

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití technologie aditivní výroby v průmyslové praxi

Autor: **Lukáš Mejtl**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mejtil	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Edl, Ph.D.	Jméno Milan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Využití technologie aditivní výroby v průmyslové praxi		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	49	TEXTOVÁ ČÁST	45	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce představuje stručnou historii, technologický postup výroby a souhrn dostupných technologií aditivní výroby. Dále nastiňuje možnosti, kam technologie aditivní výroby směřuje. V praktické části poukazuje na problematiku vytvoření jednoho konkrétního objektu, kterým je zjednodušený model planetové převodovky vytištěný na 3D tiskárně.
KLÍČOVÁ SLOVA	aditivní výroba, 3D tisk, technologie výroby, 3D skenování, rozdělení technologií, technologický postup výroby, báze kapaliny, báze pevné látky, báze prášků, použití 3D tisku

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Mejtil	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	B2301 „Industrial Engineering and Management”		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Edl, Ph.D.	Name Milan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Use of additive manufacturing technology in industrial practice.		

FAKULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN.	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	----------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	49	TEXT PART	45	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis presents brief history, technological process of production and summary of available technologies of additive production. Then it outlines the possibilities where the technology of additive production is directed. In the practical part, it points to the problem of creating one specific object, which is a simplified model of the planetary gearbox, printed on a 3D printer.</p>
KEY WORDS	<p>Additive Production, 3D Printing, Production Technology, 3D Scanning, Technology Division, Production Process, Liquid Base, Solids Base, Powder Base,</p>

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Edlovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Polcarovi za rady a podporu při vypracování.

Obsah

Úvod	1
TEORETICKÁ ČÁST.....	2
1 Aditivní výroba.....	2
1.1 Historie aditivní výroby	2
1.2 Současnost.....	4
2 Technologie aditivní výroby.....	5
2.1 Technologický postup.....	5
2.1.1 Základní aspekty aditivní výroby	5
2.1.2 Obecný aditivní proces	7
2.2 Rozdělení technologií aditivní výroby	9
2.2.1 Technologie na bázi kapaliny	9
2.2.2 Technologie na bázi prášků	12
2.2.3 Technologie na bázi pevných částic.....	16
2.3 Technologie pro odstranění podpurných konstrukcí.....	19
2.3.1 Breakaway Support Technology (BST).....	19
2.3.2 Soluble Support Technology (SST)	19
2.3.3 Water Jet.....	19
2.4 STL formát dat.....	20
2.4.1 Problémy s formátem STL.....	21
2.5 Technologie 3D skenování	21
2.5.1 Oblasti využití 3D skenování	21
2.5.2 Základní přehled metod 3D skenování	22
3 Použití 3D tisku	24
3.1 Funkční součástky.....	24
3.1.1 Projekt RepRap	24
3.2 Plnobarevný tisk.....	25
3.3 Extrémně detailní tisk	25
3.4 Výroba forem pro odlévání.....	26
3.5 Tisk z kovů.....	26
3.6 Zdravotnictví: dentální a lékařské aplikace	27
3.7 Formy pro lisování plastů s konformním chlazením	27
4 Trendy aditivní výroby	28
PRAKTICKÁ ČÁST	30
5 Zkušební tisk vybrané součásti.....	30
5.1 Krok 1: Tvorba modelu v CAD systému Autodesk Inventor	30
5.2 Krok 2: Vygenerování formátu STL.....	30
5.2.1 Kontrola celistvosti sítě.....	30
5.3 Krok 3: Import souboru ve formátu STL do zařízení	31
5.3.1 Rozvržení objektů na stavěcí desce.....	31
5.3.2 Teoretická kontrola jednotlivých vrstev objektu	32
5.3.3 Vygenerování G-kódu pro 3D tiskárnu.....	32
5.4 Krok 4: Nastavení stroje	33
5.4.1 Příprava polyetherimidové (PEI) tiskové plochy.....	33

5.4.2	<i>Kalibrace souřadnic XYZ</i>	33
5.4.3	<i>Zavedení filamentu do tiskové hlavy</i>	34
5.4.4	<i>Nastavení první vrstvy</i>	34
5.5	Krok 5: Stavba	35
5.6	Krok 6: Odstranění.....	35
5.7	Krok 7: Následné zpracování.....	36
5.8	Krok 8: Aplikace.....	36
6	Závěr	37
	Seznam obrázků	38
	Použitý software	39
	Knižní publikace	39
	Internetové publikace	39

Úvod

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bakalářské práce bude vytvořen podrobný přehled technologie aditivní výroby. Souhrn bude obsahovat poměrně stručnou historii, vzhledem ke konvenční technologii obrábění a technologii formování materiálu. Následující kapitola představuje kompletní technologický postup, s cílem podrobně představit technologii. Dále se v práci rozdělí technologie aditivní výroby na základě používané báze materiálu. Dojde ke členění a rozepsání konkrétních metod. Dalším bodem bakalářské práce je znázornit příklady použití pomocí obrázků. Teoretickou část práce zakončí trendy aditivní výroby, nebo-li pokus o zachycení budoucího využití aditivní výroby.

Praktická část práce provede čtenáře celým technologickým procesem výroby jednoho konkrétního objektu. Objektem je záměrně vybrán model planetové převodovky, pro vyzdvihnutí kompaktnosti technologie.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Aditivní výroba

Aditivní výroba (3D print, additive manufacturing) je proces, při kterém vzniká 3D objekt tak, že nanáší materiál po vrstvách a tím vytváří výsledný produkt. Na rozdíl od konvenční výroby nevzniká v aditivní výrobě žádný odpad. Tento proces je podobný klasickému 2D tisku na inkoustových nebo laserových tiskárnách s tím rozdílem, že dokáže tisknout prostorové objekty.

Aditivní výroba (AV) se využívá v široké řadě aplikací, která se stále rozrůstá. Nejvíce jí bylo používáno pro tzv. „Rapid prototyping“, což je čistě pouze výroba prototypů pomocí 3D tisku. Výsledné modely jsou většinou nevhodné k použití v praxi a slouží spíše k představě o vzhledu a zástavbě do stroje či k produkci součástí nebo výrobků vystavených jen menšímu zatížení. Dříve byl používán termín Rapid prototyping jakýmsi synonymem pro aditivní výrobu, ale časem se ukázalo, že aditivní výroba má daleko širší možnosti za rámec tvorby prototypů, proto se postupem času přešlo na mnohem obecnější termín aditivní výroba [1].

1.1 Historie aditivní výroby

Jako vznik AV lze pokládat vytvoření první inkoustové tiskárny v roce 1976. V roce 1984 byl koncept úpravami a vylepšeními upraven pro tisk s jinými materiály než pouze inkoustem. První funkční zařízení pro 3D tisk bylo vytvořeno v roce 1984 Charlesem W. Hullem, pozdějším zakladatelem 3D Systems. Charles W. Hull vytvořil tzv. stereolitografický aparát SLA-1. Stereolitografie spočívá v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého fotopolymery, tato technologie je běžně označována jako SLA a používá se dodnes. V té době se tomuto zařízení ještě neříkalo 3D tiskárna, nicméně modely SLA se také staly základem vývoje dnešních 3D tiskáren či CNC strojů [1].

Dlouhou dobu si na trhu v oblasti 3D tisku držela vedoucí postavení firma 3D Systems, ve které působil i Charles Hull. Například v roce 1996 prodala více než 600 přístrojů SLA téměř po celém světě. S nástupem konkurence však začaly vznikat i nové moderní technologie. Jedná se například o modelování depozicí taveniny, jinak označované také jako FDM (Fused Deposition Modeling), technologie FDM je blíže popsána v podkapitole 2.2.3.2 v práci [6].

Podle statistik uvedených ve zprávě z roku 2013 firmy COMTES FHT sponzorovanou Evropskou unií vyplývá, že trh aditivních technologií obsahující všechny produkty a služby na celém světě sice v roce 2009 klesl o 9,8% v důsledku hospodářské krize, ale poté vzrostl o 24,1% (1,325 miliardy dolarů) v roce 2010 a v roce 2011 o 29,4% (tedy o 1,714 miliardy dolarů). Celkově tedy průmysl aditivní výroby vzrostl dvouciferně za 15 let od vzniku technologie. Odhadovalo se, že 26,3% všech průmyslových aditivních modelových zařízení se vyvíjelo v Asii, 29,1% v Evropě a 40,2% v Severní Americe. Zbytek 4,4% se nacházel ve zbytku světa (střední a jižní Amerika, blízký východ a Afrika)[1].

V následujícím textu jsou vyznačeny hlavní milníky technologie AV.

- **1984** Vznik 3D tisku, vytvoření prvního funkčního zařízení na principu stereolitografie (SLA).
- **1992** Společnost 3D Systems vyrábí první AV zařízení. Zařízení pracuje s fotopolymery vytvrzované UV laserem. Ačkoliv výsledné objekty nejsou dokonalé, zařízení dokáže vyrábět složité tvary v krátké době.
- **1999** První transplantace orgánu (močového měchýře), při které byla využita AV.

- **2000** Vědci dokázali vyrobit miniaturní ledvinu, která byla schopná filtrovat krev a produkovat moč ve zvířeti.
- **2005** Dr. Adrian Bowyer z univerzity v Bath založil RepRap – open source projekt aditivního zařízení, který má za cíl replikovat samo sebe vytvořením většiny použitých součástí. Vize tohoto projektu je levná distribuce RepRap zařízeních komukoliv kamkoliv.
- **2006** První zařízení na principu Selective laser sintering (SLS).
- **2006** Bylo vytvořeno aditivní modelové zařízení, které bylo schopné pracovat s více materiály zároveň, tj. vyrobená součást může být tvořena z materiálů o různých vlastnostech a hustotách.
- **2008** První samo replikující se aditivní zařízení. Výsledek aktivit projektu RepRap, který umožnil uživatelům, kteří už vlastnili aditivní zařízení vyrobit další.
- **2008** První osoba používá protézu nohy kompletně vyrobenou pomocí aditivního zařízení.
- **2011** Inženýři z univerzity v Southamptonu navrhli a vyrobili první letadlo vyrobené pomocí AV.
- **2011** První automobil, kde byla ve větší míře použita aditivní výroba. Jednalo se o lehké vozidlo se třemi koly ve tvaru slzy, které váží cca 500 kg. Motor, šasi a kola jsou vyrobené z tradičních materiálů, ale většina automobilu byla vytvořena vrstva po vrstvě z plastu ABS.
- **2011** Tisk ze zlata a stříbra. Společnost i.materialise začala nabízet jako první možnost tisku ze zlata a stříbra. Pravděpodobně se tím otevírají nové možnosti v oblasti šperkařství.
- **2012** Použití aditivní technologie k vytvoření kosti spodní čelisti a implantování pacientovi.
- **2013** O 3D tisku se začíná mluvit jako o symbolu třetí průmyslové revoluce [6].
- **2014** Vyvinuta 3D „tiskárna“ do kapsy. Prvním 3D perem můžou být realizované myšlenky do 3D objektu kdekoliv a kdykoliv.
- **2014 – současnost** Od roku 2014 do dnes se každým okamžikem aditivní výroba posouvá kupředu a nelze tedy specifikovat zásadní objevy jednotlivých let.

1.2 Současnost

V automobilovém průmyslu se prototypují veškeré plastové součásti interiéru (stínítka, součásti palubní desky, volantů a dveří atd.) Pomocí aditivní výroby lze vyrobit prototyp součástky, kterou může vývojový technik ověřit z hlediska požadovaných vlastností a potvrdit si účinnost sledované technologie (např. součástky do motorů aut). Tímto způsobem lze samozřejmě vyrobit minimalistické součástky, složité na výrobu, v minimálních nákladech. Další expandující oblastí je např. výroba komponentů používaných v kolejové dopravě. V architektuře a stavebnictví se 3D tiskárny již běžně užívají k tisku modelů staveb. 3D tiskárny ovšem existují i ve velkém měřítku a architekti, tak dokážou vytisknout prefabrikované části (tvárnice), ze kterých poté mohou postavit budovu. V oblasti medicíny prožívá aditivní výroba také převratný vývoj. Dnes už je možnost vytisknout speciální protézy i zubní implantáty. 3D skener ve spolupráci s 3D tiskárnou umožňuje vytisknout odpovídající náhradu pro konkrétního člověka, a to na míru a s velmi vysokou přesností. V současnosti se experimentuje i s tiskem kmenových buněk [2].

V současné době používají technologii aditivní výroby i v kosmonautice a leteckém průmyslu. V těchto odvětvích jsou více než kde jinde kladeny vysoké nároky na spolehlivost, proto musí být použité komponenty opravdu velice kvalitní. Z toho je patrné, že aditivní výroba je opravdu revoluční technologií. V leteckém průmyslu došlo díky rozmachu 3D tisku k výrazným úsporám.

To je důkazem toho, že při použití 3D tisku došlo k zásadnímu vývoji a ani do budoucna se při jeho šíření zřejmě nemáme čeho obávat. Vědci na Northwesternské univerzitě prokázali, že součástky do letadla, které vyrobí na 3D tiskárně, mohou při zachování vysokých nároků na jejich kvalitu snížit celkovou hmotnost až o 7%. Díky využití AV se sníží i negativní dopad výroby na životní prostředí, jelikož se uspoří značná část odpadu, kterou jinak představuje hliník, titan nebo např. nikl. Pro představu, aby mohla být vyrobena jedna součástka o hmotnosti jednoho kilogramu, muselo by se použít až deset kilogramů surového materiálu, který se postupně opracováváním odebírá a díky tomu vzniká odpad. Revoluce této technologie nespočívá pouze v dopadu na životní prostředí, ale také má významný vliv na ekonomický dopad, jak při samotné výrobě, tak v následné redukci hmotnosti systémů a tím navýšení přepravní kapacity a snížení provozních nákladů. V současné době tedy spolupracuje například firma Airbus s nyní největším výrobcem 3D tiskáren ve světě, a to se společností Stratasys [1].

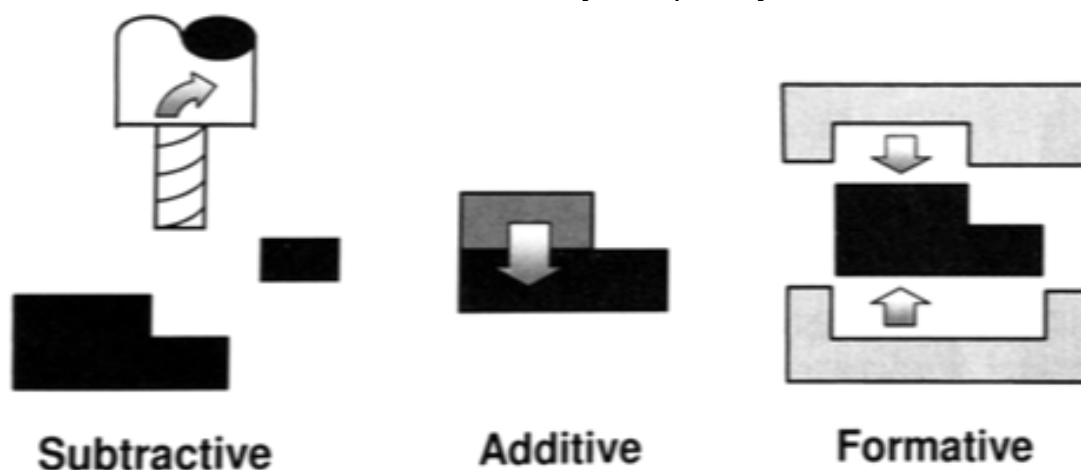
2 Technologie aditivní výroby

2.1 Technologický postup

Technologie 3D tisku se stále rozvíjí a vylepšuje. Téměř každý měsíc se můžeme setkat s novými poznatky, které posouvají 3D tisk na špičku technických vymožeností této doby. Konkurence na trhu výrobků a služeb tedy v současných tržních podmínkách stále roste. Pro podniky je stále důležitější dostat se na trh se svým produktem při zachování nákladové efektivity dříve než konkurence a nabídnout ideální produkt, přípravek či obal podle nároků zákazníka, trhu nebo společnosti

Existují tři základní výrobní procesy, které jsou znázorněny na Obrázku 1. Při obrábění nebo-li subtraktivním procesu (z anglického subtractive) je na začátku procesu určité množství materiálu, který je postupně odstraňován, až vznikne požadovaný objekt. Zatímco u aditivních procesů (z anglického additive) dochází k postupnému vrstvení nebo-li k přidávání materiálu do té doby, kdy je dosaženo požadovaného objektu. Posledním procesem je proces formativní (z anglického formative), kdy je materiál dán např. do předem připravené formy a působením tlaku vznikne objekt požadovaného tvaru [3].

Obrázek 1: Základní výrobní procesy



Zdroj: Chua & Leong, 2015, str. 19

2.1.1 Základní aspekty aditivní výroby

Navzdory tomu, že se dnes technologie v různých ohledech liší, tak základní aspekty, ze kterých plynou a proces vývoje aditivní metody jsou stejné. V následujících oddílech jsou popsány čtyři základní aspekty každé aditivní výroby - input (vstup), method (metoda), material (materiál), application (využití) [3].

2.1.1.1 Vstup

K vytvoření součásti na 3D tiskárně je potřeba tří různých základních softwarů. První software vytváří 3D model ve virtuální podobě. Nejčastěji se používá CAD software. Druhý je software CAM tzv. Slicer¹, který přetvoří virtuální 3D model do příkazů určených pro tiskové zařízení. Třetí je odpovídající software pro kontrolu tiskárny od výrobce daného zařízení [3].

¹ Slicer- V překladu plátkovač, název zažitý v oblasti 3D tisku, program na ovládání 3D tiskárny.

2.1.1.2 Metoda

Navzdory celosvětovému množství používaných AM² zařízení, může být každé z nich zařazeno do jedné z uvedených kategorií, opírající se o rozdílné principy:

- Vytvrzování (photo-curing)
- Řezání a spojování (cutting and joining)
- Roztavení a tuhnutí nebo spojování (melting and solidifying or joining)
- Spojování nebo vázání (joining or binding) [3].

2.1.1.3 Materiál

Prvotní stav každého materiálu může mít podobu kapaliny, sypkého prášku nebo pevné látky. V současné době je používáno mnoho materiálů. Jedná se zejména o polymery, papír, vosk, pryskyřici, keramiku, kovy (hliník, zlato, stříbro, nikl, kobalt-chrom, apod.) a v současné době i o lidské buňky.

Nejčastěji používaným materiálem je stále plast. Jedná se hlavně o materiály ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) a PLA (Polylactid acid). PLA je plast, který nezatěžuje životní prostředí, vzhledem k tomu, že je snadno biologicky rozložitelný. V praxi to znamená, že nepotřebný výtisk je možné bez větších problémů zkompostovat. Materiál ABS je vzhledem k jeho lepším vlastnostem pružnější a při vnějším použití tak rychle nedegraduje. ABS je používán v celé řadě odvětví, od automobilového průmyslu až po výrobu nábytku. Plastový materiál je dodáván ve strunách navinutých na cívkách.

Materiály jako kov, písek nebo sklo jsou používány ve formě prášku, který je následně v rámci procesu tisku vytvrzován. Recyklací starého skla, vzniká písečné sklo. Aby hmota písečného skla držela pohromadě, tak se do ní přidává speciální spojovací materiál.

Součásti imitující dřevo mají vstupní materiál vlákna s vysokým obsahem dřevěných částic. Stejně jako plastové struny jsou vlákna dodávány navinuté na cívkách [3].

2.1.1.4 Využití

Aditivní výroba má využití v mnoha oblastech. Lze obecně hovořit o následujících:

- Design
- Inženýrské analýzy a plánování
- Výroba produktů (manufacturing) a výroba nástrojů a zařízení (tooling)

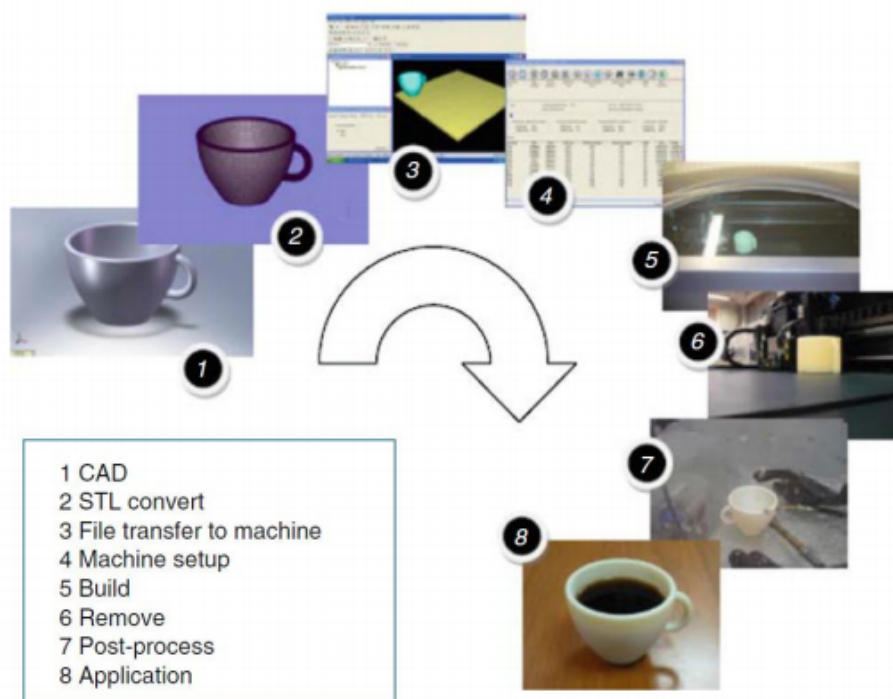
Z počátku bylo tištění 3D předmětů dost neefektivní, tisk byl pomalý, nákladný a výsledný vzhled nebyl nikterak kvalitní. Díky novým technologiím a používáním vhodnějších materiálů se stává hotový výrobek dokonalejší a vhodnější i pro výrobu přípravků a forem pro vakuové lití, kde musí být výrobek vytištěn s vysokou přesností [3].

² AM – zkratka pro aditivní modelové zařízení

2.1.2 Obecný aditivní proces

Na Obrázku 2 je stručně nastíněn obecný proces aditivní výroby. Jedná se o osm základních kroků nutných k vytvoření 3D modelu.

Obrázek 2: Obecný proces zahrnující všech osm kroků



Zdroj: Gibson, Rosen & Stucker, 2015, str. 5

2.1.2.1 Krok 1: CAD

Každý produkt je třeba před 3D tiskem vymodelovat v CAD softwaru. Vytvořený model musí zcela popisovat geometrii plného tělesa. Model může být vytvořen téměř v jakémkoliv profesionálním CAD softwaru s nutným ohledem na 3D výstup [4].

2.1.2.2 Krok 2: Konverze STL

Téměř každý stroj aditivní výroby přijímá soubory ve formátu STL (formát STL viz. podkapitola 2.4), který se stal standardem. V dnešní době skoro jakýkoliv systém CAD dokáže vygenerovat takový formát souboru. Tento soubor popisuje vnější uzavřené plochy původního CAD modelu a tvoří základ pro výpočet řezů [4].

2.1.2.3 Krok 3: Import STL do aditivního zařízení

Soubor STL popisující 3D součást musí být přenesen do zařízení aditivní výroby (AV). Při přenosu je nutné zachovat velikost dané součásti. V CAM softwaru je třeba zvolit příhodné umístění na stavěcí podložce a vhodnou orientaci součásti pro samotnou stavbu [4].

2.1.2.4 Krok 4: Nastavení stroje

Zařízení AV je nezbytné na počátku stavby správně nastavit. Nastavení se vztahuje k parametrům tisku, jako je např. kalibrace os XYZ a zavedení materiálu pro tisk [4].

2.1.2.5 Krok 5: Stavba

Stavba součásti je především automatizovaným procesem a stroj může do značné míry pokračovat bez dozoru. V tomto okamžiku se musí provádět kontrola stroje, aby se zajistilo, že nedošlo k žádným chybám, jako je vyčerpání materiálových a energetických zdrojů nebo softwarových závad [4].

2.1.2.6 Krok 6: Odstranění

Jakmile stroj aditivní výroby dokončí sestavení, musí být součásti odstraněny. To může vyžadovat interakci se strojem, který může mít bezpečnostní blokování, aby se například zajistilo, že provozní teploty jsou dostatečně nízké, nebo že nejsou pohyblivé části stroje aktivní [4].

2.1.2.7 Krok 7: Následné zpracování

Po vyjmutí objektů ze zařízení mohou součásti vyžadovat dodatečné čištění ještě před tím, než budou připraveny k použití. Části mohou být v této fázi křehké nebo mohou mít podpůrné prvky, které je třeba odstranit. Tento krok často vyžaduje čas a zkušenou, pečlivou manuální práci [4].

2.1.2.8 Krok 8: Aplikace

Zhotovené části smí být už nyní připraveny k použití. Mohou však vyžadovat další zpracování před tím, než jsou přípustné pro použití. Například součást může vyžadovat základní nátěr, aby se získala přijatelná povrchová struktura. Ošetření součásti může být namáhavé a zdoluhavé, pokud jsou dokončovací požadavky velmi náročné. Může být také požadováno sestavení součástí společně s jinými mechanickými nebo elektronickými prvky.

Důležité je si uvědomit, že většina strojů AV využívá křehkou technologii, která musí být pečlivě monitorována a neměla by se používat ve špinavém nebo hlučném prostředí. Zatímco stroje jsou obecně navrženy tak, aby fungovaly bez dozoru, je důležité zahrnout pravidelné kontroly do plánu údržby a myslet na to, že náročné technologie vyžadují různé úrovně údržby. Mnoho dodavatelů strojů doporučuje a dokonce poskytuje zkušební vzory, které lze pravidelně používat k ověření, že stroje pracují v přijatelných mezích [4].

2.2 Rozdělení technologií aditivní výroby

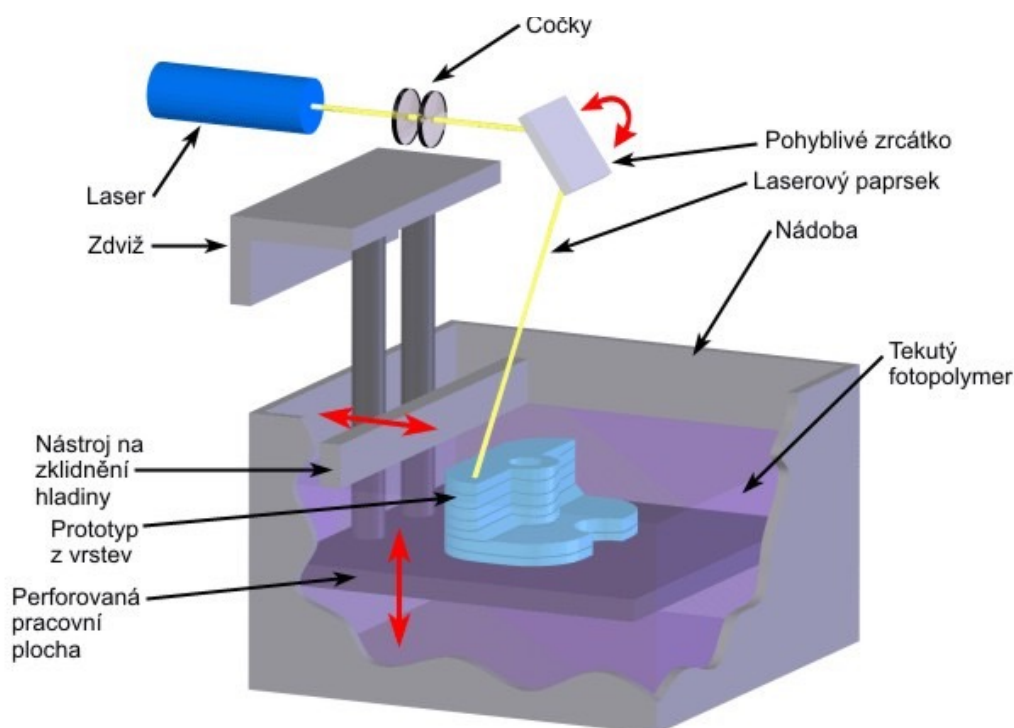
Technologie aditivní výroby se člení do tří základních skupin dle používané báze materiálu. Nejběžněji využívanou bází materiálu pro 3D tisk jsou pevné částice, dále pak lze využít bázi kapaliny nebo prášku.

2.2.1 Technologie na bázi kapaliny

2.2.1.1 Stereolitografie (SLA)

Jedná se o první technologii svého druhu využívanou od roku 1986. Uvedení na trh proběhlo však o dva roky později. Princip, na kterém je technologie založena spočívá v tzv. vytvrzování fotopolymerické pryskyřice UV laserovým paprskem, přičemž vzniká pevná vrstva. Každá vytvrzená vrstva odpovídá dané vrstvě řezu modelu ve formátu STL, do které byly převedeny původní CAD data. Součástí nádoby, ve které je umístěn tekutý fotopolymer, je perforovaná pracovní plocha, na které se vytváří požadovaná součást. Perforovaná pracovní plocha se pohybuje ve vertikálním směru. Po každém vytvrzení jedné vrstvy o výšce zhruba 0,025 až 0,5 mm se pracovní plocha posune o danou výšku jedné vrstvy směrem vzhůru a UV laser vytvrdí další vrstvu. Celý proces tedy probíhá z nižší pozice pracovní desky do pozice vyšší, dokud není celý objekt zcela vytvrzen. Tiskárna se skládá z několika systémů jako je řídicí systém, pohybový systém, systém pro zpracování materiálu a optický systém. Vzhledem k přesnosti metody jsou systémy pevně zabudovány v mohutném rámu, aby nedocházelo k nežádoucím otřesům tiskárny [3].

Obrázek 3: Schéma procesu SLA



Zdroj: custompartnet, 2018

Výhody technologie:

- Tisk malých (250 x 250 x 250 mm) i větších objektů (1500 x 750 x 550 mm).
- Přesný tisk, využití v mnoha odvětvích.
- Dokonalý a pevný povrch bez nerovností.
- Široké spektrum využívaných materiálů od běžných, průhledných až k materiálům používaných pro tisk dentálních modelů či modelů korunek a můstků.

Nevýhody technologie:

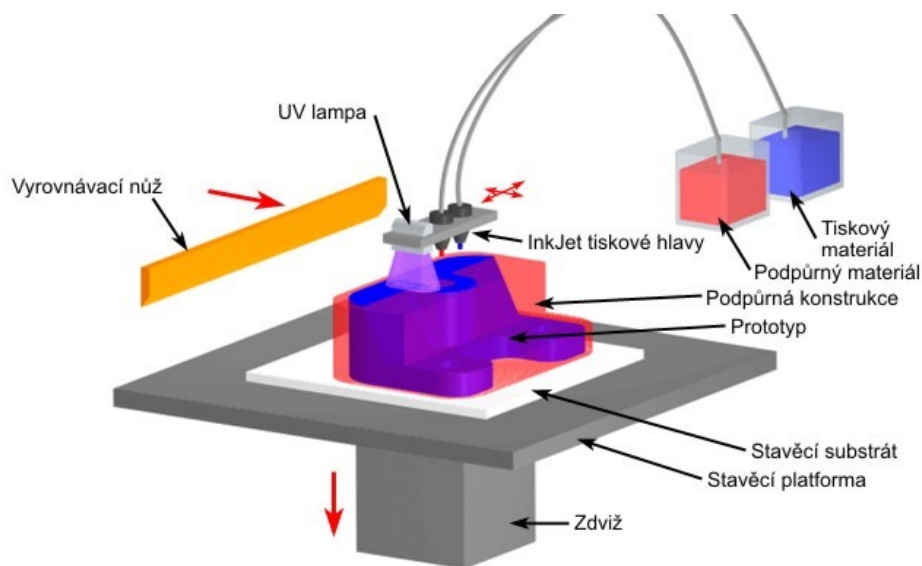
- Pro tisk jsou využívány dočasné podpůrné struktury, které je nutné následně manuálně odstraňovat. Mnohdy se může jednat o zdlouhavý a náročný proces, přičemž bohužel hrozí i zdeformování výsledného objektu [3].

2.2.1.2 PolyJet

V roce 2000 firma Objet Geometries Ltd. a 3D Systems vyvinuly novou technologii PolyJet. V roce 2012 Objet Geometries odkoupila společnost Stratasys Inc.

PolyJet technologie funguje na principu nanášení fotonanášecího³ materiálu pomocí InkJet⁴ hlavy. Princip technologie je stejný jako u obyčejné inkoustové tiskárny. Rozdíl je v tom, že místo inkoustu je vstříkován na platformu tekutý polymer v ultratenkých vrstvách řádově okolo 0,016 mm, který je opět vytvrzen UV světlem. Firma Objet Geometries Ltd. nyní už Stratasys a firma 3D Systems vyvinuly skoro shodné zařízení. K rozdílu dochází při použití materiálu na podpůrnou konstrukci. Firma Stratasys využívala jako podpůrný materiál pro stavbu objektu fotonanášecí polymer, který byl nanášen druhou tryskovou hlavou a tuhne vlivem UV lampy. Tento podpůrný materiál se nevytvrdí stejně jako primární stavěcí materiál a může být po zhotovení objektu odstraněn manuálně nebo tlakem vody. Firma 3D Systems jako podpůrný materiál využívala vosk, který se po dokončení stavby roztaví. PolyJet je typ aditivní výroby, která kombinuje prvky SLA metody a tiskové tryskové hlavy. Proces stavění vrstvy po vrstvě je podobný jako u technologie InkJet printing [3].

Obrázek 4: Schéma procesu PolyJet



Zdroj: custompartnet, 2018

³ Fotonanášecí polymer představuje syntetický nebo organický materiál, který mění svoji strukturu působením světla.

⁴ InkJet- v překladu inkoustová tryska

Výhody technologie:

- Hladký povrch, vysoká kvalita a detailní zpracování objektu díky tenkým vrstvám.
- Široké spektrum použitelných materiálů pro různé účely od akrylových materiálů přes polypropylenové plasty po materiály imitující gumu.
- Díky absenci sušení a upravování povrchu se jedná o rychlý proces. U technologie je potřebné pouze odstranit podpůrný materiál.
- Jedná se o technologii tichou, bezpečnou, čistou a jednoduchou na obsluhu [3].

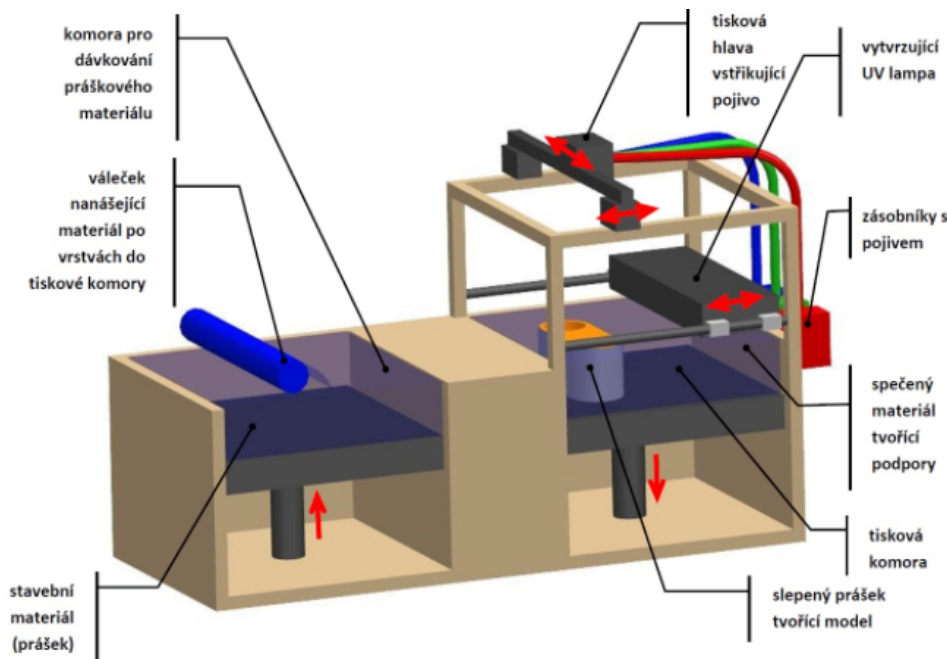
2.2.1.3 MultiJet printing system (MJP)

Systém tisku MultiJet (MJP) byl dříve znám jako MultiJet Modeling (MJM), poprvé zahájen v roce 1996 jako koncepční modelář pro kancelář, který doplnil sofistikovanější stroje SLA a stroje SLS [3].

Princip spočívá v nanášení práškového materiálu na stavební podložku. Na nanesenou vrstvu je přiváděno pojivo. Pojivo je společně s práškovým materiálem okamžitě vytvrzováno pomocí UV světla. Po vytvrzení vrstvy, je nanesena další vrstva prášku a proces se opakuje. Výsledný model je obalen podpůrným materiálem. Jako materiál pro podpůrnou strukturu se využívá vosk, který se jednoduše rozpustí ve vyhřívané troubě [2].

Tato technologie se vyznačuje tiskovou hlavou, která obsahuje velké množství trysek, které jsou umístěné v jedné rovině a ze kterých vychází termoplast⁵, který je následně tvrzen UV lampou. Tisková hlava se pohybuje pouze ve směru osy X. Pohyb ve směru osy Y a Z zajišťuje nosná deska. Bohužel i tento typ 3D tisku vyžaduje podpěry pro složitější konstrukce [3].

Obrázek 5: Schéma procesu MJP



Zdroj: dkmp, 2018

⁵Termoplast - plast, který je od určité vyšší teploty plastický nebo-li tvárný a po ochlazení se stane pevný.

Výhody technologie:

- Technologie MJP je efektivní a ekonomický způsob vytváření koncepčních modelů. Velký počet trysek umožňuje rychlé a trvalé ukládání materiálu pro maximální účinnost. MJP vytváří modely přímo z libovolného souboru STL vytvořeného s jakýmkoliv trojrozměrnými CAD programy pro pevné modelování a nevyžaduje žádnou přípravu souboru.
- Nová 3D tiskárna MJP poskytuje nejvyšší kvalitu a přesnost dílů ve své třídě s výběrem režimů jak s vysokým rozlišením, tak s extrémně vysokým rozlišením v jediném systému. Jeho rozlišení 750x750x1600 DPI⁶ v orientaci XYZ je jedním z nejvyšších v aditivním průmyslu.
- MJP používá levný termoplast jako materiál, který zajišťuje nákladově efektivní modelování.
- Vzhledem k tomu, že systém je čistý, jednoduchý a účinný, nevyžaduje speciální zařízení a umožňuje tak jeho použití přímo v kancelářském prostředí. Díky svým síťovým funkcím, může být ke stroji připojeno několik pracovních stanic [3].

Nevýhody technologie:

- Stroj vyrábí poměrně objemově malé modely ve srovnání s většinou ostatních výrobních systémů s vyššími přísadami, a proto mohou být vyráběny pouze malé prototypy.
- Výběr materiálů je omezen na termopolymery [3].

2.2.2 Technologie na bázi prášků

2.2.2.1 Selective laser sintering (SLS)

Technologie vynalezena Carlem Deckardem a jeho kolegy na Texaské univerzitě v Austinu, kteří následně založili společnost DTM, pod kterou od roku 1992 nabízeli technologii na trhu. V roce 2001 společnost DTM odkoupila konkurenční společnost 3D Systems.

Technologie SLS, v češtině známá jako technologie selektivního laserového spékání zkráceně také jako sintrování, patří do oblasti technologie založených na práškové bázi. Jedná se o proces, kdy je práškový materiál zahřátý na teplotu blízké k teplotě tání a nanesen válcem v jedné vrstvě na celou plochu stavěcí platformy. Následně laserový paprsek osvítl požadovanou plochu skoro roztaveného prášku. Prášek se v rámci jedné vrstvy k sobě připeče a zároveň je připečen i k předchozí vrstvě. Platforma poté klesne o výšku jedné vrstvy řádově okolo 0,1 mm a opět je válcem nanášena rovnoměrná vrstva práškového materiálu, ať už se jedná o materiál plastový, kovový, keramický prášek, či o slévárenský písek [3].

Podle tiskového materiálu se rozlišují metody:

- a) Laser Sintering - Metal⁷
- b) Laser Sintering - Plastic⁸
- c) Laser Sintering - Foundry Sand⁹
- d) Laser Sintering - Ceramics¹⁰

⁶ DPI - Údaj určující, kolik obrazových bodů (pixelů) se vejde do délky jednoho palce.

⁷ Metal – V překladu kov

⁸ Plastic – V překladu plast

⁹ Foundry Sand – V překladu slévárenský písek

¹⁰ Ceramics – V překladu keramika

a) Laser Sintering - Metal

Při výrobě je nutné přidat k ocelovému prášku i polymerní pojivo za účelem zpevnění prototypů. Prototyp je poté vložen do vyhřáté pece na 900°C, kde dochází ke spálení pojiva a obohacení prototypu o bronz pro zlepšení hustoty materiálu. Doba obohacování a vypalování je zhruba jeden den. Na závěr je potřeba výrobek ještě obrobit a provést dokončovací práce. Finální výrobky vytisknuté touto metodou jsou dostatečně pevné a mechanicky odolné. Využití mají pro výrobu forem, které slouží k lisování nebo vstřikování plastových dílů [3].

b) Laser Sintering - Plastic

Metodou dokážeme vytvořit i značně složité modely. Výtisk vytvořený např. Z polystyrenu lze použít jako vypařitelný model pro velmi přesnou formu k odlévání. Modely z nylonu mají zase výborné mechanické vlastnosti jako např. teplotní odolnost, tvrdost a houževnatost. Díky těmto specifickým vlastnostem lze na vytištěných objektech provádět funkční zkoušky lícování. Finální součásti jsou ve většině případů zatím využity pro představu o vzhledu výrobku [3].

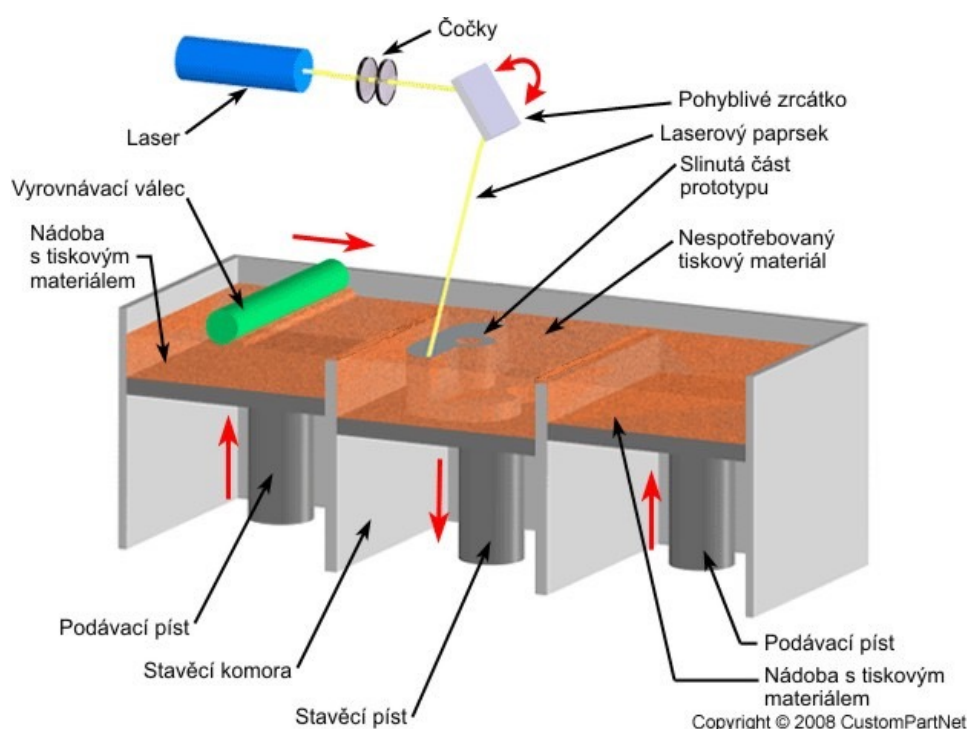
c) Laser Sintering - Foundry sand

Jedná se o metodu, která využívá upraveného slévárenského písku. Využití má pro výrobu klasických pískových forem k lití [3].

d) Laser Sintering - Ceramics

Tiskovým materiálem je keramický prášek spojován pomocí tekutého pojiva. InkJet trysková hlava nanáší pojivo a pohybuje se dle předlohy v rovině XY. Vytištěný model je možno aplikovat jako součástku nebo formu. U technologie přesného lití dokonce i jako jádra [3].

Obrázek 6: Schéma procesu SLS



Zdroj: custompartnet, 2018

Výhody technologie:

- Možnost použít jakýkoli materiál, jenž má práškovou bázi¹¹.
- Materiály mají nízké pořizovací náklady.
- Není třeba pro tisk objektu podpůrných struktur. Závěrečné úpravy objektu po tisku vyžadují jen drobnější zásahy. Nevytváří žádný odpad.
- Metodou sintrování lze vytvořit objekt jakékoli velikosti a tvaru, jsme omezeni pouze velikostí aditivního zařízení [3].

Nevýhody technologie:

- SLS zařízení jsou značně prostorově objemná, z toho vyplývají nároky na dostatečně velký výrobní prostor.
- Vysoká cena zařízení.
- Výsledný povrch je velice hrubý, vzhledem k velkým částicím prášku [3].

2.2.2.2 ColorJet printing (CJP)

Jedná se o tzv. třídímenzionální technologii tisku zkráceně 3DPTM z anglického názvu three-dimensional printing technology, která byla vynalezena v roce 1993 technologickým institutem v Massachusetts. Vzhledem k vývoji byla technologie přejmenována z názvu 3DPTM na nový název ColorJet printing (CJP).

Proces tisku je podobný jako u technologie SLS. Místo spékání materiálu laserem je však použita InkJet tisková hlava, která má za úkol rovnoměrně nanášet lepidlo, jenž spojuje tiskový materiál. Jako vstupní materiál se používá prášek z železných kovů, např. nerezová ocel, z neželezných kovů např. bronz, dále se využívají různé elastomery¹², kompozity¹³ nebo keramický prášek. Samotný proces tisku začíná posuvem podávacího pístu s tiskovým materiálem směrem vzhůru. Vyrovnávací válec rozprostře rovnoměrně materiál po stavěcí desce. Multikanálová InkJet tisková hlava poté nanese vrstvu tekutého lepidla na určená místa po stavěcí desce. Spojená místa na základní desce vytváří vrstvu o tloušťce 0,089 - 0,0203 mm. Přebytný prášek okolo objektu slouží jako podpůrná konstrukce. Po dokončení jedné vrstvy se stavěcí píst i s platformou posune o jednu tloušťku ve vertikálním směru směrem dolů. Po dokončení všech vrstev je zapotřebí odstranit podpůrný prášek odmetením a model je připraven k vyjmutí. [3].

Výhody technologie:

- Nízké materiálové náklady.
- Možnost vytisknutí plnobarevných až fotorealistických objektů.
- Vzhledem k práškové technologii není nutné stavět podpůrnou konstrukci [3].

Nevýhody technologie:

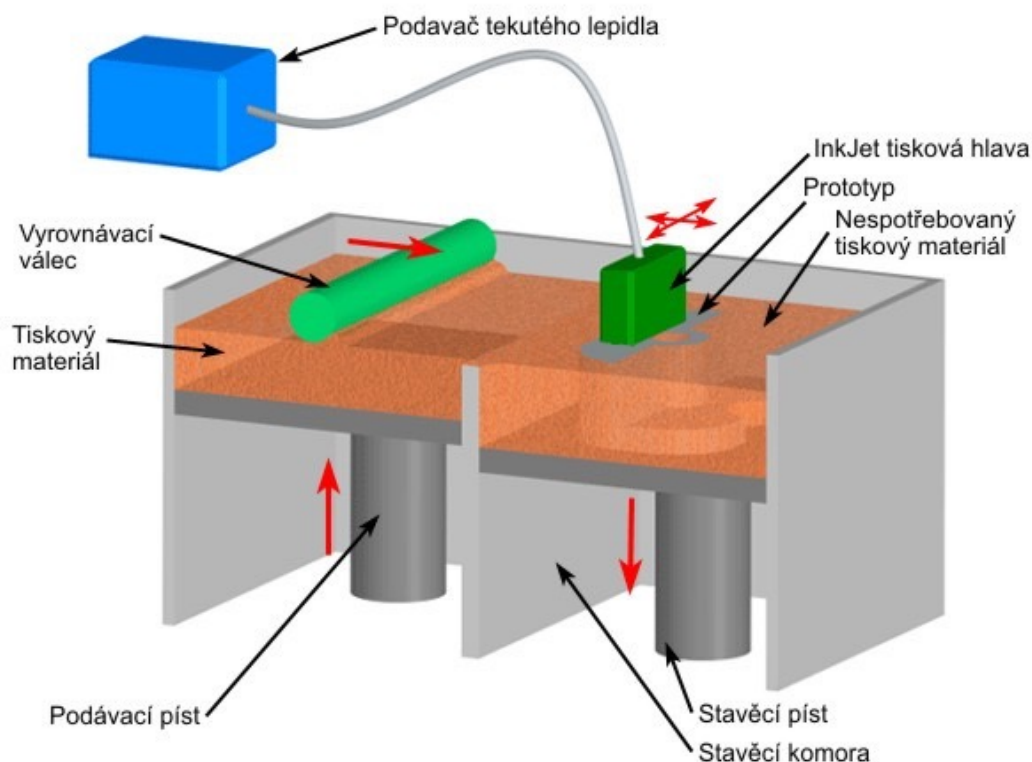
- Ve srovnání s metodou SLS jsou části, které byly postaveny mnohem slabší, čímž omezují možnosti testování funkčnosti.
- Hrubý povrch, nutná povrchová úprava [3].

¹¹ Báze – základ, struktura

¹² Elastomer – materiál vyznačující se velkou pružností

¹³ Kompozit – materiál ze dvou, nebo více komponent s výrazně lišícími se fyzikálními vlastnostmi.

Obrázek 7: Schéma procesu CJP



Zdroj: custompartnet, 2018

2.2.2.3 Arcam's electron beam melting (EBM)

Společnost Arcam AB byla založena v roce 1997. Jedná se o švédskou společnost zabývající se vývojem technologií. Hlavním předmětem její činnosti je vytvoření technologie elektronického tavení (EBM) pro výrobu pevných kovových dílů přímo z kovového prášku na základě 3D CAD modelu.

EBM proces je založen na následujících dvou principech:

- 1) Části se vytvářejí, když je elektronovým paprskem vypalován kovový prášek. Počítačem řízený elektronový paprsek ve vakuu roztaví vrstvu prášku přesně tak, jak to naznačuje model CAD s nárůstem elektronové kinetické energie.
- 2) Stavba dílu se provádí roztavením vrstvy po vrstvě. Tímto způsobem jsou pevné detaily vytvořeny jako tenké kovové plátky tavené dohromady [3].

Během procesu EBM elektronový paprsek ztaví kovový prášek vrstvu po vrstvě, aby vytvořil fyzickou část ve vakuové komoře. Stroje typu arcam EBM používají konfiguraci práškového lože a jsou schopné produkovat více dílů ve stejné konstrukci. Vakuové prostředí v zařízení EBM udržuje chemické složení materiálu a poskytuje vynikající prostředí pro stavbu dílů reaktivních materiálů, jako jsou titanové slitiny. Vysoký výkon elektronového svazku zajišťuje vysokou rychlost nanášení a rovnoměrné rozložení teploty uvnitř dílu, čímž vzniká plně roztavený kov s vynikajícími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi [3].

Výhody technologie:

- Proces EBM vytváří hutné kovové díly, které jsou bez dutin a mají vynikající pevnostní a materiálové vlastnosti.
- Vakuum poskytuje vhodné tepelné prostředí, které má za následek dobrou stabilitu tvaru a řízenou tepelnou rovnováhu v části, což výrazně snižuje smrštění a tepelné namáhání. Vakuové prostředí odstraňuje nečistoty, jako jsou oxidy a nitridy.
- Tavicí proces s vysokou hustotou energie vede k tomu, že díly mají vynikající povrchovou úpravu.

Nevýhody technologie:

- Proces vyžaduje vakuovou komoru, která musí být udržována, poněvadž má přímý vliv na kvalitu konstruované součásti což je velice nákladné.
- Energie spotřebovaná pro použití elektronového paprsku je poměrně vysoká.
- Elektronový paprsek využitý v procesu může produkovat gama paprsky. Vakuová komora působí jako stínění k záření gama, takže je nutné, aby vakuová komora byla řádně udržována [3].

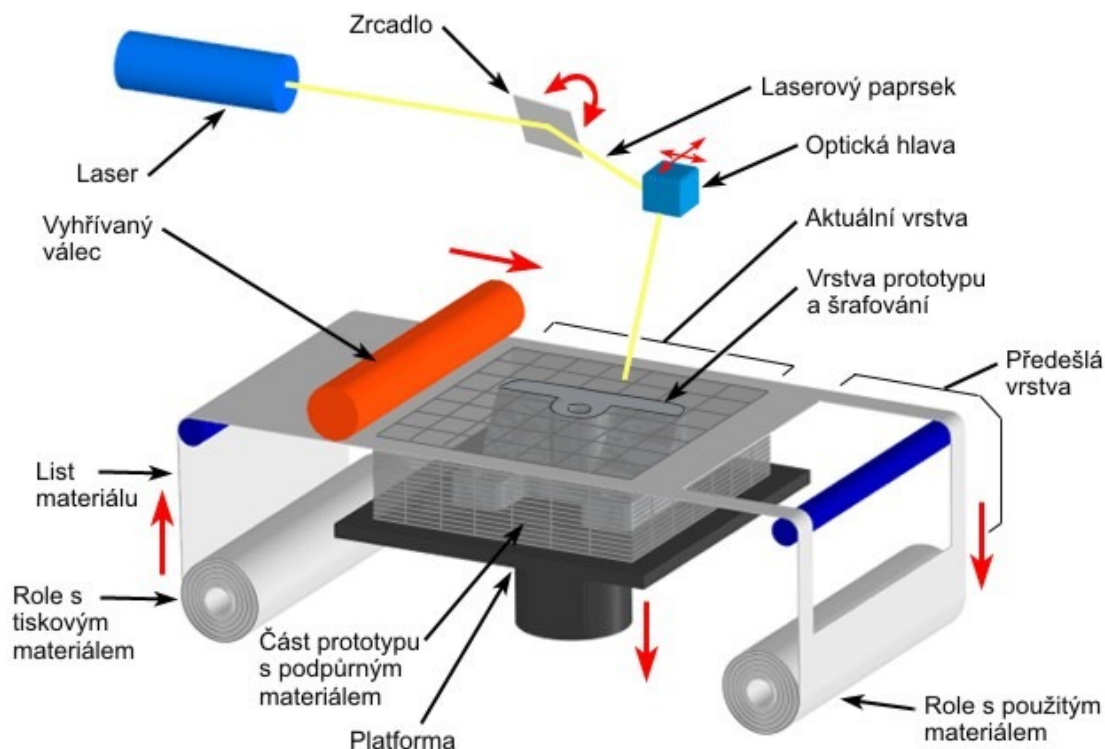
2.2.3 Technologie na bázi pevných částic

2.2.3.1 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Vynálezcem LOM technologie se uvádí firma Cubic Technologies, která měla na počátku potíže s uvedením technologie na trh.

Proces tvorby modelu vychází z principu samotného vrstvení a tavení tenkých vrstev materiálu na sebe. Každá z vrstev je nejdříve vyříznuta pomocí laserového paprsku nebo nože odpovídajícího tvaru. Přebytečný materiál poté technologie využívá jako materiál pro podpurnou strukturu. Následně je na vyříznutou vrstvu přiložena papírová fólie natřena vrstvou polyethylenu, která je po přejetí a přitisknutí vyhřívanými válci spojena s poslední a novou vrstvou do jednoho celku. Laserovým paprskem je poté opět vyříznut požadovaný tvar objektu a po vytvoření vrstvy se podložka sníží o vrstvu papírové fólie, poté se celý proces znovu opakuje až do zhotovení výsledného objektu. Metodou se tisknou i velké modely. Struktura vytištěných modelů připomíná dřevo [3].

Obrázek 8: Schéma procesu LOM



Zdroj: custompartnet, 2018

Výhody technologie:

- Hlavní předností je rychlost, se kterou je model vytvořen. Proto se používá např. pro výrobu architektonických modelů.
- Možnost použití jakéhokoliv materiálu, jenž lze zpracovat do tvaru listu.
- Není potřeba dalšího materiálu na tvorbu podpurné konstrukce, protože je použit odříznutý materiál.

Nevýhody technologie:

- Je nutné kontrolovat hloubku řezané vrstvy laserem. Laser nesmí zasahovat svým paprskem do jiné než nejvyšší řezané vrstvy a zároveň nepoškodit objekt.
- Finální objekt je nutné pro dosažení hladkého povrchu ručně opracovat.
- Objekt má malou pevnost. Pevnost objektu je omezena přilnavostí polyetylenového nátěru „lepidla“.
- Hlavní nevýhodou je velké množství vzniklého odpadu a jeho odstraňování ze zařízení [3].

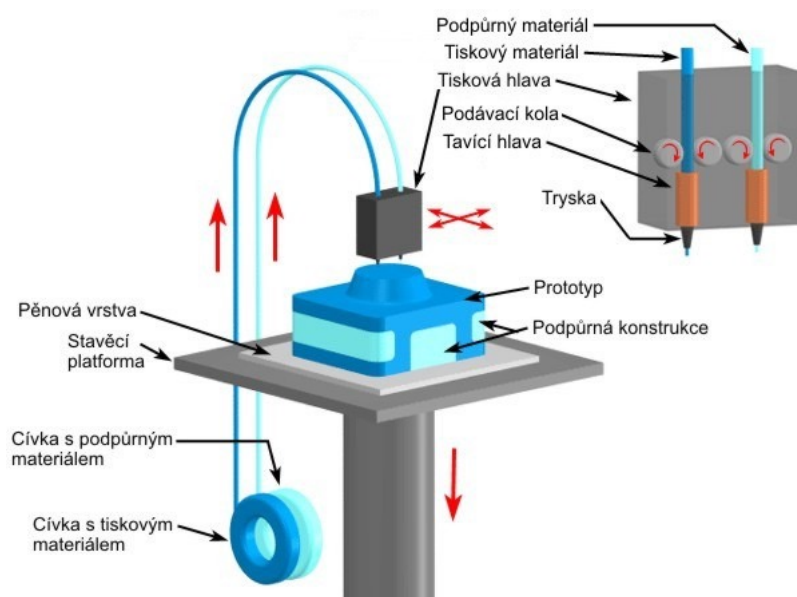
2.2.3.2 Fused deposition modeling (FDM)

Technologie patentovaná roku 1992 a stejně jako u PolyJet je vlastníkem této technologie firma Stratasys.

Princip procesu vychází z tavení pevných vláken, které mají podobu vlasce. Pevná vlákna jsou skrz vytlačovací hlavici nanášena na stavěcí formu v polotekutém stavu. Materiál je při tisku ochlazován vzduchem, což má za následek rychlé ztuhnutí vytlačeného materiálu.

Po dokončení jedné vrstvy se zařízení posune o výšku vrstvy směrem vzhůru. Výška vrstvy je nastavitelná v rozmezí od 0,178 - 0,356 mm. FDM technologie má, vzhledem ke stejnému vlastníkovi, společné rysy s PolyJet technologií. Hlavní společný rys s PolyJet technologií je použití dvou materiálů primárního a sekundárního podpůrného. Pro získání finálního tvaru se musí vytištěné podpory mechanicky odstranit nebo rozpustit vodou případně čisticím prostředkem [3].

Obrázek 9: Schéma procesu FDM



Zdroj: custompartnet, 2018

Nejčastěji používaným materiálem jsou různé druhy plastů (ABS, nylon, PLA). Experimentuje se však i s dalšími materiály, jako je dřevo, kov nebo keramika. Některé tiskárny mají dvě tiskové hlavy a umožňují tak dvoubarevný tisk.

Princip extruze taveniny je používán i u 3D tužek. Tam jsou jednotlivé pohyby po osách X, Y, Z, které jsou buď u 3D tiskárny vždy řízeny počítačem nebo jsou ovládány lidskou rukou bez pomoci jakéhokoliv programu. Nevýhodou ovládání lidskou rukou je bohužel nepřesnost, naopak výhodou je rychlé použití. Můžeme ihned ztvárnit myšlenku, nemusíme modelovat nápad v žádném programu ani ho před tiskem upravovat [3].

Výhody technologie:

- Vytištění prototypu, který svými vlastnostmi skoro odpovídá požadovanému produktu.
- Vzhledem k malému množství potřebného podpůrného materiálu, je technologie pro výrobce výhodná, protože má malý objem odpadového materiálu. Podpůrná struktura je snadno odstranitelná, nehrozí tedy zničení modelu.
- Na FDM tiskárně lze vytisknout i velké objekty. Velikost záleží na velikosti zařízení.

Nevýhody technologie:

- Vzhledem k průměru vlákna 1,27 mm, nedosahují modely zcela přesných tvarů.
- Rychlost tisku závisí na rychlosti průtoku materiálu vytlačovací hlavicí [3].

2.3 Technologie pro odstranění podpůrných konstrukcí

Vzhledem ke geometrii prototypu je někdy nutné zavést tzv. podpůrnou konstrukci. Tato konstrukce se používá, má-li prototyp určité části ve vzduchu například různé převisy. Pro odstranění podpůrné konstrukce se používají tyto systémy.

2.3.1 Breakaway Support Technology (BST)

Princip této metody je velice jednoduchý. Designér vyjme prototyp z tiskárny a ručně odláme podpůrnou konstrukci. Tento postup se doporučuje, když není poblíž zdroj vody nebo umyvadlo [3].

2.3.2 Soluble Support Technology (SST)

Metoda spočívá ve vložení prototypu do vodní lázně. V současnosti existují zařízení, která obsahují vodní lázně a sama automaticky odplaví podpůrnou konstrukci. Tento proces se doporučuje, chceme-li mít hladký model s vysokými detaily [3].

2.3.3 Water Jet

Po dokončení výroby prototypu je podpůrný materiál odstraněn vodou pod vysokým tlakem. Tento proces trvá přibližně 5 až 10 minut a zanechá čistý a hladký povrch [3].

2.4 STL formát dat

Název formátu STL (STereoLitography) byl odvozen od už zmiňované metody stereolitografie. Tento formát aproximuje plochu modelu pomocí sítě trojúhelníků. Veškeré informace o materiálu, křivkách a rovinách použitých pro sestavení modelu, nejsou nijak potřebné k jeho vygenerování [7].

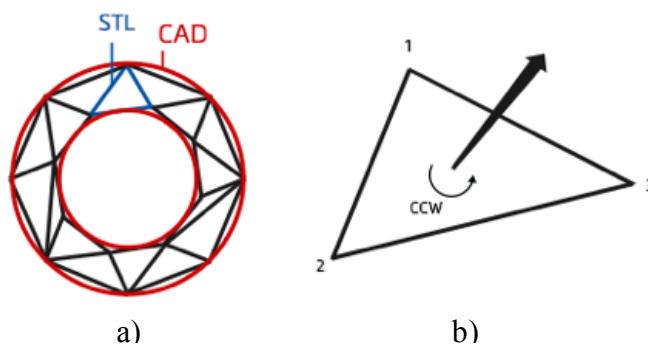
Metody reprezentace použité k popisu geometrie se liší v závislosti na CAD systému. K přenosu geometrických popisů z různých balíčků CAD do AV je zapotřebí standardní rozhraní. V posledních třech desetiletích byl formát souborů STL lze říci standardem, byl použit v mnoha ne-li všech systémech AV pro výměnu informací mezi CAM programy a systémy AV [3].

Soubor STL, koncipovaný společností 3D Systems, je vytvořen pomocí databáze CAD prostřednictvím rozhraní CAD systému. Tento soubor se skládá z neřízeného seznamu trojúhelníků, které představují vnější část objektu. Existují dva formáty souborů STL. Jeden je formát ASCII¹⁴ a druhý je binární formát. Velikost souboru ASCII STL je větší než velikost binárního formátu. ASCII je ale pro uživatele méně náročný. V souboru STL jsou trojúhelníkové plochy popsány sadou souřadnic X, Y a Z. Pro popis každého trojúhelníku jsou určeny souřadnice jeho vrcholů a normála jeho plochy, což je vektor o velikosti 1, který je k ploše kolmý a směřuje ven ze součásti. V souboru nejsou žádné informace o jednotkách, ty musí být určeny až v softwaru tiskárny, kam je model importován [7]

Vzhledem k tomu, že je STL formát fazetový¹⁵ model i když odvozený z přesných CAD výkresů, tak se jedná jen o přibližný model dílu. Navíc mnoho komerčních CAD softwarů není schopno vygenerování modelu fazet (soubor STL) a často tím způsobuje problémy [3].

Přesto existuje několik výhod souboru STL. Zaprvé poskytuje jednoduchou metodu reprezentování 3D CAD dat. Za druhé, je již de facto standardem ve většině CAD systémech v AV. Poslední výhodou je poskytování objemově malých a přesto přesných souborů [3]. Princip ukládání dat trojúhelníkové sítě popisuje Obrázek 10. Nejprve jsou uloženy souřadnice normálového vektoru a poté vrcholy v pořadí naznačenou kruhovou šipkou na Obrázek 10b). Jak taková vygenerovaná trojúhelníková síť vypadá na jednoduchém objektu, znázorňuje Obrázek 10a).

Obrázek 10: Princip ukládání dat trojúhelníkové sítě.



Zdroj: cloud.materialise.com. 2018

¹⁴ ASCII – anglická zkratka pro American Standard Code for Information Interchange v překladu Americký standardní kód pro výměnu informací.

¹⁵ Fazeta – zkosená hrana výrobku

2.4.1 Problémy s formátem STL

Základní problém je zčásti způsoben obtížemi, které se vyskytují v teselacích¹⁶ oříznutých povrchů, překřížených povrchů a řídicích číselných chybách. Tato neschopnost komerčního teselačního algoritmu generovat platné modelování fazetového modelu vyžaduje, aby bylo provedeno ověření platnosti modelu předtím, než je model odeslán do aditivního zařízení pro výrobu. Pokud je testovaný model neplatný, jsou nutné postupy pro určení konkrétních problémů:

- Mezery (trhliny, otvory, propíchnutí)
- Degenerované fazety
- Překrývající se fazety
- Nespojené topologické podmínky [3].

2.5 Technologie 3D skenování

Jedná se o velice přesnou metodu skenování prostoru. Pomocí různých druhů 3D scannerů (Obrázek 11) snímáme přesný digitální otisk. Technologie 3D skenování vyřešila problematiku zachycení trojrozměrné reality. Existují různé typy, druhy a velikosti 3D scannerů s různými funkcemi a zaměřením, podle způsobu užívání. Nejčastěji se s technologií setkáváme ve strojírenství, zdravotnictví nebo v oblasti dokumentace památek či uměleckých děl. Jedná se o technologii, se kterou můžeme jednoduše zachytit a zdigitalizovat určitý tvar, věc či objem [2]

2.5.1 Oblasti využití 3D skenování

V současnosti je celá řada oblastí, kde se využívá 3D skenování. Jako prvotní účel vyvíjení 3D skenování, byl směřován do oblasti vývoj výrobku, zejména se jednalo o automobilový či letecký průmysl. Postupem času ale rostly požadavky na kontrolu výroby dílů, proto také rostly nároky na jejich měření. Hlavně pak designové díly karoserie automobilu se dnes už bez 3D skenování prakticky neobejdou. Rozsah této technologie je opravdu široký a uplatnění se neustále rozšiřuje do nových oborů [11].

2.5.1.1 Kontrola kvality výroby

Nejběžnější využití má technologie 3D skenování při kontrole, zda daný výrobek odpovídá předem vytvořenému modelu v CAD softwaru. Samozřejmě nemá smysl skenovat modely pouze pro kontrolu např. průměru na hřídeli, ale pokud nás bude u stejné hřídele zajímat válcovitost, tak si s běžnými jednoduchými měřidly nevystačíme a přichází v úvahu právě zmiňovaný 3D sken. Smysl má tedy skenovat tvarově složité objekty, které nelze proměřit klasickými jednoduchými měřidly [11].

2.5.1.2 Kopírování výrobků

Mnohdy se i v dnešní době setkáváme s výrobky, ke kterým nejsou k dispozici CAD data nebo výkres. Důvodem může být třeba to, že výrobce informace spojené s výrobou nechce poskytnout nebo si žádá za tyto informace zaplatit vysoké částky. Pokud tedy tento výrobek naskenujeme, získáme 3D data, která nám následně mohou posloužit k výrobě duplicitního výrobku. Čímž se můžeme dostat k závažnému problému chránění patentu výrobce a porušení autorských práv na daný výrobek. Ze 3D skenování je výstupem mrak bodů nebo polygonální síť ve formátu STL. Formát STL jsou schopny některé CAM softwary přímo zpracovat

¹⁶ Teselace – vyplnění roviny pomocí jednoho nebo více geometrických útvarů, bez překrývání a bez mezer.

do NC drah (jedná se o software např. Tebis nebo CATIA). Pokud to CAM neumožňuje, pak se na polygonální síti vytvoří plochy a takto vzniklá plošný model, který už dokáže zpracovat téměř každý CAM software [11].

2.5.1.3 Skenování automobilů

Automobilky používají 3D skenery ke skenování celého automobilu s cílem analýzy konkurenčního vozu. Zjišťuje se v interiéru vozidla např. ergonomie sedadel, ovládacích prvků, volantu a to nejen tvary, ale i limitní polohy daných komponentů. Na exteriéru vozidla se analyzuje ostrost linií nebo navazování jednotlivých dílů. Analýza konkurenčních vozů určuje pomyslnou laťku, které by měl vůz v jednotlivé třídě dosáhnout, aby byl automobil konkurenci schopný. Dalším důvodem skenování jednotlivých částí vozu jsou profesionální tuningové úpravy. Může se jednat o dodatečně namontované součásti pro kompletní redesign automobilu nebo pouze pro nahrazení jednotlivých existujících prvků. Firmy zabývající se pancéřováním vozů pro speciální účely, tuto technologii využívají k získání potřebných informací pro vymodelování pancéřových plátů, které pak zcela přesně umístí mezi interiérovou výplň dveří a vnější plech [11].

2.5.1.4 Zástavby

V praxi se můžeme setkat se situací, kdy firma požaduje svůj výrobek zakomponovat do existující sestavy součástí a pro navrhnutí svého výrobku tedy potřebuje vědět existující linie sestavy pro možnou, zcela přesnou, montáž nově vymodelovaného výrobku. Například se může jednat o nově přidanou klimatizační jednotku nebo o přídatnou nádrž, kterou je potřeba přesně vestavit do motorového či jiného prostoru nákladního automobilu. Pomocí 3D skenování se vytvoří digitální stopa stávající plochy všech komponent v prostoru [11].

2.5.1.5 Ergonomie

Vytvoření správného ergonomického objektu, ať je to např. židle, sedadlo automobilu, počítačová myš nebo ovládací panely, lze provést zkoumáním přirozené polohy těla při určité vyvíjené činnosti. Výzkum lze provést pomocí metody 3D skenování a to tak, že získaný 3D sken se převede na zjednodušený 3D model, se kterým můžeme nadále pracovat při vývoji daného objektu [11].

2.5.2 Základní přehled metod 3D skenování

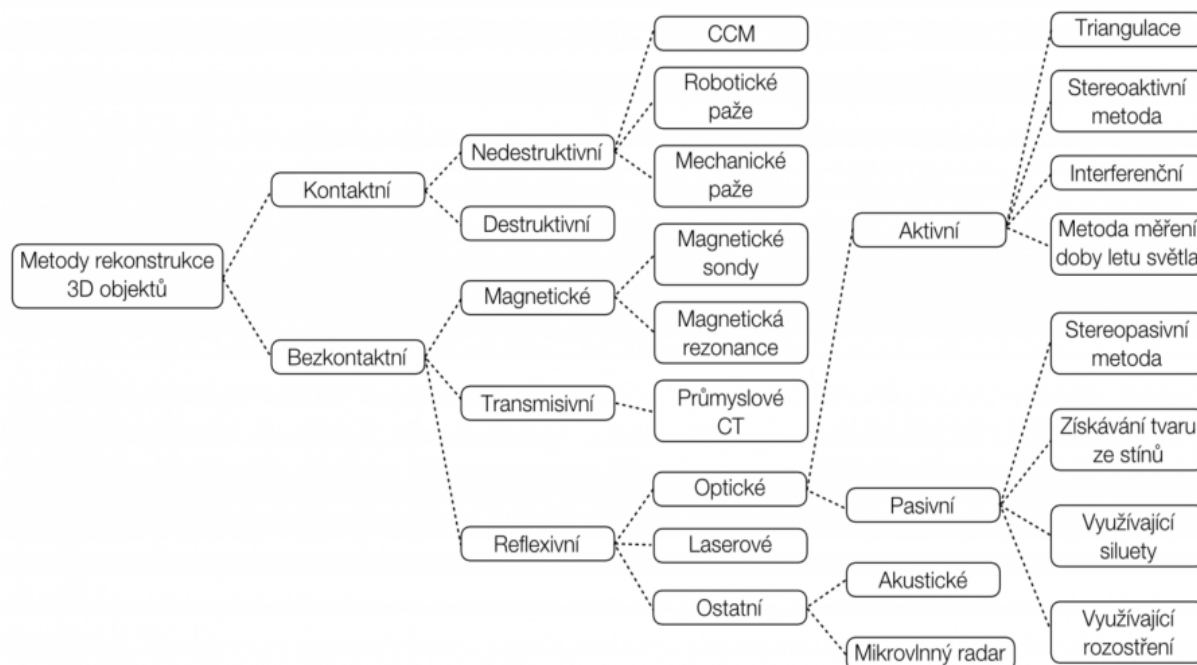
V současné době existuje mnoho metod 3D skenování a nedá se říci, že by některá z metod byla lepší nebo horší, jelikož každá metoda má dle svých výhod svou oblast využití. Někdy je prioritou maximální rychlost skenování, jinde nízká cena skenování a další aplikace zase může požadovat maximální přesnost skenování. Následující přehled metod 3D skenování by měl pomoci při výběru správného zařízení.

Zcela obecně lze technologie 3D skenování rozčlenit dle několika kritérií. Skenery lze rozdělit na dvě hlavní skupiny, pokud tedy použijeme základní členění na kontaktní a bezkontaktní. Kontaktní skenery potřebují k získání 3D bodu fyzický kontakt se skenovaným objektem. Bezkontaktní skenery získávají 3D body optickým způsobem. Existuje už však i hybridní varianta, kdy se jedná o kontaktní skenování pomocí sondy, přičemž poloha sondy je v prostoru opticky snímána.

Optické metody se mohou dále členit na aktivní a pasivní, podle toho, zda na objekt vysílají nějaký druh záření či nikoliv. Aktivní optické skenery využívají některého druhu záření a mají k tomuto záření odpovídající přijímač. Tímto zářením může být buď světlo o určité vlnové délce (viditelné, RTG, laser) nebo ultrazvuk.

Dále lze aktivní optické metody dělit dle použití fyzikálních vlastností daného záření pro výpočet prostorové souřadnice bodu. Nejjednodušší metoda, která je založena na měření času, tedy měření doby za jakou se vyslaný paprsek vrátí zpět na snímač po odrazu od objektu, se nazývá „time of flight“. Další možností aktivní metody, dělenou dle používaných fyzikálních vlastností zařízení je metoda „triangulation“, která na základě známého úhlu mezi projektořem a snímačem, známé vzdálenosti snímače od projektoru a známé polohy měřeného bodu na snímači dokáže dopočítat skutečný prostorový bod na povrchu objektu. Poslední aktivní metodou je „structured light“, která používá projekci pravidelného vzoru na objekt a na základě deformace tohoto vzoru pak dopočítá prostorové souřadnice bodů. Řádově se jedná o několik milionů bodů za pár sekund. Největší výhodou této metody je tedy obrovská rychlost skenování. Pasivní skenery žádný zdroj záření nevyužívají a pracují tedy pouze s odrazem paprsků objektu od okolního světla. Cílem této podkapitoly je pouze teoreticky popsat rozdělení skenerů. Na Obrázku 11 vidíme podrobné rozdělení 3D skenerů [11].

Obrázek 11: Rozdělení 3D skenerů



Zdroj: edux.fit.cvut.cz

3 Použití 3D tisku

3.1 Funkční součástky

Funkční součástkou je míněn objekt, který ihned po vytisknutí má finální mechanické vlastnosti a je tedy možností ho ihned použít. Pro příklad na tiskárnách typu RepRap, jsou z velké části zastoupeny tisknuté součástky a vydrží bez problému fungovat i několik let.

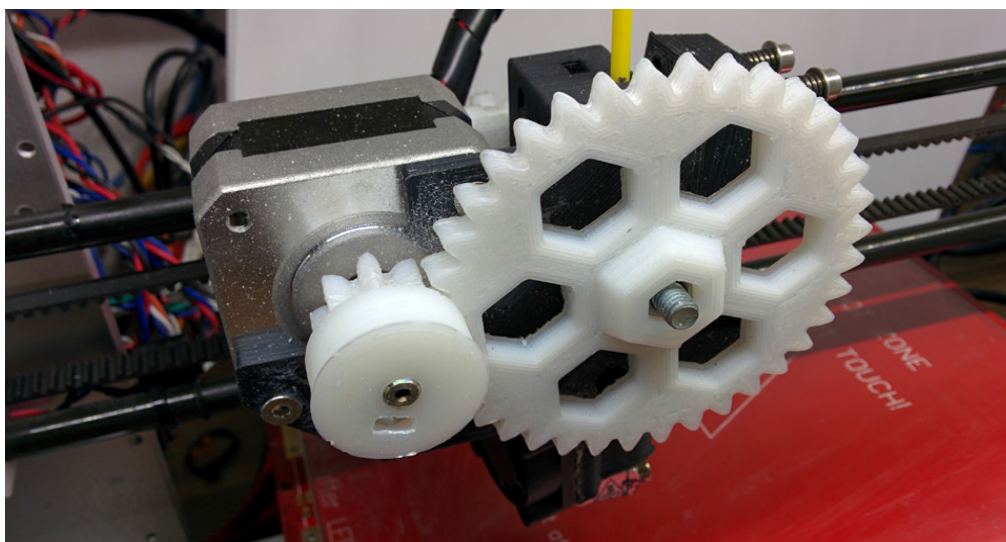
3.1.1 Projekt RepRap

Celosvětovým projektem 3D tiskáren je tzv. RepRap tiskárna (z anglického Replicating Rapid Prototyper), která umí nejen tisknout mechanicky odolné součástky, ale z velké části dokáže vytisknout součástky pro konstrukci další RepRap 3D tiskárny. Tiskárny RepRap nejvíce využívají metodu FDM (viz. 2.2.3.2). Projekt RepRap je tzv. OpenSource projekt, což znamená, že veškeré licence k této tiskárně jsou zdarma dostupné veřejnosti a otevřené dalším úpravám. Software a dokumentace potřebný k 3D tisku jsou volně ke stažení na internetových stránkách RepRap.org. Cílem projektu RepRap je vytvořit možnosti 3D tisku veřejnosti [10].

Tiskárny jsou z velké části navrženy z běžně dostupných a finančně nenáročných dílů, díky tomu lze tiskárny typu RepRap sestavit s finančními náklady do 8 000 Kč, ceny komerčních dodavatelů se pohybují řádově v dvojnásobně vyšších částkách.

RepRap tiskárny, vzhledem k jejich bezpečnosti, není problém provozovat doma nebo v běžné kanceláři. Omezení na jednobarevný tisk se použitím více trysek lze obejít (každá z trysek může tisknout jinou barvou) nebo pokud bychom model tisknutého objektu vhodně upravili, šlo by tisknout v různých vrstvách různými barvami [1].

Obrázek 12: Vytisknutá převodová kola tiskárnou RepRap, konkrétně tiskárnou Prusa i3



Zdroj: Průša 2014, str. 5

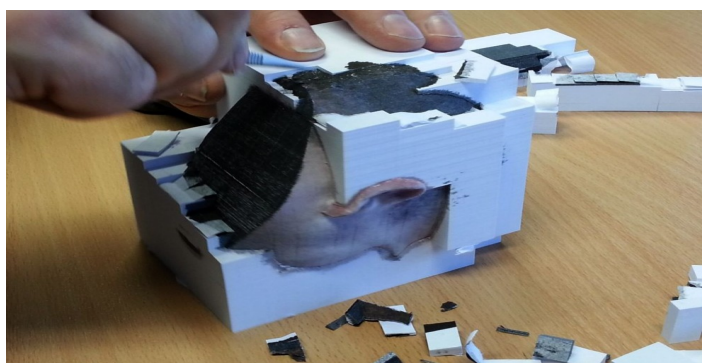
3.2 Plnobarevný tisk

Plnobarevný tisk nachází největší uplatnění při výrobě prezentačních modelů. V této oblasti existují dvě technologie:

- Technologie ProJet od společnosti 3D Systems využívá kompozitní prach na určených místech spojený pojídlem a barvami.
- Technologie Mcor staví objekt lepením a řezáním obyčejného kancelářského papíru (Obrázek 13).

Nevýhoda součástek je složitý postup při ručním dokončováním, např. impregnace pryskyřicí pro větší pevnost nebo u Mcor odstraňování zbytků kancelářského papíru. Součástky jsou určeny pouze pro prezentační účely, jako funkční součástky rozhodně nejsou vhodné, vzhledem k tomu, že nedokážeme zajistit alespoň minimální mechanické vlastnosti [1].

Obrázek 13: Čištění objektu vyrobeným technologií Mcor



Zdroj: 3dprint, 2017

3.3 Extrémně detailní tisk

Vznikají osvitom fotocitlivé pryskyřice, technologií SLA. Primárně DLP (Digital Light Processing) projektorem nebo laserem. Technologie vyžaduje profesionální obsluhu a speciální pracoviště vzhledem k tomu, že pryskyřice v nevytvrzené formě je silně toxická a při špatné manipulaci rychle vyvolává vyrážky [1].

Obrázek 14: Objekty vytisknuté na tiskárně Form1 ©formlabs



Zdroj: 3dexpoturkey, 2017

3.4 Výroba forem pro odlévání

Výroba pískových forem a jader s pomocí 3D tiskáren je dnes již pro mnoho sléváren standardem. Technologie je dobře zavedena v oblasti odlévání železa a kovů a nachází uplatnění všude tam, kde se projevují její přínosy. Ačkoliv aplikace 3D tisku primárně pokrývají vývoj prototypů a malosériovou výrobu, jejich limity se rychle posouvají směrem k čím dál větším objemům spolu s tím, jak se zlepšuje výkonnost systémů 3D tisku.

V kontrastu s běžnými metodami výroby forem, u nichž může několik týdnů zabrat pouze výroba formovacích desek a jaderníků, umožňuje 3D tisk vyrobit i velmi složité pískové formy do druhého dne nebo za několik málo dnů. Formy jsou vytvářeny bez nutnosti nákladného skládání forem a vyráběny jedním plně automatizovaným procesem, založeným čistě na zadání podle CAD dat. Při automatizovaném procesu jsou opakovaně na sebe nanášeny vrstvy křemičitého písku o tloušťce 0,3 mm, které v řezu vyráběného dílu zpevňuje pojivo aplikované tiskovou hlavou. Jakmile je tisk dokončen, je třeba hotovou formu vyjmout a očistit od zbytkového písku. Jelikož jsou pískové formy vyráběny přímo z CAD dat, je u nich naprostým standardem vysoká přesnost a detailnost. Vedle kratšího výrobního času zde dochází k mnohem menšímu omezení tvarů výrobku ve srovnání s konvenční výrobou. Návrhy lze zcela volně realizovat, aniž by se muselo přihlížet k úkosům nebo dělicím rovinám. Na základě 3D dat lze dokonce okamžitě vytisknout formy, které byly v průběhu prototypové fáze změněny, aniž by byla potřeba věnovat spousta času úpravám nástrojů. Navíc lze podle potřeb upravovat vtokové systémy v důsledku parametrů, jako je tlak lití a tím předcházet turbulencím a zvyšovat kvalitu. Pro představu možností vytvoření forem pro odlévání pomocí 3D tisku slouží Obrázek 15, kde je vidět pískové jádro vyrobené 3D tiskem (vlevo) a výsledný odlitek (vpravo) [12].

Obrázek 15: Výroba lopatkového kola bez potřeby nástrojů.



Zdroj: 3dexpoturkey, 2017

3.5 Tisk z kovů

Primárně se jedná o technologii DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Umožňuje rychle vyrobit plně funkční kovové díly (Obrázek 16) přímo z 3D CAD dat a odpadají tak investice do výrobních nástrojů a technologií, což v důsledku přinese značnou úsporu nákladů a hlavně času. DMLS nyní umožňuje výrobu několika tvarově odlišných součástí, zároveň také nabízí širokou škálu vlastností – od řízené porozity pro odvodušnění či filtraci, až po plně homogenní struktury, které mohou dosáhnout vyšší pevnosti než odlitky a výkovky [8].

Obrázek 16: Kovový díl vyrobený metodou DMLS



Zdroj: 3dexpoturkey, 2017

3.6 Zdravotnictví: dentální a lékařské aplikace

Aditivní technologie zasahuje i do farmaceutického průmyslu. V dentálním průmyslu se věnuje tvorbě zubních korunek a celých můstků. Ve zdravotnictví obecně se pomocí 3D tisku vytvářejí ortopedické implantáty a umělé končetiny. Vědci už umí pomocí aditivní technologie vytisknout lidské buňky, umělou tkáň a dokonce se začínají tisknout žíly a tepny. Jedná se tedy zpravidla o tvarově velice náročné díly vyráběné na míru po předchozím skenování pacienta. Tyto díly mnohdy nelze vyrobit běžnými technologiemi a 3D tisk v tomto odvětví vyloženě vyniká, přitom jsou používány standardní materiály jako je zdravotnická ocel a titan [13].

Obrázek 17: Umělá zubní náhrada.

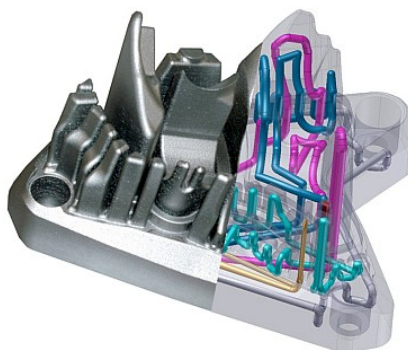


Zdroj: 3D-tisk-kovu.cz, 2018

3.7 Formy pro lisování plastů s konformním chlazením

Pomocí 3D tisku lze výrazně zkrátit čas při výrobě vstřikovacích forem pro lisování plastů. Touto technologií mohou být vytvářeny konformní¹⁷ chladicí kanálky i v nelineárním provedení, čímž je zajištěna optimální a spolehlivá¹⁸ temperace formy. Lepší chlazení formy má přímý vliv na většinu lisovaných dílů, čímž se zvyšuje životnost formy a snižuje zmetkovitost výroby. Materiály používané k vytvoření takovýchto forem jsou korozivzdorná ocel a chrom-kobaltová ocel [13].

Obrázek 18: Vstřikovací forma pro lisování plastů vyrobená pomocí 3D tisku.



Zdroj: 3D-tisk-kovu.cz, 2018

¹⁷ Konformní chlazení- chladicí okruh navržený tak, že v nejkratší možné vzdálenosti od stěny vylisku kopíruje jeho povrchový tvar.

¹⁸ Temperace – udržování teploty

4 Trendy aditivní výroby

Budoucnost 3D tisku se jeví jako úžasná. Prakticky umožňuje naplnění snů autorů sci-fi literatury. Mohl by např. zcela nahradit řadu současných výrobních postupů v mnoha oborech, v kterých se již nyní částečně uplatňuje, ale i v dalších dosud netušených.

Ve stavebnictví a architektuře by mohl umožnit nejen konstrukce komplikovaných staveb, ale i neuvěřitelně zrychlit a zlevnit typizovanou výstavbu s použitím netradičních materiálu i na odlehlých místech, či jiných planetách. Ano. Proč by třeba taková pokročilá tiskárna nemohla posloužit pro stavbu vesmírných základen z místních materiálů, což znamená z hornin planet. Například na Zemi je stavebnictví pomocí tiskáren již běžné [17].

V medicíně pak pěstování, či výrobu za pomoci kmenových buněk, náhrady prakticky čehokoliv. Uši, cévy, kosti, zuby, či umělé chrupavky, klouby a přirozeně fungující lidské orgány se budou tisknout biologickým materiálem obsahující kmenové buňky. Vzhledem ke složitosti transplantace orgánů a nedostatku dárců, bude 3D tisk skvělou příležitostí. Přizpůsobení je v této oblasti totiž značně důležité. Tiskem lze vytvořit orgány, které dokonale sednou příjemci jako vlastní a tělo nebude mít problém, je přijmout. Každý pacient bude tak moci obdržet své vlastní vytisknuté orgány, které se nebudou nijak lišit od „originálu“ [14].

Největší uplatnění je však již za dveřmi, především ve strojírenství. Výrobní podniky již nyní přehodnocují a digitalizují své výrobní procesy. Stále více jich začíná využívat technologie 3D tisku. Tak např. „Siemens předpovídá, že 3D tisk bude do roku 2022 o 50 % levnější a o 400 % rychlejší než je tomu dnes.“ „ V tuto chvíli používá 3D tisk pro výrobu svých komponent 29 % výrobců, do roku 2023 by toto číslo mohlo narůst až na 93 % [16].“ Změní se i výrobní strategie většiny společností. Místo centralizovaných řešení s rozloženou výrobou budou moci vyrábět blíže svým koncovým příjemcům. Vše bude transparentnější, efektivnější, ekologičtější a ušetří se za dopravu. Tak tomu bude ostatně i u dalších výrobních podniků, třeba v potravinářství, oděvním průmyslu nebo službách. Nakonec ani takové tradiční obory jako umění, školství nebo věda nezůstanou stranou. Největší výhodou 3D tisku je totiž jeho dostupnost. V situaci, kdy se rozbije jedna součástka, ať už jednoduchého či složitějšího zařízení a to přestane fungovat, nebude nutné příslušný díl objednat např. z Japonska. Bude prostě stačit si na síti stáhnout příslušný soubor a nechat si díl, podle něj, vytisknout servisní firmou, nebo dokonce na svém zařízení doma. Nejen však součástku, ale i např. náradí, přípravek nebo prostě věc. Jak daleko je potom již k „replikátoru“ známého ze sci-fi „Star trek“? S vývojem technologie a s postupem času se budou moci používat další a další materiály, jako například grafen¹⁹, a domácí tiskárny budou zvládat vyrábět prodejné výrobky. Mohou se také financovat výrobní závody 3D tisku, ačkoliv patrně nebudou moc rozšířené. 3D tisk nevyhnutelně změní koncept výroby a proces přeměny na lokální [16]. Budoucností aditivních technologií je také možná přechod na 4D tisk. Podstatou 4D tisku je možnost vytvářet objekty, které mohou měnit svůj tvar, zatímco jejich struktura je pevně daná. Například celková hmotnost a forma prefabrikované stavební součásti získá konečný tvar pouze tehdy, přidá-li se do ní voda. Polymery, které si umí pamatovat svůj tvar, jsou důležitými katalyzátory při tvorbě 4D tiskáren díky jejich lepší přizpůsobivosti a řízení [16].

¹⁹ Grafen – dvourozměrný atomový krystal. Jedná se o uměle vytvořený alotrop uhlíku. Skládá se z jedné vrstvy atomů uhlíku, které mají hexagonální uspořádání.

3D tisk bude pracovat i s nanomateriály a využívat výhod nanotechnologie. „*Nanotisk se rozšíří nejdříve pomocí prototypů. Kromě specifického tisku vrstvy po vrstvě se bude tisknout i ze směsi syntetické pryskyřice kombinované s kyslíkem a ultrafialovým zářením. Nová metoda nazývána CLIP by mohla být zprvu 25krát a později dokonce až 100krát rychlejší než tradiční 3D tisk [16].*“

S takovými možnostmi však vystupují do popředí etické problémy. Je to otázka např. detektory kovů nezjistitelných zbraní. Již dnes vytištěné pistole jsou vzhledem ke svému materiálu snadno „propašovatelné“ i přes rentgenové rámy a kontroly. Obvykle jedinou součástí z kovu je úderník, který není až tak složité dostat přes kontrolu (na opasku za sponou, v peněžence u drobných...). S náboji to je horší. Ne kvůli nedostupnosti. Jejich opatření je hračkou, běžně se dají sehnat na střelnicích, kde Vám nikdo nebude odměřovat počet vystřelených nábojů. Problém nastane při pokusu o propašování na palubu letadla. Bohužel i toto je pro kriminální živly dříve, či později řešitelným problémem. Dále pak bude muset být řešena problematika „pirátství“ u intelektuálního vlastnictví. Copyright na daný výrobek bude neskonalé prosadit, neboť při zcizení jeho plánů bude vytištěný produkt k nerozeznání a další [1].

S rozvojem informačních technologií nebude tvůrcem člověk, ale samotný program, který bude generovat alternativy pro některé objekty, založené nejen na našich pokynech, ale i na znalostech získaných při strojovém učení. Již nyní se např. jeden konkrétní model 3D tiskárny nevyrobí, ale tzv. replikuje na farmě. Z vytištěných součástek lze pak z větší části sestavit fungující tiskárnu. Ve chvíli, kdy stroj dokáže svoje vlastní součástky nejen vytisknout, ale je sám i sestavit a pomocí strojového učení svoje klony vylepšit, jsme opět v sci-fi. Vytištěné syntetické svaly robotů budou k nerozeznání od originálu. S materiály podobnými lidské tkáni bude možné dokonale kopírovat biologické systémy. Hotový výrobek bude možné použít k transplantacím, v ortopedické obuvi apod. Avšak i k výrobě robotů nebo dokonce androidů. Mezitím se 3D tiskárny promění na robotické systémy. Obě technologie se spojí v jednu a tiskárny s umělou inteligencí budou tisknout své vlastní vylepšené verze. Vylepšené verze pak vylepšené androidy. Tak proč si třeba v budoucnosti nevytisknout i svoje geneticky vlastní dítě? To vše je daleko, avšak není již dnes čas na tyto etické problémy budoucnosti již dnes nastavit legislativu? Automobily s autonomním řízením se prohánějí po metropolích Evropy, ale zákonná úprava jejich provozu je v nedohlednu [15][16].

PRAKTICKÁ ČÁST

5 Zkušební tisk vybrané součásti

V následujících podkapitolách bude rozepsán technologický proces aditivní výroby v praxi dle kapitoly 2.1.2, probírané už v teoretické části práce. Pro zkušební tisk byla vybrána 3D tiskárna Prusa i3 MK2, která je k dispozici studentům na Fakultě designu a umění Ladislava Sutnara. 3D tiskárna funguje na bázi pevných částic (2.2.3) konkrétně se jedná o technologii FDM. Pro tisk součásti byl vybrán materiál PLA (Polylaktidová vlákna) bílé barvy.

5.1 Krok 1: Tvorba modelu v CAD systému Autodesk Inventor

V prvním kroku je třeba vytvořit objekt, ze kterého jsou následně vygenerována data, potřebná pro 3D tiskárnu. Existuje mnoho profesionálních softwarů, ve kterých je možno vytvořit daný objekt a následně ho exportovat do formátu STL. Pro potřeby bakalářské práce byl použit software Autodesk Inventor a v něm následně vytvořen model planetové převodovky (Obrázek 19).

Obrázek 19: Vymodelovaný objekt (Planetová převodovka) v Autodesk Inventor



5.2 Krok 2: Vygenerování formátu STL

V programu Autodesk Inventor byly vygenerovány jednotlivé soubory ve formátu STL. Hotový 3D model se převede na síť trojúhelníků tak, že se v uživatelském rozhraní zvolí exportovat do formátu CAD, kde se zobrazí dialogové okno, v kterém je zvoleno „Uložit jako typ: formát STL“.

5.2.1 Kontrola celistvosti sítě

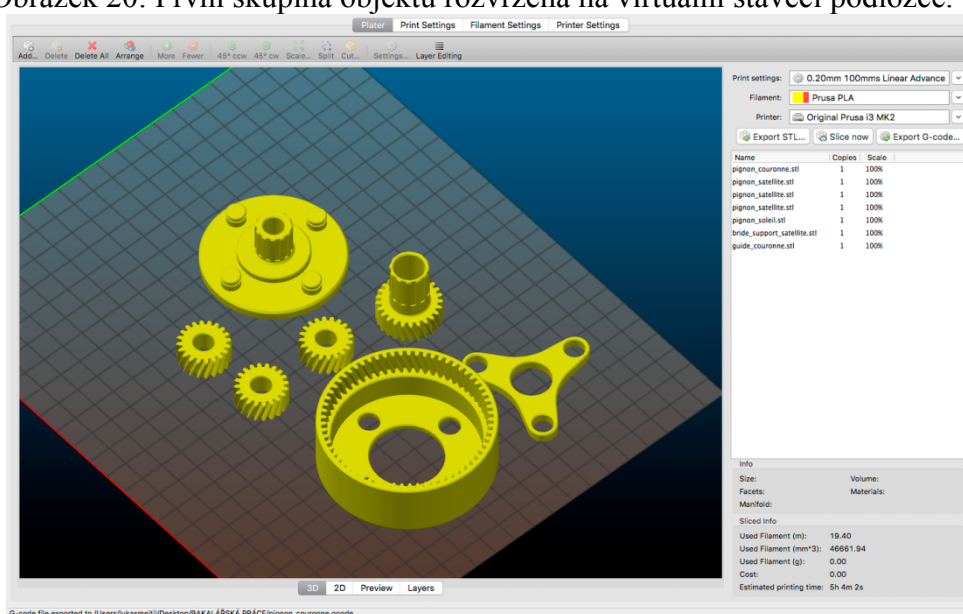
Poté co software exportoval objekt do STL formátu, byl použit program Autodesk Netfabb Premium k prověření celistvosti vytvořené trojúhelníkové sítě. Model byl načten do programu a následovalo spuštění základní opravy. Program nenašel na modelu žádné trhliny, shledal ho tedy v pořádku a schopný pro tisk.

5.3 Krok 3: Import souboru ve formátu STL do zařízení

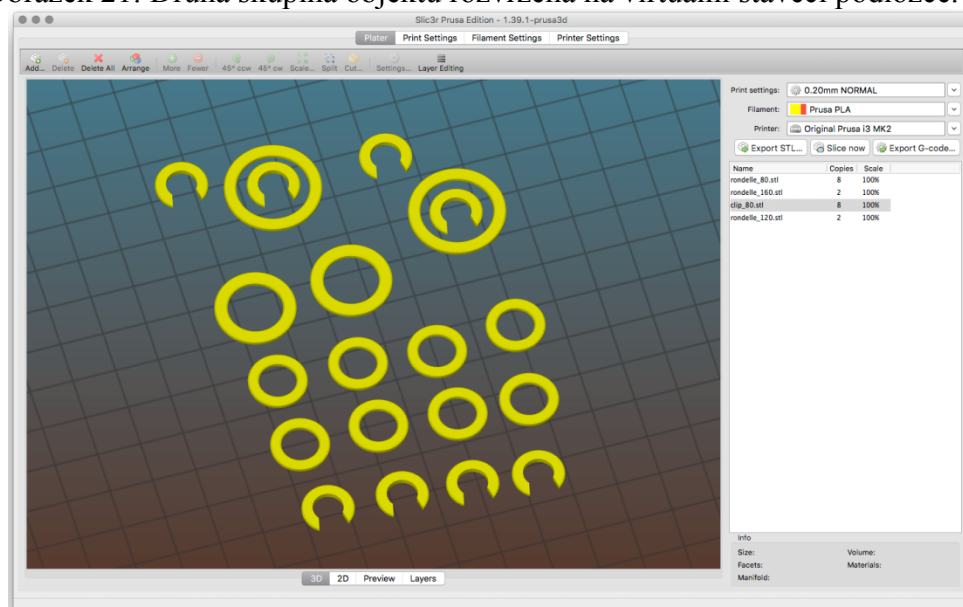
5.3.1 Rozvržení objektů na stavěcí desce

Vzhledem k zařízení na 3D tisk (Prusa i3 Mk2) byl vybrán originální software od výrobce, který je k zařízení zcela zdarma. CAM software nebo-li Slicer, ve kterém se součásti rozvrhly na virtuální stavěcí podložku se nazývá Slic3r. Vzhledem k množství součástí byl tisk rozvržen do dvou skupin. První skupina (Obrázek 20) tvořila obtížnější součástky a proto tisk trval podstatně delší dobu. Doba prvního tisku činila 5 hodin a 4 minuty. Druhá skupina (Obrázek 21) obsahovala pouze drobné součástky ve větším množství. Doba druhého tisku činila 1 hodinu a 45 minut. Pokud by tisk nebyl rozdělen do dvou částí, tak by se doba tisku ještě více prodloužila, vzhledem k většímu množství vzdálených přejezdů tiskové hlavy.

Obrázek 20: První skupina objektů rozvržena na virtuální stavěcí podložce.



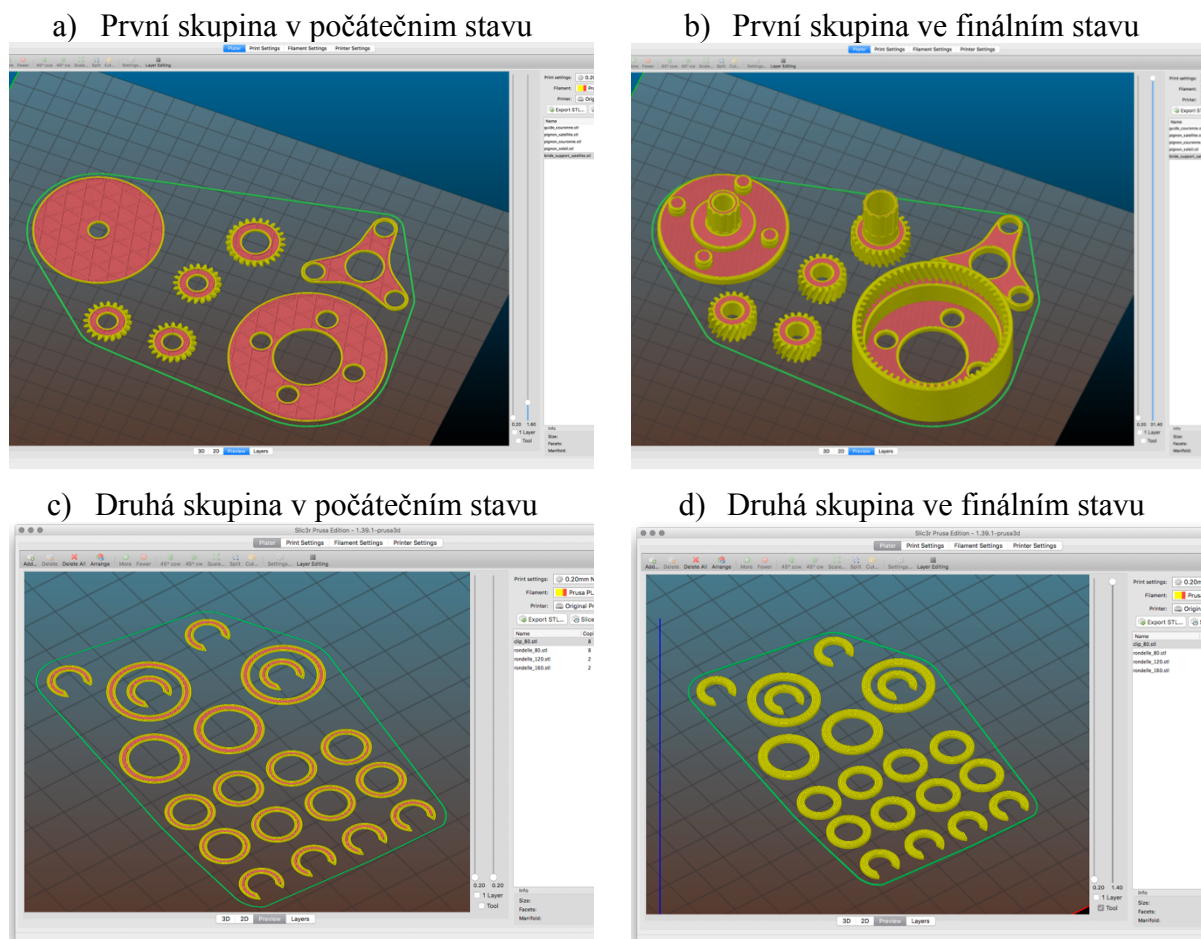
Obrázek 21: Druhá skupina objektů rozvržena na virtuální stavěcí podložce.



5.3.2 Teoretická kontrola jednotlivých vrstev objektu

Po rozvržení součástek na virtuální stavěcí podložku, byly zkontrolovány jednotlivé vrstvy u obou skupin dílů (Obrázek 22). Na Obrázek 22a) a Obrázek 22c) je vidět počáteční stav, první a druhé skupiny součástek, v řezu teprve osmé vrstvy. b) a Obrázek 22c) zobrazuje finální stav v řezu poslední vrstvy. U Obrázek 22b) se jedná, vzhledem k nejvyšší součástce, až o 157 vrstvu.

Obrázek 22: Kontrola vrstev obou skupin dílů.

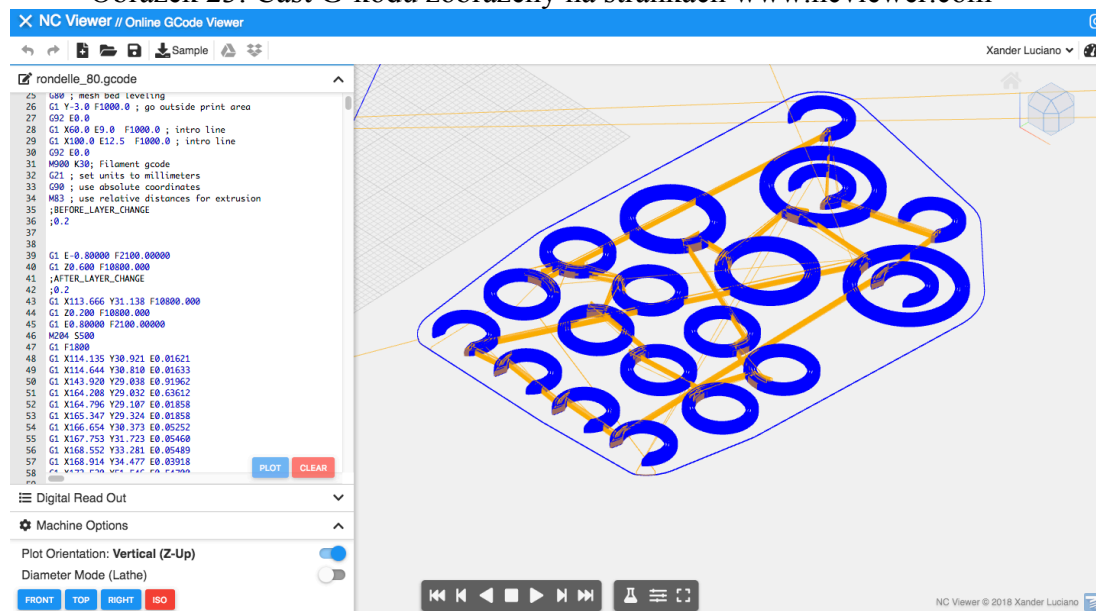


5.3.3 Vygenerování G-kódu pro 3D tiskárnu

V programu Slic3r byl vygenerován tzv. G-kód²⁰, dle kterého se tiskárna pohybuje. Jedná se o přesná data, kterými se tisková hlava řídí. Data pro tiskárnu obsahují množství souřadnic určující směry pohybu tiskové hlavy, tloušťku vrstvy, použitý materiál a informace o teplotě jak materiálu v trysce, tak podložky. Pro ukázkou G-kódu, byl použit online G-kód prohlížeč na stránkách www.ncviewer.com. V prohlížeči byl otevřen vytvořený soubor z programu Slic3r s příponou .gcode a samotný G-kód zkontrolován. Obrázek 23 zobrazuje vzhled uživatelského rozhraní stránek a zároveň část G-kódu druhé skupiny tisknutých součástí. Po tomto kroku byly všechny součásti objektu připraveny k tisku.

²⁰ G- kód – název programovacího jazyka, který řídí i NC a CNC obráběcí stroje.

Obrázek 23: Část G-kódu zobrazený na stránkách www.ncviewer.com



5.4 Krok 4: Nastavení stroje

Před každým tiskem je třeba tiskárnu nastavit. Následující oddíly popisují podrobný přehled potřebných kroků pro přípravu 3D tiskárny.

5.4.1 Příprava polyetherimidové (PEI) tiskové plochy

Nejdříve je třeba PEI tiskovou plochu důkladně očistit od mastnoty z rukou a nečistot z předchozího tisku, aby bylo dosaženo co nejlepší přilnavosti na povrchu. Samotné čištění je snadné. Pro vyčištění PEI tiskové plochy byl použit isopropyl alkohol (IPA), který byl zakoupen v běžné drogerii. IPA funguje dobře pro plasty ABS i PLA, z kterého bylo tisknuto.

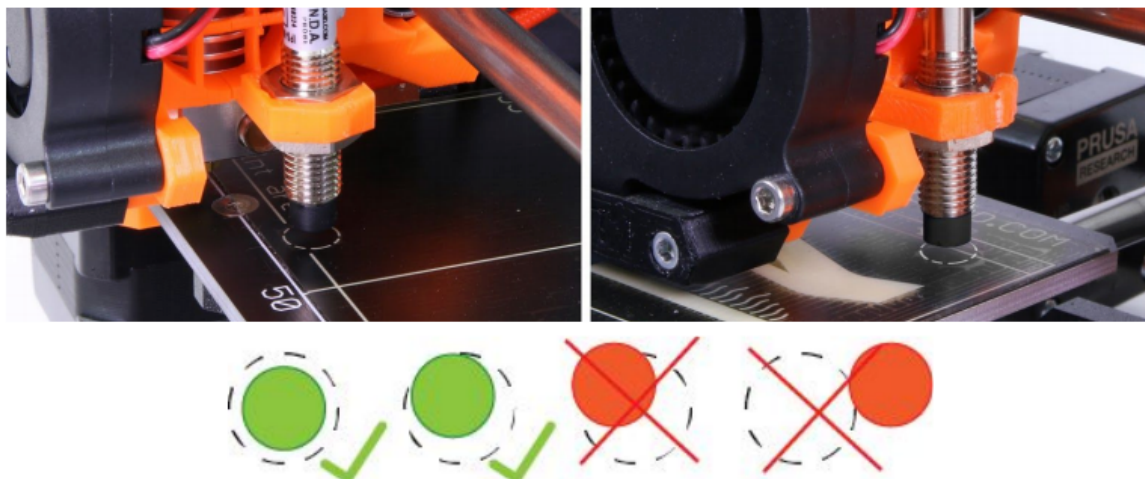
5.4.2 Kalibrace souřadnic XYZ

Kalibraci souřadnic XYZ je třeba provést za účelem korekce zkosení os X/Y a změření pozic devíti kalibračních bodů, které jsou součástí tiskové podložky.

Korekce zkosení os X/Y byla vizuálně zkontrolována. U korekce je důležité, aby osa X byla rovnoběžná s linkami na tiskové ploše.

Kalibrace XYZ byla spuštěna jednoduše v menu z ovládacího panelu tiskárny. Kalibrace XYZ probíhala samostatně ve třech krocích. V prvním kroku tiskárna vyhledávala čtyři kalibrační body na podložce tak, aby nepoškodila podložku tiskovou hlavou. Ve druhém kroku tiskárna našla všech devět kalibračních bodů podložky. Ve třetím kroku tiskárna měřila výšku indukční sondy nad všemi kalibračními body (Obrázek 24) a tyto hodnoty si uložila do trvalé paměti jako reference. Průběh kalibrace byl sledován na displeji tiskárny, kde by byl v případě problému zobrazen i chybový stav.

Obrázek 24: Umístění kalibrační sondy nad kalibračními body.



Zdroj: prusa3d.cz, 2018

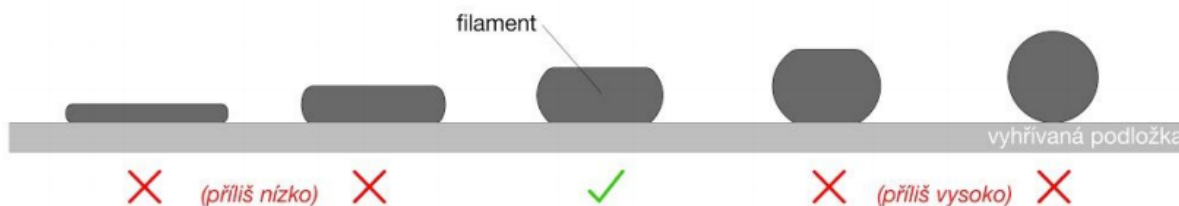
5.4.3 Zavedení filamentu do tiskové hlavy

Po úspěšné kalibraci byl dle instrukcí na displeji tiskárny zaveden filament²¹. Samotnému zavedení filamentu předcházela předehřev tiskové hlavy a stavební podložky na teplotu automaticky nastavenou dle výběru materiálu. Po dosažení vhodné teploty byl ručně zaveden samotný filament k tiskové hlavě, kde mechanismus tiskové hlavy uchytí filament a sám ho zavedl. Na konec proběhla kontrola, zda z trysky vytéká roztavený filament.

5.4.4 Nastavení první vrstvy

Pro správné nastavení vrstvy bylo třeba kalibrovat vzdálenost vršku trysky a sondy. Prvotně tedy byla předehřívána tryska pro materiál PLA. V menu na displeji tiskárny byl zvolen tisk z SD karty, kde byl připravený soubor od výrobce, který začal provádět kalibraci. Tiskárna proměřila podložku a začala na tiskové ploše tisknout meandr²². Tryska byla ve výšce určené nastavením kalibrační sondy a dle návodu se v žádném případě nesměla dotknout tiskové plochy. Byla tedy pozorována linka, která byla tisknuta na tiskový povrch. Na LCD displeji bylo zvoleno doladění osy Z, při kterém se měla během zkušebního tisku doladit vzdálenost trysky od tiskové plochy. Cílem bylo snižovat trysku, dokud se vytlačovaný filament vhodně nepřichytí k podložce (Obrázek 25). Finální stanovená hodnota byla nastavena na -0,505 mm.

Obrázek 25: Správný tvar natavované vrstvy



Zdroj: prusa3d.cz, 2018

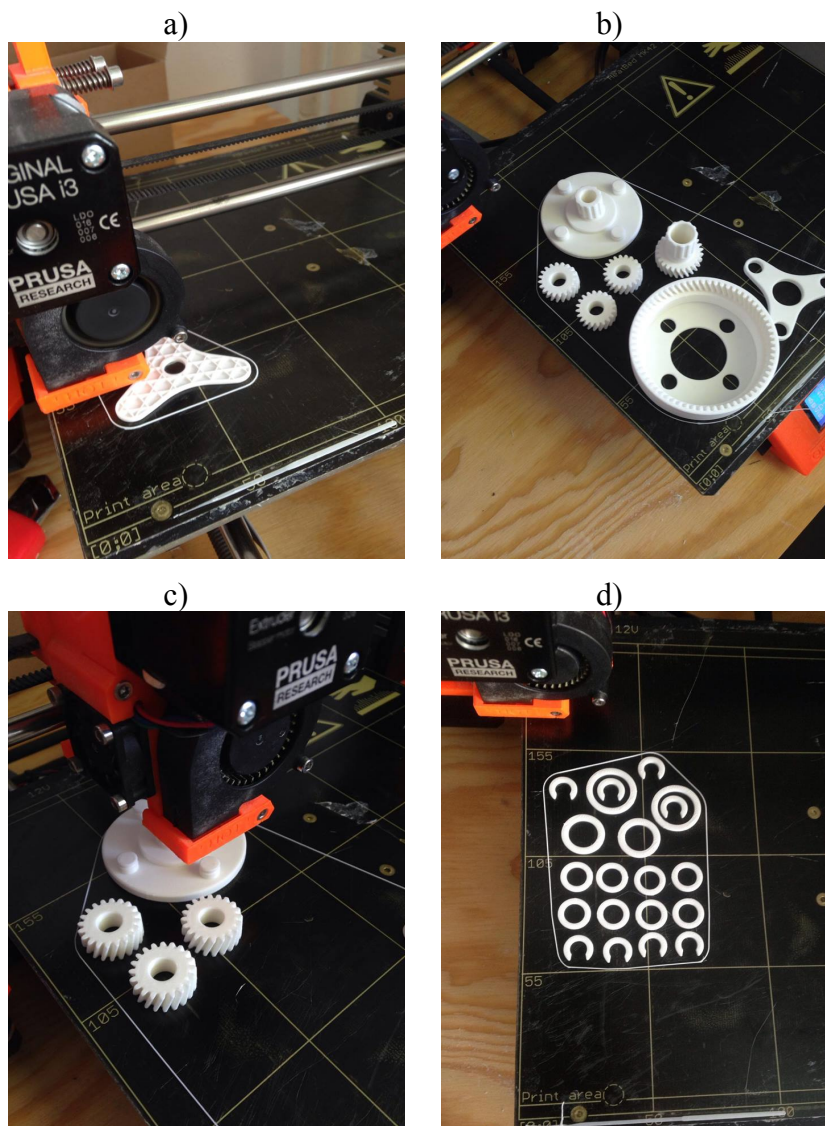
²¹ Filament – pojem zavedený v 3D tisku pro vstupní materiál

²² Meandr – plošný ornament z vodorovných a svislých čar.

5.5 Krok 5: Stavba

Stavba součástí, po odeslání informací o tisku (G-kódu) do tiskárny, probíhala zcela samostatně a bez sebemenších problémů. Tiskárna součásti vytiskla v odhadovaném čase. Na následujících obrázcích je zdokumentován průběh tisku (Obrázek 26).

Obrázek 26: Průběh tisku.



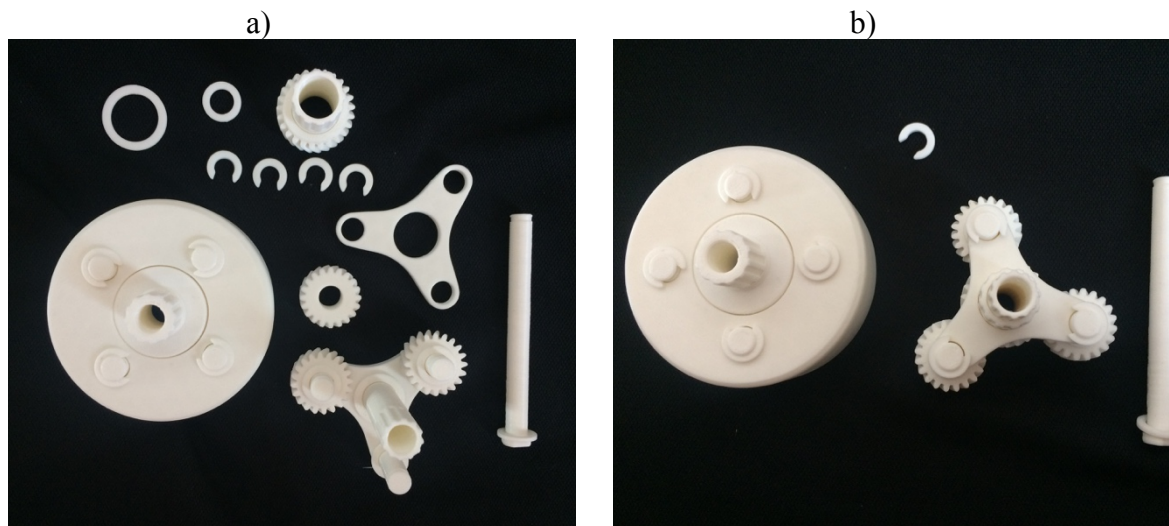
5.6 Krok 6: Odstranění

Jakmile byl tisk dokončen, bylo zapotřebí před odstraněním objektu, nechat trysku i podložku vychladnout na pokojovou teplotu. Vzhledem k velikosti objektu, byla použita špachtle se zaoblenými rohy k odloupení předmětu z podložky. Pokud jsou předměty přichyceny příliš pevně, doporučuje se použít zubní nit.

5.7 Krok 7: Následné zpracování

Všechny vytištěné součásti byly, po vychladnutí a odstranění ze stavěcí podložky, smontovány v surovém stavu, tedy bez jakékoliv povrchové úpravy materiálu. Postup montáže součástí je částečně znázorněn na Obrázku 27.

Obrázek 27: Montáž vytisknuté součásti.



5.8 Krok 8: Aplikace

Vzhledem k použitému materiálu PLA a malých geometrických rozměrů, je aplikace výsledné planetové převodovky (Obrázek 28) značně omezená. Finální vytištěný mechanismus může nahradit konvenčně vyráběné planetové převodovky pouze v malých zařízeních, kde nejsou tak velké zatěžující síly. Takto vytištěný objekt se hodí, vzhledem ke své ceně 600,- Kč a výrobní době 6 hodin a 49 minut, jen pro kusovou výrobu. V sériové výrobě by v současnosti tato technologie hledala uplatnění jen stěží. Nicméně nevýhoda sériové výroby je dána počátky technologie a budoucnost může být zcela odlišná viz. kapitola 4 Trendy aditivní výroby.

Obrázek 28: Planetová převodovka z materiálu PLA.



6 Závěr

Bakalářská práce je dělena na dvě základní části, část teoretickou a praktickou. Teoretická část slouží k seznámení se s touto rychle se rozvíjející oblastí technologie. V první kapitole je obecné seznámení s principem aditivní výroby. Zároveň je shrnuta její historie a současnost.

Následuje popis technologie aditivní výroby, který zahrnuje technologický postup, rozděluje technologie 3D tisku na tři základní dle typu využívané báze materiálu a představuje technologii 3D skenování.

Další kapitola je zaměřena na obecný popis využití 3D tisku. Technologie poskytuje firmám možnost navrhnout a vyrábět jedinečný výrobek, který díky své exkluzivitě získá na přidané hodnotě. V současnosti tyto výhody využívá prototyping a částečně i malosériová výroba, kde se však využití očekává v dalších letech mnohem větší.

Poslední kapitolou teoretické části jsou trendy v oblasti aditivních technologií zaměřující se na budoucí možnosti.

Cílem této práce bylo zjistit omezující a technologické možnosti aditivní výroby, k tomuto účelu je v praktické části popsán obecný aditivní proces reálného objektu.

V rámci práce sloužil jako reálný objekt model planetové převodovky. Prototyp planetové převodovky byl vytisknut na zařízení Prusa i3 MK2 z materiálu PLA. Mechanismus vyrobený technologií aditivní výroby nemá sice takové mechanické vlastnosti jako mechanismy tradičně vyráběné z kovových materiálů, ale jeho hlavními výhodami je např. potřeba pouze jednoho kompaktního stroje, velké snížení spotřeby materiálu, přesný výrobek dle digitální předlohy a na závěr díky použití 3D skenování, vytisknutí bez jakéhokoli výrobního výkresu nebo povědomí o technologickém postupu výroby prakticky cokoliv.

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Základní výrobní procesy.....</i>	<i>5</i>
<i>Obrázek 2: Obecný proces zahrnující všech osm kroků</i>	<i>7</i>
<i>Obrázek 3: Schéma procesu SLA.....</i>	<i>9</i>
<i>Obrázek 4: Schéma procesu PolyJet.....</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 5: Schéma procesu MJP</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 6: Schéma procesu SLS</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 7: Schéma procesu CJP.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 8: Schéma procesu LOM.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 9: Schéma procesu FDM.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 10: Princip ukládání dat trojúhelníkové sítě.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 11: Rozdělení 3D skenerů.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 12: Vytištěná převodová kola tiskárnou RepRap, konkrétně tiskárnou Prusa i3.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 13: Čištění objektu vyrobeným technologií Mcor</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 14: Objekty vytisknuté na tiskárně Form1©formlabs</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 15: Výroba lopatkového kola bez potřeby nástrojů.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 16: Kovový díl vyrobený metodou DMLS.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 17: Umělá zubní náhrada.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 18: Vstřikovací forma pro lisování plastů vyrobena pomocí 3D tisku.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 19: Vymodelovaný objekt (Planetová převodovka) v Autodesk Inventor.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 20: První skupina objektů rozvržena na virtuální stavěcí podložce.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 21: Druhá skupina objektů rozvržena na virtuální stavěcí podložce.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 22: Kontrola vrstev obou skupin dílů.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 23: Část G-kódu zobrazený na stránkách www.ncviewer.com.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 24: Umístění kalibrační sondy nad kalibračními body.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 25: Správný tvar natavované vrstvy.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 27: Montáž vytisknuté součásti.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 26: Průběh tisku.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 28: Planetová převodovka z materiálu PLA.....</i>	<i>36</i>

Použitý software

Autodesk Inventor Professional 2017
Autodesk Netfabb Premium
Slic3r

Knižní publikace

- [1] Průša, Josef Průša a Michal. Základy 3D tisku. místo neznámé : 2014 Prusa Research s.r.o, 2014.
- [2] KRATOCHVÍLOVÁ, Jitka. 3D TISK. Ústí nad Labem : UJEP, 2015. ISBN 978-80-7414-936-8.
- [3] Chua, C. K. & Leong, K. F (2015). 3D printing and additivemanufacturing: principles and applications, Singapore: World Scientific
- [4] GIBSON, I., D. W. ROSEN a B. STUCKER. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing. Second edition. London: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
- [5] LIOU, Frank W. Rapid prototyping and engineering applications: a toolbox for prototype development. Boca Raton: CRC Press : Mechanical engineering Taylor, 2008. ISBN 08-493-3409-8.

Internetové publikace

- [6] 3dtisknazakazku. [Online] [Citace: 8. 11 2016.] <http://www.3dtisknazakazku.cz/9-clanky/15-historie-a-soucasnost-3d-tisku.html>.
- [7] vutbr. [Online] [Citace: 7. 12 2016.] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41825.
- [8] Přehled technologií 3D tisku | dkmp Nový Jičín, Ostrava. Kovovýroba, 3D tisk, konstrukce, vývoj | dkmp Nový Jičín, Ostrava [online]. Copyright © [cit. 06.05.2018]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>
- [9] mcae. [Online] [Citace: 7. 12 2016.] <http://www.mcae.cz/voxeljet/co-by-mely-slevarny-vedet-o-3d-tisku/>.
- [10] RepRap. [online]. [vid. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://reprap.org/>
- [11] SPŠKS Hořice [online]. Copyright © [cit. 30.04.2018]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
- [12] Unikátní technologie 3D tisku písku. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2018 www.mmspektrum.com [cit. 06.05.2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-technologie-3d-tisku-pisku.html>
- [13] Praktické využití – Laboratoř aditivní výroby. Laboratoř aditivní výroby – Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [online]. Copyright © 2018 [cit. 06.05.2018]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk-kovu.cz/prakticke-vyuziti/>

- [14] Technologie 3D tisku. [online]. Copyright © 2018 itnetwork.cz. Veškerý obsah webu [cit. 07.05.2018]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>
- [15] 3ders.org - 3D printer and 3D printing news. 3ders.org - 3D printer and 3D printing news [online]. Copyright © 2011 [cit. 07.05.2018]. Dostupné z: <http://www.3ders.org>
- [16] Budoucnost 3D tisku - iMagazín. iMagazín - Apple news [online]. Copyright © 2018 iSTYLE Česká republika. Všechna práva vyhrazena. [cit. 07.05.2018]. Dostupné z: <http://imagazin.cz/budoucnost-3d-tisku/>
- [17] Vesmírný 3D tisk je budoucnost vzdálených výprav | VTM.cz. [online]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/vesmirny-3d-tisk-je-budoucnost-vzdalenyh-vyprav>
- [18] Lidovky.cz Vytisknout zbraň v cesku stojí 10 tisíc. Lidé to už zkouší, tvrdí vedoucí tiskárny. [online]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/vytisknout-zbran-v-cesku-stoji-10-tisic-dyt-/zpravy-domov.aspx?c=A141022_134402_ln_domov_jzl