

Univerzita Hradec Králové
Filozofická fakulta

Bakalářská práce

2015

Miroslav Vik

Univerzita Hradec Králové
Filozofická fakulta
Katedra pomocných věd historických a archivnictví

3D technologie v rámci muzejní praxe

Bakalářská práce

Autor: Miroslav Vík
Studijní program: B3928 Technická podpora humanitních věd
Studijní obor: Počítačová podpora v archivnictví
Vedoucí práce: Mgr. Lenka Chadimová

Hradec Králové, 2015



Zadání bakalářské práce

Autor: Miroslav Vik
Studium: F1221
Studijní program: B3928 Technická podpora humanitních věd
Studijní obor: Počítačová podpora v archivnictví
Název bakalářské práce: **3D technologie v rámci muzejní praxe**
Název bakalářské práce AJ: 3D technology in the context of museum practice

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Stručný obsah: Práce se zabývá 3D technologiemi (tiskárny, skenery, softwary), jejich porovnáním a možnostmi využití v rámci muzejní praxe. **Metody zpracování:** komparace, rešerše

Literatura nebo archivní fondy: Fabricated: The New World of 3D Printing (Hod Lipson, Melba Kurman); 3D Printing for Dummies (Kalani Kirk Hausman, Richard Horne); Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing (Brian Evans); The Book on 3D Printing (Isaac Budmen, Anthony Rotolo); 3D Printing: The Next Industrial Revolution (Christopher Barnatt); New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes: Skin, Jelly Candy, Alabaster, Fruits and More (Tongbo Chen); 3D Scanner 24 Success Secrets - 24 Most Asked Questions on 3D Scanner - What You Need to Know (Douglas Parker); 3D laser scanning technology in buildings archaeology: the case of M? ketorpsboden in Kulturen, Lund (Linda Nesi); 3D Character Created by 3D Scanner and Connection in 3D Game Engine: The Techniques of Using 3D Scanner (Jun Guo)

Garantující pracoviště: Katedra pomocných věd historických a archivnictví,
Filozofická fakulta
Vedoucí práce: Mgr. Lenka Chadimová
Oponent: PhDr. Zdeněk Zahradník
Datum zadání závěrečné práce: 26.11.2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval pod vedením vedoucí bakalářské práce samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne

Podpis autora modrou barvou

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí bakalářské práce Mgr. Lence Chadimové za její rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky.

Anotace

VIK, Miroslav. *3D technologie v rámci muzejní praxe*. Hradec Králové: Filozofická fakulta Univerzity Hradec Králové, 2015, 100 str., Bakalářská práce.

Tato bakalářská práce poskytuje základní informace o možnostech a principech aktuálně dostupných 3D technologií, které mohou být využívány v paměťových institucích. Jednotlivé kapitoly jsou věnovány teoretickým základům technologií 3D tisku a 3D skenerů. V dalších částech práce jsou zmapovány oblasti současného praktického využití 3D technologií v paměťových institucích a za pomoci několika příkladů nastíněn jejich možný přínos. V následujících kapitolách praktické části bakalářské práce je reálně vyzkoušena možnost stažení volně dostupného 3D modelu artefaktu poskytovaného paměťovou institucí a jeho následná výroba za pomoci rozdílných 3D tiskáren.

Klíčová slova: 3D technologie, 3D tiskárna, 3D skener, paměťová instituce, muzeum, 3D tisk, 3D skenování, 3D technologie v muzeu

Annotation

VIK, Miroslav. *3D technology in the context of museum practice*. Hradec Králové: Faculty of Arts, University of Hradec Králové, 20015, 100 pp., Bachelor Degree Thesis.

This thesis provides basic information about the possibilities and principles of currently available 3D technologies that can be used in memory institutions. Individual chapters are devoted to the theoretical fundamentals of technology of 3D printing and 3D scanners. Other parts of the study delineate the area of current practical use of 3D technologies in memory institutions and with the help of a few examples there are outlined their possible benefits. In the following chapters of the practical part of the thesis there is realistically experienced possibility of downloading freely available 3D models of artifacts provided by memory institutions and its subsequent production using different 3D printers.

Keywords: 3D technology, 3D printer, 3D scanner, memory institutions, museum, 3D printing, 3D scanning, 3D technology in museum

Obsah

1	Úvod	11
2	Historie a počátky 3D tisku	12
2.1	Terminologie	12
2.2	Počátky technologie	14
3	3D tiskárny a technologie	16
3.1	Technologie.....	16
3.1.1	Technologie na bázi fotopolymerů	17
3.1.1.1	Stereolitografie (SLA).....	17
3.1.1.2	Solid Ground Curing (SGC).....	18
3.1.1.3	Digital Light Projection (DLP).....	19
3.1.1.4	PolyJet, MultiJet Modeling (MJM).....	20
3.1.1.5	Rekapitulace	22
3.1.2	Technologie na bázi práškových materiálů	23
3.1.2.1	Selective Laser Sintering (SLS)	23
3.1.2.2	Direct Metal Sintering (DMLS)	26
3.1.2.3	Selective Laser Melting (SLM).....	27
3.1.2.4	Electron Beam Melting (EBM)	27
3.1.2.5	Three Dimensional Printing (3DP).....	28
3.1.2.6	Rekapitulace	30
3.1.3	Technologie na bázi laminování	31
3.1.3.1	Laminated Object Manufacturing (LOM).....	32
3.1.3.2	Selective Deposition Lamination (SDL)	33
3.1.3.3	Rekapitulace	34
3.1.4	Technologie na bázi natavených plastů	34
3.1.4.1	Fused Deposition Modeling (FDM)	34

3.1.4.2	Rekapitulace	36
4	3D skenery a 3D modelovací softwary	38
4.1	3D Skenery	39
4.1.1	3D skenery destruktivní	40
4.1.2	3D skenery nedestruktivní	41
4.1.3	3D skenery dotykové	41
4.1.4	3D skenery bezdotykové	42
4.1.4.1	3D skenery laserové	43
4.1.4.2	3D skenery optické	44
4.1.4.3	3D skenery ultrazvukové	45
4.1.4.4	3D skenery rentgenové a CT skenery	45
4.1.5	3D skenery stacionární a mobilní	46
4.1.6	Rekapitulace	46
4.2	3D modelovací softwary	47
4.2.1	Solid modeling (Geometrické modelování)	47
4.2.2	Surface modeling (Plošné modelování)	48
4.2.3	Vývoj v oblasti 3D modelovacích softwarů	50
4.2.4	3D model a fotografie	51
4.2.5	Rekapitulace	52
5	3D technologie v muzejní praxi	53
5.1	3D projekce a virtuální prohlídky	53
5.1.1	3D projekce	53
5.1.2	Virtuální prohlídky	55
5.1.3	Rekapitulace	56
5.2	Využití 3D tiskáren a 3D skenerů	57
5.2.1	3D tiskárny	57

5.2.2	3D skenery	62
5.2.3	Rekapitulace.....	67
6	Praktická část.....	69
6.1	MakerBot Thing-o-matic	70
6.2	Kossel Mini	71
6.3	Felix 3.0 dual extruder	72
6.4	Rebel II.....	74
6.5	Rekapitulace	75
7	Závěr.....	76
8	Seznam zdrojů	79
	Seznam použitých obrázků	90
	Příloha A - Vytisknuté Lincolnovy busty (digitální fotografie).....	98
A. 1	Předmět vyrobený tiskárnou Makerbot Thing-o-matic.....	98
A. 2	Předměty vyrobené tiskárnou Kossel Mini	98
A. 3	Předmět vyrobený tiskárnou Felix 3.0 dual extruder	99
A. 4	Předmět vyrobený tiskárnou Rebel II.	99
	Příloha B - Finální výtisky z 3D tiskáren (fyzické předměty).....	100
B. 1	Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Makerbot	100
B. 2	Finální výtisky Lincolnovi busty z 3D tiskárny Kossel Mini.	100
B. 3	Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Felix 3.0.....	100
B. 4	Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Rebel II.....	100

Seznam použitých zkratk

3D	- 3 Dimension - výraz označuje prostor, který lze popsat pomocí 3 rozměrů a způsob trojrozměrného zobrazení objektů.
3DP	- Computer Numerical Control - mezinárodně používaná zkratka pro číslíkové řízení pomocí počítače.
ABS	- Akrylonitrilbutadienstyren - termoplast, materiál využívaný pro 3D tisk
ASTM	- American Society for Testing and Materials - Americká společnost pro zkoušení a materiály
CAD	- Computer Aided Design - programové nástroje pro použití ve výrobního procesu, vývoji, konstrukci a technologické přípravě.
CNC	- Computer Numerical Control - mezinárodně používaná zkratka pro číslíkové řízení pomocí počítače.
CT	- Computer Tomograph - počítačový tomograf - pomocí rentgenového záření umožňuje zjistit vnitřní struktury objektu.
DLP	- Digital Light Projection - 3D tisková technologie
EBM	- Electron Beam Melting - 3D tisková technologie
FDM	- Fused Deposition Modeling - 3D tisková technologie
FFF	- Fused Filament Fabrication - 3D tisková technologie
ISO/TC	- International Organization for Standardization/Technical Committee - Mezinárodní organizace pro normalizaci/Technická komise
LOM	- Laminated Object Manufacturing - 3D tisková technologie
MIT	- Massachusetts Institute of Technology - Massachusettský technologický institut
MJM	- MultiJet Modeling - 3D tisková technologie
OBJ	- Souborový formát pro komunikaci s 3D tiskárnami
PLA	- Polylactid acid – termoplast, materiál využívaný pro 3D tisk
SDL	- Selective Deposition Lamination - 3D tisková technologie
SGC	- Solid Ground Curing - 3D tisková technologie
SLA	- Stereolithography - 3D tisková technologie, označení prvních zařízení pro 3D tisk (Stereolithography apparatus)
SLM	- Selective Laser Melting - 3D tisková technologie
SLS	- Selective Laser Sintering - 3D tisková technologie
STL	- Standardizovaný souborový formát pro komunikaci s 3D tiskárnami
UV	- Ultra Violet – Ultrafialové - elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než má viditelné světlo, ale delší než má rentgenové záření.
WRL	- Souborový formát pro komunikaci s 3D tiskárnami

1 Úvod

3D technologie, které v posledních letech zaznamenaly velký pokrok a rozmach, jsou často označovány za hlavní příčinu, proč někteří odborníci hovoří o této době jako o možném počátku nové průmyslové revoluce. S rostoucími možnostmi uplatnění a lepší dostupností 3D technologií je možné sledovat také jejich pronikání do oborů, které se přímo nepodílely na jejich vzniku a vývoji. Jedním z takových oborů jsou i paměťové instituce, jejichž hlavním cílem je ochrana a zpřístupnění kulturního dědictví. Při plnění těchto úkolů mohou být neustále se rozvíjející 3D technologie vítaným a velmi užitečným pomocníkem.

Tato práce si klade za cíl stručně seznámit s historií, vývojem a principy 3D technologií, jejich současnými možnostmi a za pomoci několika příkladů jsou představeny reálné možnosti praktického využití těchto technologií v paměťových institucích a to zejména v oblastech 3D tisku a 3D skenování. V navazující praktické části jsou vyzkoušeny některé autorovi dostupné metody, pomocí kterých je možné získat virtuální model a jeho následná výroba na 3D tiskárnách. Cílem práce je i zhodnocení a porovnání dosažených výsledků

Vzhledem k faktu, že 3D technologie jsou ve své podstatě stále na počátku svého vývoje, nejsou aktuálně dostupné publikace, které by byly výhradně zaměřeny na možnosti využití těchto metod a postupů v paměťových institucích. Autoři se zaměřují hlavně na popis technických principů s cílem uvést čtenáře do problematiky. Přesto je možné v některých publikacích nalézt zmínky o způsobech využití 3D technologií v muzejních institucích. V této práci jsou proto využity klasické tištěné publikace a z velké části také internetové zdroje, které se významně podílejí na zvyšování popularity 3D technologií. Součástí bakalářské práce je externí uzavíratelný box s finálními výtisky z 3D tiskáren.

2 Historie a počátky 3D tisku

V posledních letech je slyšet o problematice 3D tisku čím dál více a to hlavně zásluhou internetových médií. Mnozí hovoří o další technické či průmyslové revoluci, kterou tato technologie může přinést. V této části práce autor stručně připomene pár faktů a používaných termínů hlavně z období vzniku tohoto nově rodícího se odvětví.

2.1 Terminologie

Stejně jako samotná technologie tak i termíny 3D tisk a 3D tiskárna, které jsou dnes běžně používány, měly svůj vývoj. Jak je vlastně dnes chápán pojem 3D tisk? Je to proces, při kterém z digitální předlohy pomocí vhodného zařízení a materiálu vzniká fyzický objekt.¹ V současné době jsou dostupné různé technologie 3D tisku a některým z nich se bude autor věnovat v dalších částech této práce.

Termín 3D tisk nevznikl ve stejném okamžiku jako technologie. Zpočátku byl tento výrobní proces označován jako Rapid Prototyping (volně přeloženo – rychlá výroba prototypů), který zahrnoval i metodu obrábění (CNC-Computer Numerical Control). Název výrobního procesu se odvíjel hlavně od jeho praktického využití. Jak už tomu u nové technologie bývá, její počátky byly pomalé a těžkopádné. Již samotný název výrobního procesu naznačuje, že využití bylo díky technickým a technologickým možnostem omezeno hlavně na výrobu malých předmětů, prototypů a různých součástí výsledných produktů. Výrobci tato technologie přinesla rychlou zpětnou vazbu na vhodnost a funkčnost součástek ve finálním výrobku a možnost jejich rychlých úprav před zahájením sériové výroby. S postupujícím vývojem technologie byly objevovány nové možnosti pro její další využití a tím se otevřela cesta i pro nový, vhodnější termín Additive manufacturing. Principem tohoto výrobního procesu je vytvoření objektu za pomoci postupného přidávání vrstev vhodného materiálu, na rozdíl od metody

¹ DOBBS, Sarah a kolektiv. *The Ultimate Guide To 3D Printing*. London: Dennis Publishing, 2014, str. 8.

obrábění CNC, kdy objekt vzniká jeho postupným odstraňováním. Termín Rapid Prototyping však s příchodem nového pojmu nezanikl. Stal se jeho součástí a označuje, za jakým účelem je technologie Additive manufacturing využívána.²

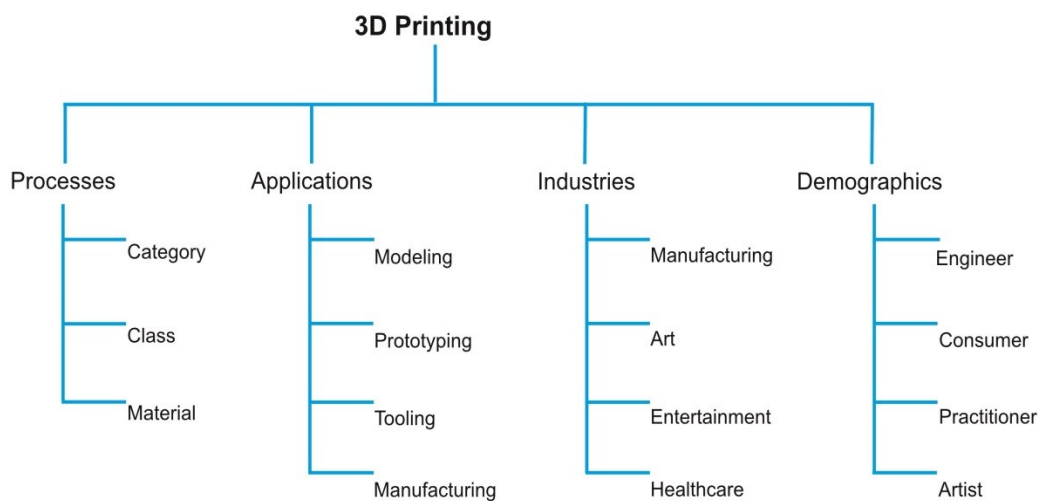
Nový termín byl organizacemi ASTM International a The International Organization for Standardization vyhlášen i jako oficiální, mezinárodně uznávaný standard (ASTM F42 a ISO/TC 261), ve společnosti se ale v běžné praxi postupně rozšířil termín 3D printing (3D tisk).³ Tento výraz vznikl na počátku 90. let minulého století, kdy byla organizací MIT (Massachusetts Institute of Technology) patentována nová technologie 3DP (Three Dimensional Printing techniques), která vycházela z principu technologií, které byly v té době využívány pro klasické inkoustové tiskárny. V polovině 90. let tuto licenci odkoupila firma Z Corporation a zahájila vývoj zařízení pracujícího na principu 3DP, které v roce 1996 uvedla na trh pod označením Z402. V témže roce představila firma 3D Systems model Actua 2100 a společnost Stratasys uvedla na trh zařízení, které neslo označení Genisys. V tomto období byl poprvé použit termín 3D printer (3D tiskárna) pro označení stroje, který pracuje na bázi aditivních technologií.⁴ Lidé si pod pojmy 3D tisk a 3D tiskárna dokázali lépe představit principy fungování těchto nových zařízení. Termíny využívala také média a s postupem času termín 3D tisk nahradil termín Additive manufacturing. Je zřejmé, že oba termíny jsou synonyma a pro potřeby této práce bude nadále využíván pojem 3D tisk.⁵

² GRIMM, Todd. 3D Printing: Speaking the Language. *Information & Inspiration for Engineers* [online]. 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/3918/3D-Printing-Speaking-the-Language.aspx>

³ ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. *Additive manufacturing* [online]. London: Royal Academy of Engineering, 2013 [cit. 2015-04-13], str. 19. Dostupné z: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>

⁴ 3D INNOVATIONS. Charles Hull Archives - 3D Innovations. *3D Innovations - Best 3D Prototype* [online]. 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.3d-innovations.com/blog/tag/charles-hull/>

⁵ GRIMM, Todd. 3D Printing: Speaking the Language. *Information & Inspiration for Engineers* [online]. 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/3918/3D-Printing-Speaking-the-Language.aspx>



Obr. 1 - Odvětví, technologie, aplikace a demografie spadající pod pojem 3D tisk
Zdroj: <http://www.engineering.com/>

2.2 Počátky technologie

3D tisk není nová technologie, která byla objevena v dnešní době, i když by si to někteří lidé mohli myslet. Její historie se začala odvíjet již ve druhé polovině 20. století.⁶

V roce 1984 nechal Charles Hull patentovat technologii zvanou stereolitografie (autor se bude více technologii věnovat v další části práce). Patent byl roku 1986 schválen⁷ a prakticky hned vzápětí byla Charlesem Hullem založena firma 3D Systems. První zařízení, které dokázalo pomocí 3D tisku vyrábět objekty, bylo označeno jako SLA-1 (tzv. stereolitografický aparát, pojem 3D tiskárna ještě v té době nebyl znám, nicméně se modely SLA staly základem pro jejich budoucí vývoj). Pro své vysoké náklady bylo toto zřízení využíváno pouze úzkým okruhem uživatelů a na základě jejich zkušeností byl tento typ postupně vyvíjen. Až model SLA-250 byl v roce 1988 nabídnut široké veřejnosti. Vývoj typové řady SLA i nadále pokračoval (SLA-350, SLA-500) a není bez zajímavosti, že do roku

⁶ WINNAN, Christopher. *3D Printers: The Next Technology Goldrush*. Charleston, South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012, str. 12.

⁷ HULL, Charles. *Apparatus for production of three-dimensional object by stereolithography* [patent] [online]. Uděleno 11.3.1986. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/4575330.pdf>

1996 bylo prodáno více než 600 různých SLA aparátů po celém světě. Typ SLA-1 je možné vidět v rámci expozice ve Fordově muzeu v Michiganu.⁸

I když s nástupem konkurence přicházely různé společnosti s více či méně úspěšnými technologiemi a modely 3D tiskáren, firma 3D Systems si dlouho držela vedoucí pozici na trhu. Dokonce dodnes nezanikla a stále se podílí na dalším vývoji v oblasti 3D tisku. Dalším nezanedbatelným přínosem společnosti 3D Systems byl vývoj speciálního formátu STL, který zajišťoval komunikaci mezi softwarovými nástroji CAD (Computer Aided Design – volně přeloženo jako Počítačem podporované konstruování) a různými typy zařízení produktové řady SLA, včetně hned prvního modelu SLA-1. Tento formát je dodnes využíván mnoha softwary a dokáže s ním pracovat i většina 3D tiskáren nejen od společnosti 3D Systems.⁹ Charles Hull, který i ve svých 75 letech nadále pracuje jako technický ředitel společnosti 3D Systems, se tak stal zakladatelem a průkopníkem v této nově rodící se oblasti a oprávněně je některými zdroji označován jako “otec“ 3D tisku.¹⁰



Obr. 2 - Charles W. Hull
Zdroj: <http://www.epo.org/index.html>



Obr. 3 - Zařízení SLA-250
Zdroj: <http://louisville.edu/>

⁸ THAYER, Jeffrey S. *Competitive strategic advantage through disruptive innovation* [online]. Massachusetts institute of technology (United States of America), 1996 [cit. 2015-04-13], str. 21-30. Dostupné z: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/10954?show=full>

⁹ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 25.

¹⁰ GIBBS, Samuel. Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology. *Latest news, sport and comment from the Guardian* [online]. 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>

3 3D tiskárny a technologie

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, 3D tisk je proces, při kterém z digitální předlohy vzniká pomocí vhodného materiálu fyzický objekt. Taková zařízení dnes označujeme pod souhrnným názvem 3D tiskárny. Vzhledem k tomu, že v této době ještě neexistuje univerzální zařízení, které by zvládlo aplikovat různé technologie a materiály, je důležité při pořizování vhodného zvážit veškeré aspekty toho, jak bude tiskárna využívána.¹¹ Za jedno z hlavních kritérií při výběru vhodné technologie je možné označit materiál, který bude 3D tiskárna používat k výrobě fyzického objektu. Nabídka 3D tiskáren je na dnešním trhu velice široká. Zahrnuje jak profesionální zařízení určená pro výrobu specifických dílů, která nezřídka potřebují pro svůj provoz speciálně vyčleněnou místnost, tak i tiskárny malé (tzv. desktopové - stolní) určené pro domácí použití a nadšené kutily. Rozebírat jednotlivé typy a modely 3D tiskáren od různých firem není pro tuto práci stěžejní a detailněji se jimi zabývat nebude.

3.1 Technologie

Na rozvoji v oblasti 3D tisku se zásadní měrou podílelo konkurenční prostředí, díky kterému vznikaly nové technologie a jejich varianty. V pramenech se mohou objevovat různé metody členění, podle kterých je možné v současnosti používané technologie 3D tiskáren rozdělit do několika skupin.¹² Obecným a nejběžnějším kritériem pro rozdělování je konzistence materiálu (tekutý, tuhý nebo práškový), ze kterého následně vzniká fyzický objekt. Jiným kritériem může být metoda spojování nově přidávaných vrstev (chemická reakce, tavení, laser, tekuté pojivo, zažehlení).¹³ Pro potřeby této práce bude využito rozdělení podle materiálu a to na technologie pracující s:

- Fotopolymery

¹¹ PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. *Základy 3D tisku*. Praha, 2014, str. 5.

¹² HORVATH, Joan. *Mastering 3D Printing*. Pasadena (California): Apress, 2014, str. 5. – zmíněno odlišné rozdělení 3D tiskáren

¹³ 14220.CZ. 3D tisk-metody. *14220.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

- Práškovými materiály
- Laminátovými fóliemi
- Roztaveným plastem

V dalších částech této práce budou popsány nejběžnější technologie a různé druhy materiálů, které jsou 3D tiskárnami používány.¹⁴

3.1.1 Technologie na bázi fotopolymerů

Charakteristickým rysem pro tyto technologie je materiál fotopolymer, ze kterého vzniká výsledný objekt. Jde o látky, u kterých působením ultrafialového světla (dále jen UV) dochází ke změně molekulární struktury, v tomto případě tuhnou.¹⁵ U většiny technologií založených na fotopolymeraci se používá tekutá forma těchto materiálů (různé umělé hmoty, pryskyřice), existují však i technologie, u kterých je použita jako výchozí stavební materiál pasta.¹⁶

3.1.1.1 Stereolitografie (SLA)

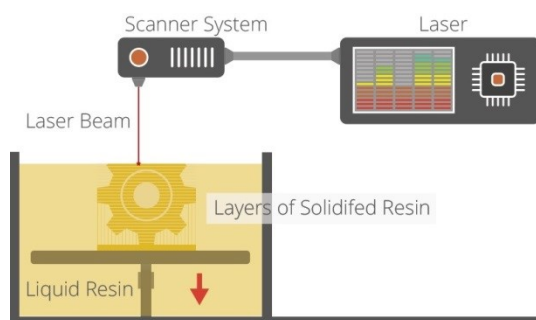
V kapitole 1.2 bylo zmíněno, že historii 3D tisku započal v roce 1986 Charles Hull patentováním technologie s názvem stereolitografie. Tuto metodu tak lze označit za nejstarší a průlomovou, která je dodnes pro 3D tisk využívána a od které se odvíjel další vývoj v této oblasti. Zdrojem UV záření jsou nejčastěji různé druhy laserů s dostatečným výkonem a jako stavební polotovar je používán fotopolymer v tekuté formě. Samotná výroba objektu se odehrává na pohyblivé pracovní desce, která je na počátku výrobního procesu umístěna pod hladinou fotopolymeru. Tisková hlava se zdrojem UV záření vykresluje objekt na hladině tekutiny. Pracovní deska se po vytvoření první vrstvy ponoří v rezervoáru s materiálem o požadovaný rozměr výšky nové vrstvy objektu a výrobní proces

¹⁴ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 24.

¹⁵ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 25.

¹⁶ 14220.CZ. 3D tisk-metody. *14220.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

poté pokračuje tvorbou další vrstvy. Během výroby je často nutné vytvářet pod některými částmi objektu vzpěry, aby nedošlo k jeho zhroucení a zničení. Tento podpurný materiál je následně po dokončení tiskového procesu buď manuálně, nebo různými speciálními technikami odstraňován.¹⁷ Rozptyl velikostí vrstev, ze



Obr. 4 – Princip stereolitografie

Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>

kterých se výsledný objekt skládá, se pohybuje v řádech desetin až setin milimetru.¹⁸ Nutnost dodatečného opracování a čištění výrobku je považováno spíše za nevýhodu¹⁹, stejně jako ještě do nedávna vysoké finanční náklady.²⁰ Již pořízení samotného hardwaru představovalo

poměrně vysoké finanční zatížení, které ještě navýšily náklady na provoz a to hlavně díky cenám materiálu, které dosahovaly hodnoty až deset tisíc korun za litr tekutého fotopolymeru. V aktuální době jsou na trhu materiály cenově dostupnější, kde se cena pohybuje v řádech několika tisíc korun za litr.²¹

3.1.1.2 Solid Ground Curing (SGC)

Do stejné skupiny technologií patří také metoda Solid Ground Curing (SGC). Hlavní znaky výrobního procesu se shodují s postupy využitých u stereolitografie, jen místo laseru se jako zdroj UV záření používá lampa. Tou je za pomoci různých stínítek osvětlována jen určitá část na hladině fotopolymeru. U této

¹⁷ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 25-26.

¹⁸ CHLEBO, Martin. Technologie 3D tisku I. *O3D.cz: rychle, stručně, o tom, co se děje ve světě 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/technologie-3d-tisku-i/>

¹⁹ Tamtéž

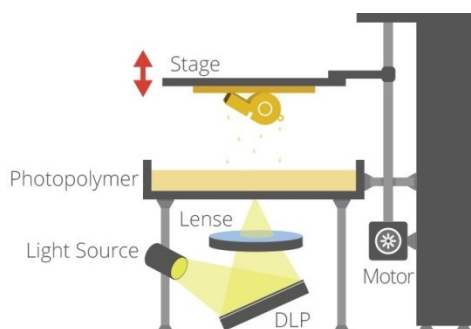
²⁰ 4ISP. Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>

²¹ Viz <http://spotamaterials.com/> - internetový obchod s fotopolymery

technologie převažovaly spíše nevýhody a na začátku druhého tisíciletí vymizela.²²

3.1.1.3 Digital Light Projection (DLP)

Naopak jako nový trend v oblasti osvětlování fotopolymerů se ukazuje technologie Digital Light Projection (DLP). Jako zdroj UV záření je možné použít jakýkoliv DLP projektor s dostatečným výkonem, kterým je na rozdíl od laseru osvětlena celá vrstva v jednom okamžiku a umístění pro zdroj UV záření je zvoleno pod pracovní desku. Během výrobního procesu tak nedochází k potopení pracovní desky do nádoby s fotopolymerem, naopak je celá pracovní plocha posouvána směrem vzhůru. Oproti SLA technologii se metoda DLP vyznačuje lepší finanční dostupností, větší přesností, rychlostí, v jedné tiskové úloze je možné vyrobit několik stejných objektů a v neposlední řadě je touto technologií vyprodukováno méně odpadu.²³



Obr. 5 – Princip Digital Light Projection
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>



Obr. 6 – Tisk více předmětů
Zdroj: <http://www.geeky-gadgets.com/>

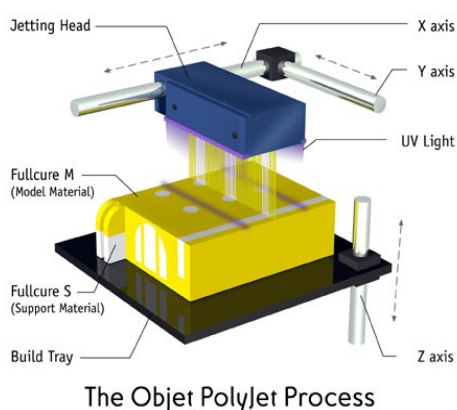
²² 14220.CZ. 3D tisk-metody. 14220.cz [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

²³ 3D PRINTING INDUSTRY. 3D Printing Processes: Free Beginner's Guide. *3D Printing Industry: 3D Printer News, Reports, Directory and Videos* [online]. © 2012 - 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

3.1.1.4 PolyJet, MultiJet Modeling (MJM)

Jako velice zajímavá technologie na bázi fotopolymerů je vnímána metoda PolyJet. Ta byla patentována v roce 2000 izraelskou firmou Objet Geometries, která se v roce 2012 sloučila se společností Stratasys. Tato relativně mladá technologie se od výše popsaných liší systémem nanášení tekutého fotopolymeru. K tomu je použito více tiskových hlav, kterými jsou jednotlivé vrstvy výsledného objektu vytvářeny z miniaturních kapiček nejmodernějších fotopolymerních materiálů nanášených na konkrétní místo, kde prakticky ihned po dopadu dochází k vytvrzení UV světlem. Odpadá tak nutnost využívat nádobu s fotopolymerem. Pomocí tohoto principu je možné vyrábět velmi tenké vrstvy, které mohou dosahovat rozměru 16 mikrometrů (pro lepší představu průměr červené krvinky se pohybuje okolo 10 mikrometrů).²⁴

Technologií PolyJet Matrix je využito více hlav ke kombinaci různých materiálů i barev během jednoho tiskového procesu. Pomocí této metody je možné dosáhnout různých druhů materiálu, které mohou být nejen tvrdé, ale také pružné



Obr. 7 - Princip technologie PolyJet
Zdroj: [www. http://proto3000.com/](http://proto3000.com/)

materiál na bázi gelu je možné po dokončení výroby objektu velice rychle odstranit. Často se tak děje ještě před dokončením celého výrobního procesu,

na bázi pryže a během jedné tiskové úlohy lze různé druhy materiálu také kombinovat. Také u této technologie je používán materiál pro stavbu různých podpěr, pokud by mělo dojít během výrobního procesu k zhroucení objektu. Na rozdíl od výše popsaných metod je k jejich výstavbě použit jiný materiál, než ke stavbě samotného objektu. Tento ve vodě rozpustný

²⁴ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 70.

proto jsou výsledné produkty prakticky ihned po vytištění připraveny k dalšímu využití a další složitější čištění nebo dodatečné vytvrzování objektu není nutné.²⁵ Výhody lze nalézat nejen v hladkém povrchu, rychlosti a přesnosti, ale také ve schopnosti vyrobit složité tvary s velkými detaily a kombinovat různé fotopolymerní materiály (například model lodi uvnitř průhledné lahve).²⁶ Naopak vlastnosti jako křehkost, krátká životnost a omezení pouze na látky citlivé na světlo je možné označit jako určité nevýhody.²⁷

Výše popsané principy jsou využity i u technologie MultiJet Modeling (MJM) od konkurenční firmy 3D Systems. Liší se hlavně v použitém materiálu pro stavbu podpěr a v metodách jejich následného odstranění.²⁸



Obr. 8 – Předměty vyrobené pomocí technologie Polyjet Matrix
Zdroj: <http://www.mcae.cz>



Obr. 9 – Předměty vyrobené pomocí technologie Polyjet Matrix
Zdroj: <http://www.mcae.cz>

²⁵ MEDICAL MODELING INC. PolyJet Matrix Technology. *Medical Modeling* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.medicalmodeling.com/solutions-for-engineers/additive-manufacturing-production/polyjet>

²⁶ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 75.

²⁷ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 70.

²⁸ WOLF, Jack. Multi Jet and Poly Jet Post Processing. *Mastergraphics: Complete and innovative CAD and data management solutions from Autodesk, as well as large format hardware solutions from Océ, 3d Systems, HP, Canon, and more*. [online]. 2015 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <http://www.mastergraphics.com/wordpress/2014/multi-jet-and-poly-jet-post-processing/>

3.1.1.5 Rekapitulace

V porovnání s konkurencí je dosahováno u technologií založených na principu osvětlování fotopolymerů lepších výsledků v oblasti kvality povrchu. Vyznačují se velkou přesností a detailem. Rozlišit jednotlivé vrstvy pouhým okem je v některých případech takřka nemožné a díky těmto vlastnostem je vhodné využití těchto technologií možné spatřovat hlavně v oblasti tisku malých a detailních předmětů velmi složitých tvarů. To samozřejmě nevylučuje možnost tyto metody využívat také v oblasti tisku objektů větších rozměrů. Naopak vysoké pořizovací a provozní náklady činí tyto technologie pro většinu subjektů a domácností nedostupnou variantu a jsou často uváděny jako hlavní nevýhoda. Také menší trvanlivost a relativní křehkost výrobků v porovnání s jinými konkurenčními metodami a omezení pouze na fotopolymerní materiály jsou často zmiňována jako negativní fakta. Toxické výpary netvrzených fotopolymerů (například pryskyřice) jsou v některých pramenech uváděny jako důvod pro důsledné dodržování bezpečnosti při manipulaci s takovými látkami.²⁹ S novými inovacemi v této oblasti postupně dochází ke zlevňování těchto technologií, příkladem může být metoda DLP.



Obr. 10 - Osobní 3D tiskárna ProJet 1500
Zdroj:
<http://www.intercept-corp.com/>



Obr. 11 - Průmyslová 3D tiskárna ProX 950
Zdroj:
<http://www.mastergraphics.com>

²⁹ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 77-78.

3.1.2 Technologie na bázi práškových materiálů

Jinou skupinou technologií pro výrobu 3D objektů jsou ty, které využívají různé druhy materiálů ve formě prášku. Ke spojování miniaturních prachových částic mohou být použity různé metody. Některé z nich se zaměřují na aplikaci lepících směsí, u jiných je pomocí usměrněného proudu laserového nebo elektronového paprsku dosaženo natavení a následného spojení práškového materiálu.³⁰ Tento princip tavení a spékání je v mysli uživatelů zapsán také pod běžně užívaným pojmem *sintering* (*sintrování*).³¹

Některé základní technické prvky těchto technologií jsou založeny na principech stereolitografie. Po dokončení jedné vrstvy objektu dochází k posunu pracovní desky směrem dolů, zatímco je nádoba se stavebním materiálem posunuta směrem vzhůru. Následně je za pomoci válce na pracovní desku nanášena nová vrstva materiálu a celý proces se opakuje až do dokončení výrobku.³²

3.1.2.1 Selective Laser Sintering (SLS)

Tato technologie byla patentována v 80. letech 20. století Carlem Deckardem, Josefem Beamanem a jejich výzkumným týmem z texaské univerzity v Austinu a stala se tak jednou z nejstarších, ale dodnes používaných metod pro výrobu 3D objektů. Vzápětí byla také touto skupinou vědců založena společnost DTM se zaměřením na výrobu SLS strojů. Fungování firmy je datováno až do roku 2001, kdy byla koupena konkurenční společností 3D Systems.³³

Jako stavební materiál jsou u této technologie využity látky ve formě prášku (plast, kov, sklo, keramika, guma aj.), u kterých dochází vlivem působení tepla ke

³⁰ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 28-29.

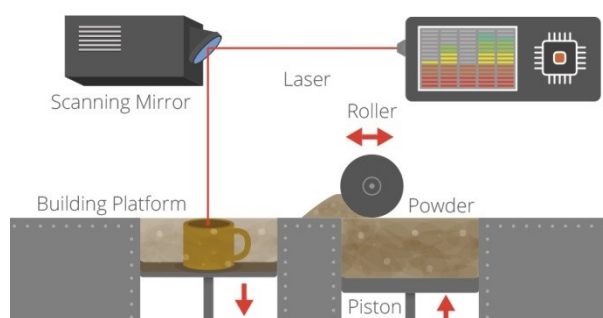
³¹ HOMOLA, Jan. Selective Laser Sintering: 3D tisk. *3D tisk* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

³² LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 75.

³³ HOMOLA, Jan. Selective Laser Sintering: 3D tisk. *3D tisk* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

změně molekulární struktury. K natavení a spékání jemných práškových částic je jako zdroj tepla využíván dostatečně výkonný laser s usměrněným paprskem. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.2, základní technické principy této metody se velmi podobají principům technologie na bázi fotopolymerů. Na pracovní desku je nanесena vrstva prášku a pomocí laseru je zahříváno požadované místo nebo plocha. Po dokončení aktuální vrstvy objektu následně dochází k posunu pracovní plochy směrem dolů o velikost další vrstvy, zatímco nádoba s materiálem je posunuta směrem vzhůru, aby mohla být za pomoci válce nanесena nová vrstva materiálu.³⁴

Absence požadavku na vytváření stavebních podpěr pro objekt je některými publikovanými zdroji zmiňována jako jedna z hlavních výhod této technologie. Výrobek je během tiskového procesu umístěn v nádobě se zbytkovým práškem, kterým jsou nahrazeny speciálně vytvářené stavební podpěry, používané u jiných



Obr. 12 - Princip Selective Laser Sintering
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>

technologíí.³⁵ Absencí podpěr je tak sníženo riziko poškození výrobku, ke kterému může docházet při využití jiných metod, u kterých je nutné tyto podpěry po dokončení výrobní fáze odstraňovat. Využitím tohoto principu pro oporu

objektu je také minimalizováno množství vzniklého odpadu, který je porovnání s jinými technologiemi minimální. Zbylý prášek je možné recyklovat a využít pro tisk dalšího objektu. Mezi výhody lze zařadit také širokou škálu použitelných materiálů. Využitím technologie SLS je možné během jedné tiskové úlohy vyprodukovat i několik odlišných objektů nebo kompletně funkční celky, často velmi složitých geometrických tvarů, které se běžnými konvenčními metodami

³⁴ HOMOLA, Jan. Selective Laser Sintering: 3D tisk. *3D tisk* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

³⁵ Tamtéž

vyrábějí jen velmi obtížně. Za charakteristické vlastnosti objektů vyrobených touto metodou jsou považovány pevnost, odolnost a dlouhá životnost v závislosti na použitém materiálu.³⁶

Naopak nevýhody lze spatřovat ve velké energetické náročnosti a vysoké pořizovací ceně 3D tiskáren. Také fakt, že touto metodou nelze vytvořit uzavřený dutý objekt, je v některých publikovaných zdrojích zmiňován jako určité omezení. Po dokončení tiskového procesu by byl stavební materiál uzavřen uvnitř objektu, prakticky bez možnosti jeho odstranění.³⁷ Také v oblasti kvality povrchu není dosahováno tak dobrých výsledků jako u konkurenčních technologií. Porézní stav povrchu je častou příčinou pro další nutné úpravy, které jsou prováděny za pomoci běžných metod, jako je tryskání, broušení nebo leštění.³⁸

SLS 3D tiskárny zatím nejsou využívány v domácím prostředí a to nejen díky svým vysokým pořizovacím cenám a často robustní konstrukci, ale také bezpečnostnímu riziku, které spočívá v možnosti exploze při nevhodném zacházení s materiálem ve formě prášku. Výroba objektu tak musí probíhat ve vzduchotěsně uzavřené komoře, která je naplněna dusíkem. Díky vysokým teplotám, které jsou technologií při tisku využívány, není možné ihned po dokončení celého výrobního procesu vyjmout hotový výrobek z tiskové komory. V závislosti na velikosti vrstvy, objektu a použitém materiálu může toto ochlazování probíhat i 24 hodin.³⁹

³⁶ 3D SYSTEMS. Selective Laser Sintering (SLS). *Rapid Prototyping, Advance Digital Manufacturing, 3D Printing, 3-D CAD* [online]. United States of America, © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/resources/information-guides/selective-laser-sintering/sls>

³⁷ 4ISP. Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>

³⁸ DMLS. DMLS: Direct Metal Laser Sintering, Kovové prototypy. *DMLS: Direct Metal Laser Sintering, Kovové prototypy* [online]. © 2007 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.dmls.cz/>

³⁹ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 75-76.



Obr. 13 - Předmět vyrobený pomocí technologie SLS

Zdroj:

<https://hyrulefoundry.wordpress.com/>



Obr. 14 - Předmět vyrobený pomocí technologie SLS

Zdroj:

<http://www.3dprintingnews.co.uk/>

3.1.2.2 Direct Metal Sintering (DMLS)

Technologie SLS s DMLS lze považovat v podstatě za totožné metody. Odlišnost mezi nimi je možné nalézt v rozsahu používaného materiálu. Zatímco pod pojmem Selective Laser Sintering je myšleno využívání různorodých materiálů, jako jsou sklo, písek, keramika, kov atd., u metody Direct Metal Laser Sintering se stavební materiál omezuje výhradně na kovové prášky.⁴⁰

⁴⁰ NOE, Rain. Production Methods: What's the Difference Between Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Melting and LaserCusing?. *Core77: Industrial Design Magazine + Resource* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.core77.com/posts/26457/production-methods-whats-the-difference-between-selective-laser-sintering-direct-metal-laser-sintering-laser-melting-and-lasercusing-26457>



Obr. 15 - Předmět vyrobený pomocí technologie DMLS
Zdroj:
<http://3dvisdesign.com/>



Obr. 16 - Předmět vyrobený pomocí technologie SLM
Zdroj:
<http://3dvisdesign.com/>

3.1.2.3 Selective Laser Melting (SLM)

Také u další technologie Selective Laser Melting je možné v porovnání s metodou SLS nalézt jen minimální rozdíly. Zásadní rozdíl je v tomto případě spatřován v procesu spojování práškových částic. Zatímco při výrobním procesu u metody SLS dochází k natavování práškových částic a následnému vytváření spojů, technologií SML jsou práškové částice zahřívány na takové teploty, pomocí kterých je dosaženo jejich úplného roztavení. Namísto klasických spojů mezi částicemi jsou tak vytvořeny homogenní celky.⁴¹

3.1.2.4 Electron Beam Melting (EBM)

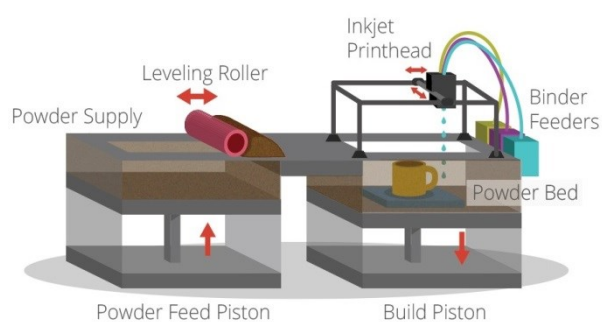
Princip tavení kovového prášku je využit i u metody Electron Beam Melting. Na rozdíl od výše popsaných technologií není jako zdroj používán výkonný laser, nýbrž přesně mířený proud elektronů. Ten je směřován do stavebního materiálu v podobě titanového prášku, který je využíván ve většině případů. Tato

⁴¹ NOE, Rain. Production Methods: What's the Difference Between Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Melting and LaserCusing?. *Core77: Industrial Design Magazine + Resource* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.core77.com/posts/26457/production-methods-whats-the-difference-between-selective-laser-sintering-direct-metal-laser-sintering-laser-melting-and-lasercusing-26457>

technologie není běžně rozšířena, i když se vyznačuje výjimečnou přesností, odolností a dobrými technickými vlastnostmi vytisknutých objektů. Jako hlavní důvod jsou často uváděny vysoké pořizovací a provozní náklady.⁴²

3.1.2.5 Three Dimensional Printing (3DP)

Také u technologie Three Dimensional Printing (3DP) je použit stavební materiál ve formě prášku. Na rozdíl od výše popsaných metod však ke spojování práškových částic nedochází jejich tavením a spékáním, nýbrž jsou do stavebního materiálu tiskovou hlavou nanášeny rychle tuhnoucí lepidla a jim podobné látky. Technické postupy výroby objektu jsou založeny na více či méně shodných



Obr. 17 - Princip Three Dimensional Printing
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>

principech, jako již výše popisované metody. Objekt je vytvářen pomocí jednotlivých vrstev a také zde dochází k posouvání pracovní desky směrem dolů, zatím co se nádoba se stavebním materiálem pohybuje směrem nahoru.

Následně je pomocí válce nanášena nová vrstva materiálu a celý proces se opakuje.⁴³ Díky podobným technickým principům jsou u této technologie zachovány také některé výhody, které je možné aplikovat při využití metod založených na práškovém stavebním materiálu. Ani zde není nutné vytvářet stavební podpěry pro objekt s nutností jejich následného odstranění, protože je k této funkci využit zbytkový práškový materiál. Zachována je také možnost

⁴² KOLKOVÁ, Olga. Metodiky 3D tiskáren: Skokem od papíru k reálnému objektu. *Cdr.cz - Vybráno z IT* [online]. © 1998-2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://cdr.cz/clanek/metodiky-3d-tiskaren-reprap-mojo-cube-3d-zprinter-650-a-replicator-2>

⁴³ GIBSON, Ian, David W. ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies*. London: Springer, 2009, str. 195-196.

tisknout několik objektů zároveň během jedné tiskové úlohy, nebo celé funkční celky bez nutnosti další montáže.⁴⁴

Na rozdíl od výše popsaných technologií, které jsou založeny na laseru nebo proudu elektronů, je možné tyto metody považovat za levnější a méně energeticky náročné, které jsou navíc schopny využít širokou škálu stavebního materiálu v práškové formě (škrob, sklo, guma, kosti, piliny, některé druhy kovů atd.). Na druhou stranu povrch objektů vytvořených pomocí metody 3DP může být velmi hrubého charakteru. Následkem toho je možné u finálních výrobků registrovat jejich křehčí strukturu a po dokončení tiskové úlohy jsou často vyžadovány další úpravy v podobě dodatečného vytvrzení objektu, například pomocí pryskyřice nebo zahřátím v peci.⁴⁵

Za jednu z největších výhod je některými zdroji považována schopnost tisknout objekty v barevném provedení, kdy jsou během výrobního procesu do pojivového materiálu přidávány kapičky barevného inkoustu.⁴⁶



Obr. 18 - Předmět vyrobený pomocí technologie 3DP
Zdroj: <https://theoldreader.com/>



Obr. 19 - Předmět vyrobený pomocí technologie 3DP
Zdroj: <http://www.3dsystems.com/>

⁴⁴ GIBSON, Ian, David W. ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies*. London: Springer, 2009, str. 195-196.

⁴⁵ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 76-77.

⁴⁶ Tamtéž

3.1.2.6 Rekapitulace

Od výše popsaných metod výroby 3D objektů jsou práškové technologie schopny využívat širokou škálu materiálů. V podstatě lze použít jakýkoliv prášek, u kterého je působením určité teploty dosaženo natavení jednotlivých částic, nebo jejich úplného roztavení. Na jednom zařízení není většinou možné využívat materiály různého druhu a to z důvodu rozdílných podmínek pro jejich vytvrzení.⁴⁷ Výjimkou jsou technologie 3DP, u které je dosahováno spojení jednotlivých částic stavebního materiálu pomocí aplikace různých forem lepidel.

Práškové technologie 3D se vyznačují svou přesností, velkým detailem a ve většině případů i dobrou odolností hotových výrobků. Stavební podpěry pro objekt nejsou při výrobním procesu vyžadovány. Tato funkce je nahrazena zbytkovým práškem, který lze po recyklaci znovu použít a snižovat tak provozní náklady. Za nespornou výhodu je také možné považovat schopnost tisknout i několik odlišných objektů nebo hotových funkčních celků naráz během jednoho výrobního procesu a u metody 3DP podporu plnobarevného tisku.⁴⁸ Naopak samotné pořízení technologie a u laserových a elektronových metod i energetické nároky na provoz jsou zmiňovány jako velmi výrazná finanční zátěž a jako jisté omezení lze chápat i praktickou nemožnost vytvořit uzavřenou dutinu.⁴⁹

V porovnání s jinými technologiemi není dosaženo tak kvalitního a hladkého povrchu, ale pomocí různých konvenčních metod je následně možné povrch upravovat, stejně jako je možné zvyšovat odolnost a pevnost objektu například zapečením v peci.⁵⁰ Jako nevýhody jsou také často zmiňovány zvýšené nároky na

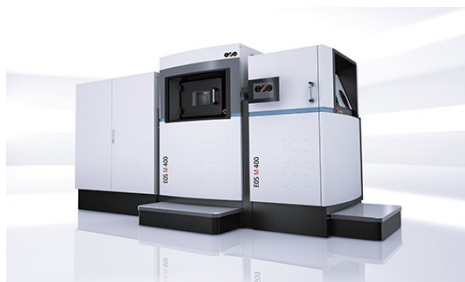
⁴⁷ NAVRÁTIL, Robert. Selective Laser Sintering. *Reverse Engineering* [online]. 2000 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/>

⁴⁸ CHLEBO, Martin. Technologie 3D tisku II. *O3D.cz: rychle, stručně, o tom, co se děje ve světě 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/2237/>

⁴⁹ 4ISP. Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>

⁵⁰ ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Aditivní technologie technologie: metody Rapid metody Rapid Prototyping Prototyping* [online]. 2010 [cit. 2015-04-15], str. 12-21. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

bezpečnost, jelikož materiály ve formě prášku jsou známy svou zvýšenou náchylností k samovolným explozím.⁵¹ Za významný zlom v oblasti technologie SLS lze považovat rok 2014, kdy došlo k vypršení patentu a v následujících letech je tak možné očekávat postupné zlevňování této technologie.⁵²



Obr. 20 - 3D tiskárna EOS M 400
Zdroj: <http://digital-dental-cadcam.com/>



Obr. 21 - 3D tiskárna Pro SLS
Systém
Zdroj: <http://proto3000.com/>

3.1.3 Technologie na bázi laminování

Tyto technologie se od výše popsaných metod na první pohled liší nejen stavebním materiálem, kdy je ve většině případů používán papír, ale také rozdílným přístupem při tisku 3D objektů. Místo tradičního nanášení materiálu vrstvu po vrstvě jsou z materiálu vyřezávány plochy, které jsou následně spojovány.⁵³

⁵¹ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 75.

⁵² FENLON, Wesley. Laser Sintering 3D Printing Patents Expiring in 2014. *Tested* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.tested.com/tech/3d-printing/456856-laser-sintering-3d-printing-patents-expiring-2014/>

⁵³ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str.. 31-32.

3.1.3.1 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Metoda Laminated Object Manufacturing (LOM) byla vyvinuta společností Helisys Inc. v roce 1990. Jako stavební materiál jsou nejčastěji použity různé druhy papíru z jedné strany potažené polyetylenem, který se při procesu zažehlování mění na pojivo mezi jednotlivě vyřezanými vrstvami. Tato fólie je z rolí navíjena přes pracovní desku, kde je za pomoci válce zažehlena k již hotové předchozí vrstvě. Následně jsou nepotřebné zbytky materiálu odřezávány laserem. Některé varianty této metody jsou zaměřeny výhradně na práci s kovovými nebo plastovými fóliemi. Při výrobním procesu je vyžadováno použití stavebních podpěr pro objekt a jejich následné manuální odstranění. Výhody této metody lze nalézt v dobré finanční dostupnosti, levném provozu a také v rychlosti výrobního procesu.⁵⁴

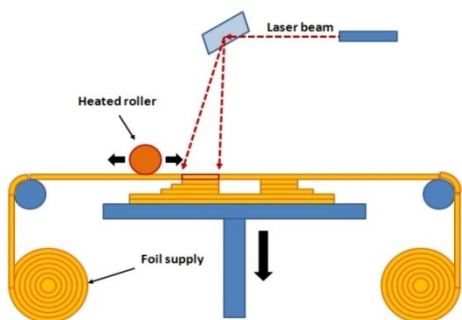
Velmi kvalitních povrchů zejména u vodorovných ploch je možné dosahovat pomocí dodatečného opracování (broušení, lakování atd.). Metoda naopak není doporučovaná pro stavbu drobných tenkostěnných konstrukcí a jako nevýhodu lze spatřovat také vyprodukované nadměrné množství odpadu.⁵⁵

Výsledné objekty jsou charakterizovány jako velmi křehké a citlivé na vlhké prostředí, pokud nejsou po dokončení výrobního procesu povrchově ošetřeny například barvou nebo lakem.⁵⁶

⁵⁴ 14220.CZ. 3D tisk-metody. *14220.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

⁵⁵ CHALUPA, Michal. Technologie 3D tisku. *PKmodel* [online]. © 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>

⁵⁶ 3DVISDESIGN. 3D Printing: The Next Billion-Dollar Industry?. *3DVisDesign: 3D Modeling* [online]. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://3dvisdesign.com/3d-printing-the-next-billion-dollar-industry/>



Obr. 22 - Princip Laminated Object Manufacturing
Zdroj: <http://www.meccanismocomplesso.org>

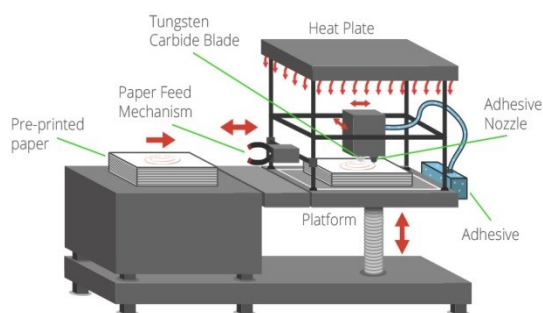


Obr. 23 - Předmět vyrobený pomocí technologie LOM
Zdroj: <http://3dvisdesign.com/>

3.1.3.2 Selective Deposition Lamination (SDL)

Jiná technologie na bázi papíru byla patentována společností Mcor Technologies v roce 2003. Tato relativně mladá metoda se s výše popsanou shoduje hlavně ve volbě papíru jako stavebního materiálu, nicméně objevit další zásadní shodné prvky by bylo velmi obtížné. Zatímco technologií LOM je na řezání využíván laser a stavební podpěry jsou s objektem spojeny pojivovým materiálem z fólie, u metody SDL je na řezání použit pouze nůž a jako stavební materiál klasický kancelářský papír. Následně je pojivový materiál ve formě lepidla nanášen pouze na přesně určená místa. Tím bylo výrazně usnadněno odstraňování stavebních podpěr po dokončení výrobního procesu. Samotným výrobcem je technologie definována jako bezpečná (při výrobním procesu se nepoužívají potenciálně nebezpečné látky), uživatelsky přívětivá a dokonce ekologicky šetrná. U této technologie je také možné využít schopnost plnobarevného tisku.⁵⁷

⁵⁷ MCOR TECHNOLOGIES LTD. *How Paper-based 3D Printing Works: The Technology and Advantages* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15], str. 1-8. Dostupné z: <https://s3.amazonaws.com/3dpaperprinting/How+Paper-Based+3D+Printing+Works.pdf>



Obr. 24 - Princip Selective Deposition Lamination
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>



Obr. 25 - Předmět vyrobený pomocí technologie SDL
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com>

3.1.3.3 Rekapitulace

Tyto metody je možné vidět jako zajímavou variantu k již dříve popsaným technologiím. Nižší kvalita, detaily, životnost a menší rozsah složitosti geometrických tvarů jsou kompenzovány cenovou dostupností, rychlostí tisku, nízkými provozními náklady a po dodatečném opracování i kvalitním povrchem. Jsou také považovány za bezpečnější a šetrnější ke svému okolí.

3.1.4 Technologie na bázi natavených plastů

U těchto technologií jsou při výrobním procesu jako stavební materiál používány různé natavené plasty, výjimečně i kovy, které se vytlačují ve formě pasty pomocí tiskové hlavy na pracovní desku.⁵⁸

3.1.4.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

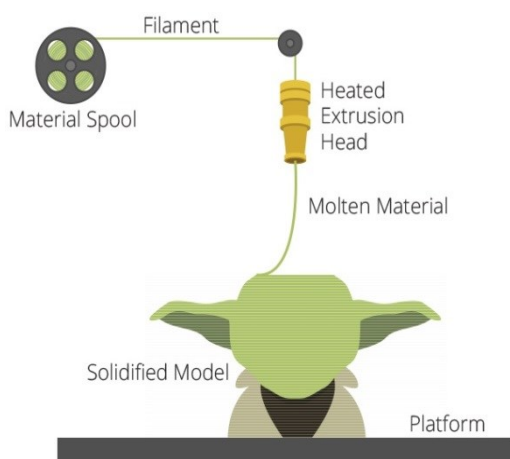
Na konci 80. let 19. století byla Scottem Crumpem patentována technologie nazvaná Fused Deposition Modeling (FDM) a došlo také k založení firmy Stratasys, která se věnovala výrobě a distribuci této technologie.⁵⁹ Termín Fused Deposition Modeling je chráněn registrovanou známkou, proto se po vypršení

⁵⁸ HOMOLA, Jan. Fused Deposition Modeling: 3D tisk. *3D tisk* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>

⁵⁹ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 68.

patentu a zpřístupnění této technologie v roce 2009 objevuje nový pojem Fused Filament Fabrication (FFF), který je využíván nejen vědeckou komunitou, ale i domácími kutily k označení technologie FDM.⁶⁰ Tato technologie se stala základem pro projekt RepRap⁶¹, první open source projekt 3D tiskárny, kdy si sami uživatelé mohou svépomocí postavit vlastní 3D zařízení a následným sdílením svých zkušeností tuto metodu dále zdokonalovat.⁶²

Malá energetická náročnost při výrobním procesu a jednoduché technické principy je možné vidět jako hlavní důvody dobré finanční dostupnosti a nízkých provozních nákladů v porovnání s ostatními, výše popsány metodami.



Obr. 26 - Princip Fused Deposition Modeling
Zdroj: <http://3dprintingindustry.com/>

Materiály (termoplasty) jsou zaváděny do tiskové hlavy nejčastěji ve formě drátu nebo granulátu, kde se pomocí určité teploty přivádějí do polotekutého stavu. Po vytlačení z tiskové hlavy na pracovní desku je materiál při kontaktu s předchozí vrstvou ochlazen a převeden zpět do pevného stavu, čímž se docílí spojení mezi oběma vrstvami.⁶³

Také touto metodou je při výrobním procesu vyžadován tisk stavebních podpěr pro objekt a tento fakt je uváděn jako jedna z hlavních nevýhod této technologie. U FDM jsou pro podpěry využity vodou rozpustné materiály, které lze po dokončení celého procesu snadno odstranit. S přibývajícými inovacemi ale začíná být problém stavby podpěr minimalizován.

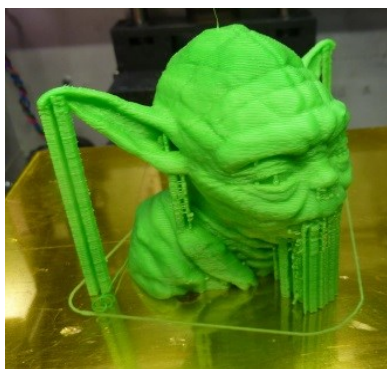
⁶⁰ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 33.

⁶¹ Více o projektu: <http://reprap.org/wiki/About>

⁶² HOMOLA, Jan. Fused Deposition Modeling: 3D tisk. *3D tisk* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>

⁶³ CHLEBO, Martin. Technologie 3D tisku II. *O3D.cz: rychle, stručně, o tom, co se děje ve světě 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/2237/>

3D tiskárny od společnosti Stratasys jsou schopny dosahovat u svých výrobků dobré přesnosti a spolehlivosti. Svou kvalitou, detailem a schopností tisknout složité geometrické tvary však nejsou schopny konkurovat výše popsáním technologiím. Jednotlivé vrstvy objektu jsou snadno rozpoznatelné a často je vyžadováno další zpracování a povrchová úprava objektu. Metody FFF svůj vývoj prakticky teprve započaly a zatím nemohou dosahovat takových kvalit v oblasti přesnosti objektu, jako již několik let vyvíjená metoda FDM, i když jsou rychle zdokonalovány.⁶⁴



Obr. 27 - Předmět vyrobený pomocí technologie FDM
Zdroj: <https://solidoodletips.wordpress.com>



Obr. 28 - Předmět vyrobený pomocí technologie FDM
Zdroj: <http://www.nsf.gov/>

3.1.4.2 Rekapitulace

Technologie založené na tavení termoplastů jsou v porovnání s ostatními metodami nejen finančně, ale i energeticky nenáročné. Hlavně jejich zásluhou se začaly 3D tiskárny a 3D tisk šířit i do domácností a běžného podvědomí lidí. Svou

⁶⁴ 3D PRINTING INDUSTRY. 3D Printing Processes: Free Beginner's Guide. *3D Printing Industry: 3D Printer News, Reports, Directory and Videos* [online]. © 2012 - 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

výslednou kvalitou zpracování objektu samozřejmě nemohou konkurovat výše popsaným technologiím. Povrch je definován jako hrubý a nerovný, jednotlivé vrstvy objektu lze často snadno rozeznat.⁶⁵

Jako výhodou je možné zmínit minimum odpadu a poměrně širokou škálu materiálů (od různých termoplastů až po vosky).⁶⁶ Díky své dostupnosti mohou být tyto technologie například vhodným prostředkem, jak studenty uvést do problematiky 3D tisku.



Obr. 29 – Desktopová 3D tiskárna uPrint SE

Zdroj:

<http://www.makerwise.com/>



Obr. 30 – Desktopová 3D tiskárna ROSTOCK ORION Delta

Zdroj:

<http://www.futur3d.net/>

⁶⁵ CHALUPA, Michal. Technologie 3D tisku. *PKmodel* [online]. © 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>

⁶⁶ ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Aditivní technologie technologie: metody Rapid metody Rapid Prototyping Prototyping* [online]. 2010 [cit. 2015-04-15], str. 25-26. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

4 3D skenery a 3D modelovací softwary

V současné době se 3D technologie začínají rozšiřovat i do oblastí mimo svou hlavní působnost. Jsou využívány také ve školách, různých paměťových institucích a v neposlední řadě i v domácnostech. Stále však není možné tyto technologie posuzovat jako běžně dostupné pro drtivou většinu uživatelů. S rozvojem 3D technologií začaly vznikat firmy zaměřené na výrobu 3D objektů a některými jsou dokonce nabízeny také online služby. Po zaslání virtuálního modelu objektu nebo jeho digitální předlohy, která je pro proces 3D tisku nutná a nezbytná, je následně odeslán zpět hotový 3D objekt.

V kapitole 1.1 byl 3D tisk definován jako proces, při kterém je objekt vytvářen z digitální předlohy. Získané virtuální modely je možné sdílet pomocí různých nástrojů s organizacemi a lidmi z celého světa, jak se tomu děje například v oblasti fotografií nebo hudebních a filmových záznamů. Nicméně je třeba mít na paměti také problematiku autorských práv, kdy v případě kopií je k jejich následnému využití často vyžadován souhlas autora nebo majitele.⁶⁷ Digitální předlohy lze dosáhnout různými způsoby. Základní a nejvíce používané metody jsou založeny na využití 3D skenerů nebo 3D modelovacích softwarů. Zatímco u 3D modelovacích softwarů lze vytvářet objekty a mechanismy podle představ jejich autora, u 3D skeneru je pomocí různých metod analyzován a převáděn do podoby virtuálního 3D modelu reálný objekt. V závislosti na technologii jsou 3D skenery schopny zaznamenávat barvu, velikost, ale také povrchovou a vnitřní strukturu skenovaného předmětu.⁶⁸ Autor se v následujících kapitolách bude věnovat oběma variantám podrobněji.

⁶⁷ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 81.

⁶⁸ WINNAN, Christopher. *3D Printers: The Next Technology Goldrush*. Charleston, South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012, str. 30.

4.1 3D Skenery

Jak již bylo zmíněno výše, využitím procesu 3D skenování a 3D skeneru je možné získat virtuální modely již existujících objektů.⁶⁹

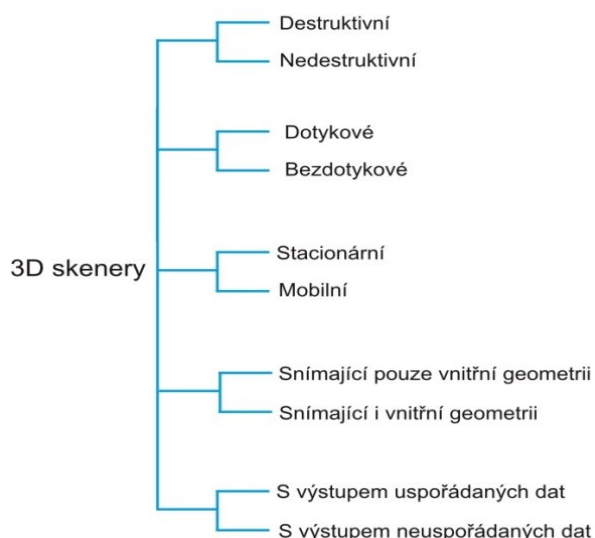
Stejně jako v oblasti 3D tiskáren i u 3D skenerů je potřeba ujasnit si několik faktů, podle kterých bude vybrán vhodný skener. Jako zásadní aspekt lze spatřovat možnost následného využití naskenovaných dat (například pro kontrolní účely, potřeby reverzního inženýrství nebo následný 3D tisk). Za stejně důležité jsou dále považovány atributy skenovaného objektu, jako například jeho rozměry, barva nebo vlastnosti povrchu (pro každý skener je dán určitý rozsah, při jeho překročení není doporučeno využívat naskenované výsledky k dalším účelům). Nutné je zohlednit také místo, kde bude docházet k procesu skenování (vnitřní prostory, různé extrémní vlivy, světelné podmínky, atd.) a také zda je požadováno zaznamenání textury objektu. Důraz je kladen také na vhodnou volbu softwarového vybavení. Některými systémy CAD nejsou podporovány běžné výstupní formáty ze skenovacích zařízení (STL, OBJ, WRL a jiné).⁷⁰

Stejně jako oblast 3D tiskáren je možné také 3D skenery rozdělit do několika skupin, založených na různých aspektech. Některým z nich se bude autor věnovat v dalších částech této práce.⁷¹

⁶⁹ HORVATH, Joan. *Mastering 3D Printing*. Pasadena (California): Apress, 2014, str. 34.

⁷⁰ SOLIDVISION. Rozdělení 3D skenerů a jejich využití. *3d-skenovani.cz* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/rozdeleni-3d-skeneru>

⁷¹ DRÁPELA, Miloslav. *Rapid Prototyping (RP) & Reverse Engineering (RE)* [online]. Brno, 2006, str. 39. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>



Obr. 31 – Typy skenerů podle různých aspektů
 Zdroj: Rapid Prototyping (RP) & Reverse Engineering (RE) Zdroj:
<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>

4.1.1 3D skenery destruktivní

Destruktivní skenery jsou schopny zachytit nejen povrch, ale i vnitřní geometrii objektu. Před zahájením procesu je na povrch objektu a do jeho dutin aplikován speciální materiál pro zvýšení výsledného kontrastu. Poté jsou z objektu odstraňovány ultratenké vrstvy materiálu a každý nově vzniklý povrch je nasnímán pomocí optického zařízení. Tento proces se opakuje až do úplného zničení objektu. Uplatňovány jsou v oblasti reverzního inženýrství, kde je cílem odkrýt princip fungování zkoumaného předmětu.⁷² V paměťových institucích tato metoda s vysokou pravděpodobností nebude využita, vzhledem k celkové devastaci originálního objektu.

⁷² ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-její-princip-a-rozdeleni.html>

4.1.2 3D skenery nedestruktivní

Jak již samotný název vypovídá, do této skupiny jsou zařazeny skenery, u kterých během skenovacího procesu není zničen originální objekt. Většina skenerů je v drtivé většině zařazena do této kategorie. Je ale důležité nezapomínat na fakt, že některými skenery jsou při snímání objektu využívány různé zdroje světla. Jeho působením může docházet k poškození a degradaci materiálů citlivých na světlo.

4.1.3 3D skenery dotykové

3D dotykové skenery jsou založeny na principech, kterými je vyžadován přímý dotyk s objektem. K tomu je využíván hrot umístěný na konci mechanického ramene. Klouby ramene jsou osazeny senzory, kterými jsou přesně zaznamenávány údaje o úhlu a natočení ramene v okamžiku skenování daného bodu. Pro správné provedení skenovacího procesu je vyžadována zkušenost a dobrá znalost ovládání skeneru. Před zahájením je nutné na objektu vyznačit všechny potřebné body k nasnímání, aby bylo dosaženo přesného digitálního modelu, a také pro samotné skenování je vyžadováno více času, než u jiných technologií. Pokud není dotykový skener doplněn o vhodné optické zařízení, nelze tímto zařízením možné nasnímat ani texturu objektu. Naopak při digitalizaci složitých objektů s dutinami nebo nerovným povrchem lze touto metodou dosahovat velmi dobrých výsledků.⁷³ Díky kontaktu s objektem může logicky vyvstat na mysli otázka, zda nemůže při skenovacím procesu docházet k drobnému poškození objektu na jeho povrchu, například v podobě rýh nebo vytlačených důlků. Pokud by tato možnost poškození objektu nebyla spolehlivě vyvrácena, využití by dotykové skenovací technologie nacházely v paměťových institucích jen velmi těžko. Autorovi práce se tato informace nepodařila

⁷³ TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI - KATEDRA ODĚVNICTVÍ - FAKULTA TEXTILNÍ. *Počítačová grafika* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2015-04-15], str. 9. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/KPC/dokumenty/07_prednaska.pdf

dostatečně ověřit, i když v jednom z pramenů⁷⁴ je nepřímo naznačeno, že by k takovému poškození povrchu mohlo docházet.



Obr. 32 - Digitalizér
MicroScribe MX
Zdroj: <http://www.rsi-3dsystems.de/>



Obr. 33 – Dotyková sonda MI.PROBE MINI
Zdroj: <http://www.merici-pristroje.cz/>

4.1.4 3D skenery bezdotykové

Jak již samotný název napovídá, u bezdotykových 3D skenerů není kontakt s povrchem skenovaného objektu vyžadován. Využívány jsou hlavně systémy na bázi laserů a optických zařízení. V porovnání s dotykovými systémy je dosahováno lepších výsledků v rychlosti, přesnosti a zachyceném stupni detailu povrchu. Těmito metodami lze snímat i místa, která jsou pro dotykové sondy jen těžko přístupná.⁷⁵

⁷⁴ ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-její-princip-a-rozdeleni.html>

⁷⁵ Tamtéž

4.1.4.1 3D skenery laserové

Princip laserových 3D skenerů je založen na vyslání kolmého paprsku, který se následně po odrazu od objektu vrací zpět do skenovacího zařízení. Z údajů o čase a úhlu, pod kterým je paprsek vrácen zpět do skeneru, jsou následně vyhodnocovány atributy objektu, jako například jeho velikost a zakřivení povrchu. Tímto způsobem je analyzován povrch celého objektu. Laserové systémy jsou často kombinovány s optickým zařízením v podobě barevné kamery, pomocí které jsou současně při skenovacím procesu zaznamenávány informace o barvě a textuře skenovaného objektu.⁷⁶ Tyto metody se vyznačují svou přesností, rychlostí, bezpečností a komplexním řešením. Využívány jsou také například při digitalizování složitých historických staveb a jejich fasád nebo archeologických nalezišť.⁷⁷



Obr. 34 - Laserový 3D skener FARO Focus3D-X130

*Zdroj:
<http://www.merici-pristroje.cz/>*

⁷⁶ ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-její-princip-a-rozdeleni.html>

⁷⁷ ŘÍHA, Jan. *Terestrické 3D skenování* [online]. Praha, 2013. Dostupné z: <http://spszem.cz/storage/files/67/3D-skenovani-2013.pdf>

4.1.4.2 3D skenery optické

Princip těchto skenerů je založen na optickém zařízení, kterým se objekt snímá z různých úhlů. Během skenovacího procesu dochází k pořizování snímků a následnému otočení objektu. Po získání potřebného počtu snímků pro vytvoření digitálního objektu jsou pomocí výpočetní techniky a vhodného softwaru spojeny ve virtuální 3D objekt. Otáčet objekt je možné manuálně, nebo pomocí automatického polohovacího zařízení.⁷⁸

Před zahájením skenovacího procesu je doporučováno vyznačit na objektu referenční značky, které jsou využity při spojování snímků a následné tvorbě digitálního modelu. Dosahovat lepších výsledků je také možné zvolením vhodného kontrastního prostředí pro objekt. Některé povrchy mohou být pro skenování problematické, pokud nejsou zvýrazněny difuzní barvou a vhodně nasvíceny. V některých případech však není žádoucí nanášet na objekt rozlišovací barvy a materiály. U takových virtuálních modelů je následně možné zaznamenat velkou chybovost.⁷⁹

Přednosti lze spatřovat v automatickém zaznamenávání barvy a skenovaného objektu, textury, vysokém rozlišení a přesnosti. Tyto metody jsou využívány ke skenování objektů prakticky jakýchkoliv velikostí a vyznačují se také dobrou mobilitou skenovacích zařízení.⁸⁰ Naopak za nevýhodu se považuje problematické skenování značně členitých povrchů a vnitřních dutin, které nejsou průchozí.⁸¹

⁷⁸ ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-její-princip-a-rozdeleni.html>

⁷⁹ SKOUPÝ, Pavel. *3D Optické měřící a skenovací systémy pro strojírenství*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. David Paloušek.

⁸⁰ GREBENÍČEK, Petr. 3D optické skenování. *Technodat CAE, - systémy, integrátor CAx a 3D PLM řešení* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/3d-opticke-skenovani-jako-soucast-technologie-rapid-prototyping-ve-spolecnosti-evektor>

⁸¹ TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI - KATEDRA ODĚVNICTVÍ - FAKULTA TEXTILNÍ. *Počítačová grafika* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2015-04-15], str. 10. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/KPC/dokumenty/07_prednaska.pdf



Obr. 35 – Optický 3D skener Atos Core
Zdroj: <http://www.mcae.cz/>



Obr. 36 – Optický 3D skener Artec Spider
Zdroj: <http://www.skenovanive3d.cz/>

4.1.4.3 3D skenery ultrazvukové

Cenově zajímavou metodou bezdotykového snímání jsou zařízení, u kterých je využíván princip ultrazvuku. Proces skenování je prováděn manuálně za pomoci ultrazvukové sondy ve tvaru pistole, která se přikládá k povrchu předmětu a následně je za pomoci spouště vyslán signál. Za nevýhodou těchto zařízení je považována jejich relativně malá přesnost, která se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 0,5 mm.⁸²

4.1.4.4 3D skenery rentgenové a CT skenery

Zjišťovat vnitřní geometrii objektu lze také nedestruktivními metodami. Za tímto účelem jsou využívány 3D skenery založené na principech rentgenu, běžně známých z oblasti zdravotnictví.⁸³ Pro některé vědecké účely mohou být vyžadovány podrobnější informace o vnitřní struktuře a složení objektu, kterých je možné dosáhnout pomocí CT (Computer Tomograph) skeneru. Pořízení i provoz CT technologií představují velkou finanční zátěž a také případnou komerční výrobu 3D modelu touto metodou není možné považovat za finančně

⁸² ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-její-princip-a-rozdeleni.html>

⁸³ Tamtéž

běžně dostupnou záležitost. Vzhledem k uživatelské nedostupnosti CT zařízení bývá využití těchto metod většinou podmíněno dohodou se zdravotním zařízením. Na druhou stranu těmito metodami lze dosahovat velmi přesných výsledků a v některých případech se mohou stát jedinou variantou, jak nedestruktivně získat požadované informace. Modely pořízené CT skenery lze snadno převádět do formátu STL, který je využíván při komunikaci s 3D tiskárnami.⁸⁴

4.1.5 3D skenery stacionární a mobilní

Na mobilitě 3D skenerů je založeno jejich další členění. U stacionárního systému se veškerá manipulace považuje za velmi náročné procesy a často je vyžadováno alespoň částečné rozebrání při převozu na jiné místo. Za schůdnější je tak možné vidět variantu s dopravou objektu na místo skenování. Naopak mobilní systémy lze snadno a bez větších problémů přenášet a přepravovat k objektům, které se budou skenovat.⁸⁵

4.1.6 Rekapitulace

3D skenovací technologie se osvědčují jako vhodné metody pro přenos fyzického objektu z reálného světa do podoby 3D modelu. Aby bylo možné označit 3D skenovací zařízení za všestranné a ideální, musí disponovat vlastnostmi jako vysokou přesností a rychlostí, velkým rozlišením, schopností skenovat objekty různých velikostí a materiálů, dobrou mobilitou a uživatelskou přívětivostí. Za samozřejmé jsou považovány bezpečnost, nedestruktivní skenovací proces a schopnost zachytit vzhled a vnitřní strukturu objektu. To vše za nízkou cenu. V současné době není u žádné 3D skenovací technologie dosaženo takové univerzality, aby bylo možné 3D skener nazvat jako ideální a všestranný. Také proto jsou na dnešním trhu nabízeny široké škály 3D skenerů od mnoha různých

⁸⁴ HORVATH, Joan. *Mastering 3D Printing*. Pasadena (California): Apress, 2014, str. 35.

⁸⁵ ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>

fírem a při výběru vhodného skenovacího zařízení je nutné důsledně zvážit veškeré aspekty a účely, k jakým bude využíván.⁸⁶

4.2 3D modelovací softwary

3D modelovací softwary jsou odlišnou variantou, pomocí kterých je možné vytvořit virtuální model. Aktuálně lze od sebe odlišit dvě hlavní kategorie softwarů využívaných pro následný 3D tisk.⁸⁷

4.2.1 Solid modeling (Geometrické modelování)

Tato kategorie je používána hlavně komunitami z inženýrského a průmyslového prostředí. S rozvojem výpočetní techniky a jejího výkonu začalo docházet také k velkému rozvoji v oblasti geometrického modelování. Velký vývoj v oblasti geometrického modelování byl zaznamenán v 90. letech, kdy také začalo docházet k velkému rozvoji v oblasti výpočetní techniky a jejího výkonu. Z dnešního pohledu běžně dostupné funkce, jako je například možnost vracet se o několik činností nazpět, nebyly v té době technicky proveditelné. Aktuálně je nabízena tzv. CAD softwary řada zajímavých a doplňkových funkcí. Uživatel může využívat knihovny již hotových objektů různých geometrických tvarů a strojírenských součástí (krychle, koule, válce, ozubená kola a mnoho dalších), které mohou být velice jednoduše pomocí počítačové myši dále upravovány a kombinovány (ohybem, řezem, protažením atd.)⁸⁸

Originální a jedinečný design je tak vytvářen využitím těchto základních geometrických tvarů a jejich modifikováním. Například jednoduchým spojením dvou válců lze docílit paličky. Následným vyříznutím třetího válce z pomyslné

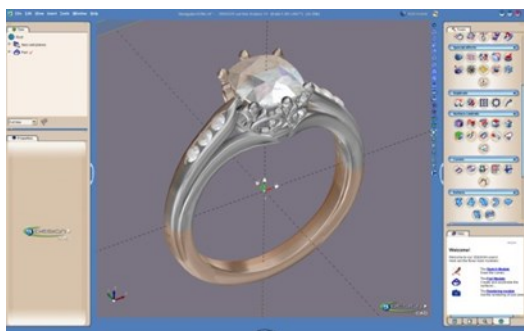
⁸⁶ CHEN, Tongbo. *New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes*. Saarbrücken, 2008. Disertační práce. Der Universität des Saarlandes, der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultäten, Max-Planck-Institut für Informatik. Vedoucí práce Dr. Hendrik P. A. Lensch, Prof. Dr. Hans-Peter Seidel. str. 9-10. Dostupné z: http://diglib2.eg.org/0x811bda12_0x0002f617.

⁸⁷ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 92.

⁸⁸ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 93-94.

násady může být vytvořen otvor vhodný pro zavěšení na zed'. Geometrické tvary jsou softwarem zpracovávány jako objekty s daným objemem a proto není pro většinu 3D tiskáren problematické akceptovat takto vytvořené modely.⁸⁹

Dnešní moderní CAD softwary často tvoří provázaný celek. Například změna jednoho parametru součástky bude promítnuta do všech modelů, kde byla použita. Do takového provázaného celku jsou často zahrnuty také kontrolní mechanismy, kterými je vyžadováno schválení provedených změn a aktualizace například v celém výrobním procesu.⁹⁰ Některé CAD softwary se zaměřují pouze na určitá odvětví. Jako příklad lze uvést software 3Design CAD, který se specializuje na 3D modelování šperků a klenotů⁹¹, nebo internetové stránky zaměřené na 3D modely lidských postav.⁹²



Obr. 37 – Prostředí softwaru 3Design CAD
Zdroj: <http://www.cadjewelleryskills.com/>



Obr. 38 - Modely lidských postav pro CAD
Zdroj: <http://www.solidsmack.com/>

4.2.2 Surface modeling (Plošné modelování)

Tato kategorie je používána hlavně komunitami z oblasti animace, počítačových her a různých grafických společností. Metody plošného modelování mohou být

⁸⁹ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 93-94.

⁹⁰ Tamtéž

⁹¹ Více informací o softwaru: <http://www.cadjewelleryskills.com/cad-jewellery-software-3design/>

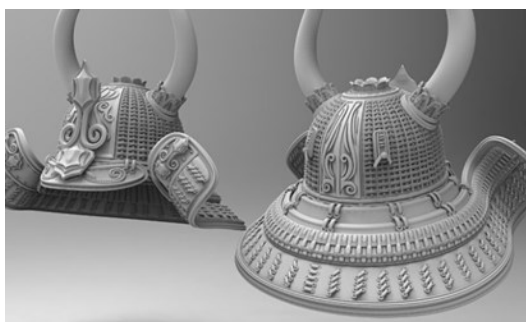
⁹² Více informací: <http://www.cadhuman.com/index.html>

vhodně využity v situaci, kdy není možné z reálného světa pomocí 3D skeneru nasnímat vhodnou předlohu, nebo model sestavit pomocí základních geometrických tvarů a jejich modifikací. Počátky plošného modelování jsou sice spjaty se zábavním průmyslem, v dnešní se však s úspěchem používá také v jiných oborech. Vědeckou komunitou jsou metody plošného modelování využity například k vytváření modelů DNA. Také pokud je cílem vyrobit kopii určitého rázu krajiny, je vhodné využít software založený na plošném modelování.⁹³

Princip plošného modelování je založen na pokrytí celého objektu mračnem jednotlivých bodů, které jsou následně propojeny do pravidelných geometrických tvarů. Díky tomuto principu jsou objekty softwarem následně rychleji vykreslovány a zpracovávány. Na rozdíl od geometrického modelování, které je do jisté míry omezeno hlavně svým strojírenským zaměřením a prací s geometrickými objekty, v plošném modelování není fantazie autora omezena. Výsledné modely nejsou softwarem zpracovávány jako objekty s daným objemem, proto je nutné před samotným 3D tiskem provést další kroky. U moderních modelovacích softwarů je využita kombinace obou kategorií, i když vytvoření objektu s objemem z povrchového modelu představuje pro výpočetní výkon značnou zátěž.⁹⁴

⁹³ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 94-95.

⁹⁴ Tamtéž



Obr. 39 – Ukázka 3D modelu
Zdroj: <http://www.onelunglewis.com/>



Obr. 40 – Detail objektu při
3D modelování
Zdroj:
<http://www.onelunglewis.com/>

4.2.3 Vývoj v oblasti 3D modelovacích softwarů

Ještě v nedávné době bylo nutné do projektování 3D modelů investovat nemalé finanční prostředky v podobě výkonné výpočetní techniky a speciálního softwaru, který byl ve většině případů chráněn autorskými právy. Schopnost pracovat s 3D modelovacím softwarem byla vyhraněna pro určitou skupinu specialistů až po absolvování nákladných školení. S rozvojem veškerých 3D technologií a jejich pozvolném zavádění do běžného života je možné zaznamenat také vývoj v oblasti 3D modelovacích nástrojů.⁹⁵

Na trhu jsou stále nabízeny robustní komerční systémy, jako například SolidWorks⁹⁶, nebo 3D Studio MAX⁹⁷, kdy se investované peníze uživateli vracejí v podobě mnoha doplňků a knihoven s již hotovými 3D modely. Společně s pronikáním 3D tiskáren do domácností se jako alternativa k těmto placeným softwarům začaly objevovat aplikace za minimální, nebo dokonce nulové poplatky. Jen namátkou lze uvést například balíček aplikací SketchUP, který byl původně vyvíjen společností Google, software Blender nebo OpenSCAD.

⁹⁵ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 85-87.

⁹⁶ Více informací o SolidWorks: <http://www.solidvision.cz/solidworks/>

⁹⁷ Více informací o 3D Studio MAX: <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

U některých aplikací není vyžadován instalační proces a mohou pracovat v prostředí webových prohlížečů. Tyto aplikace však nemohou nabídnout srovnatelné výsledné zpracování, jako softwary komerční a profesionální.⁹⁸

4.2.4 3D model a fotografie

S rozvojem výpočetní a optické techniky se začaly objevovat techniky a metody, jak vytvořit 3D model bez pomoci speciálního skenovacího zařízení. Naopak k těmto metodám jsou využívány běžně dostupné fotoaparáty s dostatečně kvalitní optikou a rozlišením. Pro úspěšné vytvoření 3D modelu je nutné pořídit co možná největší množství fotografií objektu z různých úhlů, které jsou následně porovnávány a jednotlivé body virtuálního modelu jsou vypočteny na základě rozdílů mezi dvěma fotografiemi pořízených v přibližně stejných místech. Vyšší výkon výpočetní techniky a zdokonalování grafických procesů jsou aspekty, kterými byl výrazně urychlen proces zpracování těchto bodů.

Dobrá cenová dostupnost umožňuje tyto metody běžně využívat také v domácím prostředí, bez nutnosti velkých investic do počítačů s extrémním výkonem nebo speciálního skenovacího zařízení. Nelze však očekávat dosažení stejně kvalitních výsledků, jako u speciálních skenovacích zařízení. Profesionálními studii jsou používány ve větším počtu speciálně kalibrovaná snímací zařízení, která se umísťují na pečlivě vybraná místa. Takto speciálně vyladěnými systémy lze následně zachytit například jednotlivé chloupky na lidské paži a objekty v pohybu.⁹⁹

⁹⁸ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 85-87.

⁹⁹ HAUSMAN, Kalani, Kirk a Richard HORNE. *3D Printing for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, str. 92-94.



Obr. 41 – Profesionální 3D studio
Zdroj: <http://www.3dtotal.com/>

4.2.5 Rekapitulace

3D tiskové technologie byly společně s modelovacími softwary hlavními důvody, proč byl změněn pohled na tradiční metody výroby objektů a designu. Nicméně vztah mezi nimi lze definovat jako jednostranně založený. 3D tisk se vyvíjel v závislosti na oblasti modelovacích softwarů, naopak modelovacími softwary byla oblast 3D tisku reflektována pouze částečně. Až v poslední době je 3D tisk posuzován modelovacími nástroji jako života schopná technologie. Tak jak bude docházet u 3D tiskových technologií k dalšímu vývoji a zlepšování jejich možností, bude nezbytně nutné přizpůsobit také možnosti a funkce u modelovacích nástrojů.¹⁰⁰

¹⁰⁰ LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated, The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013, str. 91.

5 3D technologie v muzejní praxi

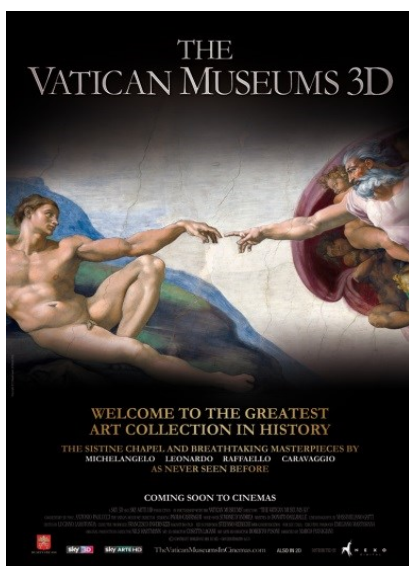
Následující podkapitoly této práce se bude zabývat možnostmi praktického využití 3D technologií v paměťových institucích.

5.1 3D projekce a virtuální prohlídky

Cílem této práce nebylo zabývat se technickými principy, na kterých je založena technologie 3D projekce. Protože jsou ale některými paměťovými institucemi využívány například v rámci expozice nebo celého naučného programu, bude vhodné si v další části této práce představit možnosti jejich praktického využití.

5.1.1 3D projekce

Jako příklad využití technologie 3D projekce v paměťových institucích lze uvést v nedávné době dokončený projekt Vatikánského muzea, který byl distribuován



Obr. 42 – Oficiální plakát
Zdroj: <http://www.dsatlive.cz/>

do kin po celém světě. V tomto unikátním představení Vatikánu a jeho muzeí je divák vtažen do netradiční prohlídky expozice, která byla shromažďována během dvou tisíciletí naší historie. Pod vedením samotného ředitele muzea profesora Antonia Paolucciho jsou divákovi nabídnuty proslulá díla, obrazy, fresky nebo stropní malby v detailech a z netradičních úhlů tak, jak by je mohl při běžné návštěvě Vatikánského muzea spatřit jen velmi obtížně. Netradiční pohled na expozici nabízejí také pořízené noční záběry. Během natáčení tohoto

naučného snímku bylo využito nejmodernějších 3D filmových technologií a speciálních technik, jako například ULRA 4K/3D kamer, nebo dimenzionalizace

obrazu a na jeho vzniku se podílelo více 40 specialistů, odborníků a kameramanů za výrazné podpory společností SKY 3D a Sky Arte HD.¹⁰¹

Logicky mohou vyvstat otázky, zda jsou takové projekty schopny zprostředkovávat nejen krásu, uměleckou hodnotu nebo historický význam, ale také duchovní rozměr celého komplexu a expozice, který může být člověkem vnímán při osobní návštěvě takto proslulých míst. Atmosféra velkoleposti a úcty může na člověka zapůsobit v případě, pokud se rozhodne vydat na pouť do Říma, Vatikán a jeho muzeí. Takové pocity nelze zachytit ani těmi nejmodernějšími technologiemi, i když v případě dokumentu *The Vatican Museums 3D* je snaha o přenesení těchto pocitů na diváka zjevně patrná. Do jaké míry se tento záměr podařilo tvůrcům naplnit, je nutné posoudit individuálně.¹⁰²

Odlišné použití technologie 3D projekce je možné spatřit v muzeu Škoda Auto v Mladé Boleslavi. Muzeum bylo znovuotevřeno na konci roku 2012 po rozsáhlé rekonstrukci. Během expozice je návštěvníkovi představena historie, vývoj a legendární stroje automobilky, která se může pyšnit více než sto let nepřerušovanou výrobní tradicí.¹⁰³

V průběhu prohlídky je návštěvníkovi nabídnuta možnost využít multimediální sál s 3D projekcí, ve kterém je možné shlédnout mimo jiné také dokumentární 3D film „Narození auta“. V rámci dokumentu je divákovi představen výrobní proces automobilu od kusu plechu, až po vyjetí hotového automobilu z montážní linky. Odlišnou aplikaci technologie lze spatřovat v záměru, s jakým cílem byl 3D film využit. Na rozdíl od výše uvedeného projektu Vatikánského muzea byl tento film výhradně určen pro promítání v muzeu a nebyl pojat jako samostatný výdělečný

¹⁰¹ LIVE BOOKING: VATIKÁNSKÁ MUZEA 3D. DSAT LIVE. *Live přenosy do Vašeho kina - dsatlive.cz* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.dsatlive.cz/booking-a-podpora/vatikanska-muzea-3d-detail>

¹⁰² ČERNÝ, Jan. Vatikán natočil 3D film o svých muzeích. *Český rozhlas* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/plus/svet/_zprava/vatikan-natocil-3d-film-o-svych-muzeich--1425735

¹⁰³ CZECHTOURISM. Kudy z nudy: Škoda Muzeum - více než sto let tradice. *Kudy z nudy: Homepage* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.kudyznudy.cz/Aktivity-akce/Aktivity/Skoda-Auto-Muzeum.aspx>

projekt. Tomu odpovídá také celková délka dokumentu, která se pohybuje okolo pěti minut.¹⁰⁴ Při natáčení byly použity také levnější technologie a techniky, nežli v projektu Vatikánského muzea.

5.1.2 Virtuální prohlídky

Virtuální prohlídky představují moderní metody digitálního zobrazení prostoru, pomocí kterých je možné uživateli představit určité místo a prostředí, aniž by byla vyžadována jeho osobní návštěva. U těchto metod je použit speciální typ



Obr. 43 – Ukázka z virtuální prohlídky
Zdroj: <http://www.mnh.si.edu/>

fotografie (tzv. sférická). Té je dosaženo využitím klasických 2D fotografií daného místa, které jsou pořizovány v určitém sledu tak, aby byl pokryt prostor v úhlu 360° horizontálně a 180° vertikálně. Následně jsou za pomoci softwaru spojovány a převedeny do 3D podoby.

Díky tomuto principu může návštěvník spatřit vše ve svém okolí tak, jako by byl na místě opravdu fyzicky přítomen. Pomocí počítačové myši je možné otáčet se v prostoru, určovat směr prohlídky a měnit různé pohledy na objekty.¹⁰⁵

V současné době je existence virtuální prohlídky v rámci internetové prezentace každého většího a významnějšího muzea vnímána jako samozřejmost. Jen namátkou lze vybrat světově známá muzea, jako Louvre Museum v Paříži¹⁰⁶ nebo National Museum od Natural History ve Washingtonu¹⁰⁷. Z českého prostředí

¹⁰⁴ GALI-3D. Reference. *GALI-3D* [online]. České Budějovice, 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://cs.gali-3d.com/reference/>

¹⁰⁵ KOCIÁN, Radoslav. Technologie virtuální prohlídky. *360stupnu.cz: virtuální prohlídky a panoramatické fotografie* [online]. © 2006 - 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.360stupnu.cz/virtualni-prohlidky-technologie.html>

¹⁰⁶ Dostupná virtuální prohlídka: <http://www.louvre.fr/en/visites-en-ligne>

¹⁰⁷ Dostupná virtuální prohlídka: <http://www.mnh.si.edu/panoramas/>

nelze opomenout virtuální prohlídky Národního muzea¹⁰⁸, nebo Národního technického muzea¹⁰⁹. Díky cenové a technické dostupnosti této technologie je její využití možné aplikovat také v paměťových institucích s výrazně omezenými finančními prostředky.

5.1.3 Rekapitulace

Přínos 3D projekce a virtuálních prohlídek rozhodně není ideální hledat v oblasti přímé ochrany originálních artefaktů, i když z pořízených záznamů lze za určitých podmínek vytvářet 3D modely s možností následného 3D tisku. Virtuální model nebude dosahovat takových detailů a kvalit, jako při využití technologie 3D skenování a nelze ho považovat jako vhodnou záložní kopii pro dlouhodobou archivaci. Naopak při řešení úkolu zpřístupňování kulturního dědictví veřejnosti mohou tyto technologie poskytovat dobré služby za nízké finanční náklady. Touto cestou je možné zpřístupňovat vystavované expozice například mobilně handicapovaným skupinám spoluobčanů. Kladné dopady využití těchto metod jsou však zaznamenány všemi skupinami obyvatel. Výsledky průzkumu, které byly zveřejněny v dostupné publikaci¹¹⁰, vykazují pozitivní hodnocení při využití virtuální prohlídky ještě před samotnou reálnou návštěvou muzea. Potencionální návštěvník se může předem rozhodnout a přesvědčit, zda se mu vyplatí do paměťové instituce osobně vyrazit a jestli skutečně nabízí to, co očekává. V samotném muzeu je pak možné zaměřovat se na předem vybrané exponáty. Využití lze spatřovat také jako formu vhodné edukační pomůcky k doplnění a prohlubování znalostí. Výhodou je také snadný přístup k informacím, které jsou dostupné prakticky odkudkoliv, kde je možné využívat internetové připojení.

Cílem studie nebylo nalézt alternativu, která by plnohodnotně nahrazovala osobní návštěvu muzea. Jejím cílem naopak bylo představit virtuální prohlídku jako

¹⁰⁸ Dostupná virtuální prohlídka: <http://www.nm.cz/Aktualni-vystavy/Virtualni-prohlidky/>

¹⁰⁹ Dostupná virtuální prohlídka: <http://www.ntm.cz/expozice/virtualni-prohlidky>

¹¹⁰ D'ALBA, Adriana a Greg JONES. Chapter 2: Analyzing the Effects of a 3D Online Virtual Museum in Visitors' Discourse, Attitudes, Preferences, and Knowledge Acquisition. NETTLETON, Kimberly Fletcher a Lesia LENNEX. *Cases on 3D technology application and integration in education*. Hershey PA: Information Science Reference, 2013, str. 26-48.

vhodnou variantu pro zpřístupnění expozice a studijních materiálů skupinám obyvatel, které si nemohou dovolit cestovat (například z časových nebo finančních důvodů) za poznáním mezi různými státy a kontinenty. Výsledky studie vykazují v různých směrech pozitivní vlivy na návštěvníka při správném využití virtuálních prohlídek před, v průběhu a také po osobní návštěvě muzea.¹¹¹

5.2 Využití 3D tiskáren a 3D skenerů

V paměťových institucích mohou být technologie 3D tiskáren a 3D skenerů využívány každá samostatně, nebo v kombinaci. Pokud je dobře dostupný zdroj hotových 3D modelů, není nutné vlastnit 3D skener a naopak pokud není vyžadován 3D tisk, není nutné pořizovat 3D tiskárnu. Je nezbytně nutné uvědomit si cíle a požadavky, ke kterým budou 3D technologie využity. Zvolení správného postupu může přinést výraznou úsporu nákladů a v některých případech je nanejvýš vhodné využít zkušeností externích firem. Ukázkami využití 3D tiskáren a 3D skenerů v paměťových institucích se bude autor zabývat v dalších částech této práce.

5.2.1 3D tiskárny

Jak již bylo zmíněno výše, technologie 3D tisku a 3D skenování se mohou využívat jednak samostatně, ale také v kombinaci. Jelikož využití obou technologií je spolu často úzce spjato, autorem budou popsány hlavně situace, kdy bylo cílem vytvořit 3D repliku originálního objektu.

V roce 2010 byla pro společnost National Geographic a jejich expozici v rámci turné vyrobena replika nalezených pozůstatků krále Tutanchamona. Vzhledem k náročnosti úkolu se společnost rozhodla obrátit na specialistu s nemalými zkušenostmi z oblasti tvorby modelů současných i prehistorických zvířat Garyho Staaba. Po analýze bylo rozhodnuto využít k vytvoření repliky technologie tzv.

¹¹¹ D'ALBA, Adriana a Greg JONES. Chapter 2: Analyzing the Effects of a 3D Online Virtual Museum in Visitors' Discourse, Attitudes, Preferences, and Knowledge Acquisition. NETTLETON, Kimberly Fletcher a Lesia LENNEX. *Cases on 3D technology application and integration in education*. Hershey PA: Information Science Reference, 2013, str. 26-48.

mamutí stereolitografie od společnosti Materialise, která je koncipována pro tisk velkých objektů. Pomocí speciálního mimického softwaru a dodaných CT snímků krále Tutanchamona bylo následně možné sestavit 3D model vhodný pro 3D tisk. Po dokončení procesu bylo nutné odstranit podpurný a přebytečný materiál. Následně byl vytištěný objekt odeslán do Belgie, kde byla Gary Staabem dokončena přeměna velkého kusu plastu na vzhledově identickou mumii. Výsledkem nejen časově velmi náročného procesu se tak stala na první pohled nerozpoznatelná replika originální Tutanchamonovy mumie.¹¹² Společností Materialise byl také zveřejněn informační videozáznam z celého výrobního procesu.¹¹³



Obr. 44 – 3D tisk repliky mumie
Zdroj:
<http://egyptologynewsnetwork.blogspot.cz/>



Obr. 45 – Hotová replika mumie
Zdroj:
<http://egyptologynewsnetwork.blogspot.cz/>

V souvislosti s Tutanchamonem se v roce 2014 objevila zpráva, že stát Egypt bude otevírat přesnou kopii faraonovy hrobky. Replika byla vyrobena v rámci projektu, který je zaměřen na ochranu původních míst před následky turismu a při její realizaci bylo využito 3D tiskáren a 3D skenerů. Původní hrobka, která na 60m² musí pojmout až 1000 návštěvníků denně, by byla bez vyrobené repliky

¹¹² BROOKE, Kaelin. A 3D Printed Replica of King Tut's Mummy. *3D Printer World* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.3dprinterworld.com/article/3d-printed-replica-king-tuts-mummy>

¹¹³ Informační videozáznam:
https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=iQ4TCR9WoLY

lidským vlivem brzy poničena. Za pomoci kombinace digitálních fotografií, 3D laserových skenerů a 3D tiskáren byly vytvořeny například vysoce detailní a propracované nástěnné malby v pohřební komoře. O projektu byl také natočen speciální dokument pro BBC Travel Show s názvem A New Tomb for Tutankhamun a v současnosti jsou rozpracovány další známé turistické cíle, jako například hrobka královny Nefetari.¹¹⁴



Obr. 46 – Replika malby

Zdroj:

<http://www.nationalgeographic.com/>



Obr. 47 – Replika hrobky

Zdroj:

<http://www.nationalgeographic.com/>

3D tiskárny nemusí být využívány jen k rozsáhlým projektům, které jsou popsány výše. Například japonskými paměťovými institucemi byly 3D technologie použity k vytvoření replik originálních předmětů menších rozměrů.

V Kyushu National Museum bylo rozhodnuto v rámci oslav 1200. výročí založení klášterního centra začít práce na replice originální sochy japonského mnicha Kukaie z období mezi 14.-17. stoletím, který je považován za zakladatele školy buddhismu. Toto muzeum je jako jediné v Japonsku vybaveno nejen CT skenerem

¹¹⁴ BURRELL, Ian. Egypt unveils exact replica of Tutankhamun's tomb made with a 3D printer - Archaeology - Science - The Independent. *The Independent News UK and Worldwide News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.independent.co.uk/news/science/archaeology/egypt-unveils-exact-replica-of-tutankhamuns-tomb-made-with-a-3d-printer-9307882.html>

a různými 3D skenery, ale také 3D tiskárnou a všechny tyto technologie byly také náležitě využity k vytvoření takřka dokonalé kopie buddhistického mnicha.¹¹⁵

Jiná japonská paměťová instituce Yamagata Prefectural Museum se ve své snaze pomoci návštěvníkům muzea lépe poznávat historii a umění rozhodla pořídit repliku 4500 let staré hliněné sošky tzv. Jōmonské Venuše, která byla v roce 2012 prohlášena za japonskou národní kulturní památku. K výrobě replik byla použita 3D tisková technologie od firmy Stratasys a makety jsou využívány nejen při marketingu a propagaci muzea, ale jsou nabídnuty také návštěvníkům, kteří tak mohou zažít přímý kontakt s objektem.¹¹⁶



Obr. 48 – Replika
Jōmonské Venuše
Zdroj: <http://3dprint.com/>



Obr. 49 – Jōmonská
Venuše
Zdroj:
<http://3dprint.com/>

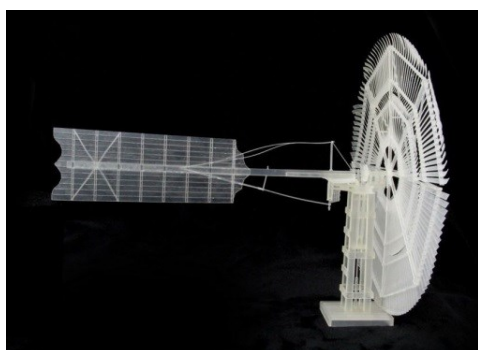
3D tisk může být také vnímán jako vhodná alternativa ke klasickým metodám replikace fosilií, při kterých jsou vyžadovány časově náročné kroky. Prakticky byla tato možnost vyzkoušena paleontologem Jeffrie Parkerem, kterým byla za

¹¹⁵ HIRANO, Kyoko. Kyushu museum uses 3-D tech to replicate artifacts. *The Japan Times - News on Japan, Business News, Opinion, Sports, Entertainment and More* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.japantimes.co.jp/news/2014/09/12/national/kyushu-museum-uses-3-d-tech-replicate-artifacts/#.VS9KA_BiMaj

¹¹⁶ EDWARDS, Te. 3D Printed Replica of 4,500-Year-Old Jōmon Venus Draws Visitors to Japanese Museum. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/30574/jomon-venus-3d-printed/>

pomocí 3D skeneru a 3D tiskárny zhotovena maketa Dryosaura o rozměrech 127x38 cm. Kosterní pozůstatky byly pomocí 3D skeneru přeneseny do počítače, kde byl kompletní 3D model rozdělen na 20 STL souborů, následně vytištěn na 3D tiskárnách uPrint SE Plus a složen do jednoho celku.¹¹⁷

Další využití 3D tiskových technologií s cílem vytvořit repliku objektu je možné spatřit v American Wind Power Center and Museum v Texasu (muzeum větrných mlýnů), které je pokládáno za největší svého druhu na světě. Institucí byla navázána spolupráce se společností WhiteClouds, která se specializuje na 3D tisk



Obr. 50 – Model mlýnu
Zdroj: <http://3dprint.com/>

a 3D modelování. Díky této spolupráci jsou pomocí 3D tisku vyráběny modely historických větrných mlýnů. K jejich tvorbě je použita 3D tisková technologie MultiJet Modeling a transparentní nebo lehce zabarvené fotopolymerní materiály pro zvýraznění stavební struktury. Modely mlýnů jsou tištěny po jednotlivých částech a následně montovány. K dosažení virtuálního modelu byla využita široká škála technik od modelování v 3D softwarech, přes reverzní inženýrství již existujících zmenšených modelů, až po využití historických fotografií. Muzeu tak díky těmto metodám bylo umožněno vyrábět modely větrných mlýnů rychleji, efektivněji a realizovány mohly být také velmi složité modely, které by se stavěly pomocí klasických metod jen velmi obtížně.¹¹⁸

¹¹⁷ STRATASYS STAFF. 3D Printing Replaces Multi-step Process to Create Dinosaur Model. *Professional 3D Printing Stratasy* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://blog.stratasys.com/2014/08/21/3d-printed-dinosaur-model/>

¹¹⁸ MENDOZA, Hannah Rose. Historic Windmills 3D Printed for Museum Display. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/11970/windmills-3d-printed-historic/>

5.2.2 3D skenery

V této části práce se autor zaměří na situace, kdy výsledným požadavkem není primárně fyzická výroba objektu, ale hlavním cílem je dosáhnout přesně zpracovaného virtuálního modelu pomocí 3D skenerů. Těmito 3D technologiemi jsou nabízeny možnosti přesného zpracování a převodu fyzického objektu z reálného světa do podoby digitálního 3D modelu.¹¹⁹ Tyto schopnosti mohou být dobře využity v paměťových institucích v rámci problematiky ochrany a péče o kulturní dědictví. Vytvořený a uchovaný virtuální 3D model může velmi dobře posloužit v případech, kdy dojde k poškození nebo úplné ztrátě artefaktu. Tato data však nemusí být jen pasivně uchována jako prostá záloha originálního objektu. Další využití je možné spatřovat ve sdílení virtuálních 3D modelů prostřednictvím internetu a specializovaných portálů, kde je možné za určitý finanční obnos virtuální artefakt získat a následně za pomoci externí firmy nebo vlastní 3D tiskárny objekt vyrobit. Virtuální 3D modely se tak mohou stát zdrojem určitého finančního příjmu.¹²⁰

V současné době byly poskytnuty některými paměťovými institucemi první 3D modely k volnému využití a při kladné odezvě lze předpokládat jejich nárůst. V neposlední řadě mohou být tyto digitální kopie artefaktů využity jako vhodná edukační pomůcka a své místo si nacházejí také ve vědeckých komunitách. Jako příklad výše zmíněného využití může být uveden projekt Smithsonian X 3D, u kterého je cílem nejen digitalizovat artefakty a interiéry paměťových institucí,

¹¹⁹ CHEN, Tongbo. *New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes*. Saarbrücken, 2008. Disertační práce. Der Universität des Saarlandes, der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultäten, Max-Planck-Institut für Informatik. Vedoucí práce Dr. Hendrik P. A. Lensch, Prof. Dr. Hans-Peter Seidel. str. 9-10. Dostupné z: http://diglib2.eg.org/0x811bda12_0x0002f617.

¹²⁰ O'CONNOR, Daniel. Inition-ating a new business model for museums - TCT - 3D Printing, Additive Manufacturing and Product Development Technology. *TCT Magazine 3D Printer: 3D Printing News Additive Manufacturing Product Development Technology* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.tctmagazine.com/prsnlz/inition-ating-a-new-3d-printing-business-model-for-museums/>

ale také je následně zveřejňovat.¹²¹ Projekt je zaštitěn společností Smithsonian Institutions se sídlem ve Washingtonu, kterou jsou sdružovány muzea a vzdělávací centra v jeden komplex, v jejichž expozicích je dohromady evidováno na 137 milionů artefaktů.¹²²

V nedávné době byla touto institucí uvolněna řada virtuálních 3D modelů artefaktů, které je možné po zaregistrování volně stahovat ve formátu OBJ nebo STL. V nabídce je možné nalézt artefakty z různých paměťových institucí, kromě jiných například první letadlo bratří Wrightů z National Air and Space Museum, leteckou kombinézu Amelie Earhartové z National Postal Museum, nebo masku Abrahama Lincolna z National Portrait Gallery, kterou jsou zachyceny prezidentovy rysy několik týdnů před jeho vraždou. Tento virtuální 3D model byl využit k vytištění edukační pomůcky komunitou škol v Houstonu v rámci 150. výročí bitvy o Gettysburg.¹²³



Obr. 51 – Lincolnova maska
Zdroj: <http://3d.si.edu/>



Obr. 52 – Letadlo bratří Wrightů
Zdroj: <http://3d.si.edu/>

¹²¹ ZEBRA IMAGING. Why museums are embracing 3D scanning. *Home* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.zebraimaging.com/news-and-events/news/bid/295904/Why-museums-are-embracing-3D-scanning>

¹²² Více informací o instituci: <http://www.si.edu/About>

¹²³ WAIBEL, Günter. Smithsonian X 3D: How a 167-year-old Museum Leverages 3D Technology - Digitization Program Office. SMITHSONIAN X 3D. *Digitization Program Office: A Showcase for Digitization Projects at the Smithsonian* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://dpo.si.edu/blog/smithsonian-x-3d-how-167-year-old-museum-leverages-3d-technology>

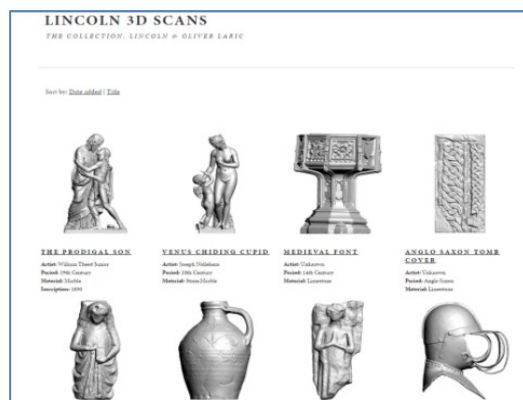
Podobný přístup je možné nalézt také u dalších paměťových institucí. Například New York's Metropolitan Museum byly v roce 2012 za pomoci několika dobrovolníků, 3D skenovací techniky a digitálních kamer vyrobeny virtuální 3D modely, které jsou ve spolupráci s internetovým portálem Thingiverse vystaveny a volně dostupné ke stažení.¹²⁴ Tímto krokem se nechalo inspirovat The British Museum a na internetovém portálu Sketchfab bylo do současné chvíle zveřejněno 14 artefaktů z jejich sbírek, které je možné volně stahovat. V nabídce lze nalézt například bustu Amenemhata III., egyptský žulový sarkofág, nebo aztéckou sochu ohnivého hada Xiuhcoatla.¹²⁵

Digitalizovat artefakty za pomoci technologií 3D skenování a následné bezplatné zveřejňování veškerých údajů byly hlavní atributy projektu umělce Olivera Larica, který byl vybrán jako vítězný v rámci soutěže Contemporary Art Society's Annual Award for Museums. Myšlenka projektu byla zaměřena hlavně na možnosti sdílení a zpřístupňování expozic také zájemcům ze vzdálených destinací. V online internetové galerii je tak možné stahovat a používat bez omezení autorskými právy 3D modely artefaktů z muzea v Lincolnu a Usherovy galerie.¹²⁶

¹²⁴ AGUILAR, Mario. You Can 3D Print Scale Versions of Famous Museum Statues For Your Home. *Gizmodo - Everything Is Technology* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://gizmodo.com/5917341/you-can-3d-print-scale-versions-of-famous-museum-statues-for-your-home>

¹²⁵ LISZEWSKI, Andrew. The British Museum Will Now Let You 3D Print Copies Of Its Artifacts. *Gizmodo - Everything Is Technology* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://gizmodo.com/the-british-museum-will-now-let-you-3d-print-copies-of-1654077136>

¹²⁶ MUGHAL, Muhammad shoaib. Lincoln 3D Scans: Info. *Lincoln 3D Scans: The Collection, Lincoln Oliver Laric* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://lincoln3dscans.co.uk/info/>



Obr. 53 – Galerie virtuálních 3D modelů
Zdroj: <http://lincoln3dscans.co.uk/>

Některými paměťovými institucemi byla zvolena jiná cesta. V roce 2014 bylo dosaženo dohody o spolupráci v oblasti 3D skenování a následného prodeje virtuálních modelů mezi internetovým portálem Threeding a několika muzei. V době vydání zprávy bylo možné dohledat v databázi internetového portálu více jak 100 artefaktů z muzeí ve Varně a Historického muzea Pernik nebo okolo 50 starožitností ze soukromých sbírek.¹²⁷

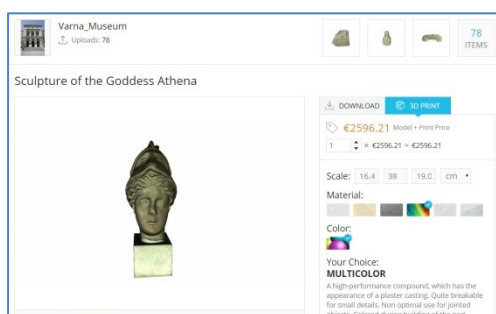
V současné době je internetovým portálem nabízena nejen možnost stažení virtuálního modelu, ale také samotné vytištění a zaslání hotového 3D objektu, u kterého je možné zvolit mezi různými variantami materiálu, barev a velikostí. Cena se pohybuje v rozmezí několika desítek eur u virtuálních modelů, u hotových 3D objektů se může dostat až na několik tisíc eur v závislosti na zvolené velikosti a materiálu.

Jinými paměťovými institucemi jsou získaná data využita konzervativněji. Za všechny je možné uvést například instituci Petrie Museum of Egyptian Archaeology, která se může pochlubit jednou z největších sbírek starověkých egyptských artefaktů na světě. Zde jsou naskenovaná data využita k vytvoření

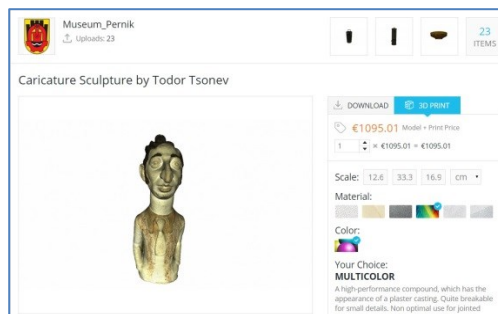
¹²⁷ KRASSENSTEIN, Eddie. Rare Museum Artifacts, Now Available for Purchase and Print at 3D Design Marketplace. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/3089/threeding-scanning-artifacts/>

online knihovny virtuálních modelů ve vysokém rozlišení a s možností rotace o 360°, ale bez možnosti jejich stahování.¹²⁸

Také muzeem evropského sochařství Liebieghaus ve Frankfurtu nad Mohanem, kde byl poprvé v historii použit 3D skener pro kompletní dokumentaci sochařského díla, nejsou získaná data veřejně poskytována. Pro zachycení 3D modelu bronzové renesanční plastiky Apollóna z přelomu 15. a 16. století byl využit prostorový skener CultLab 3D, vyvinutý firmou Fraunhofer IGD. Díky schopnosti přesně zachytit povrchovou úpravu, charakter materiálu i jeho reakci na světlo je možné výsledný 3D model označit za nejdokonalejší kopii uměleckého díla, jaká byla do této chvíle vytvořena. Toto zařízení bylo použito k částečnému zdokumentování středověké sbírky muzea Liebieghaus.¹²⁹



Obr. 54 – Dostupný artefakt v nabídce
Zdroj: <http://www.threeding.com/>



Obr. 55 – Dostupný artefakt v nabídce
Zdroj: <http://www.threeding.com/>

¹²⁸ DESMOND, Randall. Museum of Egyptian Archaeology, 3D Scans Artifacts And Posts Them on The Internet For Full Viewing. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/3067/museum-3d-scans/>

¹²⁹ KOVÁČ, Peter. Frankfurtu nad Mohanem (Frankfurt am Main): Skener ve 3D zdokumentoval renesanční sochu v Liebieghausu. *Stavitele katedrál* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://stavitele-katedral.cz/frankfurtu-nad-mohanem-frankfurt-am-main-skener-ve-3d-zdokumentoval-renesancni-sochu-v-liebieghausu/>

5.2.3 Rekapitulace

S rozvojem 3D technologií a jejich následným pronikáním do nových odvětví i běžného života se otevřela cesta k vhodnému využívání těchto metod také v paměťových institucích v oblasti ochrany a zpřístupňování kulturního dědictví.

Z výše popsaných způsobů využití je možné vysledovat úzkou vazbu mezi technologiemi 3D tisku s 3D skenováním, velmi často se při plnění vytyčeného cíle nemohou obejít jedna bez druhé.

Hlavní význam využití 3D skenování lze spatřovat v možnosti získat kompletní digitální data o fyzickém objektu. V závislosti na použité metodě je možné obdržet informace o struktuře, rozměrech, barvě, ale i vnitřním složení a skrytých mechanismech digitalizovaného objektu. Takto získaná data jsou následně využita k uchovávání informací o artefaktu, kompletním rekonstrukcím nebo opravám, k zpřístupňování v on-line knihovnách a v neposlední řadě také k samotnému 3D tisku kopií artefaktu. Hlavní význam použití samotné technologie 3D tisku je možné nalézt v ochraně originálního objektu, v lepších možnostech jeho zpřístupňování a ve schopnosti vyrobit vhodné edukační pomůcky. Kopie mohou být využity v rámci různých expozic jako vhodná náhrada za originální artefakty, citlivé na jakékoliv změny. Díky těmto metodám lze návštěvníkovi také poskytnout možnost fyzického kontaktu s exponátem a jeho detailní zkoumání.¹³⁰

Při zvolení vhodné marketingové strategie je možné 3D technologie využívat také k výrobě doplňkových upomínkových předmětů. Pro paměťové instituce s hlavním úkolem chránit a zpřístupňovat kulturní dědictví mohou obě tyto metody představovat vhodný prostředek při plnění takového poslání a stát se nepostradatelným pomocníkem, i když svůj vývoj teprve započaly.

¹³⁰ WALDORF, Sarah. 3D Scanning Meets Ancient Art. *The Getty Iris: The online magazine of the Getty* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://blogs.getty.edu/iris/3d-scanning-meets-ancient-art/>

S postupným zaváděním 3D technologií do oblasti muzejní praxe se objevují obavy a otázky, zda online zpřístupňování artefaktů a jejich 3D tisk nebude mít negativní dopad na reálné osobní návštěvy paměťových institucí. Dosavadní praxí však tyto obavy potvrzeny nebyly, naopak se 3D technologie ukazují jako dobrý marketingový nástroj a mohou nabídnout vhodnou alternativu také těm uživatelům, v jejichž schopnostech není možnost cestovat za památkami po různých světových kontinentech.¹³¹



*Obr. 56 – Skenovací zařízení CultLab 3D
Zdroj: <http://www.cultlab3d.de/>*

¹³¹ COLLECTIONS TRUST. Are we ready for 3D printing ?. *Welcome to Collections Trust* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.collectionstrust.org.uk/digital/are-we-ready-for-3d-printing>

6 Praktická část

Tato kapitola se věnuje jedné z možností praktického využití 3D tiskových technologií v oblasti paměťových institucí. Základem myšlenky je možnost sdílení již hotových virtuálních 3D modelů připravených k tisku mezi institucemi, které by za pomoci využití 3D tiskových technologií byly schopny následně uspořádat výstavu artefaktů, za kterými by jinak musel potenciální návštěvník cestovat na různé kontinenty. V rámci projektu Smithsonian X 3D stručně popsáno v kapitole 4.2.2, který si klade za cíl artefakty a interiéry paměťových institucí nejen digitalizovat, ale také následně zveřejňovat, byl uvolněn pro volné stažení a využití virtuální 3D model odlitku hlavy amerického prezidenta Abrahama Lincolna. I když tento odlitek lze považovat díky výrazu tváře spíše za masku posmrtnou, byl pořízen za jeho života v roce 1865, den před jeho padesátí šestými narozeninami a zachycuje zestárnutí, ustaranost a únavu amerického prezidenta během občanské války, které se výrazně podepsaly také na výrazu jeho tváře.¹³²

Po zaregistrování a stažení vhodného souboru ve formátu STL byly vzhledem k autorovým možnostem 3D tisku osloveny externí firmy a subjekty v blízkém okolí, v jejichž nabídce je i možnost komerčního 3D tisku. Vzhledem k faktům, že tyto technologie jsou v současné době na počátku svého vývoje a v České republice je možné zaznamenat v této oblasti vůči jiným státům lehké zaostávání, byly i z hlediska finančních nákladů autorovi dostupné čtyři různé 3D tiskárny využívající technologii FDM/FFF. K tisku objektů tak byly využity tiskárny MakerBot Thing-o-matic ve vlastnictví Střední školy aplikované kybernetiky, Felix 3.0 dual extruder také ve vlastnictví Střední školy aplikované kybernetiky, open source tiskárna Kossel Mini s vlastní konstrukcí, kterou disponuje reklamní agentura AAG a 3D tiskárna Rebel II, která se nacházela ve vlastnictví soukromé osoby.

¹³² NPG & NMAH STAFF. Explorer View. SMITHSONIAN X 3D. *Smithsonian X 3D* [online]. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://3d.si.edu/explorer?modelid=27&reader=true>

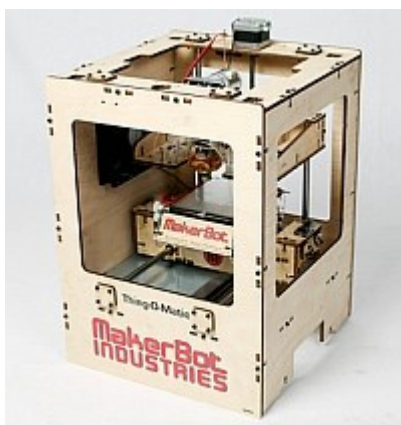
6.1 MakerBot Thing-o-matic

První výtisk byl realizován na tiskárně MakerBot Thing-o-matic, u které je využita technologie FDM. Jako stavební materiál byl použit termoplast PLA, který je u těchto technologií vedle ABS plastů jedním z nejvíce využívaných materiálů. U tiskárny je použita tryska o průměru 0,4 mm, kterou je plast protlačován z jeho původní velikosti o průměru 1,75mm při teplotě cca 220 °C. Tiskový proces je realizován na vyhřívané pracovní ploše o teplotě cca 75 °C, díky čemuž je zabráněno odlepení modelu od podložky během jeho výroby. U tohoto modelu bylo dosaženo tiskové vrstvy o hodnotě 0,32mm. Tloušťkou jednotlivé vrstvy jsou ovlivňovány detaily výsledného objektu a celková doba tiskového procesu.¹³³

Velikost tisknutého modelu byla nastavena na 4 cm a proces tisknutí byl dokončen cca po 40 minutách. Tato komerční tiskárna byla výrobcem nahrazena novým modelem a již se nevyrábí. Cena tiskárny MakerBot Thing-o-matic se v roce 2011 pohybovala v rozmezí od cca 1000,- až po 2500,- USD v závislosti na dodavateli a stavu dodávané tiskárny (buď ve formě stavebnice, nebo již složené tiskárny).¹³⁴

¹³³ PRESTON LEE'S BLOG. Makerbot Thing-o-Matic 3D Printer Print Pictures Product Review. *Preston Lee's Blog* [online]. 2011 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.prestonlee.com/2011/01/18/makerbot-thing-o-matic-3d-printer-print-pictures-product-review/>

¹³⁴ BIGGS, John. CrunchDeals: Get Yourself A Thing-O-Matic For \$999. *TechCrunch - The latest technology news and information on startups* [online]. 2011 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://techcrunch.com/2011/12/28/crunchdeals-get-yourself-a-thing-o-matic-for-999/>



Obr. 57 – 3D tiskárna
MakerBot Thing-o-matic
Zdroj: <http://3dniche.wisc.edu/>



Obr. 58 – Předmět vyrobený 3D tiskárnou
Makerbot Thing-o-matic
Zdroj: Autor - digitální fotografie

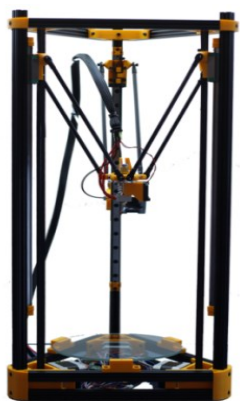
6.2 Kossel Mini

Pro výtisk druhého modelu v pořadí byla využita nabídka externí společnosti vlastníci open source tiskárnu Kossel Mini. Díky licenci open source je možné postavit tiskárnu svépomocí a libovolně využívat. V internetových pramenech je také možné nalézt několik podrobných manuálů pro stavbu této tiskárny nebo již připravené kompletní stavebnicové kity. U tohoto zařízení lze objevit několik technických principů, kterými se odlišuje od klasických metod využívaných technologiemi FDM/FFF. Na první pohled je patrný atypický tvar podstavce, který má na rozdíl od nejčastěji využívaných čtvercových tvarů tvar trojúhelníkový.

Odlišný přístup je využit také u pracovní desky. V tomto případě je použita skleněná, pevně zafixovaná kruhová podložka, u které nedochází při tiskovém procesu k žádnému posuvnému pohybu. Naopak pomocí lineárního vedení pro pohyb vozíků je docíleno posunu tiskové hlavy, která je schopna i díky těmto principům dosahovat rozlišení až 100 kroků/mm ve všech třech směrech. Také zde je využita tisková hlava o průměru 0,4 mm a jako stavební materiál termoplast PLA. Proto jsou 3D tiskárnou využívány pro tavení stavebního materiálu podobné

teploty kolem 230 °C, stejně jako je tomu u výše popsané tiskárny MakerBot Thing-o-matic.¹³⁵

Na této tiskárně byly vyrobeny dva objekty pro posouzení kvality objektu při různé velikosti. První o rozměrech cca 4 cm, u kterého komerční náklady na výrobu dosáhly hodnoty 500,- Kč, u druhého objektu o rozměrech cca 8 cm se náklady vyšplhaly na 890,- Kč. U menšího z objektů se čas tiskového procesu přiblížil 30 minutám, u většího z objektů se tato doba vyšplhala až na cca 7,5 hodiny. Tloušťka jedné vrstvy se pohybuje kolem 0,15 mm. Lze také konstatovat, že u obou rozdílně velkých modelů je dosaženo při tisku malými vrstvami stejné úrovně detailů.



*Obr. 59 – 3D tiskárna
Kossel Mini
Zdroj:
<http://www.aagcz.com/>*



*Obr. 60 – Předměty vyrobené tiskárnou Kossel Mini
Zdroj: Autor - digitální fotografie*

6.3 Felix 3.0 dual extruder

Jako třetí v pořadí byla pro tisk 3D virtuálního modelu využita 3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder od nizozemského výrobce 3D tiskáren FELIXrobotics, jejíž

¹³⁵ BLONKER INDUSTRIES. *Kossel Mini: Build Guide*. United States of America, 2013.
Dostupné z: http://blomker.com/Kossel_Mini_Assembly_Guide_V1.0.pdf

pořizovací cena se v roce 2015 u základní verze ve formě stavebnice pohybuje kolem 42 000,- Kč.¹³⁶ Také tato tiskárna je založena na technologii FDM. Jako stavební materiál byl v tomto případě využit termoplast PLA černé barvy, který je pomocí trysek nanášen na pracovní desku o rozměrech cca 25 cm. Výsledná hodnota tiskové vrstvy byla při tisku nastavena na 0,2 mm. Výrobce je však udávána velikost vrstvy až 0,05 mm a u tiskárny je také možné nalézt dvě tiskové hlavy umožňující tisk dvoubarevných objektů. Trysky, pomocí kterých je nanášen materiál na pracovní desku, mohou dosahovat teploty až 275 °C.¹³⁷ Je nutné podotknout, že se tiskárna nacházela ve zkušebním provozu. Proto je možné předpokládat, že po správném kalibrování a získání dostatečných zkušeností lze dosahovat i lepších výsledků, nežli u tohoto vytisknutého objektu. Jako nešťastná se také ukázala volba černého lesklého materiálu. Detaily nejsou dobře viditelné a bez dalšího zpracování by model sám o sobě nevynikl. Doba celého tiskového procesu se pohybovala u 5 cm objektu kolem 3 hodin.



*Obr. 61 – 3D tiskárna
FELIX 3.0
Zdroj: www.igo3d.com*



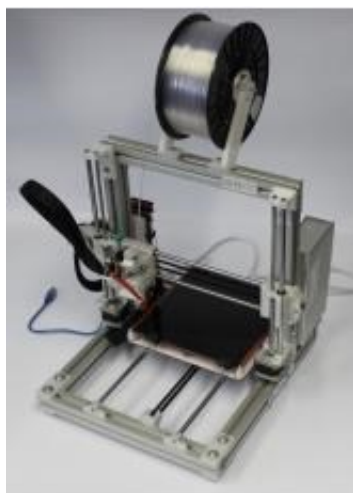
*Obr. 62 – Předmět vyrobený tiskárnou
Felix 3.0
Zdroj: Autor - digitální fotografie*

¹³⁶ NC COMPUTERS. 3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder (dvě tiskové hlavy), stavebnice, LCD displej, dvoubarevný tisk. *NC Computers s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: http://www.nc.cz/3d-tiskarna-felix-3-0-dual-extruder-dve-tiskove-hlavy-stavebnice-lcd-displej-dvoubarevny-tisk_d271225.html

¹³⁷ FELIX PRINTERS. 3D tiskárny Felix 3.0 - Felixprinters Czech 3D tiskárny FELIX: Popis 3D tiskáren. *3D tiskárny FELIX* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.felixprinters.cz/>

6.4 Rebel II.

K vytisknutí čtvrtého modelu byla využita 3D tiskárna Rebel II. Tato tiskárna je v současné době nabízena ve formě stavebnice na necelých 11 000,- Kč a také zde je využita technologie FDM. Materiál je nanášen na cca 20 cm velkou pracovní zrcadlovou plochu a vzhledem k použité technologii je využito podobných teplot k tavení materiálu.¹³⁸ U tohoto konkrétního zařízení mohl být nastaven minimální rozměr tiskové vrstvy na hodnotu 0,2 mm. Využit byl také stejný materiál PLA sněhově bílé barvy, jako v případě tisku na 3D tiskárně Kossel Mini. Při porovnání obou modelů je možné zaznamenat o něco málo větší rozměr tiskové vrstvy, ale i tak je dosaženo velmi dobrého detailu, který je sám o sobě ještě podpořen barvou zvoleného stavebního materiálu. Tento cca 4 cm velký model tak působí lépe a detailněji, nežli model vyrobený z tiskárny Felix 3.0, i když u obou je shoda v hodnotě tiskové vrstvy (0,2 mm). Doba celého tiskového procesu se pohybovala kolem 40 minut a cenová kalkulace byla vyčíslena na hodnotu 460,- Kč.



Obr. 63 – 3D tiskárna
Rebell II
Zdroj: <http://www.jrc.cz/>



Obr. 64 – Předmět vyrobený tiskárnou
Rebell II.
Zdroj: Autor - digitální fotografie

¹³⁸ JRC GAME CENTRUM. Stavebnice 3D tiskárny REBEL II. *JRC - Váš nejlepší spoluhráč!* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: http://www.jrc.cz/3d_tisk_stavebnice_3d_tiskarny_rebel_ii

6.5 Rekapitulace

I když jsou všechny 3D tiskárny založeny na technologii FDM/FFF, je možné na první pohled zaznamenat rozdíl v detailu a kvalitě u výsledných modelů. Obzvláště u modelu z 3D tiskárny MakerBot Thing-o-matic lze pozorovat drobné kazy a ani míra detailu není ideální. Z výsledné busty není dobře patrný výraz tváře a ani po dodatečném opracování by objekt nedosahoval potřebných kvalit. Míra detailu je dána nejen dobře zpracovanou předlohou, ale hlavně velikostí tisknuté vrstvy. U modelu z tiskárny Kossel Mini je například možné postřehnout i mírně zvednuté obočí u levého oka. Naproti tomu se tento model z tiskárny MakerBot Thing-o-matic jeví jako pevnější a trvanlivější nežli modely tisknuté z tenkých vrstev. Také je důležité zdůraznit fakt, že tiskárna MakerBot Thing-o-matic byla výrobcem nahrazena novým modelem a tento typ se již nevyrábí.

Z výsledných modelů je možné přiznat velký podíl na konečném výsledku nejen použité technologii a barvě materiálu, ale také technickému zpracování tiskárny, kdy i drobná vylepšení mohou znamenat znatelný posun ve výsledné kvalitě vytisknutého modelu. Ze získaných zkušeností je také možné poznamenat, že pro dosažení požadovaného výsledku je nutné tiskárny dobře kalibrovat a správně nastavit, individuálně přistupovat ke každému tisknutému objektu a zvážit všechny možnosti a varianty tisku. Při vhodně zvolené technice tisku lze také docílit finančních úspor a neplýtvat stavebním materiálem. Nejen u modelů vyrobených pomocí tenkých vrstev je také následně možné pomocí různých povrchových úprav docílit větší odolnosti objektů a ještě zvýraznit jejich detaily.

Praktickou zkouškou tak byla potvrzena myšlenka využití 3D tiskáren v muzejní praxi, kdy se podařilo uveřejněný 3D model připravený k tisku americkou národní galerií autorovi za pomoci externích firem a subjektů vyrobit a to i ve velice zajímavých detailech a za přijatelnou cenu. Jak již bylo zmíněno, je však nezbytně nutné zvažovat veškeré aspekty a možnosti, nežli bude finální tisk realizován.

7 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit čtenáře s nejčastěji využívanými 3D technologiemi v oblasti 3D tisku a 3D skenování a za pomoci příkladů nastínit jejich možné využití v rámci muzejní praxe a v paměťových institucích.

U výše popsaných 3D tiskových technologií lze vyzorovat často velmi podobné technické principy, mnohdy se jednotlivé technologie liší jen v drobnostech. V současné době není na trhu možné zaznamenat univerzální 3D tiskárnu, která by byla schopna pracovat s veškerými dostupnými materiály, využívat různých technologických a technických principů a tisknout objekty libovolných velikostí. Proto je při pořizování 3D tiskových technologií důležité pečlivě zvážit veškeré aspekty a cíle, ke kterým bude 3D tiskárna využívána. Jelikož jsou tyto technologie považovány za relativně mladé a jejich vývoj byl v podstatě teprve zahájen, dosahují pořizovací i provozní ceny 3D tiskových technologií stále vysokých částek a rozhodně je stále nelze považovat za běžnou součást každodenního života. Za mylnou je také možné považovat často velmi zažitou představu, že stiskem jednoho tlačítka bude vytisknut objekt dle libovolného přání, který bude ihned připraven k použití. V praxi je naopak vytištěnými 3D objekty vyžadováno další zpracování v podobě odstranění stavebních podpěr, zvýraznění detailů, zlepšení kvality povrchu nebo zpevnění celého objektu. Pokud však budou pominuty finanční náklady a mnohdy složité zpracovatelské postupy, je pomocí 3D tisku možné vytvářet dokonalé objekty rozličných, někdy až fantastických tvarů, které budou po následném zpracování na první pohled jen těžko rozeznatelné od originálních artefaktů.

Také v oblasti 3D skenování je možné vnímat podobná problematické fakta, jako v oblasti 3D tisku. Ani zde není v současné době možné na trhu nalézt 3D skener, který by mohl být označen za univerzální a dokázal se vypořádat se širokou škálou požadavků v podobě zpracování různých druhů materiálů, velikostí a složitostí objektů. Proto je i v této oblasti důležité při pořizování 3D skenovacích technologií zvážit veškeré aspekty a cíle, ke kterým bude 3D skener

využíván. Pro detailní informace a zjištění vnitřní struktury objektu nedestruktivní metodou je často jedinou cestou spolupráce se zdravotním zařízením a využití CT skeneru. I zde lze u kvalitních 3D skenerů zaznamenat vysoké pořizovací ceny a cestu komerčního pořízení 3D virtuálního modelu je možné považovat také za finančně náročnou. V praxi jsou nejčastěji využívány skenery založené na optických a laserových technologiích.

Za nedílnou součást 3D technologií je také nutné považovat 3D modelovací softwary. I na nich záleží, v jaké kvalitě bude výsledný objekt zpracován. Na dnešním trhu je možné nalézt širokou škálu softwarů, ať již volně využitelné a dostupné, nebo profesionální modelovací programy pod licenční ochranou za různé finanční obnosy. Schopnost používat tyto programy je stále podmíněna lepší uživatelskou znalostí počítačové techniky a u složitějšího programového vybavení je vhodné absolvovat odborná školení. Při tvorbě virtuálního 3D modelu je také důležité grafické cítění každého jedince.

Tak jako jsou 3D technologie na počátku svého vývoje, je stejně tak možné vnímat využití těchto technologií v paměťových institucích. Současné využití 3D tisku lze vnímat spíše jako experimentování a hledání vhodných cest při řešení úkolů ochrany a zpřístupňování kulturního dědictví. V budoucnu ale bude možné pomocí 3D tiskáren přiblížit artefakt návštěvníkovi do takové míry, že nebude výjimkou možnost dotýkat se předmětů a brát je do rukou. V daleko větší míře jsou v současné době používány 3D skenovací technologie, pomocí kterých se artefakty digitalizují a jsou různými službami nabízeny a zpřístupňovány široké i odborné veřejnosti a současně jsou využity jako záloha originálního artefaktu. Z výše uvedených příkladů využití 3D technologií v muzejní praxi je možné vypožorovat úzkou vazbu mezi 3D tiskem a 3D skenováním, kdy se při řešení jednotlivých úkolů často neobejdou jedna bez druhé. Hlavně již zmiňované 3D skenery jsou často základem k řešení daných úkolů. Širší využití 3D technologií stále komplikují hlavně jejich vysoké pořizovací a provozní náklady. Pokud však budou naplněny předpovědi o dalším vývoji 3D tisku, je možné

předvídat v budoucnosti široké využití 3D tiskáren k tvorbě dokonalých kopií originálních artefaktů nejen za účelem jejich ochrany.

V praktické části byl realizován 3D tisk z veřejně dostupného virtuálního modelu za pomoci rozdílných 3D tiskáren. K jejich zhotovení bylo nutné oslovit externí subjekty a firmy, které disponují 3D tiskovými technologiemi. Je nutné také konstatovat, že v autorovi blízkém okolí nebyl výběr 3D tiskáren nikterak veliký, prakticky byly spočítány na prstech jedné ruky. Při studiu této problematiky byla převážně využita zahraniční literatura a to hlavně z důvodu absence ucelených českých publikací. V době vzniku této práce také nebyly zaznamenány české paměťové instituce, které by se ve větší míře věnovaly této problematice. Zůstává tedy otázkou, zda v České republice v této oblasti nedochází k jistému zaostávání vůči okolnímu světu.

3D tisku je předpovídána velká budoucnost a oprávněně je zmiňován jako možný důvod další průmyslové revoluce. Zajímavé bude také sledovat legislativní reakci nejen v oblasti autorského práva. S jeho rozvojem bude docházet ke zlevňování těchto technologií a v budoucnu lze předpokládat široké využití 3D tisku nejen v průmyslovém a zdravotnickém odvětví, ale také v dalších oborech a již nyní se ukazuje, že své uplatnění určitě nalezne také v oblasti paměťových institucí a muzejní praxe.

8 Seznam zdrojů

14220.CZ. 3D tisk-metody. *14220.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

3D INNOVATIONS. Charles Hull Archives - 3D Innovations. *3D Innovations - Best 3D Prototype* [online]. Honolulu: 3D Innovations, 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.3d-innovations.com/blog/tag/charles-hull/>

3D PRINTING INDUSTRY. 3D Printing Processes: Free Beginner's Guide. *3D Printing Industry: 3D Printer News, Reports, Directory and Videos* [online]. New York, © 2012 - 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

3D SYSTEMS. Selective Laser Sintering (SLS): www.3dsystems.com. *Rapid Prototyping, Advance Digital Manufacturing, 3D Printing, 3-D CAD: www.3dsystems.com* [online]. United States of America, © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/resources/information-guides/selective-laser-sintering/sls>

3DVISDESIGN. 3D Printing: The Next Billion-Dollar Industry?. *3DVisDesign: 3D Modeling* [online]. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://3dvisdesign.com/3d-printing-the-next-billion-dollar-industry/>

4ISP. Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>

About: RepRapWiki. *RepRap: RepRapWiki* [online]. 2014, 12.12.2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/About>

AGUILAR, Mario. You Can 3D Print Scale Versions of Famous Museum Statues For Your Home. *Gizmodo - Everything Is Technology* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://gizmodo.com/5917341/you-can-3d-print-scale-versions-of-famous-museum-statues-for-your-home>

AUTODESK. 3D Modeling Rendering Software. *Autodesk: 3D Design, Engineering, Entertainment Software* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15].

Dostupné z: <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

BIGGS, John. CrunchDeals: Get Yourself A Thing-O-Matic For \$999.

TechCrunch - The latest technology news and information on startups [online].

2011 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z:

<http://techcrunch.com/2011/12/28/crunchdeals-get-yourself-a-thing-o-matic-for-999/>

BLONKER INDUSTRIES. *Kossel Mini: Build Guide*. United States of America, 2013. Dostupné z: http://blomker.com/Kossel_Mini_Assembly_Guide_V1.0.pdf

BROOKE, Kaelin. A 3D Printed Replica of King Tut's Mummy. *3D Printer World* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:

<http://www.3dprinterworld.com/article/3d-printed-replica-king-tuts-mummy>

BURRELL, Ian. Egypt unveils exact replica of Tutankhamun's tomb made with a 3D printer - Archaeology - Science - The Independent. *The Independent News UK and Worldwide News* [online]. United Kingdom, 2014 [cit. 2015-04-16].

Dostupné z: <http://www.independent.co.uk/news/science/archaeology/egypt-unveils-exact-replica-of-tutankhamuns-tomb-made-with-a-3d-printer-9307882.html>

CADHUMAN. *Human models for Solidworks and other CAD software* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.cadhuman.com/index.html>

COLLECTIONS TRUST. Are we ready for 3D printing ?. *Welcome to Collections Trust* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:

<http://www.collectionstrust.org.uk/digital/are-we-ready-for-3d-printing>

CZECHTOURISM. Kudy z nudy: Škoda Muzeum - více než sto let tradice. *Kudy z nudy: Homepage* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:

<http://www.kudyznudy.cz/Aktivity-a-akce/Aktivity/Skoda-Auto-Muzeum.aspx>

ČERNÝ, Jan. Vatikán natočil 3D film o svých muzeích. *Český rozhlas* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:

http://www.rozhlas.cz/plus/svet/_zprava/vatikan-natocil-3d-film-o-svych-muzeich--1425735

D'ALBA, Adriana a Greg JONES. Chapter 2: Analyzing the Effects of a 3D Online Virtual Museum in Visitors' Discourse, Attitudes, Preferences, and Knowledge Acquisition. NETTLETON, Kimberely Fletcher a Lesia LENNEX. *Cases on 3D technology application and integration in education*. Hershey PA: Information Science Reference, 2013, 434 s., s. 26-48. ISBN 978-146-6628-175.

DESMOND, Randall. Museum of Egyptian Archaeology, 3D Scans Artifacts And Posts Them on The Internet For Full Viewing. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:

<http://3dprint.com/3067/museum-3d-scans/>

DMLS. DMLS: Direct Metal Laser Sintering, Kovové prototypy. *DMLS: Direct Metal Laser Sintering, Kovové prototypy* [online]. © 2007 [cit. 2015-04-14].

Dostupné z: <http://www.dmls.cz/>

DOBBS, Sarah et al. SB LTD. *The Ultimate Guide To 3D Printing*. London: Dennis Publishing Ltd, 2014, 148 s. ISBN 1-78106-309-5.

DRÁPELA, Miloslav. *Rapid Prototyping (RP) & Reverse Engineering (RE)*

[online]. Brno, 2006, 39 s. Dostupné z:

<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>

EDWARDS, Te. 3D Printed Replica of 4,500-Year-Old Jōmon Venus Draws Visitors to Japanese Museum. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/30574/jomon-venus-3d-printed/>

FELIX PRINTERS. 3D tiskárny Felix 3.0 - Felixprinters Czech 3D tiskárny FELIX: Popis 3D tiskáren. *3D tiskárny FELIX* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16].

Dostupné z: <http://www.felixprinters.cz/>

FENLON, Wesley. Laser Sintering 3D Printing Patents Expiring in 2014. *Tested* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.tested.com/tech/3d-printing/456856-laser-sintering-3d-printing-patents-expiring-2014/>

GALI-3D. Reference. *GALI-3D* [online]. České Budějovice, 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://cs.gali-3d.com/reference/>

GIBBS, Samuel. Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology. *Latest news, sport and comment from the Guardian* [online]. United Kingdom, 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>

GIBSON, Ian, David W. ROSEN a Brent STUCKER. *Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing*. London: Springer, 2009, 459 s. ISBN 978-1441911193.

GREBENÍČEK, Petr. 3D optické skenování. *Technodat CAE, - systémy, integrátor CAx a 3D PLM řešení* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/3d-opticke-skenovani-jako-soucast-technologie-rapid-prototyping-ve-spolecnosti-evektor>

GRIMM, Todd. 3D Printing: Speaking the Language. *Information & Inspiration for Engineers* [online]. Ontario (Canada), 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/3918/3D-Printing-Speaking-the-Language.aspx>

HAUSMAN, Kalani Kirk a Richard HORNE. *3D printing for dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014, 368 s. ISBN 978-1-118-66075-1.

HIRANO, Kyoko. Kyushu museum uses 3-D tech to replicate artifacts. *The Japan Times - News on Japan, Business News, Opinion, Sports, Entertainment and More* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.japantimes.co.jp/news/2014/09/12/national/kyushu-museum-uses-3-d-tech-replicate-artifacts/#.VS9KA_BiMaj

HOMOLA, Jan. Fused Deposition Modeling: 3D tisk. *3D tisk* [online]. Brno, © 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>

HOMOLA, Jan. Selective Laser Sintering: 3D tisk. *3D tisk* [online]. Brno, © 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

HORVATH, Joan. *Mastering 3D Printing*. Pasadena (California): Apress, 2014, 224 s. ISBN 978-1-4842-0026-1.

HULL, Charles W. *Apparatus for production of three-dimensional object by stereolithography* [patent]. United States Patent, US4575330. Uděleno 11.3.1986. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/4575330.pdf>

CHALUPA, Michal. Technologie 3D tisku. *PKmodel* [online]. Praha, © 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>

CHEN, Tongbo. *New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes*. Saarbrücken, 2008. Dostupné z: http://diglib2.eg.org/0x811bda12_0x0002f617. Disertační práce. Der Universität des Saarlandes, der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultäten, Max-Planck-Institut für Informatik. Vedoucí práce Dr. Hendrik P. A. Lensch, Prof. Dr. Hans-Peter Seidel.

CHLEBO, Martin. Technologie 3D tisku I. *O3D.cz: rychle, stručně, o tom, co se děje ve světě 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/technologie-3d-tisku-i/>

CHLEBO, Martin. Technologie 3D tisku II. *O3D.cz: rychle, stručně, o tom, co se děje ve světě 3D tisku* [online]. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/2237/>

I.MATERIALISE. *3D printed Replica of King Tut 's mummy* [online]. 2010 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=iQ4TCR9WoLY

JRC GAME CENTRUM. Stavebnice 3D tiskárny REBEL II. *JRC - Váš nejlepší spoluhráč!* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z:

http://www.jrc.cz/3d_tisk_stavebnice_3d_tiskarny_rebel_ii

KOCIÁN, Radoslav. Technologie virtuální prohlídky. *360stupnu.cz: virtuální prohlídky a panoramatické fotografie* [online]. Ostrava, © 2006 - 2013

[cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.360stupnu.cz/virtualni-prohlidky-technologie.html>

KOLKOVÁ, Olga. Metodiky 3D tiskáren: Skokem od papíru k reálnému objektu.

Cdr.cz - Vybráno z IT [online]. © 1998-2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z:

<http://cdr.cz/clanek/metodiky-3d-tiskaren-reprap-mojo-cube-3d-zprinter-650-a-replicator-2>

KOVÁČ, Peter. Frankfurtu nad Mohanem (Frankfurt am Main): Skener ve 3D zdokumentoval renesanční sochu v Liebieghausu. *Staviteľé katedrál* [online].

2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://stavitele-katedral.cz/frankfurtu-nad-mohanem-frankfurt-am-main-skener-ve-3d-zdokumentoval-renesancni-sochu-v-liebieghausu/>

KRASSENSTEIN, Eddie. Rare Museum Artifacts, Now Available for Purchase and Print at 3D Design Marketplace. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:

<http://3dprint.com/3089/threeding-scanning-artifacts/>

LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated: The new world of 3D printing*.

Indianapolis: Wiley, 2013, 302 s. ISBN 978-1-118-35063-8.

LISZEWSKI, Andrew. The British Museum Will Now Let You 3D Print Copies Of Its Artifacts. *Gizmodo - Everything Is Technology* [online]. 2014

[cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://gizmodo.com/the-british-museum-will-now-let-you-3d-print-copies-of-1654077136>

LIVE BOOKING: VATIKÁNSKÁ MUZEA 3D. DSAT LIVE. *Live přenosy do Vašeho kina - dsatlive.cz* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.dsatlive.cz/booking-a-podpora/vatikanska-muzea-3d-detail>

LOUVRE MUSEUM. Online Tours. *Home page of louvre.fr* [online]. Paříž, 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.louvre.fr/en/visites-en-ligne>

MCOR TECHNOLOGIES LTD. *How Paper-based 3D Printing Works: The Technology and Advantages* [online]. Ireland, © 2013 [cit. 2015-04-15], 11 s. MCOR-WPUS-06092013. Dostupné z: <https://s3.amazonaws.com/3dpaperprinting/How+Paper-Based+3D+Printing+Works.pdf>

MEDICAL MODELING INC. PolyJet Matrix Technology: Medical Modeling. *Medical Modeling* [online]. Colorado, © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.medicalmodeling.com/solutions-for-engineers/additive-manufacturing-production/polyjet>

MENDOZA, Hannah Rose. Historic Windmills 3D Printed for Museum Display. *3DPrint.com - 3D Printer: 3D Printing News* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://3dprint.com/11970/windmills-3d-printed-historic/>

MEYER, Jack. *CAD Jewellery Skills: Jewellery CAD training resources, Jewellery Industry Information, New Technology Trends and Other Discoveries by Jack Meyer* [online]. London, 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.cadjewelleryskills.com/>

MUGHAL, Muhammad shoaib. Lincoln 3D Scans: Info. *Lincoln 3D Scans: The Collection, Lincoln Oliver Laric* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://lincoln3dscans.co.uk/info/>

NAVRÁTIL, Robert. Selective Laser Sintering. *Reverse Engineering* [online]. 2000 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/>

NÁRODNÍ MUZEUM. Virtuální prohlídky. *Národní muzeum* [online]. Praha, 2010 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.nm.cz/Aktualni-vystavy/Virtualni-prohlidky/>

NÁRODNÍ TECHNICKÉ MUZEUM. Virtuální prohlídky. *Národní technické muzeum* [online]. Praha, © 2000-2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.ntm.cz/expozice/virtualni-prohlidky>

NC COMPUTERS. 3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder (dvě tiskové hlavy), stavebnice, LCD displej, dvoubarevný tisk. *NC Computers s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: http://www.nc.cz/3d-tiskarna-felix-3-0-dual-extruder-dve-tiskove-hlavy-stavebnice-lcd-displej-dvoubarevny-tisk_d271225.html

NOE, Rain. Production Methods: What's the Difference Between Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Melting and LaserCusing? - Core77. CORE77. *Core77: Industrial Design Magazine + Resource* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.core77.com/posts/26457/production-methods-whats-the-difference-between-selective-laser-sintering-direct-metal-laser-sintering-laser-melting-and-lasercusing-26457>

NPG & NMAH STAFF. Explorer View. SMITHSONIAN X 3D. *Smithsonian X 3D* [online]. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://3d.si.edu/explorer?modelid=27&reader=true>

O'CONNOR, Daniel. Inition-ating a new business model for museums - TCT - 3D Printing, Additive Manufacturing and Product Development Technology. *TCT Magazine 3D Printer: 3D Printing News Additive Manufacturing Product Development Technology* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.tctmagazine.com/prsnlz/inition-ating-a-new-3d-printing-business-model-for-museums/>

PEPPM PROGRAM. *Pricelist Template*. United States of America, 2015.

Dostupné z: <http://www.peppm.org/Products/stratasys/price.pdf>

PRESTON LEE'S BLOG. Makerbot Thing-o-Matic 3D Printer Print Pictures Product Review. *Preston Lee's Blog* [online]. 2011 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.prestonlee.com/2011/01/18/makerbot-thing-o-matic-3d-printer-print-pictures-product-review/>

PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. PRUSA RESEARCH. *Základy 3D tisku*. Praha, 2014, 12 s.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. *Additive Manufacturing: Opportunities and Constraints A Summary of a Roundtable Forum Held on 23 May 2013 Hosted by the Royal Academy of Engineering* [online]. London: Royal Academy of Engineering, 2013, 36 s. [cit. 2015-04-13].

ISBN 978-1-909327-05-4. Dostupné z:

<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>

ŘÍHA, Jan. SPŠ ZEMĚMĚŘICKÁ PRAHA. *Terestrické 3D skenování* [online]. Praha, 2013, 27 s. Dostupné z: <http://spszem.cz/storage/files/67/3D-skenovani-2013.pdf>

SKOUPÝ, Pavel. *3D Optické měřicí a skenovací systémy pro strojírenství*. Brno, 2007. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor1075.pdf?id=264.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. David Paloušek.

SMITHSONIAN. About Smithsonian. *Smithsonian* [online]. 2014

[cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.si.edu/About>

SMITHSONIAN INSTITUTION. Virtual Tour: Panoramic Images: Smithsonian National Museum of Natural History. *Smithsonian Institution National Museum of Natural History NMNH* [online]. © Copyright 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mnh.si.edu/panoramas/>

SOLIDVISION. Rozdělení 3D skenerů a jejich využití. *3d-skenovani.cz* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/rozdeleni-3d-skeneru>

SOLIDVISION. SolidWorks - komplexní nástroj pro 3D CAD navrhování. *SolidVision* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks/>

SPOT-A MATERIALS. Spot-A Materials. *Spot-A Materials* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://spotamaterials.com/>

STRATASYS STAFF. 3D Printing Replaces Multi-step Process to Create Dinosaur Model. *Professional 3D Printing Stratasys* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://blog.stratasys.com/2014/08/21/3d-printed-dinosaur-model/>

ŠIMONÍK, Martin. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Digitalizace - její princip a rozdělení. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004, č. 6, [cit. 2015-04-15]. Kód článku: 040618. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI - KATEDRA ODĚVNICTVÍ - FAKULTA TEXTILNÍ. *Počítačová grafika* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/KPC/dokumenty/07_prednaska.pdf

THAYER, Jeffrey S. *Competitive strategic advantage through disruptive innovation*. Massachusetts institute of technology (United States of America), 1996. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/10954?show=full>. Diplomová práce. Sloan School of Management. Vedoucí práce Prof. James M. Utterback.

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE - FAKULTA STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ. *Aditivní technologie technologie: metody Rapid metody Rapid
Prototyping Prototyping* [online]. Brno, 2010, 35 s. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

WAIBEL, Günter. Smithsonian X 3D: How a 167-year-old Museum Leverages 3D Technology - Digitization Program Office. SMITHSONIAN X 3D. *Digitization Program Office: A Showcase for Digitization Projects at the Smithsonian* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:
<http://dpo.si.edu/blog/smithsonian-x-3d-how-167-year-old-museum-leverages-3d-technology>

WALDORF, Sarah. 3D Scanning Meets Ancient Art. *The Getty Iris: The online magazine of the Getty* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z:
<http://blogs.getty.edu/iris/3d-scanning-meets-ancient-art/>

WINNAN, Christopher. *3D Printing: The Next Technology Gold Rush - Future Factories and How to Capitalize on Distributed Manufacturing*. Charleston, South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012, 290 s. ISBN 1494213966.

WOLF, Jack. Multi Jet and Poly Jet Post Processing. *Mastergraphics: Complete and innovative CAD and data management solutions from Autodesk, as well as large format hardware solutions from Océ, 3d Systems, HP, Canon, and more.* [online]. 2015 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z:
<http://www.mastergraphics.com/wordpress/2014/multi-jet-and-poly-jet-post-processing/>

ZEBRA IMAGING. Why museums are embracing 3D scanning. *Home* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.zebraimaging.com/news-and-events/news/bid/295904/Why-museums-are-embracing-3D-scanning>

Seznam použitých obrázků

Obr. 1. - VIK, Miroslav. Odvětví, technologie, aplikace a demografie spadající pod pojem 3D tisk. In: *3D Printing: Speaking the Language* [online]. © 2015 ENGINEERING. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/3918/3D-Printing-Speaking-the-Language.aspx>

Obr. 2 - AUTOR NEUVEDEN. Charles W. Hull : bild4.jpg. *Charles W. Hull (USA)* [online]. 12.9.2014 EPO. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2014/hull.html>

Obr. 3 - AUTOR NEUVEDEN. SLA : sla.jpg. In: *SLA University of Louisville* [online]. © 2008 University of Louisville. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://louisville.edu/speed/rpc/images/sla.JPG/view>

Obr. 4 - AUTOR NEUVEDEN. Stereolithography : stereolithography.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

Obr. 5 - AUTOR NEUVEDEN. DLP : dlp1.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

Obr. 6 - AUTOR NEUVEDEN. Solidator 3D Printer : Solidator-3D-Printer.jpg. In: *Desktop DLP Solidator 3D Printer Offers High Speed And More* [online]. 2013 Geeky Gadgets. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.geeky-gadgets.com/desktop-dlp-solidator-3d-printer-offers-high-speed-and-more-video-23-12-2013/>

Obr. 7 - AUTOR NEUVEDEN. The Objet PolyJet Process : TheObjetPolyjet3DPrintingProcess.jpg. In: *Polyjet Matrix 3D Printing Services Process* [online]. ©2013 Proto3000. [cit. 17.4.2015]. Dostupné z: <http://proto3000.com/polyjet-matrix-3d-printing-services-process.php>

Obr. 8 - AUTOR NEUVEDEN. Objet500 Connex3 - barevné modely : 014441.jpg. In: *Novinka Objet500 Connex3 | Živé barvy a multi-materiálový 3D tisk* [online]. 2014 MCAE SYSTEMS. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/novinka-objet500-connex3-zive-barvy-a-multi-materialovy-3d-tisk>

Obr. 9 - AUTOR NEUVEDEN. Objet500 Connex3 - barevné modely : 014431.jpg. In: *Novinka Objet500 Connex3 | Živé barvy a multi-materiálový 3D tis* [online]. 2014 MCAE SYSTEMS. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/novinka-objet500-connex3-zive-barvy-a-multi-materialovy-3d-tisk>

Obr. 10 - AUTOR NEUVEDEN. ProJet 1500 : personal-3d-printer-projet-1500.png. In: *Intercept-Corp Sdn Bhd - ProJet 1500* [online]. © 2013 Intercept Corporation Sdn Bhd. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.intercept-corp.com/ProJet-1500.html>

Obr. 11 - AUTOR NEUVEDEN. ProX™ 950 : prox 950.png. In: *MasterGraphics ProX™ 950* [online]. © 2015 MasterGraphics Corporate. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.mastergraphics.com/hardware/3d-printers/prox-950>

Obr. 12 - AUTOR NEUVEDEN. Laser Sintering/Laser Melting : sintering.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

Obr. 13 - AUTOR NEUVEDEN. 674x501_24470_88337_1338413385 : 674x501_24470_88337_1338413385.jpg. In: *Selective Laser Sintering (SLS), high powered lasers + 3D printing = awesome* [online]. 2013 Hyrule Foundry. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://hyrulefoundry.wordpress.com/2013/06/24/selective-laser-sintering-sls-high-powered-lasers-3d-printing-awesome/>

Obr. 14 - 3DPRINTINGNEWS. SLS Scale model of Chateau : castle-short1.jpg. In: *Loire Valleys largest Château recreated in SLS* [online]. 2012 3D Printing News. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.3dprintingnews.co.uk/selective_laser_sintering/loire-valleys-largest-chateau-recreated-in-sls/

Obr. 15 - AUTOR NEUVEDEN. Direct metal laser sintering (DMLS) : rhombic_triacontahedron_4_big_a_500.jpg. In: *3D Printig - The Next Billion - Dollar Industry?* [online]. 2013 3DvisDesign. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dvisdesign.com/3d-printing-the-next-billion-dollar-industry/>

Obr. 16 - AUTOR NEUVEDEN. Selective laser melting (SLM) : tumblr_mo1746su811qk4ealo1_1280.jpg. In: *3D Printig - The Next Billion - Dollar Industry?* [online]. 2013 3DvisDesign. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dvisdesign.com/3d-printing-the-next-billion-dollar-industry/>

- Obr. 17** - AUTOR NEUVEDEN. Injekt – Binder Jetting : inkjet-binder.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>
- Obr. 18** - AUTOR NEUVEDEN. Printed using 3DP : 57509-45700-wednesday_sad_keanu.jpg. In: *The Old Reader - Wmy2k7* [online]. © 2012—2015 The Old Reader. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://theoldreader.com/profile/514721d5da564d57550004a6?page=7>
- Obr. 19** - AUTOR NEUVEDEN. 3D Full Color Printed Spray Gun Created Using Color Jet Printing : sprayerright300.jpg. In: *3D Full-Color Printed Spray Gun Created Using Color Jet Printing* [online]. © 2015 3D Systems. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/3d-full-color-printed-spray-gun-created-using-color-jet-printing>
- Obr. 20** - AUTOR NEUVEDEN. M400_contentbild : m400_contentbild.jpg. In: *EOS M 400* [online]. 2014 Digital Dental CAD Cam. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://digital-dental-cadcam.com/eos-m-400/>
- Obr. 21** - AUTOR NEUVEDEN. 3D Systems Sinterstation Pro SLS Systém : selectivelasersinteringmachines.jpg. In: *Selective Laser Sintering Equipment* [online]. © 2013 Proto3000. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://proto3000.com/selective-laser-sintering-sls-equipment-systems.php>
- Obr. 22** - AUTOR NEUVEDEN. The LOM techniques : LOM_modeling.jpg. In: *Rapid Prototyping* [online]. 2014 Meccanismo Complesso. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.meccanismocomplesso.org/en/rapid-prototyping/>
- Obr. 23** - AUTOR NEUVEDEN. Laminated object manufacturing (LOM) : lpm02.jpg. In: *3D Printig - The Next Billion - Dollar Industry?* [online]. 2013 3DvisDesign. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dvisdesign.com/3d-printing-the-next-billion-dollar-industry/>
- Obr. 24** - AUTOR NEUVEDEN. Selective Deposition Lamination (SDL) : sdl.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>

- Obr. 25** - AUTOR NEUVEDEN. Mcor 3d printing mummy hand : 1-mcor-3d-printing-mummy-hand.jpg. in: *Digicopy Takes The Plunge Into the 3D Printing Multiverse by Way of the Mcor Wormhole* [online]. 2014 3D PRINTING INDUSTRY. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/2014/12/12/digicopy-3d-printing-mcor/>
- Obr. 26** - AUTOR NEUVEDEN. Extrusion / FDM / FFF : FFF-Extrusion.png. In: *3D Printing Processes : Free Beginner's Guide* [online]. 2014 3D Printing Industry. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>
- Obr. 27** - JOHNSON, Ian. P1160292 : p1160292.jpg. In: *Solidoodle Tips* [online]. 2012 Solidoodle Tips. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://solidoodletips.wordpress.com/2012/07/>
- Obr. 28** - AUTOR NEUVEDEN. A dinosaur skull printed using 3-D technology : PF3302_dino_skull_f.jpg. In: *RapidTech 3-D modeling (Image 2)* [online]. 2014 The National Science Foundation. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=74735
- Obr. 29** - AUTOR NEUVEDEN. Stratasys uPrint SE Plus : uprint-se-uprint-se-plus-01.jpg . In: *uPrint SE Plus by Stratasys* [online]. © 2014 Makerwise. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.makerwise.com/3d-printer/stratasys/uprint-se-plus/?tab=gallery>
- Obr. 30** - AUTOR NEUVEDEN. Rostock ORION Delta : oriondelta.jpg. In: *ROSTOCK* [online]. 2015 FUTUR3D. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.futur3d.net/rostock>
- Obr. 31** - VIK, Miroslav. Typy skenerů podle různých aspektů. In: *Rapid Prototyping (RP) & Reverse Engineering (RE) : Typy skenerů* [online]. 2006 Ústav konstruování v Brně. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>
- Obr. 32** - AUTOR NEUVEDEN. MX System : microscribe3.jpg. In: *MicroScribe* [online]. © 2013 RSI 3D-Systems. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.rsi-3dsystems.de/content/en/microscribe>
- Obr. 33** - AUTOR NEUVEDEN. Nová dotyková sonda MI.PROBE MINI : dotykova-sonda-miprobe-mini.jpg. In: *3D skenery Breuckmann - Specialista na 3D optickou měřicí techniku* [online]. © 2014 PRIMA BILAVČÍK. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/clanky/detail/specialista-na-3d-optickou-merici-techniku.htm>

- Obr. 34** - AUTOR NEUVEDEN. FARO Focus3D-X130 Laser Scanner : 1-e1f8081b87.jpg. In: *FARO Focus3D-X130 Laser Scanner* [online]. © 2014 PRIMA BILAVČÍK. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/>
- Obr. 35** - AUTOR NEUVEDEN. Atos Core : 01316l.jpg. In: *ATOS Core* [online]. © 2015 MCAE Systems. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/atos-core>
- Obr. 36** - AUTOR NEUVEDEN. Artec Spider ruční 3D skener : RTEmagicP_Spider_3D_scanner_bile_pozadi.jpg. In: *Artec Spider 3D skener* [online]. © 2011–2015 ABBAS. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/3d-skenery/artec-spider/>
- Obr. 37** - AUTOR NEUVEDEN. 3Design CAD for Jewellery Design : 3design_screendump-1024x640.jpg. In: *Jewellery CAD Software - 3Design CAD* [online]. 2015 Cad Jewellery Skills. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.cadjewelleryskills.com/cad-jewellery-software-3design/>
- Obr. 38** - AUTOR NEUVEDEN. Cadhuman-models-08 : cadhuman-models-08.jpg. In: *3D Human CAD Models for SolidWorks, Rhino and More* [online]. 2011 SolidSmack. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.solidsmack.com/resources/3d-human-models-solidworks-rhino-iges-setp/>
- Obr. 39** - ROBINSON, Jackson. Lotus Samurai - Hard Surface Modeling : Helmet.jpg. In: *Jackson Robinson - Character Artis* [online]. 2015 Onelunglewis. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.onelunglewis.com/Lotus2.html>
- Obr. 40** - ROBINSON, Jackson. Lotus Samurai - Hard Surface Modeling : HH!.jpg. In: *Jackson Robinson - Character Artis* [online]. 2015 Onelunglewis. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.onelunglewis.com/Lotus2.html>
- Obr. 41** - AUTOR NEUVEDEN. 02 : 24_tid_02.jpg. In: *Interview with Infinite-Realities by Richard Tilbury* [online]. 2012 3DTotal. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.3dtotal.com/index_interviews_detailed.php?id=24#.VTSI9_BiMa
- Obr. 42** - AUTOR NEUVEDEN. Vatikánská muzea 3D : onesheet_poster_thecreation.jpg. In: *VATIKÁNSKÁ MUZEA 3D* [online]. 2014 DSAT Live. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.dsatlive.cz/booking-a-podpora/vatikanska-muzea-3d-detail>

Obr. 43 - AUTOR NEUVEDEN. Desktop V : vt_desktop_screen-shot_500.jpg. In: *Virtual Tour - Panoramic Images - Smithsonian National Museum of Natural History* [online]. © 2015 Smithsonian Institution. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.mnh.si.edu/panoramas/>

Obr. 44 - AUTOR NEUVEDEN. The Tutankhamun Replica built on Materialise Mammoth stereolithography machine : 4690399773_bbe46183f6_z.jpg. In: *Tutankhamun's mummy materialises - the secret exposed* [online]. 2010 EGYPTOLOGY NEWS NETWORK. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://egyptologynewsnetwork.blogspot.cz/2010/08/tutankhamuns-mummy-materialises-secret.html>

Obr. 45 - AUTOR NEUVEDEN. King Tut Replica built on Materialise Mammoth stereolithography machine finished by Gary Staab showcased in New York City at the Discovery Times Square Exposition : 4691031912_c6bab5cd4f.jpg. In: *Tutankhamun's mummy materialises - the secret exposed* [online]. 2010 EGYPTOLOGY NEWS NETWORK. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://egyptologynewsnetwork.blogspot.cz/2010/08/tutankhamuns-mummy-materialises-secret.html>

Obr. 46 - GUIRAO, Alicia. One of the Egyptian team unpacks a panel of the facsimile for installation : 80004.adapt.676.1.jpg. In: *Tut's Tomb - A Replica Fit for a King* [online]. 2014 National Geographic Society. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://news.nationalgeographic.com/news/2014/05/140520-tutankhamun-egypt-archaeology-cyber-printing-3d/>

Obr. 47 - SMITH, Ferdinand Saumarez. The interior of the facsimile of Tut's tomb is seen here from the perspective of the viewing gallery : 80005.adapt.676.1.jpg. In: *Tut's Tomb - A Replica Fit for a King* [online]. 2014 National Geographic Society. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://news.nationalgeographic.com/news/2014/05/140520-tutankhamun-egypt-archaeology-cyber-printing-3d/>

Obr. 48 - AUTOR NEUVEDEN. The 3D printed replicas : 3d-printed-museum-replica.jpg. In: *3D Printed Replica of 4,500-Year-Old Jōmon Venus Draws Visitors to Japanese Museum* [online]. 2014 3D Print.com. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://3dprint.com/30574/jomon-venus-3d-printed/>

Obr. 49 - AUTOR NEUVEDEN. IF : Jomon-Venus.jpg. In: *3D Printed Replica of 4,500-Year-Old Jōmon Venus Draws Visitors to Japanese Museum* [online]. 2014 3D Print.com. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://3dprint.com/30574/jomon-venus-3d-printed/>

- Obr. 50** - AUTOR NEUVEDEN. White : white.jpg. In: *Historic Windmills 3D Printed for Museum Display* [online]. 2014 3D Print.com. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://3dprint.com/11970/windmills-3d-printed-historic/>
- Obr. 51** - AUTOR NEUVEDEN. Lincoln Life Mask : cc11-thumb. In: *Browser* [online]. 2014 SMITHSONIAN X 3D. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://3d.si.edu/browser>
- Obr. 52** - AUTOR NEUVEDEN. Wright Flyer 1903 : cc03-flyer-thumb.jpg. In: *Browser* [online]. 2014 SMITHSONIAN X 3D. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://3d.si.edu/browser>
- Obr. 53** - AUTOR NEUVEDEN. Printscreen.jpg. In: *Lincoln 3D Scans - The Collection, Lincoln and Oliver Laric* [online]. 2014 Lincoln 3D Scans. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://lincoln3dscans.co.uk/>
- Obr. 54** - VARNA MUSEUM. Sculpture of the Goddess Athena : printscreen.jpg. In: *Sculpture of the Goddess Athena* [online]. © 2013-2015 Threeding. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.threeding.com/product.php?id=430>
- Obr. 55** - MUSEUM PERNIK. Caricature Sculpture by Todor Tsonev : printscreen.jpg. In: *Caricature Sculpture* [online]. © 2013-2015 Threeding. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.threeding.com/product.php?id=383>
- Obr. 56** - AUTOR NEUVEDEN. Cultlab 3D : pic-start.jpg. In: *Cultlab3D – Welcome* [online]. 2013 CUTELAB3D. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.cultlab3d.com/>
- Obr. 57** - AUTOR NEUVEDEN. Makerbot Thing-o-Matic : Makerbot.jpg. In: *3D Printer and Rapid Prototyping* [online]. © 2011 The 3D Discovery Niche. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://3dniche.wisc.edu/content/3d-printer-and-rapid-prototyping>
- Obr. 58** – VIK, Miroslav. *Objekt vyrobený tiskárnou Makerbot Thing-o-matic*. [digitální fotografie]. Hradec Králové, 2015
- Obr. 59** - AUTOR NEUVEDEN. Kossel mini : kossel-mini.png. In: *3D tisk* [online]. © 2015 AAG reklamní agentura. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.aagcz.com/3d-tisk>
- Obr. 60** - VIK, Miroslav. *Objekty vyrobené tiskárnou Kossel Mini*. [digitální fotografie]. Hradec Králové, 2015

Obr. 61 - AUTOR NEUVEDEN. FELIXrobotics - FELIX 3.0 (DIY-kit) : felixprinters-felix-30-12.jpg. In: *Felix 3.0 by FelixPrinters* [online]. © 2014 Makerwise. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.makerwise.com/3d-printer/felixprinters/felix-30/>

Obr. 62 - VIK, Miroslav. *Objekt vyrobený tiskárnou Felix 3.0*. [digitální fotografie]. Hradec Králové, 2015

Obr. 63 - AUTOR NEUVEDEN. Stavebnice 3D tiskárny REBEL II : isk_stavebnice_3d_tiskarny_rebel_ii_85354.jpg. In: *Stavebnice 3D tiskárny REBEL II* [online]. 2015 JRC Game centrum. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: http://www.jrc.cz/3d_tisk_stavebnice_3d_tiskarny_rebel_ii

Obr. 64 - VIK, Miroslav. *Objekt vyrobený tiskárnou Rebel II*. [digitální fotografie]. Hradec Králové, 201

Příloha A – Vytisknuté Lincolnovy busty (digitální fotografie)



A. 1 - VIK, Miroslav. *Předmět vyrobený tiskárnou Makerbot Thing-o-matic.* [digitální fotografie]. Hradec Králové, 2015



A. 2 - VIK, Miroslav. *Předměty vyrobené tiskárnou Kossel Mini.* [digitální fotografie]. Hradec Králové, 2015



A. 3 - VIK, Miroslav. *Předmět vyrobený tiskárnou Felix 3.0.* [digitální fotografie].
Hradec Králové, 2015



A. 4 - VIK, Miroslav. *Předmět vyrobený tiskárnou Rebel II.* [digitální fotografie].
Hradec Králové, 2015

Příloha B – Finální výtisky z 3D tiskáren (fyzické předměty)

Finální fyzické výtisky, které jsou uloženy v externím boxu:

B. 1 - Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Makerbot

B. 2 - Finální výtisky Lincolnovi busty z 3D tiskárny Kossel Mini

B. 3 - Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Felix 3.0

B. 4 - Finální výtisk Lincolnovi busty z 3D tiskárny Rebel II.