou návrhu modelu pro tisk a postprocessingem na vytištěné součásti.

V praktické části jsou využity poznatky z teoretické části. Cílem praktické části je navrhnout a vyrobit díl zpětného zrcátka automobilu a následně provést povrchovou úpravu dílu. Tento proces je rozdělen do několika jednotlivých cílů:

- demontáž krytu zpětného zrcátka automobilu,
- skenování součásti,
- úprava a příprava modelu pro tisk,
- vhodná volba metody a materiálu RP,
- příprava a tisk dílu,
- provedení postprocessingu na vytištěném dílu,
- sestavení celku zrcátka,
- zhodnocení výroby.

6 DEMONTÁŽ KRYTU ZPĚTNÉHO ZRCÁTKA AUTOMOBILU

Před samotným skenováním součásti se ještě muselo provést demontování vnějšího krytu zrcátka z celku zpětného zrcátka automobilu. Tento vnější kryt je podstatná konstrukční část, proto bylo zapotřebí provést kompletní rozebrání celku zpětného zrcátka automobilu.



Obr. 20: Celek zpětného zrcátka automobilu

Jako první bylo odmontováno sklo, které bylo „zavaknuté“ v elektrické konzole. Sklo bylo také kvůli vyhřívání připojeno pomocí konektorů k této elektrické konzole. Dále byl odmontován spodní kryt, který byl přišroubován k hlavní konzoli. Tento kryt slouží k zabránění vniknutí nečistot do vnitřních částí zrcátka při běžném provozu automobilu. Následně byla demontována elektrická konzole, která byla rovněž přišroubovaná k základní konzole. Elektrická konzole slouží k nastavení požadované polohy skla zrcátka, jak již bylo zmíněno, tak rovněž umožňuje vyhřívání skla zrcátka pro komfortní používání zejména v zimních měsících. Po odmontování elektrické konzole se přistoupilo k odejmutí vnějšího lemu, který se nacházel pod sklem a byl „nacvaknutý“ v základní konzole celku zrcátka. Tento lem má využití zejména pro estetické účely a také zabráňuje vniknutí nečistot do vnitřních částí celku zrcátka automobilu. Následně došlo k odmontování stojanu, který slouží k umístění celku zrcátka na automobilu. Jedna část stojanu byla prostrčená uzpůsobenou dírou v krytu zpětného zrcátka, tato část stojanu se skládala z kolíku, který slouží pro naklápění zrcátka. Na tomto kolíku stojanu byla umístěná pružina, která byla stažená speciální podložkou s označením Starlock. Jedná se o podložku, která je svojí konstrukcí vhodná pro použití na místech, kde se vyskytují otřesy a rázy. Tato podložka je určena pouze na jedno stáhnutí pružiny, proto muselo dojít k trvalému rozstřížení podložky.

Nutno ještě podotknout, že v kolíku stojanu byl průchozí otvor určený pro protáhnutí kabelů od elektrické konzoly do vozidla.



Obr. 21: Průběh demontáže

V poslední fázi demontáže došlo k odejmutí základní konzoly. Základní konzola byla k vnějšímu krytu zpětného zrcátka automobilu přišroubována samořeznými šrouby a „zacvaknutá“ ve klipech umístěných na krytu, které zajišťovali její přesné a tuhé uložení. Základní konzola je velmi podstatnou částí celku zpětného zrcátka automobilu, slouží pro uchycení všech součástí do vnějšího krytu zrcátka. Jako jedna z mála součástí celku zrcátka je vyrobena ze slitiny hliníku, aby byla zaručena její tuhost a odolnost. Po všech těchto montážních krocích byl získán samotný vnější kryt zrcátka, ten byl ještě důkladně očištěn, než se mohl použít ke skenování.



Obr. 22: Demontovaný vnější kryt zrcátka automobilu

7 SKENOVÁNÍ SOUČÁSTI

Protože se jedná o tvarově složitý díl, bylo nutné využít 3D skenování pro získání CAD dat. Pro skenování byl využit skener Nikon MCx30+. Jedná se o sedmi osé měřicí rameno, které je navrženo pro přesné měření v různých prostředích, včetně metrologických laboratoří, výrobních hal a terénu. Ve spojení s laserovým skenerem ModelMaker H120 tvoří pokročilé měřicí řešení, které umožňuje rychlou a přesnou analýzu rozměrů výrobku. Zařízení je schopné měřit s přesností 0,0584 mm a rozsahem měření 3 m. Systém umožňuje bezdrátové skenování s vysokou rychlostí a přesností, využívá technologii ESP4 (Enhanced Sensor Performance) a automaticky optimalizuje laserový výkon podle odrazivosti povrchu skenovaného objektu. To zajišťuje spolehlivé výsledky i při měření komplikovaných tvarů a materiálů. Kombinace ramene MCx30+ a skeneru H120 dosahuje skenovací rychlosti až 450000 bodů za sekundu. Systém má certifikaci ISO 10360-8, která garantuje přesné a spolehlivé měření.

3D skenování pomocí zařízení Nikon MCx30+ probíhá na principu laserového triangulačního skenování. Laserový skener vysílá laserový paprsek, který se promítá jako čára na povrch skenovaného objektu. Zabudovaný senzor souběžně snímá odraz této laserové čáry. Na základě polohy a tvaru odražené čáry je pomocí triangulace vypočítána 3D poloha bodů na povrchu objektu. Znamená to tedy, že laserový skener sesbírá tisíce bodů za sekundu a sestaví „mračno“ bodů, které odpovídá tvaru skenovaného objektu. [43], [44]



Obr. 23: Skener Nikon MCx30+ [44]

7.1 Příprava skenované součásti

Na díl bylo potřeba před samotným skenováním nanést antireflexní vrstvu, aby se předešlo vzniku odlesků, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu výsledného 3D skenu. K nanesení byl využit antireflexní permanentní sprej AESUB, který po dokončení skenování zůstává na povrchu, dokud není odstraněn očištěním.



Obr. 24: Nanesení antireflexní vrstvy

7.2 Skenování

Protože se jedná o poměrně tvarově složitý díl, muselo se skenování provést na dvě upnutí. V případě prvního upnutí, kdy byl skenován zejména vnější tvar dílu, byl díl upnut do svěráku na třínohém držáku.



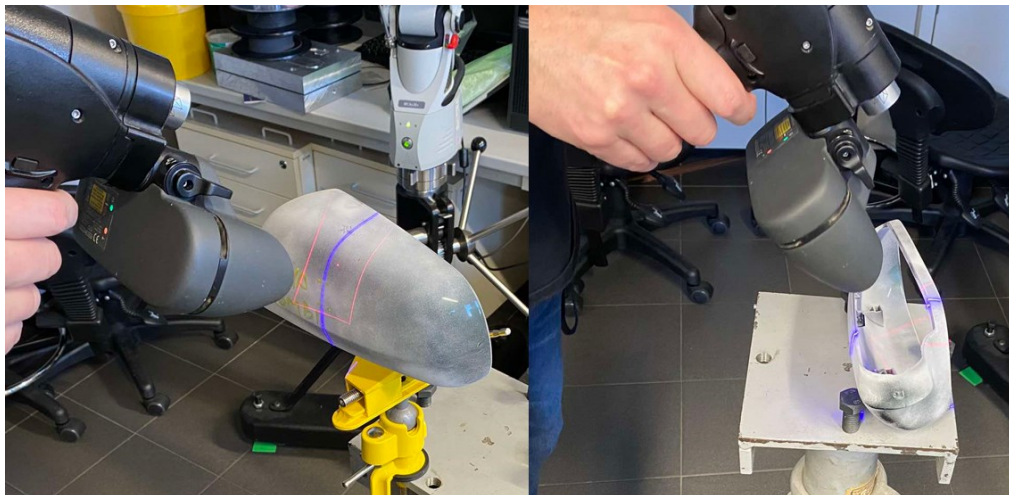
Obr. 25: První upnutí

Druhé upnutí sloužilo zejména k naskenování vnitřních částí dílu, které nebylo možné naskenovat při prvním upnutí. V případě druhého upnutí byl díl zajištěn šrouby na třínohém držáku.



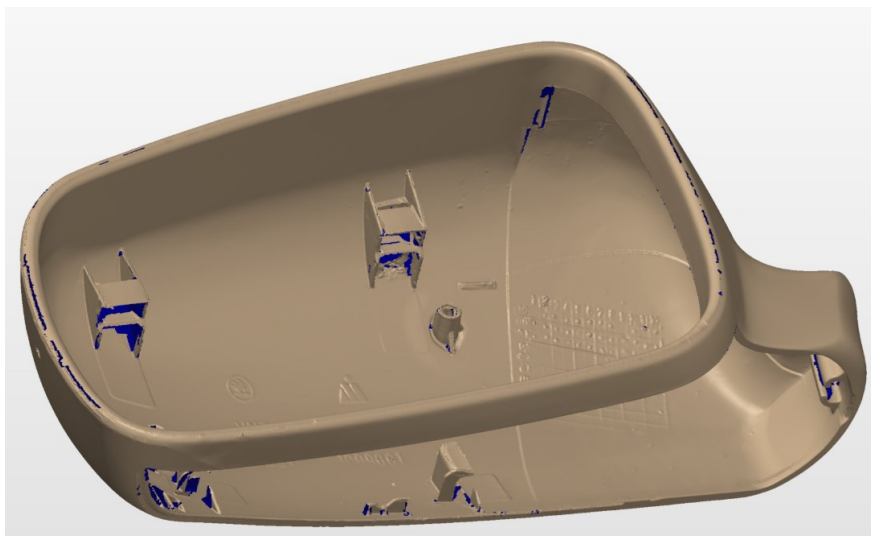
Obr. 26: Druhé upnutí

Po upnutí následovalo samotné skenování součásti. Postupným promítáním laseru na povrch součásti se začal vytvářet digitální model ve formě mračka bodů.



Obr. 27: Skenování součásti

Skener při snímání nezachycuje pouze samotnou součást, ale také okolní prostředí. Tyto nežádoucí prvky označujeme jako šum, který je následně nutné odstranit během postprocessingu v příslušném programu. V tomto případě byl použit program PolyWorks. Pomocí skenování byl tedy získán tzv. STL soubor viz obr. níže.



Obr. 28: Výstup skenování

Celý proces skenování zabral přibližně hodinu. Tento čas zahrnoval přípravu součásti na skenování, samotné skenování a následné zpracování dat v softwaru PolyWorks.

7.3 Program PolyWorks

Jedná se o ucelenou softwarovou platformu pro 3D metrologii, na jejímž vývoji pracuje kanadská společnost InnovMetric Software Inc. Tento program slouží jako univerzální řešení pro širokou škálu procesů ve výrobním průmyslu, především v oblastech kontroly kvality, analýzy rozměrů a reverzního inženýrství. PolyWorks spolupracuje s různými měřicími zařízeními, především se 3D skenery a souřadnicovými měřicími přístroji, což umožňuje efektivní sběr a zpracování naměřených dat. Z dalších užitečných vlastností softwaru lze zmínit schopnost sdílení a správy 3D naměřených dat v rámci celé organizace, což velmi usnadňuje komunikaci mezi jednotlivými pracovišti. Program se také vyznačuje kompatibilitou s různými CAD/CAM softwary.

Software nachází uplatnění především v automobilovém, leteckém a strojírenském průmyslu, kde zvyšuje kvalitu výrobků a optimalizuje výrobní procesy. [45]

8 VYTVOŘENÍ 3D CAD MODELU

Jak již bylo zmíněno, pomocí skenování byla získána CAD data ve formátu STL. V modelu vytvořeném pomocí skenování se vyskytly nedostatky ve formě prázdných míst, které skener nedokázal zachytit. Tyto nedostatky se vyskytovaly zejména ve špatně přístupných vnitřních částech dílu. Vzhledem k tomu, že by bylo obtížné některé vady odstranit při zachování funkčních tvarů, a také kvůli opotřebením některých částí, byla zvolena metoda tvorby 3D modelu manuálním modelováním na základě získaných skenovacích dat. Tvorba modelu probíhala v programu CATIA V5 v oblasti plošného a objemového modelování.

8.1 Program CATIA V5

Jedná se o široce využívaný CAD software, který se používá při vývoji a konstrukci nových, případně inovovaných výrobků v různých průmyslových odvětvích, zejména však nachází uplatnění v automobilovém a leteckém průmyslu. Kromě konstrukčních funkcí CAD zahrnuje také modul CAM pro programování CNC strojů a simulační nástroje CAE pro analýzu účinků vnějších sil na jednotlivé součásti. [46]

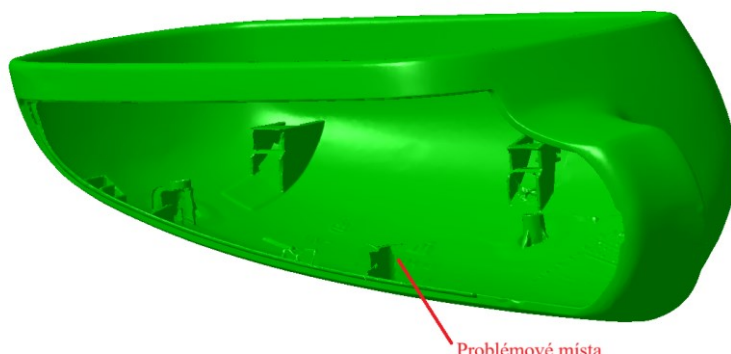
Pro tvorbu 3D modelů za pomoci objemového modelování se využívá prostředí Part Design, pro modelování v plochách se využívá prostředí Generative Shape Design. Pro vytváření sestav slouží modul Assembly Design, zatímco pro tvorbu výkresové dokumentace dílů a sestav je k dispozici prostředí Drafting. Dále obsahuje Mold Tooling Design, který je určený pro návrh vstřikovacích forem a jejich normalizovaných prvků. CATIA V5 také nabízí pokročilé možnosti simulace a analýzy, které umožňují hodnotit výkon, pevnost a strukturální integritu produktů ještě ve fázi návrhu. [46]

Software je plně propojený PLM (Product Lifecycle Management) systémy, což usnadňuje správu dat a spolupráci mezi jednotlivými pracovními skupinami. Pro studenty a vzdělávací instituce je k dispozici speciální edice CATIA V5 Student Edition, která poskytuje ovšem jenom některé nástroje. [46]

8.2 Kvalita skenu

V naskenované součásti vznikla řada nedostatků ve formě prázdných míst, zejména se jednalo o části těžko přístupné, které skener nedokázal dostatečně zachytit. Tato problémová místa se nacházela na klipech, které slouží k uchycení ostatních částí zrcátka. Vzhledem k obtížnosti odstranění některých nedostatků a s ohledem na opotřebením určitých částí byla

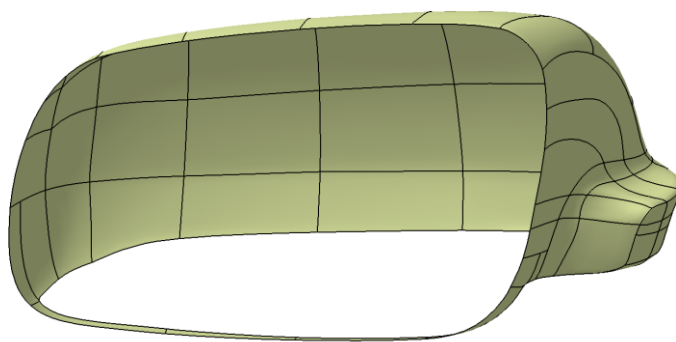
zvolena metoda tvorby 3D modelu prostřednictvím manuálního modelování na základě naskenovaných dat.



Obr. 29: Problémové místa skenu

8.3 Vytvoření modelu

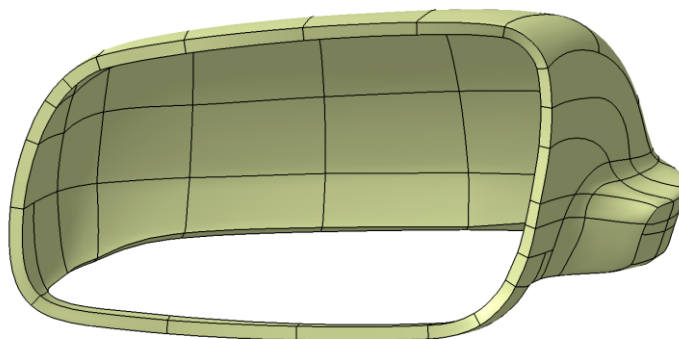
V programu Polyworks proběhlo znázornění vnějšího tvaru zrcátka (viz obr.). Byla získána tedy otevřená skořepina, od které se poté odvíjelo domodelování zbývajících částí zrcátka. Model otevřené skořepiny zrcátka a STL soubor byly převedeny do programu Catia, kde probíhalo domodelování zbývajících částí. Protože bylo zapotřebí jednotlivé úchyty na zrcátku domodelovat opravdu přesně, STL soubor a hrubý model zrcátka byly otevřeny v prostředí sestav, kde se postupně rozsvěcoval a zhasínal soubor skenu, aby bylo zřejmé umístění jednotlivých částí krytu zrcátka.



Obr. 30: Skořepina zrcátka

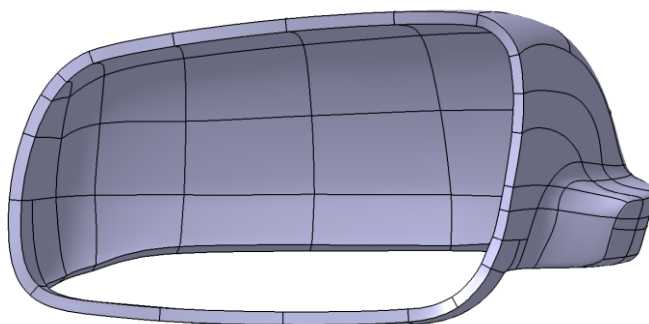
Všechny operace, jež byly na modelu prováděny před převedením plošného modelu na plnohodnotné objemové těleso, probíhaly v prostředí Generative Shape Design, který v programu Catia V5 výhradně slouží pro práci s plochami. Pomocí funkce offset došlo k odsazení vnějšího tvaru směrem dovnitř o 5 mm. Díky funkci offset došlo v podstatě také k vytvoření druhé skořepiny. Tyto dvě skořepiny vzájemně odsazené o 5 mm bylo zapotřebí

po částech spojit pomocí funkce Fill. Tato funkce má za úkol vyplnění uzavřeného obrysu, který je definován křivkami, hranami nebo případně body.



Obr. 31: Plně uzavřený tvar

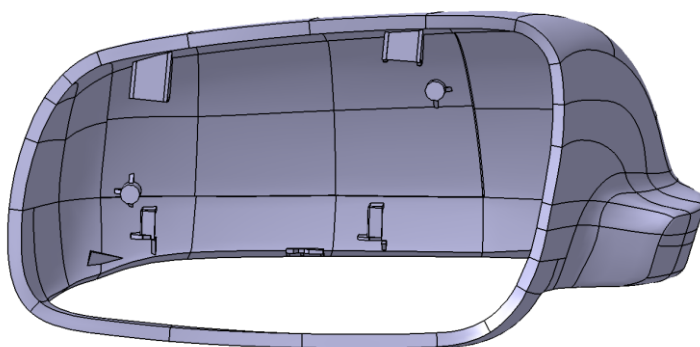
Po vyplnění potřebných míst byl získán plně uzavřený tvar, který bylo následně možné převést na objem. Před samotným převedením plně uzavřeného modelu na objem bylo potřeba spojit jednotlivé dílčí plochy do jednoho souvislého prvku pomocí funkce Join. Nutné je ještě podotknout, že před samotnou funkcí Join byla ještě využita funkce Healing, která se využívá k opravě nebo úpravě geometrie, zejména při práci se složitými povrchovými entitami. Mezi hlavní výhody funkce Healing patří také možnost opravy nespojitostí v geometrii, umožňuje tedy opravu uvolněných nebo přerušovaných spojů mezi plochami a usnadňuje spojování povrchů. Samotné převedení dílu na objemové těleso probíhalo v prostředí Part Design. Zde se pro převedení na plnohodnotný objemový model využila funkce CloseSurface.



Obr. 32: Převedení modelu na objemové těleso

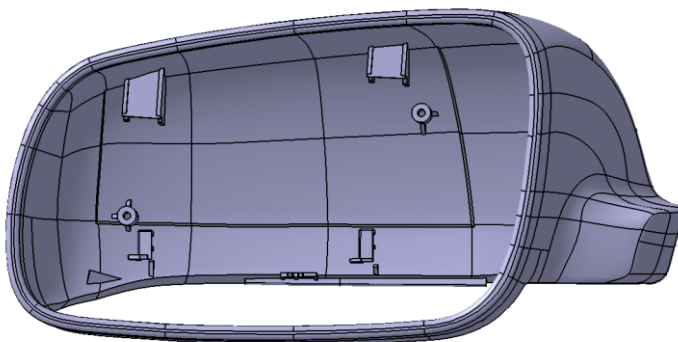
Po převedení na objemové těleso bylo zapotřebí provést další úpravy v prostředí Part Designu. Mezi tyto úpravy patřilo domodelování jednotlivých vnitřních částí, které se při skenování nepodařilo přesně naskenovat. Jako první se vytvořila kapsa ve střední části modelu. Tato kapsa je zhotovena pro lepší zasazení konzoly do zrcátka. Kapsa byla

vytvořena funkcí Thickness a odsazena směrem dovnitř o 2 mm. Po zhotovení kapsy následovalo vymodelování klipů a drážek, které slouží pro správné uchycení konzoly a ostatních zbývajících částí zrcátka. Klipy a drážky byly vymodelovány pomocí základních funkcí v prostředí Part Designu jako Pad, Pocket, Stiffener, Slot, případně Rib. Je dobré zmínit, že nejvíce používanou funkcí byla Sketch. Jedná se o funkci, která umožňuje tvorbu skici, kdy tato skica poté sloužila jako výchozí profil pro další operace zejména jako Pad, Pocked atd.



Obr. 33: Zhotovení kapsy a klipů na modelu

Po vymodelování potřebných drážek a klipů se přešlo k provedení finálních úprav modelu. Mezi tyto finální úpravy patří zejména vytvoření zkosení $1 \times 45^\circ$ po obvodu kapsy. Toto zkosení má za úkol vytvoření hladšího přechodu mezi kapsou a ostatními částmi modelu zrcátka. Zkosení se provedlo za pomoci funkce Chamfer. Jako další bylo zhotoveno zaoblení R5 na čelní ploše modelu zrcátka. Zaoblení se zhotovilo za pomoci funkce Edge Fillet. V neposlední řadě byly zhotoveny dvě díry na potřebných klipech zrcátka. Díry byly vytvořeny za pomoci funkce Hole a mají průměr 2,8 mm a hloubky 7 mm. Díry slouží k zajištění konzoly zrcátka za pomoci samořezných šroubů M4.



Obr. 34: Finální model zrcátka

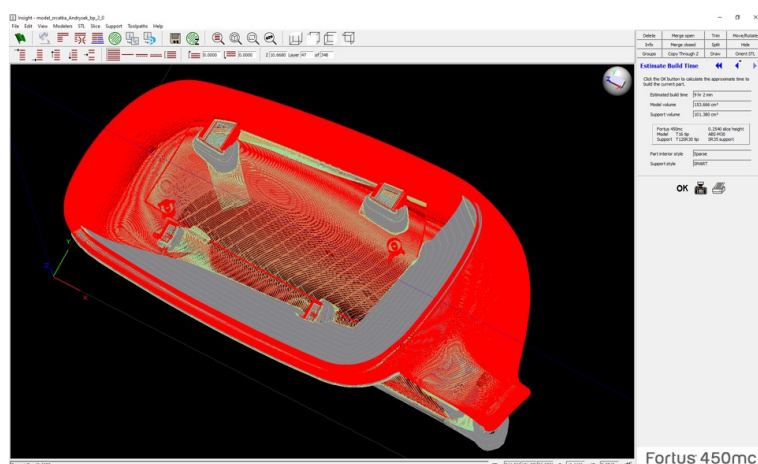
9 TISK DÍLU

Celý proces tisku lze rozdělit do několika dílčích kroků. Jako první je důležité zvolit požadovaný materiál a technologii tisku. Po zvážení několika faktorů, zejména ekonomických a technologických, byl vybrán modelovací materiál ABS a podpurný materiál SR30. Díl byl vytištěn metodou tisku FDM. Po zvolení materiálu a technologie následovala příprava tisku, poté samotný tisk a jako poslední byly provedeny finální úpravy na vytištěném dílu.

9.1 Příprava tisku

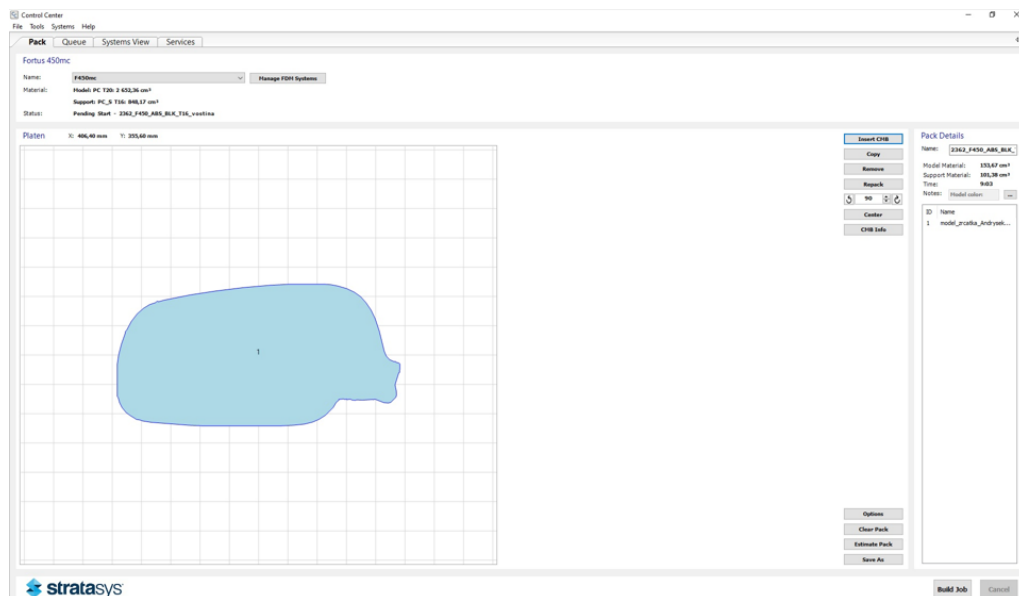
Před samotným tiskem bylo nutné provést několik úprav modelu. Jako první došlo k převedení souboru modelu do formátu STL, který je kompatibilní s programy určenými pro CAM operace. Pro úpravu a správné natočení modelu v tiskovém prostoru bylo možné využít různé dostupné softwary, zejména PrintWizard, Insight, případně Magics. Ve firmě Evektor, spol. s r.o., se standardně používá software Insight, a proto byl vybrán i pro přípravu tohoto konkrétního modelu.

V programu Insight byl model vložen do virtuálního prostoru 3D tiskárny, kde došlo k zarovnání do vhodné polohy a umístění na požadované místo. Po uložení této konfigurace bylo nutné nastavit tiskové parametry, např. tloušťku vrstvy 0,254 mm, využití podpor a spočítání doby tisku, což bylo 9 hodin a 10 minut. Díl byl navržen jako kombinace plných a dutých oblastí, obvodové stěny a funkčně namáhané části byly ponechány jako plné, zatímco ve vnitřních méně namáhaných oblastech byla použita voštinová výplň s hustotou 20 %. Využití voštiny ušetřilo zhruba 50 g materiálu. Celkově bylo k tisku potřeba 153,7 g modelovacího materiálu a 101,4 g podpurného materiálu.



Obr. 35: Nastavení modelu v programu Insight

Po nastavení všech potřebných parametrů v programu Insight byl model převeden do programu Control Centre, kde došlo k rozmístění modelu na ploše tiskárny. Po umístění modelu na tiskové ploše došlo k odeslání dat přímo do tiskárny.



Obr. 36: Nastavení modelu v programu tiskárny Control Center

9.2 Tisk

Před samotným tiskem je potřeba provést přípravu tiskárny. Jako první je potřeba tiskárnu vyčistit od předešlého materiálu a případných nečistot. Následně se do zásobníku tiskárny vloží požadované materiály, tedy modelovací materiál ABS a podpurný materiál SR30. Po vložení materiálů je potřeba do tiskové hlavy upevnit správné trysky pro konkrétní materiály. Pro materiál ABS se jedná o trysku s označením T16 a pro materiál SR30 je to tryska T12.

Tab. 1: Parametry materiálu ABS [47]

Modul pružnosti v tahu	2400 MPa
Pevnost v tahu	31 MPa
Modul pružnosti v ohybu	2200 MPa
Pevnost v ohybu	59 MPa
Poměrné prodloužení	7 %

Poté se vloží na pracovní stůl tiskárny podložka, která je pomocí vakua přisáta k pracovnímu stolu tiskárny. Je také velmi důležité provést kalibraci tiskárny. Kalibrace tiskárny spočívá

ve vytištění kalibračního obrazce, na kterém se ověří správnost nastavení tiskárny, případně se podle něj provedou korekce v nastavení. Po ujištění, že je tiskárna správně nastavená a zkalibrována se může přejít k samotnému procesu tisku. Celý proces tisku probíhá na tiskárně Stratasys Fortus 450mc.



Obr. 37: Tiskárna Stratasys Fortus 450mc

Tab. 2: Parametry tiskárny Stratasys Fortus 450mc [48]

Modelovací materiály	ABS-ESD7, ABS-M30, ABS-M30i, ASA, FDM Nylon 12, FDM Nylon 12CF, PC, PC-ABS, PC-ISO, ST-130, ULTEM™ 1010, ULTEM™ 9085
Podpůrné materiály	Rozpustné, odlamovací (PC-ISO, ULTEM™), rozpustný i odlamovací (PC)
Velikost stavebního prostoru	406 x 355 x 406 mm
Výška vrstvy	0,127; 0,178; 0,254; 0,330 mm
Přesnost tisku	$\pm 0,127$ mm nebo $\pm 0,0015$ mm na mm (v závislosti na geometrii dílu)
Velikost zařízení	1270 x 902 x 1943 mm
Hmotnost zařízení	680 kg

Po dokončení tisku a vyjmutí dílu zrcátka z tiskárny je zapotřebí odstranit podpory od hlavního dílu. Ručně se vylámou velké a hrubé podpory, a aby se dokonale odstranily jemnější a špatně přístupné podpory, byl díl zrcátka namočen do rozpustného koncentráту s označením P400SC, aby se podpory namočily a poté se vířivým proudem kapaliny očistila hůře dostupná místa. Po vytažení dílu z rozpustného koncentráту došlo ještě k mechanickému dočištění špatně dostupných míst. Na následujícím obrázku je možné vidět zcela vyčištěný díl, který je připraven na provedení finální úpravy povrchu.



Obr. 38: Očištěný díl

9.3 Povrchové úpravy

Protože se jedná o pohledový díl, je potřeba provést potřebné úpravy povrchu. Tento proces obsahuje jednotlivé dílčí kroky. Po dokončení 3D tisku bylo na povrchu součásti viditelné nežádoucí vrstvení. Pro dosažení hladkého povrchu bylo nutné jednotlivé vrstvy přebrousit smirkovým papírem. K ručnímu hrubému broušení byl použit smirkový papír s hrubostí 150. Poté došlo k namíchání směsi plniče, aby dokonale vyplnil krokování tisku a případně další nežádoucí rýhy na povrchu součásti. Namíchaná směs plniče obsahovala 102 g plniče, 13,5 g tužidla a 15 g ředidla. Poté došlo k odmaštění součásti pomocí technického líhu a nanesení směsi plniče na díl.



Obr. 39: Nanesení směsi plniče

Po nastříkání směsi plniče došlo k umístění dílu do vyhřívané trouby podobu 30 minut na 35 °C. Tento proces s nastříkáním směsi plniče se opakoval třikrát, dokud nedošlo k zaplnění téměř všech nedostatků na povrchu součásti.

Následně bylo provedeno broušení směsi plniče, také se smirkovým papírem o hrubosti 150. Po vybroušení plniče zůstaly na povrchu dílu pořád rýhy a pořád bylo patrné vrstvení po 3D tisku. Došlo tedy k nanesení karosářského tmelu. Po nanesení tmelu na požadovaná místa byl díl umístěn opět do trouby po dobu 30 minut na 35 °C, aby došlo k lepšímu vytvrzení tmelu.



Obr. 40: Díl s naneseným tmelem umístěný v troubě

Po vytvrzení tmelu následovalo vybroušení dílu smirkovým papírem o drsnosti 320. Po vybroušení tmelu se provedlo odmaštění pomocí technického líhu a následně proběhlo

nastříkání směsi plniče na vnější stranu dílu. Poté následovalo opět vložení dílu do trouby. Po vytažení dílu z trouby se provedlo nastříkání směsi plniče na vnitřní stranu dílu. Po dokonalém vytvrzení plniče bylo realizováno ruční broušení. Broušení bylo provedeno ve více krocích. Nejprve byl povrch součásti zbroušen smirkovým papírem o drsnosti 150. Následně byl zbroušen smirkovým papírem s označením superfine a jako poslední krok proběhlo doleštění povrchu smirkovým papírem s označením utrafine. Takto připravený díl se ještě odmastil technickým líhem a byl na něj nanesen první nástrík barvy.



Obr. 41: Nanesení barvy na díl

Nástrík matné černé barvy se provedl za pomoci spreje Motip Black Matt, konkrétně se jednalo o velmi kvalitní nitro-kombi lak. Celý nástrík barvy nebyl realizován napoprvé. Barva byla nanášena v jednotlivých vrstvách a mezi jednotlivými vrstvami se muselo čekat na zaschnutí předchozí nanesené vrstvy.



Obr. 42: Finální výrobek

10 SESTAVENÍ CELKU ZRCÁTKA

Pro skenování se využil kryt, který byl demontován z celku zrcátka. Z toho dílu se vycházelo při tvorbě modelu, a proto bylo vhodné po vytištění a povrchovém dokončení namontovat do vytvořeného dílu všechny potřebné součásti, aby se ukázalo, že díl je skutečně funkční a nejedná se pouze o estetický dílec.

Jako první byla do vytištěného krytu namontována konzole, která slouží pro namontování zbylých částí zrcátka. Konzole byla připevněna pomocí klipů na dílu a rovněž pomocí samořezných šroubů, které se zašroubovaly do zhotoveného krytu zrcátka. Dále byl na konzolu připevněn spodní kryt, který slouží pro zakrytí vnitřních částí zrcátka. Tento kryt byl také připevněn pomocí šroubů a byl stejně tak „zavaknut“ do požadovaných klipů na hlavní konzole. Následně byl instalován lem, který byl „nacvaknut“ do základní konzoly. Tento lem se využívá zejména pro zakrytí vnitřních částí zrcátka. Poté byla připevněná elektrická konzole, která byla uchycena pomocí šroubů do základní konzoly. Ta slouží pro naklápění a vyhřívání zrcátka. Následně byl na vytištěný díl přichycen stojan zrcátka, který slouží pro namontování zrcátka k automobilu. Tento stojan zrcátka byl provlečen bočním otvorem na vytisknutém krytu, k jeho uchycení byla rovněž použita pružina pro možné sklopení zrcátka. Tato pružina byla stáhnuta jistící podložkou. Jako poslední přišlo na elektrickou konzoli samotné sklo, které muselo být přesně „zavaknuté“ do protikusů na elektrické konzole.



Obr. 43: Zkompleťované zrcátko

11 ZHODNOCENÍ VÝROBY

Kryt zpětného zrcátka automobilu byl vyroben pomocí 3D tisku, konkrétně technologií FDM. Tato technologie byla zvolena proto, že se jednalo pouze o výrobu jednoho prototypového kusu a z hlediska ekonomického a technologického vycházela nejlépe. Mohla by se ještě zvážit technologie vstřikování polymerů, nicméně tato technologie je poměrně složitá a výroba touto technologií by připadala v úvahu pouze při výrobě velkého množství kusů. Protože se jedná o poměrně složitý a tvarově hodně členitý díl, tak i samotná vstřikovací forma by byla hodně finančně náročná. Další výrobní technologie, která by stála za zvážení, je technologie vakuového lití. Ovšem tato technologie vyžaduje silikonovou formu a je vhodná pro výrobu menších sérií dílů, nikoli jenom pro jeden díl.

Co se týče časové náročnosti přípravy a samotné výroby tištěného dílu, ta by se dala rozdělit do několika fází. Jako první se provedlo skenování dílu, které zabralo zhruba jednu hodinu. Poté následovala již časově náročnější část, a sice zhotovení kompletního 3D modelu krytu zrcátka v programu Catia V5. Tato část zabrala zhruba 40 hodin, nutno ovšem podotknout, že zkušený konstruktér by tento úkol byl schopen provést za zlomek času. Po vymodelování dílu následovala příprava tisku. Tento úkon zabral zhruba dvě hodiny, při nichž se nastavoval díl v obslužném programu tiskárny a dále se provedla příprava samotné tiskárny.

Po přípravě tisku nastal samotný tisk, který trval zhruba 9 hodin. Po vyjmutí dílu z tiskárny následovalo mechanické odstranění dobře přístupných podpor. Špatně přístupné podpory se musely postupně vymývat v rozpustném koncentrátu. Tento proces trval cca tři hodiny.

Jakmile se postupně odstranily všechny podpory, provedlo se zkušební namontování všech částí zrcátka, aby se ověřilo, že daný vytištěný díl tvarově sedí. Ovšem ne všechny části „seděly“ přesně, tudíž bylo potřeba některé části mírně připilovat a trochu upravit. Proces zkušebního sestavení zabral téměř tři hodiny.

Když bylo ověřeno, že do vytištěného dílu správně zapadají zbývající součásti, mohlo se přejít k povrchovým a finálním úpravám. Jak již bylo v práci zmíněno, tyto úpravy zahrnovaly broušení dílu, následné nanesení tmelu a plniče, na závěr rovněž došlo k nalakování dílu do černé matné barvy. Proces provádění povrchových a finálních úprav zabral 15 hodin.

Na závěr došlo ke konečnému sestavení celku zpětného zrcátka automobilu, do vytištěného a povrchově upraveného dílu se namontovaly všechny potřebné části. Tento krok trval jednu hodinu.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala výrobou prototypu krytu zpětného zrcátka automobilu s využitím technologií 3D tisku. V teoretické části jsou zmíněny jednotlivé metody a materiály, které využívají technologie 3D tisku. Praktická část bakalářské práce se zabývá výrobou krytu zpětného zrcátka automobilu, od návrhu 3D modelu, přes umístění v tiskárně, až po tisk a finální úpravu povrchu.

Technologie FDM tisku pracuje s daty vytvořeného 3D modelu. Tento model byl zhotoven v programu Catia V5, přičemž se vycházelo z naskenované součásti. Pro výrobu krytu byl zvolen materiál ABS, který se běžně využívá pro výrobu těchto dílů.

FDM technologie byla vybrána s ohledem na její dostupnost a univerzální použití. Díky velké škále materiálů je tato technologie schopna dosáhnout vysoké pevnosti výtisku. Lze tisknout i z kompozitních nebo velmi odolných materiálů, které je možné využívat i v letectví. Pro tisk krytu zpětného zrcátka automobilu byl však použit materiál ABS, který představuje cenově dostupnou variantu a svými vlastnostmi plně vyhovuje požadavkům na výrobu a funkci.

Po dokončení tisku byly na vytištěném díle provedeny konečné povrchové úpravy, které zahrnovaly několik kroků pro dosažení požadovaného vzhledu.

Při sériové výrobě by bylo lepší využít technologii vakuového lití, případně technologii vstřikování polymerů. Vakuové lití by bylo výhodné při malých výrobních sériích a vstřikování polymeru je zejména kvůli finanční náročnosti spíše vhodné pro velké série výrobků.

Všechny stanovené cíle bakalářské práce se podařilo úspěšně naplnit. V rámci praktické části došlo i k namontování jednotlivých komponentů do krytu zrcátka a vznikl tak plnohodnotný celek vnějšího zpětného zrcátka automobilu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Additive manufacturing technologies : 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Online. 2. Springer, 2015. Dostupné z: https://research.ebsco.com/c/ubdjpj/ebook-viewer/pdf/dya23xdihz/page/pp_1?location=https%25253A%25252F%25252Fresearch.ebsco.com%25252F%25252Fubdjpj%25252Fsearch%25252Fdetails%25252F%25252F%25253Fdb%25253Dnlebk. [cit. 2025-05-06].
- [2] *The Free Beginner's Guide/History of 3D printing*. Online. In: [Www.3dprintingindustry.com](http://www.3dprintingindustry.com). 2014. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#02-history>. [cit. 2024-12-03].
- [3] *Historie 3D tisku*. Online. In: [Www.3dtisk.vujo.cz](http://www.3dtisk.vujo.cz). 2015. Dostupné z: <https://3dtisk.vujo.cz/historie-3d-tisku/>. [cit. 2024-12-03].
- [4] *Nekonvenční metody obrábění 9. díl*. Online. In: [Www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com). 2008. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obraben-9-dil>. [cit. 2024-12-03].
- [5] Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping. Online. *TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI*. 2012, roč. 2012, č. 1, s. 71. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/P%C5%99ehled%20technik%20vyu%C5%BE%C3%ADvan%C3%BDch%20p%C5%99i%20Rapid%20Prototyping.pdf. [cit. 2024-12-03].
- [6] Rapid Prototyping Technologies. Online. *College of Optical Sciences, University of Arizona*. 2016, roč. 2016, č. 521, s. 10. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://wp.optics.arizona.edu/optomech/wp-content/uploads/sites/53/2016/10/521-Tutorial_WeiRen.pdf. [cit. 2024-12-03].
- [7] *FFF vs. FDM: In-Detail Comparison of Both 3D Printing Technologies Source*: <https://43dprint.org/fff-vs-fdm>. Online. In: [Www.43dprint.org](http://www.43dprint.org). 2023. Dostupné z: <https://43dprint.org/fff-vs-fdm/>. [cit. 2024-12-03].
- [8] *Technologie tisku a RepRap*. Online. In: [Courses.fit.cvut.cz](http://courses.fit.cvut.cz). 2015. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/tutorials/reprap.html>. [cit. 2024-12-10].
- [9] *Nekonvenční metody obrábění 10. díl*. Online. In: [Www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com). 2008. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obraben-10-dil>. [cit. 2024-12-11].
- [10] *Fused Deposition Modeling (FDM)*. Online. In: [Www.custompartnet.com](http://www.custompartnet.com). 2008. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>. [cit. 2024-12-11].
- [11] *99p Labs is Growing in Production While Cutting Production Costs with FDM Nylon-12CF*. Online. In: [Www.stratasys.com](http://www.stratasys.com). 2023. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/resources/case-studies/99p-labs-metal-forming-tool/>. [cit. 2024-12-10].
- [12] VÁVRA, Petr. *Rapid Prototyping*. Kunovice, 2010.
- [13] *Laminated Object Manufacturing (LOM)*. Online. In: [Www.custompartnet.com](http://www.custompartnet.com). 2008. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>. [cit. 2024-12-12].
- [14] *Laminated Object Manufacturing: Creating Strength With Layers*. Online. In: [Www.wevolver.com](http://www.wevolver.com). 2021. Dostupné z:

- <https://www.wevolver.com/article/laminated-object-manufacturing>. [cit. 2024-12-12].
- [15] *Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing*. Online. In: [Www.formlabs.com](http://www.formlabs.com). 2018. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>. [cit. 2025-02-02].
- [16] *Druhy technologií 3D tisku*. Online. In: [Http://svet-3d.cz/](http://svet-3d.cz/). 2014. Dostupné z: <http://svet-3d.cz/druhy-technologie.html>. [cit. 2025-02-02].
- [17] *Solid Ground Curing: An Introduction*. Online. In: [Www.manufacturingguide.com](http://www.manufacturingguide.com). 2000. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/solid-ground-curing-sgc>. [cit. 2025-02-02].
- [18] *The History Of Additive Manufacturing: From The 1980s to Today*. Online. In: [Www.protoluk.com](http://www.protoluk.com). 2022. Dostupné z: <https://protoluk.com/blog/history-of-additive-manufacturing/>. [cit. 2025-02-03].
- [19] *Solid Ground Curing, SGC*. Online. In: [Www.manufacturingguide.com](http://www.manufacturingguide.com). 2015. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/solid-ground-curing-sgc>. [cit. 2025-02-02].
- [20] *Solid Ground Curing*. Online. In: [Www.methodist.edu](http://www.methodist.edu). 2008. Dostupné z: <https://methodist.edu.in/web/uploads/files/Solid%20Ground%20Curing%20final.ppt>. [cit. 2025-02-02].
- [21] *A Review on Selective Laser Sintering: A Rapid Prototyping Technology*. Online. In: [Www.diva-portal.org](http://www.diva-portal.org). 2016. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/Conf15008/Vol-4/53-57.pdf>. [cit. 2025-02-02].
- [22] *Scale factor and shrinkage in additive manufacturing using binder jetting*. Online. In: [Www.diva-portal.org](http://www.diva-portal.org). 2016. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:950841/FULLTEXT01.pdf>. [cit. 2025-02-02].
- [23] *A review of laser engineered net shaping (LENS) build and process parameters of metallic parts*. Online. In: [Www.emerald.com](http://www.emerald.com). 2020. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/rpj-04-2018-0088/full/html>. [cit. 2025-02-03].
- [24] *LENS Directed Energy Deposition (DED) 3D Printed Metal Technology*. Online. In: [Www.optomec.com](http://www.optomec.com). 2022. Dostupné z: <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-technology/>. [cit. 2025-02-03].
- [25] *Rapid Prototyping: From Concept to Physical Product*. Online. In: [Www.scan2cad.com](http://www.scan2cad.com). 2023. Dostupné z: <https://www.scan2cad.com/blog/cad/rapid-prototyping/>. [cit. 2025-02-03].
- [26] *ASA*. Online. In: [Www.help.prusa3d.com](http://www.help.prusa3d.com). 2025. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/asa_1809. [cit. 2025-02-04].
- [27] *All About PET 3D Printing Filament*. Online. In: [Www.xometry.com](http://www.xometry.com). 2022. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/pet-3d-printing-filament/>. [cit. 2025-02-04].
- [28] *All You Need to Know About Nylon for 3D printing*. Online. In: [Www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com). 2023. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/nylon-3d-printing-guide-120320204/>. [cit. 2025-02-04].

- [29] *Polypropylene*. Online. In: [Www.simplify3d.com](http://www.simplify3d.com). 2018. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/polypropylene/>. [cit. 2025-02-04].
- [30] *All You Need to Know About PLA for 3D Printing*. Online. In: [Www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com). 2023. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/pla-3d-printing-guide-190820194/>. [cit. 2025-02-04].
- [31] *PVA*. Online. In: [Www.simplify3d.com](http://www.simplify3d.com). 2018. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/pva/>. [cit. 2025-02-04].
- [32] *All You Need to Know About Polycarbonate (PC) for 3D Printing*. Online. In: [Www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com). 2023. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/polycarbonate-pc-for-3d-printing-110220204/>. [cit. 2025-02-04].
- [33] *Alumide*. Online. In: [Www.i.materialise.com](http://www.i.materialise.com). 2023. Dostupné z: <https://i.materialise.com/en/3d-printing-materials/alumide>. [cit. 2025-02-04].
- [34] *3D tisk SLA*. Online. In: [Www.3dtisk.pro](http://www.3dtisk.pro). 2020. Dostupné z: <https://3dtisk.pro/3d-tisk-sla/>. [cit. 2025-02-04].
- [35] *A Closer Look at 3D Printing Materials: Metals*. Online. In: [Www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com). 2020. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-metals110420174/>. [cit. 2025-02-04].
- [36] *MetraSCAN 3D BLACK*. Online. In: [Www.3d-skenovani.cz](http://www.3d-skenovani.cz). 2022. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/skenery/prenosne-3d-skenery/metrascan-3d-black/>. [cit. 2025-02-06].
- [37] *FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) DESIGN GUIDELINES*. Online. In: [Www.stratasys.com](http://www.stratasys.com). 2015. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.stratasys.com/siteassets/sdm/resources/design-guidelines/fdm/fdm_design_guidelines_2017-1.pdf. [cit. 2025-02-06].
- [38] *Topologická optimalizace a generativní design*. Online. In: [Www.one3d.cz](http://www.one3d.cz). 2021. Dostupné z: <https://www.one3d.cz/blog-topologicka-optimalizace/>. [cit. 2025-02-06].
- [39] *Co je Topologická optimalizace?* Online. In: [Www.plasticportal.cz](http://www.plasticportal.cz). 2020. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/clanky/stepanek3d-co-je-topologicka-optimalizace>. [cit. 2025-02-06].
- [40] *A Guide To Selecting the Right 3D Printing process*. Online. In: [Www.imaginarium.io](http://www.imaginarium.io). 2021. Dostupné z: <https://imaginarium.io/a-guide-to-selecting-the-right-3d-printing-process/>. [cit. 2025-02-07].
- [41] *Basics of 3D printing with Josef Prusa*. Online. 3. Prusa Research, 2014. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou-490/>. [cit. 2025-02-09].
- [42] *Vysoce kvalitní dodatečné úpravy výtisků*. Online. In: [Www.admasys.cz](http://www.admasys.cz). 2025. Dostupné z: <https://admasys.cz/produkty/post-processing/addiblast/>. [cit. 2025-02-09].
- [43] *NIKON MCAX30+*. Online. In: [Www.machinetools.com](http://www.machinetools.com). 2020. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/models/nikon-mcax30-plus>. [cit. 2025-03-23].
- [44] *Portable precision, detail & productivity*. Online. In: [Www.industry.nikon.com](http://www.industry.nikon.com). 2020. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://industry.nikon.com/en->

- [gb//wp-content/uploads/sites/6/2021/12/mcaxs-modelmaker-h120-en.pdf](#). [cit. 2025-05-02].
- [45] *PolyWorks – Products Overview*. Online. In: [Www.innovmetric.com](#). 2020. Dostupné z: <https://www.innovmetric.com/products/products-overview>. [cit. 2025-05-01].
- [46] *DASSAULT SYSTEMES. CATIA V5*. Online. In: [Www.3ds.com](#). 2015. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products/catia/catia-v5>. [cit. 2025-03-25].
- [47] *ABS-M30*. Online. In: [Www.stratasys.com](#). 2021. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/abs-m30/mds_fdm_abs-m30_0921a.pdf. [cit. 2025-05-04].
- [48] *Fortus 450mc*. Online. In: [Www.mcae.cz](#). 2021. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/produkty/fortus-450mc/>. [cit. 2025-05-04].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: První 3D tiskárna, kterou vyrobil Charles Hull [3].....	14
Obr. 2: Princip nanášení vrstev u FFF tisku [8]	17
Obr. 3: Princip FFF tisku [10]	18
Obr. 4: 3D tištěný tvářecí nástroj [11]	20
Obr. 5: Ukázka vytištěných výrobků firmy Evektor [12]	20
Obr. 6: Princip metody LOM [13]	21
Obr. 7: Princip metody SLA [16]	23
Obr. 8: Princip metody SGC [19]	25
Obr. 9: Princip metody SLS [22]	27
Obr. 10: Princip metody LENS [25]	28
Obr. 11: Scanování součásti [36].....	36
Obr. 12: Volba tloušťky stěny [37].....	37
Obr. 13: Použití „Dog point“ hlavy [37].....	37
Obr. 14: Vhodná volba zaoblení [37].....	38
Obr. 15: Princip topologické optimalizace [39]	38
Obr. 16: Ovlivnění kvality a rychlosti tisku výškou vrstvy [41]	40
Obr. 17: Organické podpory modelu [41]	40
Obr. 18: Význam postprocessingu [41].....	41
Obr. 19: Význam použití acetonových výparů [41].....	42
Obr. 20: Celek zpětného zrcátka automobilu	45
Obr. 21: Průběh demontáže	46
Obr. 22: Demontovaný vnější kryt zrcátka automobilu	46
Obr. 23: Skener Nikon MCAX30+ [44]	47
Obr. 24: Nanesení antireflexní vrstvy	48
Obr. 25: První upnutí	48
Obr. 26: Druhé upnutí	49
Obr. 27: Skenování součásti	49
Obr. 28: Výstup skenování	50
Obr. 29: Problémové místa skenu.....	52
Obr. 30: Skořepina zrcátka	52
Obr. 31: Plně uzavřený tvar	53
Obr. 32: Převedení modelu na objemové těleso	53
Obr. 33: Zhotovení kapsy a klipů na modelu	54
Obr. 34: Finální model zrcátka	54

Obr. 35: Nastavení modelu v programu Insight.....	55
Obr. 36: Nastavení modelu v programu tiskárny Control Center	56
Obr. 37: Tiskárna Stratasys Fortus 450mc	57
Obr. 38: Očištěný díl	58
Obr. 39: Nanesení směsi plniče.....	59
Obr. 40: Díl s naneseným tmelem umístěný v troubě	59
Obr. 41: Nanesení barvy na díl	60
Obr. 42: Finální výrobek	60
Obr. 43: Zkompletované zrcátko.....	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Parametry materiálu ABS [47]	56
Tab. 2: Parametry tiskárny Stratasys Fortus 450mc [48].....	57

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
ABS	Akrylonitril–butadien–styren
ASA	Akrylonitril–styren–akrylát
CAE	Computer Aided Engineering (počítačem podporované inženýrství)
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované konstruování)
cm ³	Centimetr krychlový
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízené obrábění)
DLP	Digital Light Processing (digitální zpracování světla)
FDM	Fused Deposition Modeling (metoda tavení a nanášení materiálu)
FFF	Fused Filament Fabrication (obdoba FDM)
g	Gram
kg	Kilogram
LENS	Laser Engineered Net Shaping (tvarování síťové struktury laserem)
LOM	Laminated Object Manufacturing (výroba laminací objektů)
m	Metr
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
NC	Numerical Control (číselně řízené stroje)
PA 66	Polyamid 66
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
PET-G	PET modifikovaný glykoly
PLA	Kyselina polymléčná
PLM	Product Lifecycle Management (řízení životního cyklu výrobku)
PP	Polypropylen

PVA	Polyvinylalkohol
RP	Rapid Prototyping (rychlé prototypování)
SGC	Solid Ground Curing (3D tisk za pomoci fotopolymerizace)
SLA	Stereolithography (stereolitografie)
ST-130	Rozpustný kompozitní materiál od firmy Stratasys
STL	STereoLithography (soubory pro 3D tisk)
SLS	Selective Laser Sintering (selektivní laserové sintrování)
ULTEM	Polyetherimid
UV	Ultrafialové záření
°C	Stupně Celsia

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Model krytu zpětného zrcátka automobilu