

# 3D tisk a jeho využití v bezpečnostních aplikacích

Bc. Josef Hubáček

---

Diplomová práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2020/2021

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Hubáček**  
Osobní číslo: **A19415**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **3D tisk a jeho využití v bezpečnostních aplikacích**  
Téma práce anglicky: **3D Print and its Use in Security Applications**

### **Zásady pro vypracování**

1. Seznamte se s procesem 3D tisku.
2. Podrobně popište principy, postupy a možnosti uplatnění. Zaměřte pozornost zejména na oblast bezpečnosti.
3. Vyberte vhodné objekty pro 3D tisk z oblasti bezpečnostního průmyslu a vytvořte jejich 3D modely.
4. Tyto modely vytiskněte na 3D tiskárně.
5. Celý proces tisku podrobně zdokumentujte a navrhnete doporučení pro praxi.

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. STRÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. Základy 3D tisku s Josefem Průšou [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>
2. Redwood, Ben. Additive Manufacturing Technologies: An Overview. 3D HUBS. [Online] [Citace: 18. 11. 2020.] <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>
3. UPrint 3D. [Online] UP Olomouc. [Citace: 18. 11 2020.] <http://www.uprint3d.cz/materialy-a-technologie/>
4. Patterson, A.E., Collopy, P.D., & Messimer, S.L. (2015). State-of-the-Art Survey of Additive Manufacturing Technologies, Methods, and Materials. Technical Report (UAH 2015-06). Huntsville, Alabama: University of Alabama in Huntsville. DOI: 10.13140/RG.2.2.33894.47684/1.
5. 3D Printing and International Security: Risks and Challenges of an Emerging Technology [online]. Germany: Peace Research Institute Frankfurt (PRIF) 2017, 2017 [cit. 2020-11-18]. ISBN 978-3-946459-17-0. Dostupné z: [https://www.academia.edu/33215963/3D\\_Printing\\_and\\_International\\_Security\\_Risks\\_and\\_Challenges\\_of\\_an\\_Emerging\\_Technology](https://www.academia.edu/33215963/3D_Printing_and_International_Security_Risks_and_Challenges_of_an_Emerging_Technology)
6. Additive manufacturing: Building the future [online]. U.S. Department of energy, 2019 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/2019-OTT-Additive-Manufacturing-Spotlight\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/2019-OTT-Additive-Manufacturing-Spotlight_0.pdf)
7. ADDITIVE MANUFACTURING FEASIBILITY STUDY & TECHNOLOGY DEMONSTRATION: EDA AM State of the Art & Strategic Report [online]. 2018, June 2018 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [https://eda.europa.eu/docs/default-source/projects/eda-am-study-and-strategic-report\\_v6.pdf](https://eda.europa.eu/docs/default-source/projects/eda-am-study-and-strategic-report_v6.pdf)
8. 3D PRINTING AND THE FUTURE OF SUPPLY CHAINS: A DHL perspective on the state of 3D printing and implications for logistics [online]. 2016, November 2016 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about\\_us/logistics\\_insights/dhl\\_trendreport\\_3dprinting.pdf](https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_3dprinting.pdf)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.**  
Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce: **15. ledna 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**

**doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2021

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 10.5.2021

Josef Hubáček, v.r.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce obsahuje dvě části. První část se zaměřuje na historii 3D tisku, principy, postupy aditivní výroby a na rešerši současného stavu využívání 3D tisku v oblastech bezpečnosti, zahrnujících obranu a zbrojní průmysl, letecký průmysl, kosmonautiku, automobilový průmysl, lékařský průmysl a elektroniku. Druhá část diplomové práce je řešena formou výroby prototypu předmětu z oblasti bezpečnosti.

V této praktické části je řešena tvorba modelu v 3D CAD softwaru, následuje jeho převedení do formátu STL a kontrola celistvosti sítě. Model je poslán do 3D tiskárny a je zhotovena funkční součást, kterou lze využívat v laboratoři.

Klíčová slova: 3D tisk, bezpečnost, Fused Deposition Modeling, 3D proces tisku

## **ABSTRACT**

The diploma thesis consists of two parts. The first part aims at the history of 3D printing, principals, additive manufacturing approaches and research of the current state of 3D print usage in security areas, including defense and the arms industry, aviation industry, astronautics, automotive industry, medical industry and electronics. The second part of this diploma thesis deals with the fabrication of a security area item prototype. This practical part describes the creation of a model in 3D CAD software, its conversion into STL format and grid integrity control. The model is sent to a 3D printer and an operational component, which can be used in a laboratory, is created.

Keywords: 3D printing, safety, Fused Deposition Modeling, 3D production Process

"Zjistil jsem, že většina lidí se dostane kupředu v době, kdy ostatní mrhají svým časem."  
(Henry Ford)

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 HISTORIE 3D TISKU</b> .....	<b>11</b>
1.1 1981–1999.....	11
1.2 1999–2010.....	11
1.3 2011 – SOUČASNOST.....	12
<b>2 PRINCIPY A POSTUPY ADITIVNÍ VÝROBY</b> .....	<b>13</b>
2.1 VYTVOŘENÍ 3D MODELU POMOCÍ CAD SOFTWARE.....	13
2.2 PŘEVOD DO SOUBORU FORMÁTU. STL.....	14
2.3 OVĚŘENÍ SOUBORU FORMÁTU. STL (SLICOVÁNÍ).....	14
2.4 ROZDĚLENÍ OBJEKTU VE FORMÁTU .STL DO TENKÝCH PRŮŘEZOVÝCH VRSTEV.....	15
2.5 SAMOTNÉ NASTAVENÍ TISKÁRNY.....	15
2.6 VYTIŠTĚNÍ VRSTVY PO VRSTVĚ.....	16
2.7 OČIŠTĚNÍ A DOKONČENÍ.....	16
2.8 APLIKACE.....	17
<b>3 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>18</b>
<b>4 ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIE 3D TISKU</b> .....	<b>20</b>
4.1 FOTOPOLYMERIZACE – VAT, SLA, DLP, CDLP.....	20
4.2 POWDER BED FUSION (PBF) – DMLS, SLS, SLM, MJF, EBM.....	23
4.3 MATERIAL EXTRUSION – FDM.....	25
4.4 MATERIAL JETTING – MJ, NPJ, DOD.....	27
4.5 BINDER JETTING – BJ.....	30
4.6 SHEET LAMINATION – LOM, SL.....	32
4.7 DIRECTED ENERGY DEPOSITION – DED, LENS, EBAM.....	34
<b>5 APLIKACE</b> .....	<b>37</b>
5.1 BEZPEČNOST, OBRANA A ZBROJNÍ PRŮMYSL.....	38
5.1.1 Využití.....	38
5.1.2 Bezpečnostní aplikace.....	38
5.2 LETECKÝ PRŮMYSL A KOSMONAUTIKA.....	45
5.2.1 Využití.....	45
5.2.2 Aplikace.....	45
5.3 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL.....	49
5.3.1 Využití.....	49
5.3.2 Aplikace.....	49

5.4	LÉKAŘSKÝ PRŮMYSL.....	52
5.4.1	Využití.....	52
5.4.2	Aplikace .....	52
5.5	ELEKTRONIKA .....	55
5.5.1	Využití.....	55
5.5.2	Aplikace .....	55
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>NÁVRH A ZKUŠEBNÍ TISK VYBRANÉ SOUČÁSTI.....</b>	<b>62</b>
7.1	ZVOLENÁ TISKÁRNA A FDM TECHNOLOGIE .....	62
7.2	ZVOLENÝ MATERIÁL .....	62
7.3	NÁVRH.....	64
7.4	VYTVOŘENÍ MODELU V CAD SYSTÉMU AUTODESK INVENTOR.....	69
7.5	EXPORT DO FORMÁTU .STL.....	72
7.5.1	Kontrola celistvosti sítě.....	73
7.6	IMPORT OBJEKTU FORMÁTU .STL DO 3D TISKÁRNY .....	73
7.6.1	Umístění objektu na stavěcí plochu .....	73
7.7	GENEROVÁNÍ G-KÓDU PRO 3D TISKÁRNU .....	74
7.8.1	Příprava tiskové plochy.....	75
7.8.2	Kalibrování souřadnic XYZ.....	75
7.9	TISK SAMOTNÉHO PŘEDMĚTU .....	76
7.10	OTESTOVÁNÍ .....	81
7.11	APLIKACE A DOPORUČENÍ PRO PRAXI .....	83
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>100</b>



## ÚVOD

Dnešní svět je světem průmyslové revoluce, v jejímž středu se nachází technologie 3D tisku, přesněji řečeno technologie aditivní výroby. Aditivní výroba zahrnuje velké množství nových výrobních procesů, vyznačujících se tvorbou objektů, nejedná se však jen o vznik objektů pomocí řezání nebo přetváření materiálů. Objekt je zde zcela nově vytvořen pomocí různých látek a hmot jako jsou speciální prášky, tiskové struny, pryskyřice nebo kapaliny a kompozity. [1] Dříve se technologie 3D tisku označovala jako Rapid Prototyping a takovéto označení můžeme stále vidět i dnes. Než došlo k běžnému využívání 3D tiskáren, používaly se pouze k výrobě prototypů. Například výroba televizních ovladačů, kdy základní příprava čítá několik stovek tisíc korun – firma ještě před výrobou zkouší uživatelskou přívětivost ovladače, a aby tak nebyly zbytečně vysoké náklady, vytiskne se prototyp. S tím nadále souvisela cena high-end tiskáren a tisk prototypu ušetřil i několik stovek tisíc korun. Zdálo se, že taková technologie neměla šanci dostat se k běžným lidem, dnes si však takovou tiskárnu může koupit kdokoli.[2]

Technologie 3D tisku jsou dnes již považovány za klíčové pro mnohé technologie, sloužící ke zlepšení světové průmyslové konkurenceschopnosti. Pro mnohá odvětví jsou důležité a umožňují přechod od masové výroby k hromadnému zaměření na některá přední odvětví, jako jsou automobilový průmysl, zdravotnictví, letecký průmysl, energetika, spotřební zboží a mnoho dalších. Pokud se zaměříme na obranný sektor, tak ten ještě zcela nevyužívá úplný potenciál technologií 3D tisku, nicméně se přímo nabízí uplatnění jak v oblasti mobility, tak v oblasti udržitelnosti ochrany a zlepšení jejího efektu. [3]

Cílem diplomové práce je najít praktické využití pro 3D tisk v oblastech bezpečnosti a jejího uplatnění, dále pak následný návrh a tisk vybrané součásti, která by toto využití splňovala. Teoretická část diplomové práce nám představí stručnou historii 3D tisku, postup 3D tisku, jaké polymerní materiály můžeme použít při 3D tisku a především jaké je využití 3D tisku a její aplikace. Praktická část diplomové práce je věnována vlastní konstrukci součásti, ale také jejímu tisku, konkrétně držáku pevných vzorků do spektrofotometru. Dále pak samostatné přípravě dat pro 3D tisk, následnému tisku, zhodnocení nákladů na tvorbu přípravků pomocí 3D tisku a samotné využití. Na závěr je vyhodnocen výsledný efekt a přínos přípravků.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE 3D TISKU

### 1.1 1981–1999

Japonský vědec Hideo Kodama z institutu Nagoya Municipal Industrial Research v roce 1981 publikoval svůj popis systému na tvorbu rychlých prototypů pomocí fotopolymerních látek. Model byl vytvořen z vrstev, z nichž každá odpovídala jednomu řezu modelu. Později roku 1984 vynalezl Charles Hull stereolitografii. Stereolitografie pracuje s fotopolymery na akrylové bázi, kdy tekutý polymer dopadá do vaničky a pomocí UV záření se mění v pevný plast, vytvarovaný podle našeho 3D modelu. Hull se tak zapsal do dějin 3D tisku. Pomocí svého vynálezu umožnil z digitálních dat návrhářům vytvářet 3D modely, z nichž později vznikly reálné objekty. Technologie nadchla řadu vynálezců, kteří nyní mohli teoreticky vytvářet své nové prototypy bez větších investičních nákladů.[4] Píše se rok 1992 a společnost vynálezce Charlese Hulla 3D systems již vytváří svoji první stereolitografickou tiskárnu (SLA) na světě. Ta již umožňovala tvořit vrstvu po vrstvě složité součásti za zlomek času oproti tradiční výrobě. Téhož roku vzniká také první tiskárna na principu selektivního laserové sintrování (SLS), používající místo kapaliny prášek. V počátcích samozřejmě docházelo k potížím, jelikož byla tato technologie úplnou novinkou a např. vytvrzený materiál se často deformoval. Samotné tiskárny měly obrovský potenciál, ale nebyly zatím vhodné pro domácí použití, jelikož se jednalo o nové prototypy, jejich cena byla neúměrně vysoká. Uběhlo několik desítek let a došlo k velkému rozvoji potenciálu aditivní výroby. [5]

### 1.2 1999–2010

Toto desetiletí bylo jedno z pokrokových, především z lékařského hlediska. Aditivní výroba začíná prorážet do světa také proto, že je vytištěn první 3D orgán, který je později implantován do těla člověka. Institut medicíny Wake Forest jako první tiskne syntetický lidský močový měchýř, který následně pokryli buňkami pacienta a šance, že by imunitní systém pacienta odmítl orgán, byla malá, téměř nulová, jelikož se jednalo právě o vlastní buňky pacienta. Během 10 let vědci z různých institucí vytiskli funkční miniaturní ledvinu, vytvořili protetickou nohu tvořenou složitými součástmi, a to vše tištěné stejnou technikou. Začal také tzv. biotisk prvních krevních cév z lidských buněk. Rok 2005 byl rokem, kdy se 3D tisk zařadil do tzv. open-source projektů, především projekt RepRap Dr. Adriana Bowyer. Jednalo se tiskárnu Darwin, která se dá prakticky vytvořit sama, nebo aspoň

většina jejich částí se dá vytisknout. Vydaná byla v roce 2008 jako samoreplikující se tiskárna, na toto navázal tzv. kickstarter z roku 2009, kdy vzniklo nespočet projektů souvisejících s 3D tiskem, a bylo tak umožněno populaci vytvářet cokoliv, co je zrovna napadlo. [4] Demokratické výroby v polovině dvacátých let zaujala veřejnost a v roce 2006 vznikla první komerční SLS tiskárna společnosti Objet, což otevřelo dveře průmyslové výrobě dílů na zakázku. Společnost Objet, nyní Stratasys, tak postavila stroj, který jako první tiskl z více materiálů a tištěné díly tak vznikaly v různých verzích s různými vlastnostmi materiálu. Završení desetiletí bylo umocněno spuštěním služeb Shapeways, představující volný trh pro 3D tisk. Jednotliví tvůrci 3D návrhů zde mohou dostat zpětnou vazbu od spotřebitelů a jiných návrhářů a za přijatelnou cenu vyrábět své produkty. Do popředí se dostaly tiskárny MakerBot, které poskytly open-source sady pro tvorbu vlastních 3D tiskáren a produktů. [5]

### 1.3 2011 – současnost

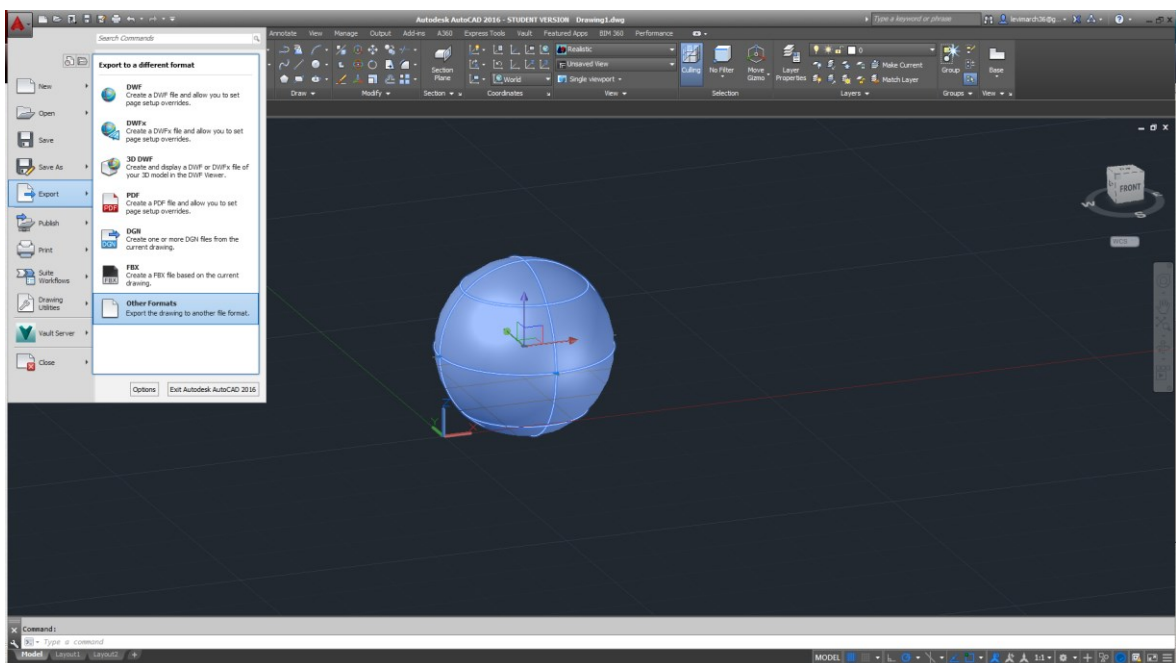
Pokud se ohlédneme do minulosti, zjistíme, že za posledních několik let došlo k obrovským změnám. 3D tisk je rychlejší, přesnější, levnější, a o nových způsobech tisku si mohl Charles Hull nechat jen zdát. Tisk není omezen pouze na plast, ale lze tisknout i např. ze zlata nebo stříbra. Vznikl první bezpilotní 3D letoun a automobil s 3D tištěnou karosérií. 3D dostupné domy vhodné pro bydlení jsou také vyráběny aditivní výrobou a světoví vizionáři už zařadili tyto technologie do svých portfolií. [4] Tisknou se robotické paže, kompatibilní kosti nebo dokonce částice o velikosti jen několik atomů, které by mohly dát vzniku ještě menším bateriovým článkům a elektronice. Budoucnost je nejistá, ale rozvoj 3D tisku trvá a trvat stále bude, v době vydání této práce bude již určitě po celém světě existovat bezpočet dalších významných okamžiků v historii 3D tisku a udržet krok je téměř nemožné. Dokážeme si určitě představit, jak budou studenti ve školách vytvářet své projekty pomocí 3D tisku, ostatně to už se v jisté míře stává skutečností, stejně tak zubní protézy tištěné na míru a mnoho dalších technik, na které si budeme muset ještě počkat. [5]

## 2 PRINCIPY A POSTUPY ADITIVNÍ VÝROBY

Vytvoření objektu pomocí aditivní výroby zahrnuje celkem osm kroků, jmenovitě se jedná o vytvoření 3D modelu pomocí CAD softwaru, převod CAD modelu do odpovídajícího formátu .STL, ověření formátu .STL, importování objektu ve formátu .STL do tenkých průřezových vrstev, nastavení samotné tiskárny, vytištění jednotlivých dílů vrstvu po vrstvě, odstranění zbylých součástí a očištění, aplikování finálního trojrozměrného objektu. Následující text podrobněji rozvede tento postup.

### 2.1 Vytvoření 3D modelu pomocí CAD software

Při tvorbě objektu pro tisk pomocí 3D tiskárny musíme začít samotným vytvořením našeho modelu pomocí CAD software. Tento první krok je pro všechny techniky aditivní výroby stejný a obecně se používají programy jako např. Pro Engineer (Pro-E), CATIA nebo SolidWorks, představující programy, které lze srovnávat s programem AutoCAD. Pro účely tvorby prototypů se také užívají již existující CAD soubory nebo úplně nově vytvořené. [6]



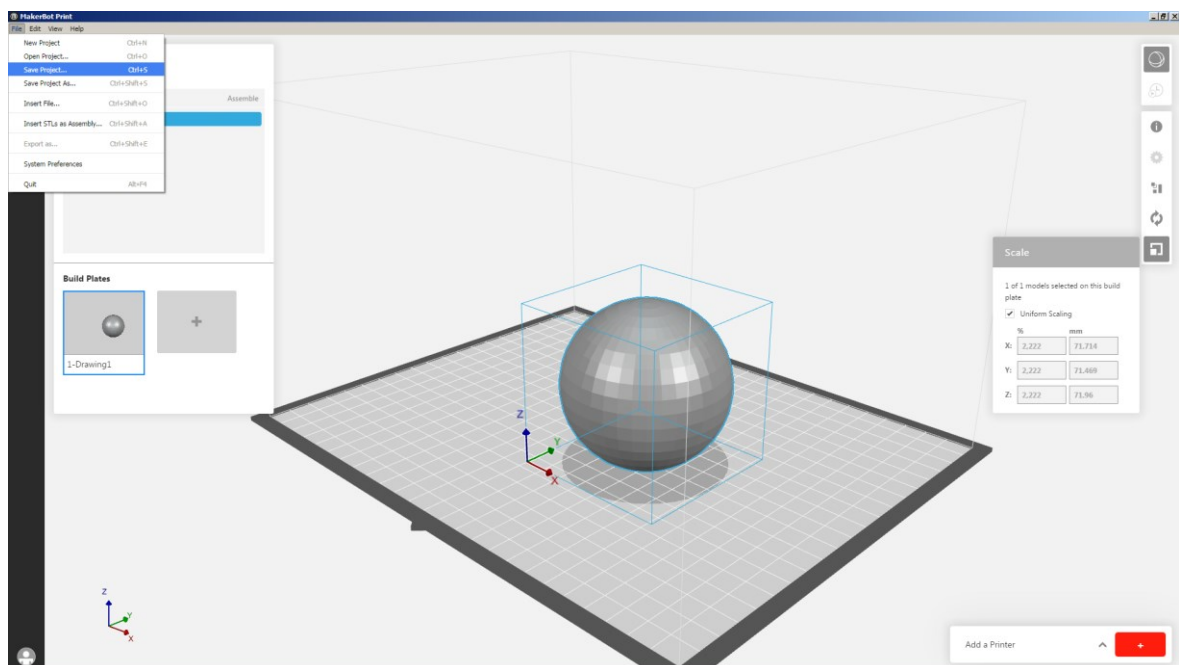
Obrázek 1 Model vytvořený pomocí programu Autodesk AutoCAD [7]

## 2.2 Převod do souboru formátu. STL

Jedná se o druhý krok, který zahrnuje převod CAD souboru do standardizovaného .STL formátu. Důvodem je zajištění kompatibility mezi soubory, které byly vytvořeny v různých formátech. Samotný .STL formát představuje trojrozměrný prostor, což je konfigurace rovinných trojúhelníků. Větší počet trojúhelníků zlepšuje výsledek a aproximace, ale zároveň nám zvětšuje soubor. Složité a obrovské modely tak představují větší soubory, které potřebují více času na vytvoření. Samotný konstruktér souboru .STL by tak měl vytvářet přesné a správné soubory. Formát .STL je univerzálním formátem pro všechny techniky aditivní výroby. [8]

## 2.3 Ověření souboru formátu. STL (slicování)

Jedná se o třetí krok, kdy dochází k ověření souboru ve formátu .STL pomocí programu předběžného zpracování a převedení do strojového G-code. Tyto programy umožňují upravovat velikost, měnit umístění nebo orientaci. Uživatel dokáže vidět a ovládat dané součásti např. přemísťovat díly, měnit jejich orientace, a především se jedná o samostatné nastavení sekvencí pohybů tiskárny. [9]



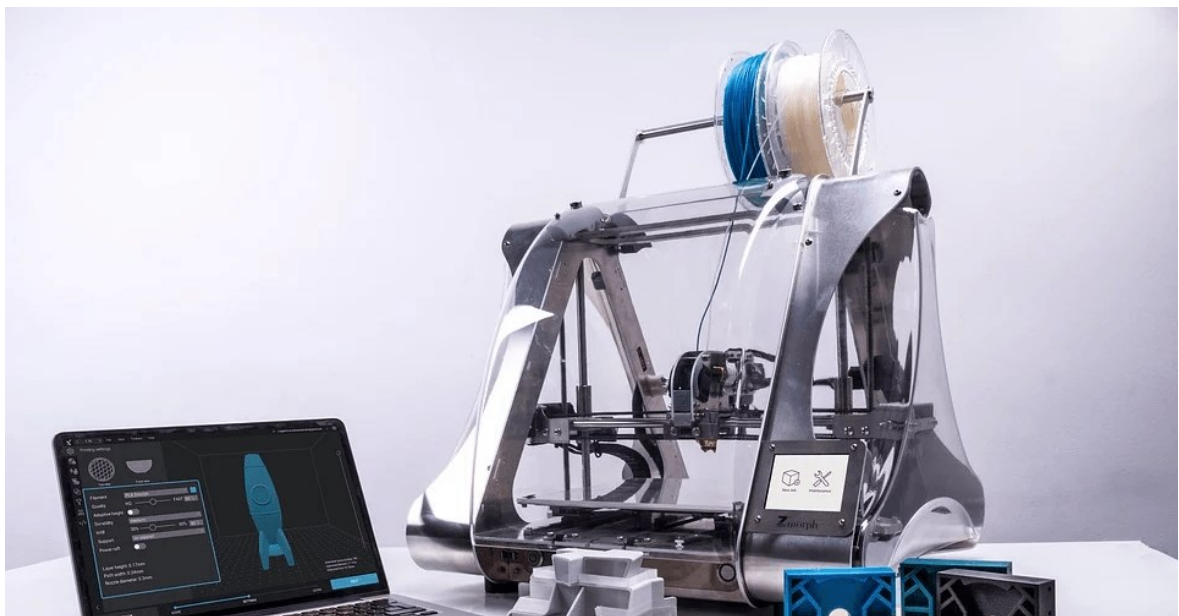
Obrázek 2 Model ve formátu .STL v programu MakerBot Print [10]

## 2.4 Rozdělení objektu ve formátu .STL do tenkých průřezových vrstev

Jednotlivé vrstvy dle roviny x-y vytvářejí model křehký a nevhodně orientovaný v rovině z. Vytváření roviny se tak stalo důležitým procesem a mnoho technik používá orientaci k vytváření svých součástí minimální rozměr ležící podél roviny z. Snižuje se tak počet vrstev a zkracuje se čas vzniku. K orientaci objektu se využívá preprocesorový software, který rozdělí objekt ve formátu .STL na mnoho vrstev s tloušťkami od 0,01 až 0,7 mm dle použité techniky aditivního tisku a dle aplikace. Obvykle je nominální tloušťka vrstvy 0,1mm. [11]

## 2.5 Samotné nastavení tiskárny

Jednotlivé 3D tiskárny využívají určité funkce šité přímo na míru pro konkrétní stroj nebo techniku. Tiskárny mohou být také speciálně určené pro jeden nebo druhý druh materiálů, avšak s nulovým rozdílem v tloušťce vrstev nebo jiných parametřů. Existují ale i tiskárny navržené pro provoz s větším počtem materiálů obsahujících určité vlastnosti, vyžadující optimalizaci a přizpůsobení tiskárny pro daný vytvářený typ součástí. [6]



Obrázek 3 3D tisk s PLA tiskovou strunou [12]

## 2.6 Vytištění vrstvy po vrstvě

Představuje vlastní konstrukci součásti, kdy je 3D objekt vyroben na 3D tiskárně vrstvu po vrstvě. Samotná tiskárna produkuje objekt vrstvu po vrstvě a vytváří finální objekt. Pro tvorbu jedné vrstvy lze použít papír, polymery, práškové kovy a další. Velká většina těchto strojů pracuje autonomně a není tak potřeba dalších zásahů. [6]

## 2.7 Očištění a dokončení

Samotný vzniklý objekt je vyjmutý z tiskárny a následně očištěn, jsou odstraněny podpůrné struktury a dochází k povrchové úpravě. [6]

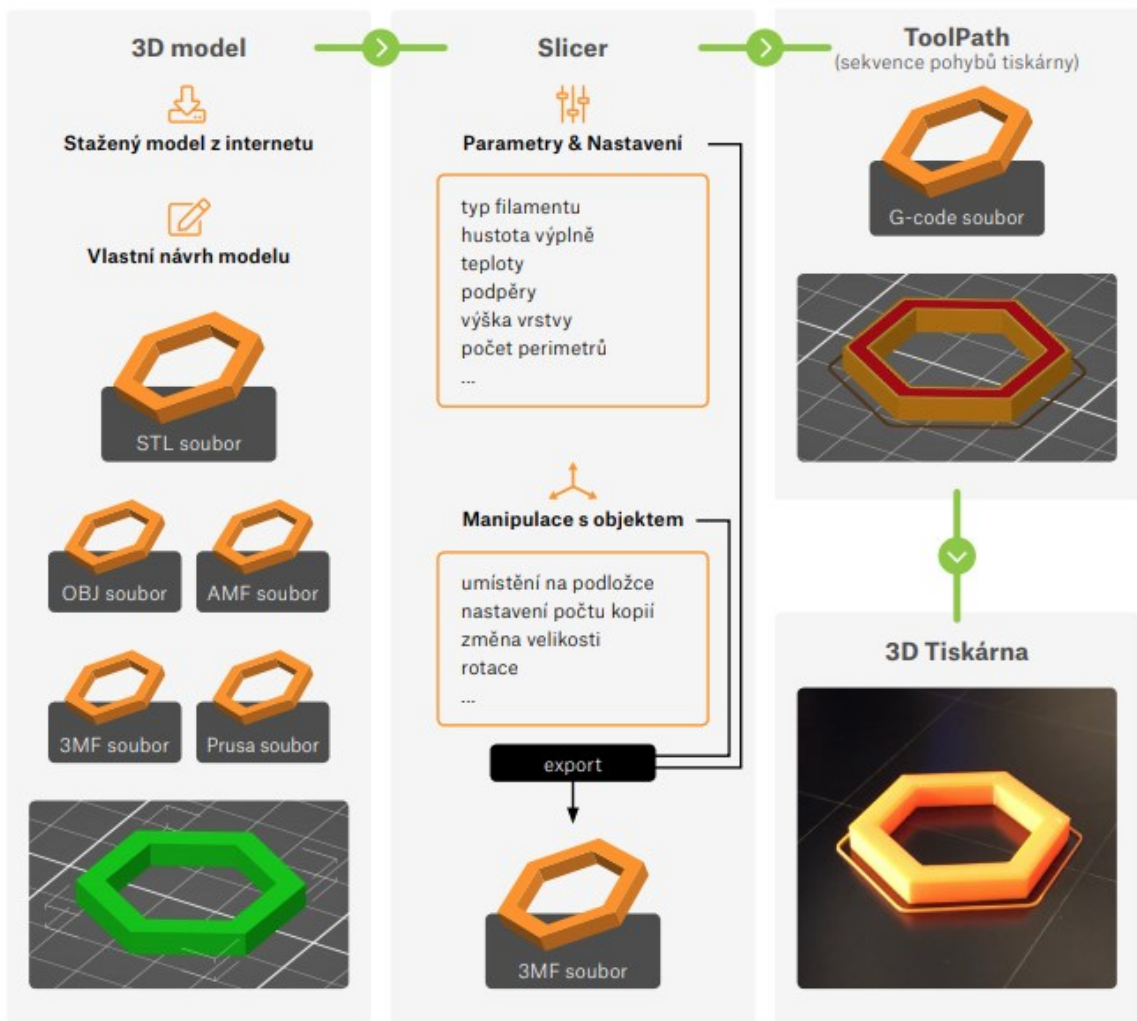


Obrázek 4 Předmět před a po dokončení povrchové úpravy [2]



## 2.8 Aplikace

Poslední krok představuje další úpravy, potřebné, aby se prototyp stal plnohodnotným produktem vhodným k aplikování. Vyžadováno může být např. povrchové upravení pomocí lakování, nátěru malbou apod. Takováto povrchová úprava může být v závislosti na požadavcích zdlouhavá i pracná. Jiná úprava se týká např. sestavení jednotlivých mechanických nebo elektronických součástí dohromady, aby vznikl finální produkt.



Obrázek 5 Princip aditivní výroby [2]

### 3 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY

3D tisk má ohromný potenciál, ale pro jeho demonstrování je nejprve potřeba získat základní znalosti o nejpoužívanějších materiálech využívaných v aditivní výrobě. Sintrovaný (spékaný) práškový kov je vhodný k tisku vstřikovacích forem pro běžnou výrobu, jako je lití, vstřikování a rozkládání karbonových vláken. Jako vhodné kovy se jeví především nerezová ocel, bronz, zlato, hliník a titan, které jsou hojně používány pro tisk prototypů, šperků a předmětů na míru. Pro lékařská odvětví pak slitina niklu a titanu, tzv. nitinol, který je díky své superelasticitě a schopnosti měnit tvar velmi přínosný pro vědeckou komunitu. [13]

Velké pole působnosti pro 3D tisk mají především různé druhy plastů, zahrnující akryly, polyamidy, abs plasty, polyuretany, pryskyřice, nylony a další. [14] Z takovýchto materiálů vzniká obrovský počet předmětů, jako jsou prototypy, převodové systémy, šperky nebo předměty vhodné ke vzdělávání. Pomocí voskových materiálů lze také ověřovat návrhy a testovat funkci a detaily. Vosk má výhodu hladkého povrchu a lze jej také obrábět. [13]



Obrázek 6 PLA je nejčastěji používaným materiálem pro 3D tisk [15]

Dalším možným materiálem k použití jsou karbonová vlákna a kompozity – jedná se o špičkové materiály. Výhodou je rychlá tvorba požadovaného objektu, který je stejně pevný, ne-li pevnější než kov. Využití je nejčastější u jízdních kol a v leteckém průmyslu. Supertenká forma uhlíku, zvaná grafen představuje nejsilnější materiál, který byl zatím testován. Jeho potenciál je velký a pro zcela nové technologie je vhodný svou tepelnou účinností, elektrickou vodivostí a téměř průhledným vzhledem. [10] Pokud se zaměříme na méně obvyklé struktury, můžeme zahrnout kmenové buňky, papír, beton, potraviny nebo textilie. Pokud mluvíme o kmenových buňkách, lze si to jen těžko představit, nicméně právě 3D tisk je v tomto ohledu průkopníkem, lze tak tisknout různé tkáně či dokonce orgány a kosti vhodné pro implantování do těla pacienta. [16]

3D tiskárny zvládnou tisknout i z papíru, například technologie SDL vytváří reálně vypadající plnobarevné modely, např. krajiny, zástavby apod. Tyto prototypy jsou pak užitečné před uvedením produktu do výroby. V Číně se hojně tisknou betonové části pro výstavbu, dokonce i kompletních domů. Čokoláda, pizza, dortové dekorace? To vše se testuje a vyrábí v 3D potravinářském sektoru. Velký výběr materiálu umožňuje tvořit i textilie přímo pomocí 3D tisku. [17]



Obrázek 7 PETG je velmi houževnatý materiál s dobrou tepelnou odolností [18]

## 4 ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIE 3D TISKU

Tvorba 3D objektu vrstvu po vrstvě tedy představuje základní koncept, který lze zpracovat více způsoby - výsledky jsou různé taktéž díky různým technologickým přístupům. Proto, když mluvíme o aditivní výrobě, tak se nejedná o jednu technologii, ale o skupinu významných technologií. Pro lepší pochopení této technologie je potřeba vytvořit popis, ten může sloužit jako prvotní orientace a pochopení jednotlivých výrobních technologií. [19]

### 4.1 Fotopolymerizace – VAT, SLA, DLP, CDLP

Tato metoda 3D tisku představuje několik lehce se odlišujících technik, které ale pracují se stejnou základní strategií. Kapalný fotopolymer, obsažený ve vaničce, je selektivně vytvrzován pomocí světla vrstvu po vrstvě, až po finální fyzický trojrozměrný objekt. Mimo nejstarších technik vytvrzování pomocí laseru existují i další typy vytvrzovacích zařízení, jako jsou projektory zpracovávající digitální světlo. Vzhledem k nízké pořizovací ceně a vysokému rozlišení jsou oblíbeným způsobem k tvrzení materiálu také LCD obrazovky. Tyto dvě techniky jsou oproti laseru o něco lepší ve schopnosti současně vytvrzovat celou vrstvu pryskyřice, zatímco laser musí postupně osvětlovat celý povrch a tím vytvářet 3D objekt. [13]

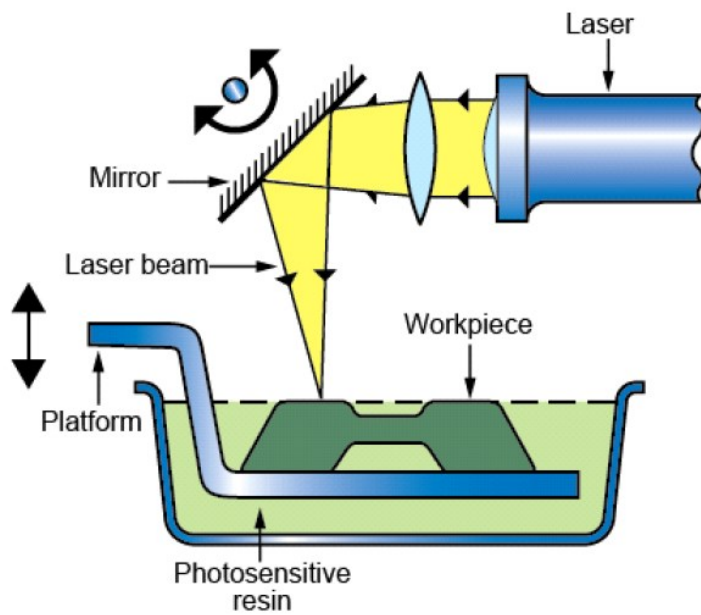
**Stereolitografie (SLA)** označovaná také jako SL nebo optická výroba, fototuhnutí nebo pryskyřičný tisk. Celý proces je závislý na koncentrovaném paprsku ultrafialového světla nebo laseru. Laser či světlo je zaměřeno do vaničky naplněné tekutým fotopolymerem a vytváří jednotlivé vrstvy 3D objektu pomocí síťování nebo degradace polymeru. [13]

**Digital Light Processing (DLP)** je metoda, při které se využívá obrazovka digitálního projektoru formou vysílání každé vrstvy obrazu na celou stavební plošinu najednou. Projektor představuje digitální plátno, každá vrstva je tak tvořena čtvercovými pixely, vzhled jednotlivých vrstev je tvořen z malých obdélníkových cihliček tzv. voxelů. Tímto digitálním zpracováním obrazu lze u některých dílů dosáhnout rychlejší výroby než u laseru, protože každá vrstva je vytvořena najednou. [20]

**Continuous Liquid Interface Production (CLIP)** využívá pryskyřici umístěnou ve vaničce, kdy část dna vaničky, zvaná vat (okno), je propustná pro ultrafialové světlo. Tímto oknem prochází paprsek ultrafialového záření, které osvětluje přesný průřez objektu. Pomocí záření dochází k vytvrzení pryskyřice, objekt pomalu stoupá tak, aby umožnil stékání pryskyřice a udržoval kontakt se spodní částí objektu. Membrána nacházející se pod oknem je propustná pro kyslík a vytváří mrtvou zónu, bránící připojení pryskyřici k okénku. Oproti standartním technikám SLA je CLIP až stokrát rychlejší než komerční metody 3D tisku. [13]

**Daylight Polymer Printing (DPP)** používá k vytvrzení polymeru namísto laseru nebo projektoru výrobní proces DPP LCD (Liquid Crystal Display). Pod jiným názvem LCD 3D tisk je založen na použití nemodifikovaných LCD obrazovek a speciálních polymerů, tzv. daylight polymerů. Tato pryskyřice je jedna z nejcitlivějších na denní světlo, byla vytvořena společností Photocentric. [20]

Fotopolymerizační 3D tisk představuje dva odlišné typy tisku a oba vytvářejí část na rozhraní mezi poslední vrstvou a povrchem pryskyřice ve vaničce. První typ shora dolů představuje umístění zdroje tepla pod vaničku. Tisková platforma postupně stoupá a výsledný objekt vzniká vzhůru nohama. Druhý typ zdola nahoru spočívá v umístění zdroje tepla nad vaničku a tisková platforma je postupně ponořena do vaničky. Fotopolymerizace nachází velké uplatnění a potenciál při lékařských aplikacích, především na základě počítačových skenů, díky kterým lze vytvářet různé anatomické modely dle potřebných oblastí pacienta. Další využití je u tvorby prototypů a pro hromadnou výrobu vzhledem k vysokému rozlišení a dílům s vysokými detaily a hladkým povrchem, proto je ideální pro zubní a lékařské aplikace, pro odlévání a klenotnictví. Současný vývoj umožnil vytvářet vstřikovací formy s pomalým průběhem. Omezením se jeví velikosti vytvořených dílů a nízká pevnost. Pryskyřice vhodná k použití se vyrábí ve velké škále barev a s různými fyzikálními vlastnostmi, dle konkrétního použití. Jedná se o pevné pryskyřice, pryskyřice vhodné pro odlévání, průhledné nebo pružné pryskyřice. [21]



Obrázek 8 Základní schéma procesu fotopolymerizace pomocí technologie SLA [22]



Obrázek 9 Slepecké mapa vytištěná metodou fotopolymerizace [23]

## 4.2 Powder bed fusion (PBF) – DMLS, SLS, SLM, MJF, EBM

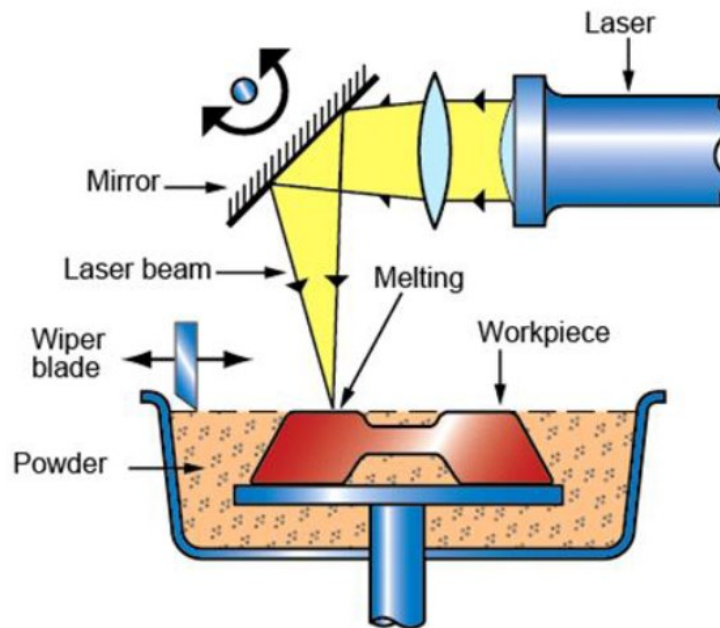
Technika 3D tisku na základě fúze práškového lůžka vytváří velice přesné, geometricky složité objekty pomocí zdroje tepla, nejčastěji se jedná o elektronové nebo laserové paprsky, dopadající k fúzi práškových částic vrstvu po vrstvě, až dojde k vytvoření pevného objektu. [13]

**Selective Laser Sintering (SLS)**, vznikla na konci 80. let v Austine v Texaské univerzitě a postupem času dosáhla velkého technologického pokroku. Základem této techniky je sintrování nebo slučování práškového materiálu pomocí laseru vrstvu po vrstvě až k finálnímu objektu. Vytvořený objekt je obalený práškem, který je následně očištěn a odstraněn stlačeným vzduchem. Jako materiál se používá polyamid (nylon), směs hliníku a polyamidu (Alumid) a další materiály strukturou podobné gumě. Nylon představuje pevný a odolný materiál a do jisté míry i flexibilní a je tak vhodný pro různé klipsy, držáky, spony a pružiny. Při tvorbě se doporučuje brát ohled na náchylnost těchto materiálů ke smršťování nebo deformování tenkých součástí. [24]

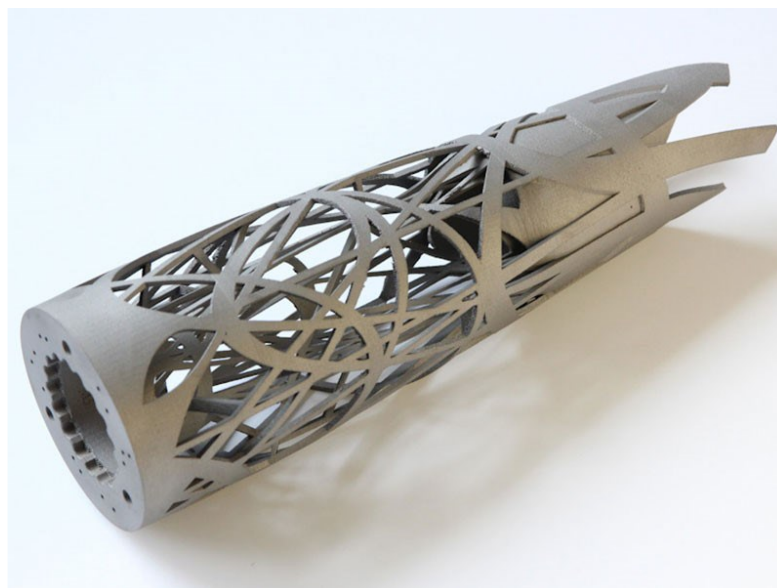
**Selective Laser Melting (SLM)** známe i pod názvem Direct Metal Laser Sintering (DLMS). Obě techniky fungují na stejném principu, nicméně DLMS se používá k výrobě pouze kovových objektů. Při SLM dochází k úplnému tavení prášku, jsou tak vhodné jednosložkové kovy např. hliník pro výrobu lehkých, ale pevných prototypů nebo náhradních dílů. Technika DLMS je omezena na slitiny kovů včetně slitin na bázi titanu. Tato technika vyžaduje podpůrné struktury, aby došlo ke kompenzaci vysokého zbytkového napětí a nedocházelo ke zkreslení. Vzniklé objekty mají své uplatnění v klenotnickém a zubním průmyslu nebo jako náhradní díly či prototypy. [13]

**Electron Beam Melting (EBM)** spoléhá na vysokoenergetický elektronový paprsek. Nedochází k velké produkci zbytkového napětí ani k velkému zkreslení. EBM nevyžaduje velkou spotřebu energie a tvorba jednotlivých vrstev je řádově rychlejší než u SLS. Technika je nejvíce hodnotná pro průmyslové využití, jako je letecký a obranný průmysl nebo motorismus a lékařské protetiky. [25]

**Multi Jet Fusion (MJF)** vytvořila společnost HP a od výše uvedených technik zde dochází k nanášení tzv. fixačních a upřesňovacích činidel (detailing agents) pomocí inkoustového pole, které se poté taví zahříváním prvků do pevné podoby a není zde přítomen žádný laser. Upřesňovací činidla jsou tryskána okolo obrysů objektů, tím dojde k rozlišení jednotlivých součástí a možnosti realistické tvorby objektů. [13]



Obrázek 10 Základní schéma procesu fúze práškového lože s využitím technologie SLS, DMLS nebo SLM [22]



Obrázek 11 Kovová součást vytvořená pomocí aditivní technologie DMLS [26]



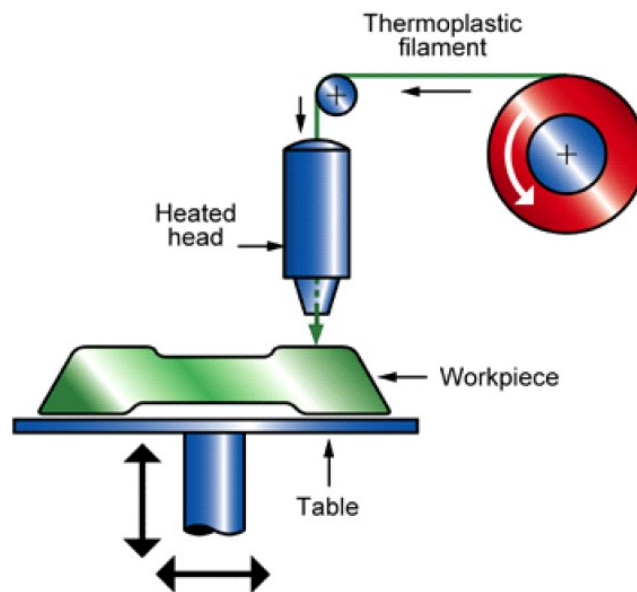
### 4.3 Material Extrusion – FDM

Fused deposition modeling je technika 3D tisku pomocí vytlačování materiálu. Používá tiskové struny z termoplastického materiálu, které jsou odváděny z cívky přes pohybující se vyhřívanou hlavu tiskového extruderu. Z trysky extruderu je postupně vytlačován roztavený materiál a je nanášen na tiskovou platformu, která může být zahřátá pro další přilnavost. Po vzniku první vrstvy se extruder a plošina oddělí a další vrstva je nanášená přímo na první vrstvu a proces pokračuje do vytvoření finálního objektu. Řízení extruderu je vedeno pomocí počítače, kdy je pohyb veden v kartézské soustavě pomocí tří os, ale stále modernější jsou polární nebo delta systémy. [13]

Vytlačování materiálu známé jako Fused Filament Fabrication (FFF) se řadí mezi jedny z nejvíce oblíbených a používaných především u laické veřejnosti. Používaný termín Fused Deposition Modeling vymyslel na konci 80. let S. Scott Crump a v roce 1990 jej jako komerční začala používat společnost Stratasys. V současnosti existuje velká vývojová komunita s názvem RepRap, sloužící jak pro komerční, tak domácí použití, vlivem toho dochází k snižování ceny a tato technika je stále dostupnější, má však omezené rozměrové přesnosti a je velmi anizotropní. Existuje velké množství materiálů k použití, nejvíce používané jsou však termoplasty. Řadíme zde akrylonitril-butadien-styren (ABS), kyselinu polymléčnou (PLA), vysoce odolný polystyren (HIPS), termoplastický polyuretan (TPU), alifatické polyamidy (PA), nylon nebo vysoce odolné plasty PEEK a PEI. Vytvářet jde navíc i pastovitý materiál, jako je keramika, beton, čokoláda aj. [27]

Při dalším vývoji tiskárny došlo k vybavení tiskáren více extrudery, bylo tak možné urychlit celkový proces i používat více dostupné materiály, jako jsou kompozitní vlákna (CCF). [10] Termín CCF začala používat společnost Markforged, která při tvorbě využívá dvě tiskové trysky. První tryska pracuje typicky podle procesu vytlačování materiálu. Plastová vlákna vytvářejí vnější obal a vnitřní formu. Druhá tryska nanáší na každou vrstvu kompozitní vlákno z uhlíku, skla nebo kevlaru. Tato vlákna pak určují vnitřní pevnost objektu, srovnatelnou s kovovými objekty. Tisknout pomocí kompozitu lze i s jedním extruderem, podmínkou je však, že základní materiál, který představuje termoplast, musí být nanášen v dostatečném množství, aby tak bylo zaručeno spojení mezi vrstvami. Je tak možná kombinace dvou materiálů v jednom vlákně, umožňující např. tzv. dřevěný tisk (dřevo v

PLA) nebo kovový 3D tisk (kov v termoplastu) anebo karbonový tisk (karbon v termoplastu). [28]



Obrázek 12 Základní schéma procesu vytlačování materiálu pomocí technologie FDM [22]



Obrázek 13 Prototyp chladiče vzniklý metodou FDM [29]

#### 4.4 Material jetting – MJ, NPJ, DOD

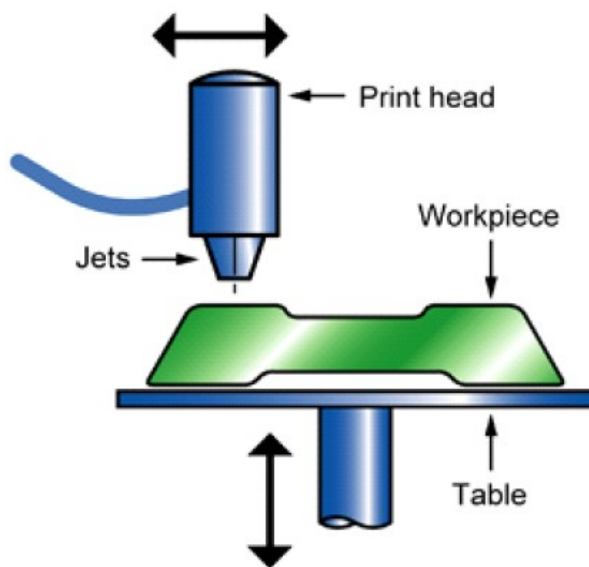
Tato technika aditivní výroby pomocí tryskání materiálu je často srovnávána se základním tiskem 2D pomocí tryskání inkoustu. Materiály použité k tisku se po vystavení záření nebo vysoké teplotě dostanou do fáze zatvrdnutí, podobně jako u stereolitografie. Využívají se zde fotopolymery, kovy nebo vosky a objekt vzniká vrstvu po vrstvě. Výhodou této techniky je velké množství materiálů. Celý proces tryskání pracuje na základě dávkování fotopolymerů vrstvu po vrstvě ze stovek malých trysek umístěných v tiskové hlavě. Tryskání materiálu je rychlé, materiál je nanášen lineárně a dopadající kapičky na stavební platformě jsou ihned vytvrzovány pomocí ultrafialového záření. Samotná technika vyžaduje podpůrné struktury, ty vznikají nejčastěji souběžně s tiskem objektu z rozpustného materiálu. Podpůrné struktury jsou na konci procesu odstraněny a dochází k finálnímu opracování. [13]

**Drop On Demand (DOD)** je technika využívající dvě tiskové trysky. První tryska slouží k nanášení samotného stavebního materiálu a druhá pro tvorbu podpůrných struktur. DOD funguje na stejném principu jako jiné 3D tiskárny, kdy se materiál nanáší bod bodu pomocí předem stanoveného plánu, aby vznikla průřezová plocha objektu. Další součástí je také řezačka, která po vzniku každé samotné vrstvy klouže po stavební platformě a zajišťuje dokonale rovný povrch, nachystaný pro nanesení další vrstvy. Nejčastěji dochází k výrobě voskových vzorů pro odlévání zbytkového vosku nebo výrobu forem, jedná se tak o techniku nepřímého 3D tisku. [30]

**PolyJet** je technika původně patentována společností Objet, v současnosti vlastněná společností Stratasys. Objekt zde vzniká podobně jako u inkoustových tiskáren, fotopolymery jsou tryskány v ultratenkých vrstvách na sestavovací zásobník. Ihned po nanesení vrstev je každá z nich vytvrzována ultrafialovým zářením. Toto vytvrzování tak probíhá bezprostředně po tryskání vrstvu po vrstvě, až do vzniku plně pevného modelu, který lze okamžitě použít nebo opracovávat. Podpůrné struktury z gelovitěho materiálu, navržené speciálně pro složité tvary, lze snadno odstranit ručně nebo vodou pomocí tryskání. [31]

**NanoParticle Jetting (NPJ)** je technika společnosti Xjet a opět zde dochází k tryskání materiálu. Rozdíl je v tom, že použitý materiál obsahuje stavební nebo podpůrné nanočástice, umístěné v kazetě. Kazeta je vložena v tiskárně a dochází k tryskání na sestavovací misku v extrémně tenkých vrstvách. V tiskárně jsou vysoké teploty, ty způsobí odpařování kapaliny a zůstává pouze objekt, vzniklý ze stavebního materiálu, jako je kov nebo keramika. [13]

Zvolit 3D tisk materiálu pomocí tryskání je skvělou volbou pro vznik realistických modelů s vysokou úrovní přesnosti, detailů a hladkého povrchu. Samozřejmostí je tisknutí vícebarevných i více materiálových součástí v jednom tisku. Pokud chceme zvolit konkrétní materiál nebo barvy do vybrané oblasti objektu, je nutné mít modely vyexportované jako samostatné STL soubory. Pro míchání barev nebo změn vlastností materiálů je pak nutné mít digitální soubory exportované do formátu OBJ nebo VRML. Tyto formáty mají speciální vlastnosti, např. změny textur nebo barev. Tryskání materiálu je samo o sobě dosti nákladné a není tedy úplně výhodné, navíc fotopolymery ozářené ultrafialovým zářením ztrácejí během času své vlastnosti a mohou být stále křehčí a méně použitelné. [13]



Obrázek 14 Základní schéma procesu tryskání materiálu – Material Jetting [22]



Obrázek 15 Model hlavy vytisknutý technikou PolyJet [32]

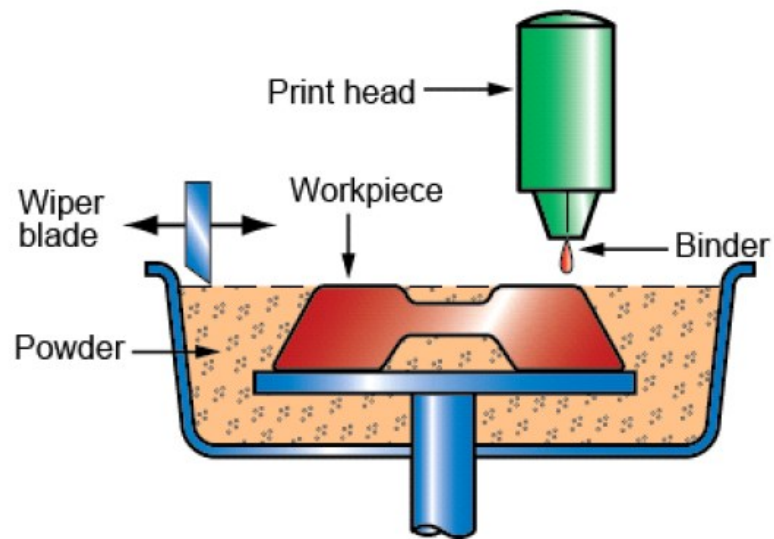
## 4.5 Binder Jetting – BJ

V této technice dochází k tryskání nanášeného materiálu, kterým je pojivové lepidlo na tenké vrstvé práškového materiálu. Použitý práškový materiál může být dvojího druhu, jak na keramické bázi, jako je sklo nebo sádra, tak na kovové bázi, jako je nerezová ocel. V průběhu tisku se tisková hlava pohybuje po stavební platformě, tryská kapičky stavebního materiálu a jednotlivé vrstvy vznikají obdobně jako 2D tisk na papír. Po vzniku jedné vrstvy se práškové lůžko posouvá níž a nanáší se další vrstva na platformu, celý proces se opakuje až do dokončení objektu. Výsledné objekty jsou ve stavu tzv. green state – tedy v křehkém, nedokončeném stavu a jsou připraveny k následnému zpracování. Obvykle se pak používá infiltrační látka ke zlepšení mechanických vlastností. Infiltrační látku často představuje kyanoakrylátové lepidlo u keramiky nebo bronz u kovů. Druhou možností je objekty ve stavu green state umístit do pece, kde dojde k jejich spečení. [13]

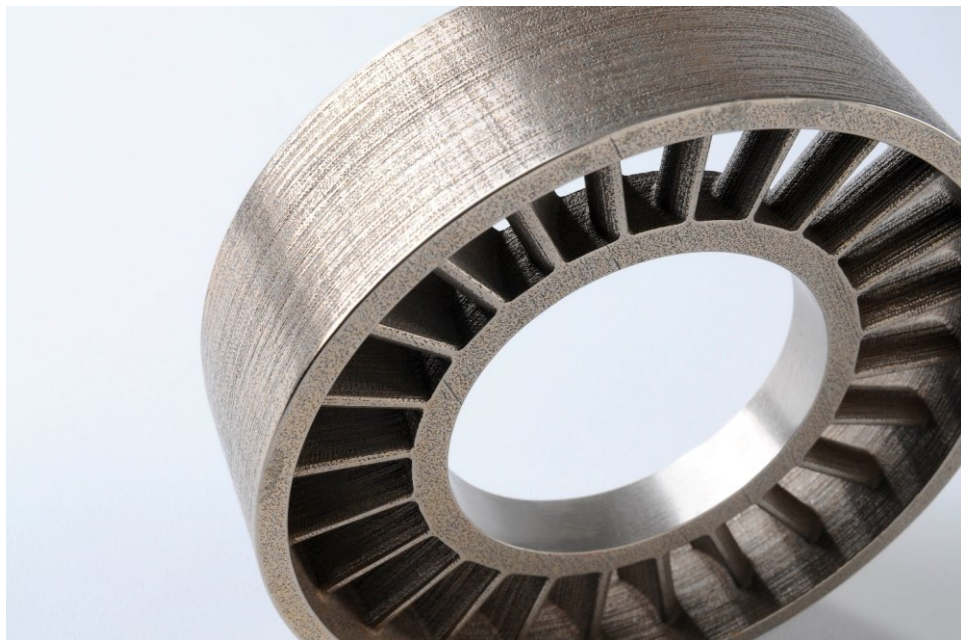
Tryskání pojiva zahrnuje několik různých technik, které jsou vylepšené jednotlivými výrobci. Např. tiskárny ColorJet (CPJ) od společnosti 3D Systems umožňují vznik plnobarevných objektů. Finální objekty jsou pak podobné pískovci a jejich povrch je více porézní. Samotný pískovec jako stavební materiál je během procesu tisku zabarvený a slepený a po vzniku objektu je nutné vložení infiltrační látky, aby došlo k zatvrzení a spojení. Škálovatelnost barev je vysoká a k dispozici jsou statisíce barev. Finální trojrozměrné objekty nejsou určeny pro funkční použití, jelikož jsou stále porézní a vlivem vlhkosti může dojít ke změně barvy. [33]

Tryskání pojiva využívá mnoho materiálů, včetně písku, kovu a keramiky. Písek je vhodný, jelikož nepotřebuje žádné další opracování. Techniky tryskání pojiva vytvářejí estetické a dobře foremne objekty, jako jsou architektonické modely, obaly, hračky a figurky. Naopak nejsou vhodné pro funkční aplikace, vzhledem ke své křehké povaze. Oproti jiným tiskovým technikám, jako jsou Power Bed Fusion (PBF), je zde výhoda v nepoužívání velké míry tepla, což zabraňuje vzniku zbytkových napětí v objektech. [33]

Kovové pojivové materiály zase díky procesu infiltrování látek vykazují dobré mechanické vlastnosti. Lze je použít pro funkční prototypy, jsou také efektivnější než kovové součásti vzniklé metodou SLM nebo DMLS. Jejich mechanické vlastnosti ale nejsou tak dobré, jelikož zrna materiálu se nemohou úplně spojit dohromady. [13]



Obrázek 16 Základní schéma procesu tryskání pojiva - Binder Jetting [22]



Obrázek 17 Sériová výroba součásti pomocí procesu tryskání pojiva - Binder Jetting [34]

#### 4.6 Sheet lamination – LOM, SL

Technika 3D tisku pomocí laminace listů (LOM) představuje několik vrstev materiálu složených z fólií s úkolem vytvoření trojrozměrného objektu. Vytvoření tvaru pomocí fólie probíhá za pomoci nože nebo laseru, dle průřezu daného objektu. Historicky první aditivní tvorbu pomocí laminování vytvořila společnost Helisys Inc. Později ji začala používat izraelská společnost Solido, jejichž tiskárny pracují právě na principu LOM. Modely vzniklé technikou LOM jsou robustní, ale levné. Běžným výrobním materiálem je kombinace PVC s patentovaným lepidlem. Irská společnost Mcor Technologies Ltd. následně začala pracovat s laminováním listů na bázi papíru. V současnosti se používá technika SL, která je dílem společnosti EnvisionTEC, která využívá plech vytvořený z uhlíkových vláken nebo různých kompozitů. Tyto techniky se stále rozvíjejí a zdokonalují, ale zatím nejsou tak rozšířené jako jiné techniky 3D tisku. [35]

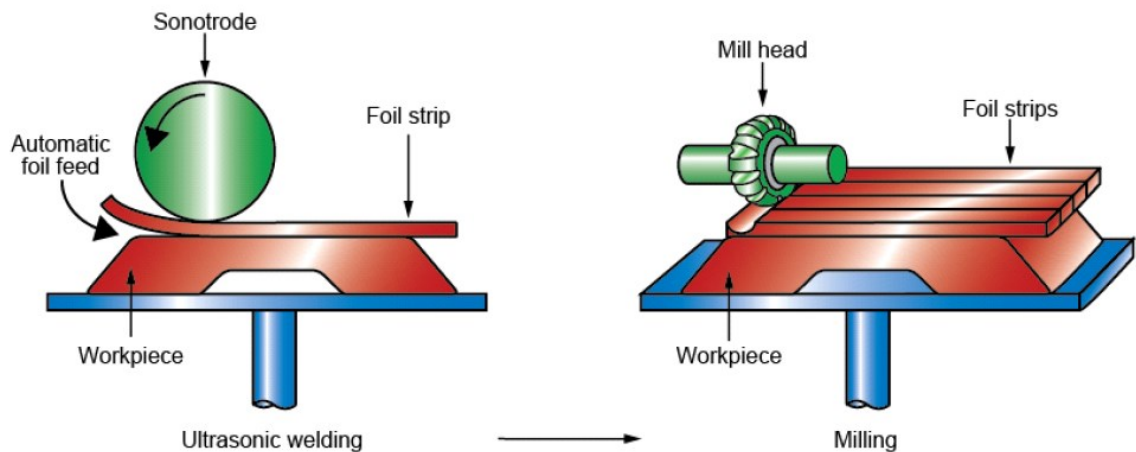
Pokud vytváříme laminátové předměty aditivní výrobou z papírového materiálu, tak se standartně používá klasický kopírovací papír. V prvním kroku projde papír běžnou barevnou 2D tiskárnou a potřebné barevné stránky jsou následně skládány do 3D tiskárny jedna po druhé. Postupně je každá stránka vzata ze stohu a nalepena k předchozí stránce, následně přesně vyříznuta nožem až k vzniku finálního objektu. Ručně pak lze odstranit přebývající papír. Takto vytvořené modely mohou být plně barevné, jejich vlastnosti se podobají dřevu a lze je snadno opracovávat. Kvalita výrobku je závislá především na tloušťce použitého vrstveného materiálu, jako může být list papíru, jehož tloušťka se pohybuje od 50 až do 100 mikronů. [13]

**Composite Based Additive Manufacturing (CBAM)** je dílem společnosti Impossible Objects z USA, která si tuto techniku aditivní výroby na bázi kompozitů patentovala. Tyto vláknem vyztužené kompozity spojené s termoplasty vykazují velikou tuhost. [36]

**Selective Lamination Composite Object Manufacturing (SLCOM)** je technika společnosti EnvisionTEC pro výrobu objektů z kompozitů pro selektivní laminaci, která jako základní materiál používá termoplastové tkáně z vláknitých kompozitů. [36]



Aplikování vzniklých laminovaných trojrozměrných objektů má své místo v ergonomických studiích, vizualizacích topografií nebo jako papírové objekty pro modely v architektuře. U termoplastů a vláken lze zase vytvářet lehké a jednoduché technické komponenty, vhodné jak pro letecký, tak automobilový průmysl za velmi nízké náklady. [13]



Obrázek 18 Základní schéma procesu laminování plechu pomocí technologie Sheet lamination [22]



Obrázek 19 Laminovaná rukojeť kladiva [36]

## 4.7 Directed energy deposition – DED, LENS, EBAM

3D tisk pomocí přímého ukládání energie (DE) vytváří objekty přímým tavením materiálů a nanášením na obráběný výrobek vrstvu po vrstvě. Jako materiály jsou vhodné kovové prášky, anebo materiály v podobě tiskových strun. Pokud hovoříme o technice DED, nesmíme opomenout tvarování sítí pomocí laserového inženýrství, výrobu směrovacích světel, přímé nanášení kovů, laserové svařování LDW a 3D laserové opláštění. Častá je spolupráce s frézovými a soustružnickými CNC stroji a schopnost opravovat složité poškozené součásti např. lopatky turbín či vrtule. 3D tiskárny s technologií DED představují velké průmyslové stroje, vyžadující uzavřené a kontrolované prostředí ke svému provozu. Standartní DED technologie se skládá z trysky umístěné na víceosém rameni uvnitř konstrukce. Rameno poté nanáší roztavený materiál na povrch obráběného výrobku a materiál zatuhne. Je tu jistá podoba s technikami vytlačování materiálu, kde se tryska pohybuje ve třech osách, nicméně zde má tryska možnost pohybu v mnoha směrech až v pěti možných osách oproti 3D tiskárnám typu FFF. Tisk kovů pomocí DED technologie zahrnuje především hliník, měď, titan, nerezovou ocel, nástrojovou ocel, ocelové slitiny, slitiny mědi a niklu. Jednotlivé techniky usměrňování energie mají svá vlastní omezení a kompatibilitu. [13]

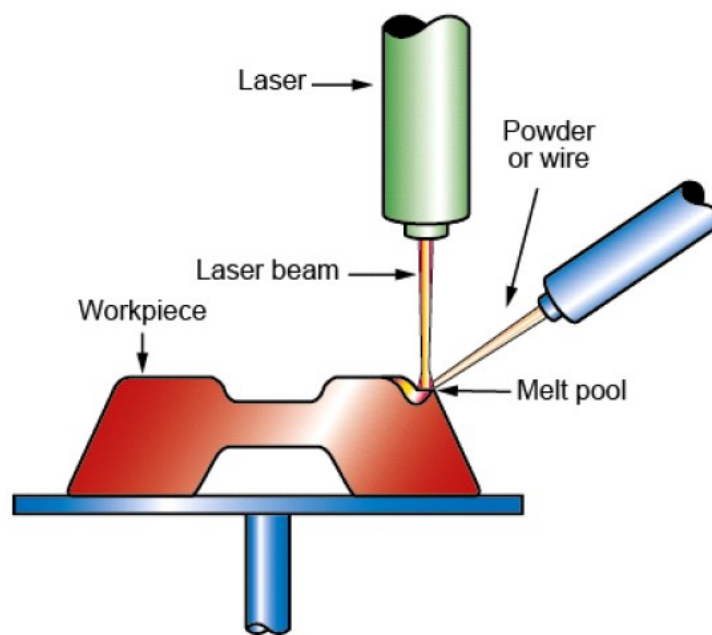
**LENS** je technologie společnosti Optomec, která využívá lasery k výrobě objektů za pomoci práškových kovů, slitin, keramiky nebo kompozitů vrstvu po vrstvě. Celý výrobní proces probíhá v komoře naplněné radonem, která je hermeticky uzavřená a hladina kyslíku i vlhkosti je na velmi nízké úrovni – nedochází tak k oxidaci a díly jsou neposkvřené. Nanášecí hlava obsahuje stavební materiál, který vytvoří první vrstvu, pak následuje další vrstva, až je zkonstruována celá součást. Finální objekt je vyjmut a může být tepelně ošetřen nebo izostaticky lisován za horka, opracován, nebo dokončen dalšími způsoby. [37]

**Aerosol Jet Technology** taktéž od společnosti Optomec, je levný a funkční proces aditivní výroby funkčních antén a senzorů, vhodný jak pro běžné spotřebitele, tak pro průmyslové komponenty, jejich uplatnění se tak řadí mezi inteligentní zařízení tzv. internetu věcí IoT. Tisknout lze antény mnoha druhu, jako jsou LTE, NFC, GPS, Wifi, WLAN a BT. Funkcí se podobá běžným technikám nanášení materiálu, ale je vhodnější, jelikož zvládá složité zakřivené plochy. Je ideální pro vývoj, výrobu, zdokonalování a opravu vysoce výkonných elektronických a biologických zařízení, vhodných jako spotřební elektronika, polovodičové

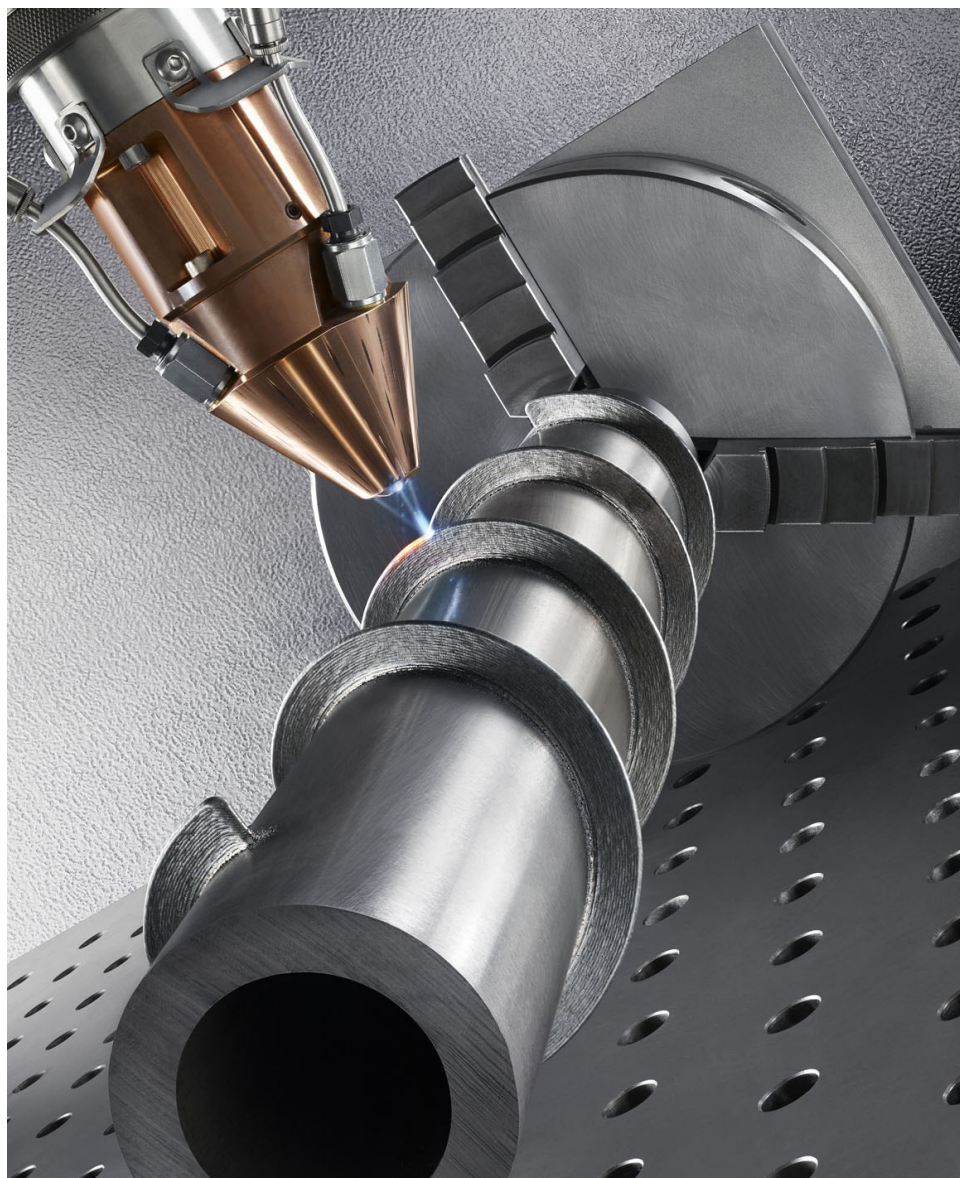
obaly, displeje a výrobky pro automobilový, letecký a kosmický průmysl. Použit lze mnoho materiálů, včetně vodivých nanočásticových kovových inkoustů, dielektrických past, polovodičů aj. [38]

**Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM)** je technologie aditivní výroby společnosti Sciaky, která vyrábí velké kovové objekty. Jejich patentovaná pistole Electron Beam (EB) umožňuje ze struny nanášet kov vrstvu po vrstvě, až do vzniku téměř dokonalé sítě výrobku připraveného na dokončovací obrábění. Pro výrobu nebo opravu poškozených dílů se používají kovy, jako jsou nikl, tantal a titan, lze tak uložit od 3 do 9 kg kovu za hodinu. [39]

**Laser Deposition Welding (LDW) a Hybrid Manufacturing** jsou techniky aditivní výroby od společnosti DMG MORI, která svou techniku integrovala do pětiosé frézky. Při laserovém svařování (LDW) dochází k nanášení kovů ve formě prášku pomocí trysky, ta vyniká až 10x větší rychlostí než u technologie PBF. Hybridní řešení přináší kombinaci laserového nanášení materiálu s procesem přesného řezání a vzniklé objekty vykazují kvality jako při frézování. Objekty jsou tak vysoce kovově přesné a různě veliké. [13]



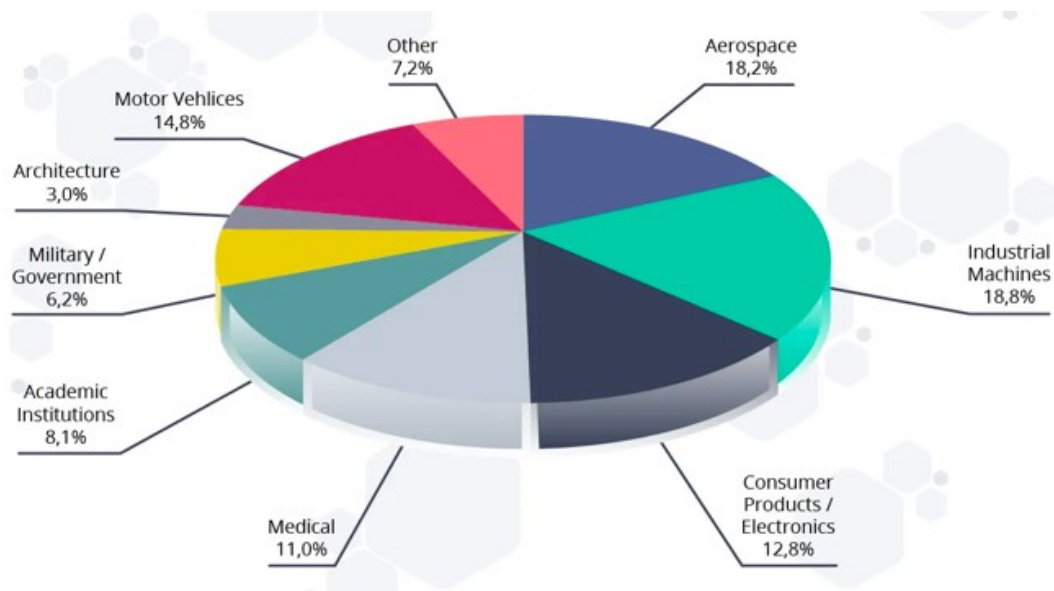
Obrázek 20 Základní schéma procesu usměrněné depozice energie [22]



Obrázek 21 Dodatečný tisk pomocí LMD na již vytvořenou součást [40]

## 5 APLIKACE

Aplikování součástí vzniklých aditivní výrobou stále narůstá a jednotlivá odvětví, která dříve vyráběla rychlé prototypy, již dnes rozšiřují nebo přeorientovávají svůj sortiment na širší a rozmanitější škálu možností. Čím větší jsou možnosti aplikování aditivní výroby, tím větší je počet uživatelů této technologie a vznikají nové nápady i jedinečné možnosti aplikace. V současnosti lze vyřešit téměř jakýkoliv problém zahrnující trojrozměrné objekty rychleji právě díky technologii aditivní výroby. Dříve bylo předpokladem pro vznik 3D objektu vymodelování objektu v CAD softwaru. To už dnes není vždy potřeba a objekt lze vygenerovat pomocí oskenování nebo programů podobných pro tvorbu avatarů u počítačových her či programů pro kreslení a další. Běžní jedinci, kteří nemají takové zkušenosti se tak nemusí učit složité technické postupy a kupovat finančně nákladný software. Pokud chtějí vytvářet 3D objekty, lze 3D obsah zakoupit i online nebo stáhnout zdarma. V počátcích 3D tisku vznikaly pouze prototypy a toto je stále nejsilnější zbraní k vývoji nových produktů. Vývojem stále nových tiskáren se také zlepšuje kvalita materiálů, povrchová úprava a rozměrová přesnost a nové modely tiskáren jsou stále více využívány pro funkční prototypování a pro obrábění či odlévání kovů. Následující graf ukazuje, která průmyslová odvětví nejvíce využívají aditivní tisk. [41]



Obrázek 22 Procentuální rozdělení využívání 3D tisku podle sektorů z roku 2020 [42]

## 5.1 Bezpečnost, obrana a zbrojní průmysl

### 5.1.1 Využití

Ve vojenských a bezpečnostních operacích má aditivní výroba své místo a do jisté míry je závislá na nákladech a na údržbě. Náklady se dají překonat, i pokud je rozpočet relativně omezený a potřeba redukovat hmotnost i prostor, je důležitá. Např. armádní jednotky jsou nejvíce závislé na zásobování, logistika tak často řídí operace, ve skutečnosti by to mělo být naopak a jednotky tak hledají způsoby, jak snížit úmrtnost vojáků a námořníků např. odlehčením bojové zátěže. Kvalitní 3D projekty tak vytvářejí např. odlehčené tištěné granátometry, 3D tištěné trupy ponorek, plastové nárazníky letadel. S příslibem 3D tisku je možnost tisknout tyto potřebné díly na vyžádání, a tím snížit úložný prostor pro náhradní díly a zároveň čas. V potenciálně nebezpečných situacích, ať už se jedná o aktivní boj nebo přírodní katastrofu, nemusíme přesně vědět, do čeho jdeme. K efektivním řešením kritických situací nám může pomoci 3D robotika. Např. roboti ACES, vytvoření aditivní výrobou využívání při vojenských operacích nebo třeba požáru, představují potenciál k řešení situací, kterých se běžně účastní členové záchranných a armádních jednotek. Zlepšit logistiku a proces údržby je relativně jednoduché, ale vývoj nových produktů klade určité otázky. Bude možné implementovat 3D tištěné syntetické lékařské orgány na bojištích? Munice tištěna pomocí 3D tiskáren bude vhodnou náhradou běžné munice? Jsou tu stále určitá rizika některých částí, jako jsou listy rotorů, ventilátory kompresorů motorů apod. Každopádně má aditivní výroba velký potenciál v nových armádních a bezpečnostních strukturách, stejně tak u inovací osvědčených součástí. [43]

### 5.1.2 Bezpečnostní aplikace

Biometrické skenování obličejů a předmětů je dnes samozřejmostí a nabízí nové schopnosti zobrazovacích a odborných znalostí v oblasti strojového učení pro bezpečnostní a monitorovací sektor. Pokud pořizujeme běžné snímky na mobilním telefonu nebo digitálním fotoaparátu, využíváme techniku stereoskopického zobrazování. Tato technika používá dva úhly kamery, jeden pro každé oko k vytvoření 3D obrazu na stereoskopické obrazovce. Moderní technologie využívají jiné techniky, především spojení geometrické a fotometrické stereofonní techniky 3D obnovování, k pořizování barevných obrázků vysokého rozlišení. Společnost Fuel3D vytvořila takovéto skenery, ideální pro zachycení trojrozměrných modelů obličejů, rostlin, kamenů, soch a jiných povrchů a umožňuje tak personalizovat

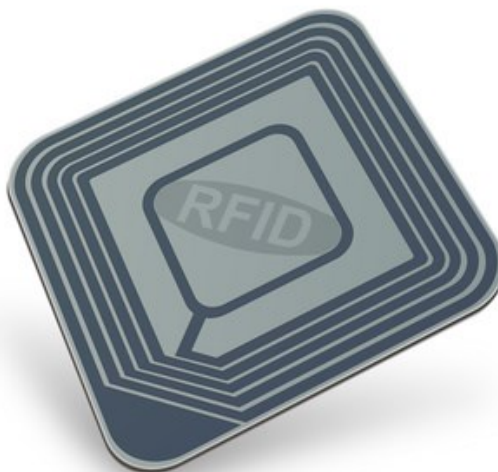


naskenované předměty na obrazovce. [44] Tyto naskenované předměty pak lze vytisknout a vytvářet tak např. repliky obličejů a různých předmětů. [45]



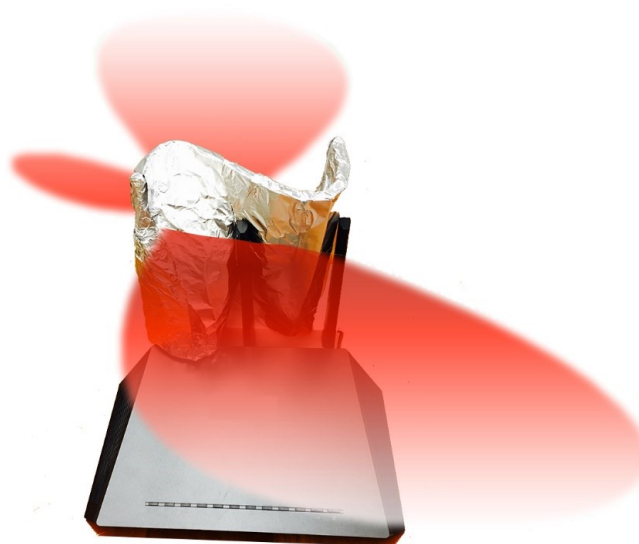
Obrázek 23 3D vytištěná replika obličeje [46]

Pro ochranu a identifikaci zboží se běžně používají radiofrekvenční identifikační čipy. Pomocí aditivní výroby dostávají RFID identifikátory nové možnosti, jako vylepšení ochrany, pomocí zasazování čipů přímo do součástí tištěných pomocí aditivní výroby v průběhu tisku. Dojde tak ke snížení nebo znemožnění padělání nebo krádeže. Tisknout lze také QR kódy. Lepší a modernější techniky tisknou přímo identifikátory uvnitř tisknutého objektu a neobsahují žádné elektronické součástky, nejedná se tedy o RFID identifikátory. Tyto identifikátory jsou čteny speciálními skenovacími zařízeními. [47]



Obrázek 24 RFID čip vyrobený pomocí 3D tisku [48]

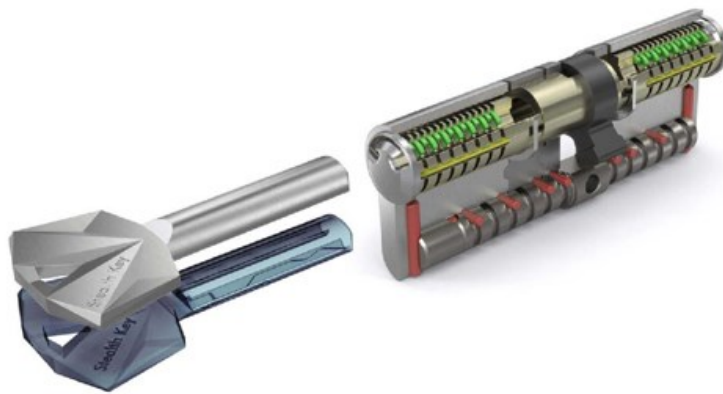
Poskytování bezdrátové sítě uvnitř budov je důležité a příjem signálu by měl být přizpůsoben především v oblastech, kde je nejvíce používán, ale i v těch ostatních kde je obvykle slabší. Samotné tvarování Wifi signálu je možné pomocí vnitřního uspořádání a stavebního materiálu. Pro zlepšení Wifi signálů tam, kde je jich potřeba, fungují dobře 3D tištěné reflektory, které směřují konkrétní bezdrátové signály. V projektu WiPrint byl samotný reflektor tvořený z plastu a tenké vrstvy kovu. Byl pak umístěn okolo Wifi směrovače, odkud směřoval signály do vybraných oblastí. Současné metody jsou buď nákladné, snadno napadnutelné nebo jsou obtížné na konfiguraci. 3D vytištěné reflektory jsou naopak nízkonákladové, bezpečné a dají se snadno nastavit. Systém vypočítává optimalizovaný tvar signálu, přizpůsobený danému prostředí, např. pro oblasti se zesílenými nebo oslabenými signály. Reflektory byly testovány několika běžnými Wifi přístupovými body v několika vnitřních prostorech a fungují velice dobře a bylo je snadné používat. Vytvořit je bylo levné a poskytovaly velké fyzické zabezpečení, mimo jiné snižovaly až od 10 dB signál tam, kde jej nebylo potřeba, a naopak zvyšovaly tam, kde jej bylo potřeba. Systém je vyspělý a fyzickým omezením znemožňuje potenciálním útočníkům nabourat se do něj. Podle výsledků testování, reflektory dobře spolupracují s různými Wifi AP a vhodně zeslabují nebo zesilují signál od 6 do 10 dB, čímž se mění propustnost o -63,3% nebo 55,1%. [49]



Obrázek 25 Zvýšení signálu a zabezpečení pomocí Wifi reflektorů [50]



Bezpečnost nemusí představovat jen ochranu vlastních dat, duševního vlastnictví, ale také ochranu vlastní domácnosti a podniků. Moderní technologie v tomto směru představují řadu výzev, a pokud vznikne nový inteligentní bezpečnostní systém, je jen otázkou času, než se objeví chytrý zločinec a tyto technologie prolomí. Zabezpečovací technologie mají mnoho výhod a nevýhod a nejlépe je lze představit pomocí jednoho z nejstarších a nejjednodušších nástrojů – klíče. Reprodukce klíčů pomocí 3D tiskáren je rychlý a užitečný nástroj pro ty, kteří mají sklony ke ztrátě klíčů od domu nebo auta, popřípadě je vhodný i pro zloděje. 3D tisk je také vhodný pro tisk tzv. Stealth klíčů, jedná se o kovové klíče, které nelze okopírovat pomocí skeneru, a navíc skrývají mechanické bezpečnostní prvky, ke kterým nelze přistupovat. Technologie získala věhlas u nově začínajících nadací, ale i u dlouho působících pojišťoven, které byly ochotné upravit své sazby pro zákazníky implementováním právě těchto klíčů.[51]



Obrázek 26 Bezpečnostní klíč Stealth Key [52]

3D tisk je také využívám při výrobě sledovacích a bezpečnostních dronů, např. Black Manta společnosti SlidX, vyrobený z 65% 3D tiskem a pouze rám je z uhlíku. Dosah ovládání je 7 km s užitečným zatížením až 2,5 kg a může létat rychlostí až 50 km za hodinu. Je tak ideální pro bezpečnostní a monitorovací úkoly, nebo jej lze použít pro tajné mise. Tyto drony umí perfektně splynout s prostředím a jsou tak vhodné k řešení bezpečnostních problémů v civilních a obranných oblastech pomocí moderních technologií, jako je taktický laserový zaměřovač, detektor pohybu, bodová světla, termální či noční vidění. Drony mají velký potenciál především pro záchranářské mise, policie nebo hasiči by je tak mohli navádět do postižených oblastí, aby zjistili, zda jsou uvnitř budovy uvěznění lidé nebo zvířata. Díky termovizi by viděli, kde jsou největší epicentra plamenů. Dokonce by mohli přenášet určité předměty, jako jsou nehořlavé příkrývky, požární sekery a jiné. Drony Black Manta jsou

také geograficky zaměřené a obsahují mapovací nástroje pro různá odvětví jako je třeba zemědělství nebo těžba. Létat mohou jak ve dne, tak v noci a pořizovat nahrávky v reálném čase. Dron obsahuje samostatnou interaktivní obrazovku a spolupráce člověk a stroj je dokonale zařízena. Pokud by se jednalo o taktickou podporu, dron by byl určitě vhodný v boji proti terorismu a pro ochranu citlivých míst, jako jsou např. jaderné elektrárny. [53]



Obrázek 27 Bezpečnostní a sledovací dron Black Manta Air [54]

Spotřeba materiálu, energie, poptávka po nástrojích a následném zpracování apod. je ve většině případů finančně nákladná, a ušetřit lze pouze u výroby velkého počtu potřebných jednotek v krátkém čase. Tímto způsobem, ale není to vždy dogma, se v současnosti aditivní výroba stává základním nástrojem pro tyto aplikace, protože umožňuje efektivní a rychlou tvorbu demonstračních jednotek nebo nových produktů na krátkodobé použití. Příkladem může být 40mm granátomet M203 RAMBO, představující zkratku pro Rapid Additively Manufactured Ballistics Ordnance, jehož výroba trvala šest měsíců. Vzniklý prototyp je podobný originálnímu granátometu M203 americké armády, s tím rozdílem, že všech 50 součástí zbraně bylo vytištěno pomocí 3D tisku z oceli, hliníku a plastu, s výjimkou pružin a spojovacích prvků. V dalších testech byla použita i munice taktéž vytvořena 3D tiskem, a tím se dosáhlo výkonu srovnatelného s originálním sériově vyráběným modelem. [55]



Obrázek 28 Granátomet M203 RAMBO vytištěný na 3D tiskárně [56]

Z aditivní výroby mohou těžit i některá lékařská odvětví, kdy mnohá zranění vojáků, utrpěná v terénu jsou značně specifická a pomoci lze právě určitými metodami aditivního tisku. Poraněnou kůži můžeme zkoumat, následně oskenovat a její korekce je již značně reálná. Např. jizvy vzniklé z následku popálenin znesnadňují pohyb a trvale zohyzdí danou část těla, proto obnovování pružnosti pokožky s potními žlázami a odpovídajícími pigmentem včetně vlasových folikul je v dnešní době velice důležité. [57]



Obrázek 29 Buněčné kultury k produkci lidské tkáně a rekonstruovaná lidská tkáň [58]

V oblastech 3D tisku potravin armáda také spoléhá na využití na bojišti. Vědci americké armády společnosti Natick Solider Research, zkoumají aplikování potravin vzniklých aditivní výrobou, které umožní vojákům nejen pestřejší výběr jídla, ale hlavně důležité živiny, speciálně pro ty, kteří je vyžadují nejvíce. Voják, který se vrátí z akce vyčerpaný, potřebuje sacharidy a bílkoviny a nejjednodušší je pro něj si vytisknout jídlo na tyto zdroje bohaté, naopak jiný voják, trpící nedostatkem vitamínu D si vytiskne jídlo s vysokým obsahem vitamínu D. Co se týče finančních nákladů, tak dotovat jídlo pro armádu taky není nejlevnější. Některé potraviny by tak mohly být nahrazeny právě vytištěnými specifickými potravinami přizpůsobenými dané bojové situaci nebo konkrétní misi. [3]



Obrázek 30 potraviny vytvořené aditivní výrobou [59]

## 5.2 Letecký průmysl a kosmonautika

### 5.2.1 Využití

Technologie aditivní výroby pro kosmonautiku a letecký průmysl mají slibnou budoucnost pro výrobu stále pevnějších dílů. Profesionální tisk představuje skvělý způsob, jak vytvářet nové projekty. Při použití selektivního laserové sintrování lze vytvářet letadlové díly a různé části letadel i na zakázku, protože 3D tisk umožňuje hromadné přizpůsobení. Např. na vytvoření turbín je vhodný kovový 3D tisk a nový tiskový materiál ze slitiny niklu je vhodný, lehký a odolný proti vysoké teplotě a tlaku. Tyto vysokorychlostní turbíny představující nové technologie, mají poměrně složitou geometrii a v současnosti vznikají pouze aditivní výrobou. Jiným příkladem využití nových materiálů jsou 3D tištěné držáky motoru, kdy došlo až k 90% snížení odpadových materiálů a odlehčení o 10%. Jiným příkladem je využívání niklu a titanu k výrobě určitých částí motorů, a tím ušetřením měsíců práce a snížení váhy až o 50%. 3D tisk tak zde má velké uplatnění a potenciál. [60]

### 5.2.2 Aplikace

Letecký gigant Boeing využívá aditivní výrobu ve větším měřítku, než by se mohlo zdát. V posledních letech hodně investoval do 3D technologií a zavedl nové standardy v množství použitých vytištěných dílů, ale také v rozmanitosti letadel, která využívají tyto součásti. Společnost Boeing rapidně navyšuje počet samostatných částí a vytiskla zhruba 300 druhů, čítajících přes 22 tisíc kusů, použitých na 10 typech vojenských i komerčních letadel. Očekávaná nová generace Boeingu, tzv. Dreamliner, obsahuje zhruba 30 dílů, vytištěných na 3D tiskárnách. To jí také dopomáhá k rekordním doletům a snížení paliva až o 20% oproti podobným letadlům, včetně schopnosti pojmout 280 cestujících a přeletět více než 8 tisíc námořních mil. Boeing v budoucnu plánuje vytisknout vlastní bezpilotní letoun nebo komerční letadlo či křídla. Zatím však zkoumá spíše využívání lehkých kovových dílů. [61]

Komponenty pro nové generace proudových motorů, ale i starších motorů, které nelze vyrobit jinak než aditivní výrobou, má na starost společnost General Electric. Jako první stvořila 3D tištěný díl pro komerční proudové motory, certifikovaný americkým Federálním úřadem pro letectví. Jelikož mají své výrobní portfolio rozeseto po celém světě, včetně masové výroby kovových součástí pomocí aditivní výroby, s největší pravděpodobností vidí v 3D tisku potenciál. Proto do svého výzkumu investovala přes jednu miliardu dolarů, za účelem vylepšení palivových trysek pro své proudové motory. Vylepšením došlo ke sloučení

21 dílů do jednoho komplexního řešení, což umožnilo optimalizovat výrobu, lépe využít materiál, snížit spotřebu a zároveň zvýšit tah a až pětinasobně navýšit životnost. [22]



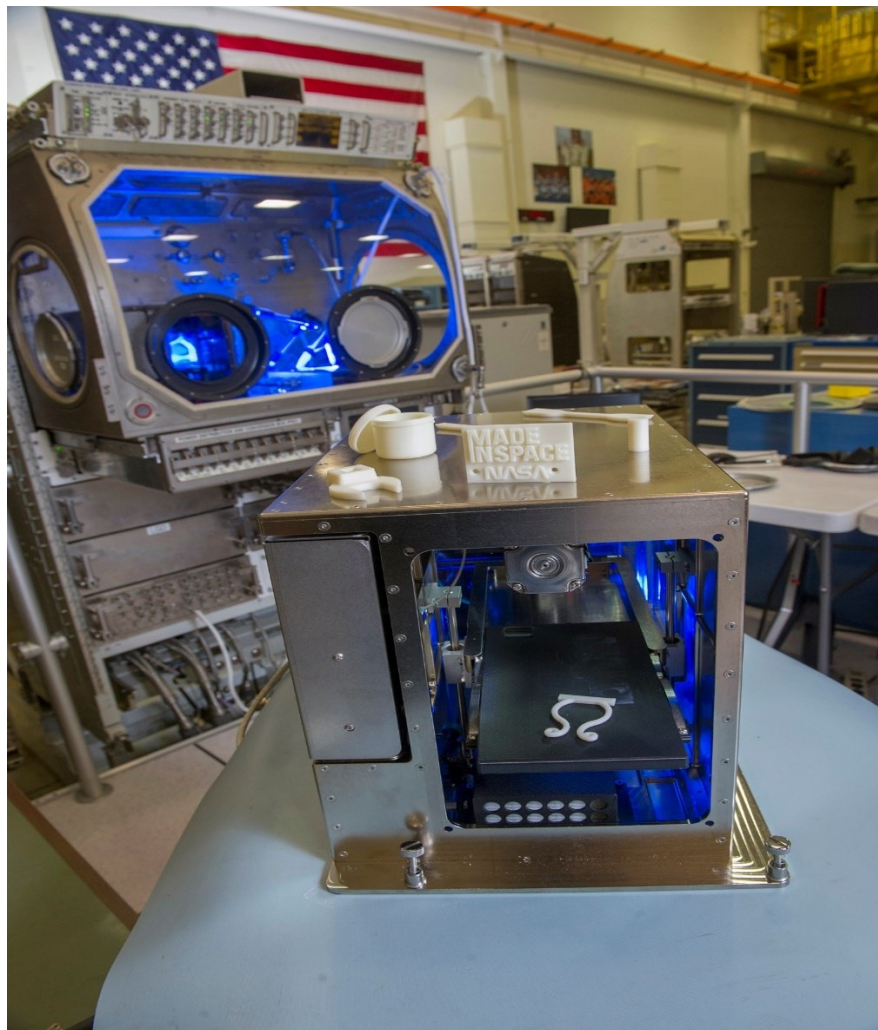
Obrázek 31 Konstrukční titanový komponent pro Boeing 787 Dreamliner [62]



Obrázek 32 Společnost GE vyrábí palivovou trysku pomocí aditivní výroby [63]

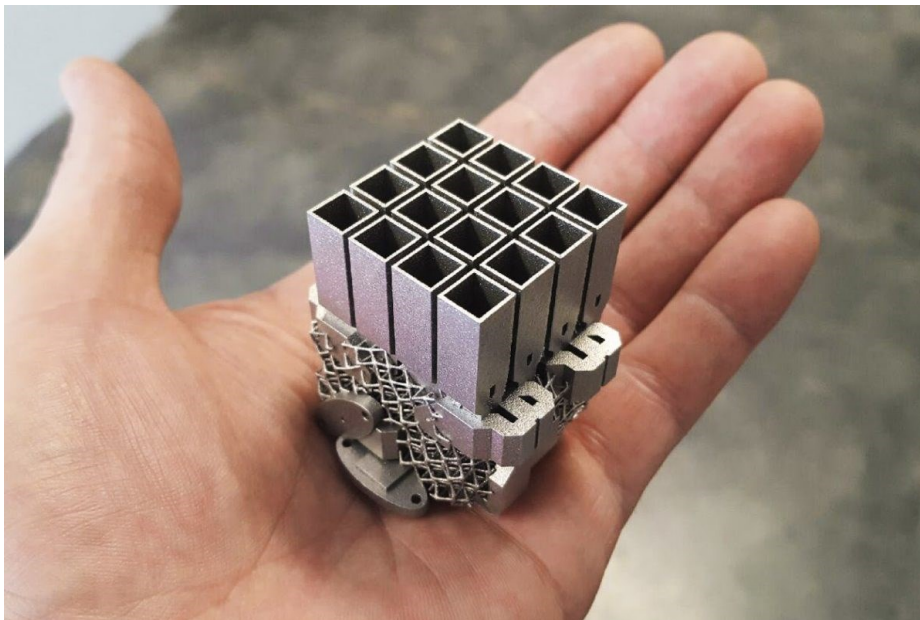


Jednou z nejvýznamnějších světových organizací, která se nezajímá o tisk trojrozměrných objektů ve vesmíru, je NASA. Ta svůj první tisk provedla na mezinárodní vesmírné stanici pomocí své vesmírně-kompatibilní tiskárny. NASA ve spolupráci s Made In Space Inc. zdárně vytiskla první 3D součásti v nulové gravitaci. 3D tisk bude nesmírně důležitý pro kosmické lodě. Vzhledem k jejich specifické hmotnosti a omezeném prostoru, při potřebě vyměnit něco rozbitého zde není prostor na náhradní díly. Tomuto by se dalo lehcce zabránit právě využitím 3D tisku ve vesmíru a dnes je to již realitou. Díky této technice klesnou náklady a rizika v příkladech, kdy se posádka dostane daleko od Země a doprava potřebných nástrojů či součástek by byla velmi nákladná. Experimentování s 3D tištěnými potravinami, stejně jako armáda, využívá i NASA. Takto vytištěné potraviny by astronautům poskytly dlouhodobě udržitelné a výživné zásoby potravin. NASA nadále provádí testy, aby zajistila stejný proces tisku jak na Zemi, tak v nulové gravitaci. [61]



Obrázek 33 3D tiskárna mezinárodní vesmírné stanice [64]

Mikroantennní produkty pro obranné a letecké aplikace poskytuje společnost Optisys LLC. Jejich aditivní výroba pomocí kovového tisku snížila počet kusů u svých sledovacích anténních polí ze 100 pouze na 1 kus. Toto zjednodušení umožňuje zkrátit dodací lhůty z 11 na pouhé 2 měsíce a snížit celkovou hmotnost produktů až o 95 %. [65]



Obrázek 34 3D tištěné monopulsní anténní pole [65]



## 5.3 Automobilový průmysl

### 5.3.1 Využití

Výroba automobilů tradičním způsobem, s mnoha výrobními procesy, nedává velkou svobodu. Proto je vhodné sáhnout po modernějším způsobu výroby prototypů, jako je aditivní výroba automobilů. Doba tvorby prototypů se tak pro výrobce zkrátí z měsíců na dny, to nejenže zkrátí dobu vývoje, ale také finální produkt projde určitými pozitivními změnami. Velkou výhodou je také snížení nákladů na vývoj produktu. Složité geometrie už nejsou problémem a s 3D tiskem lze využít kreativitu a snížit náklady na koncepční modely, funkční prototypy nebo hotové produkty. Pomocí mřížkování se sníží hmotnost součástí. Například určité konstrukční prvky lze dnes vytvořit už jen díky aditivní výrobě. Výhodou je také zavedení jiných materiálů přímo do objektu při tisku nebo naopak vkládání přímých 3D součástí do jiných dílů, čímž se výrazně zkrátí doba přípravy na montážních linkách. [66]

### 5.3.2 Aplikace

Příkladem může být brzdové potrubí vozu Formule 1, které vydrží reálné závodní podmínky, vytvořené společností Windform. Ta využívá speciální kompozity, odolávající velkým výkonovým potřebám. Tyto kompozity obsahují polyamidy spojené s různými prášky, vytvářejícími vysokou tuhost, pevnost a schopnost odvádět teplo. Objekt sice vyžaduje následné ruční opracování, nicméně jedná se o výborný příklad, toho co lze rychle a kvalitně vytvořit. I přesto, že většina týmu F1 rozsáhle využívá 3D tisk, své procesy nezveřejňují, protože konkurence je vysoká. Nicméně jedním z průkopníků byl tým Renault, který společně s týmy Jordan a Toyota vytvořil část chladicího potrubí pro Formule 1 používané ve skutečných závodech. [17]



Obrázek 35 Hydraulické potrubí týmu Renault F1 vyrobené pomocí CNC obrábění a svařování (nahore) a pomocí SLA (dole) [67]



Obrázek 36 Elektronické chladicí potrubí z nylonu vyztuženého uhlíkovými vlákny týmu Renault F1 [68]

Některé komponenty dosud nebylo možné vyrábět, protože bylo extrémně obtížné, nebo dokonce nemožné frézovat nebo kovat komponenty z titanového bloku, což je u hliníku běžné. Tyto problémy řeší extrémně výkonná 3D tiskárna firmy Bugatti, která zvládá vytvářet složitější struktury, které jsou mnohem pevnější a silnější, než kdyby byly vyrobené jakýmkoliv jiným procesem. Brzdové třmeny pro osobní automobily Chiron od společnosti Bugatti tak využitím 3D tisku snížili hmotnost brzdového třmenu až o dva kilogramy, představující 40% hmotnosti, oproti běžným konstrukčním metodám ze slitin hliníku. Jedná se o největší brzdový třmen vyrobený z titanu vzniklý aditivní výrobou, i vzhledem k nízkým počtům vyrobených kusů se jedná o průlomovou technologii. Tato slitina titanu nabízí podstatně vyšší výkon než hliník a má své využití především v leteckém a kosmickém průmyslu, je vhodná jak pro raketové motory, tak pro letadlová křídla apod. [69]



Obrázek 37 Brzdový třmen společnosti Bugatti vzniklý aditivní výrobou [70]

## 5.4 Lékařský průmysl

### 5.4.1 Využití

V oblasti lékařského průmyslu je klíčové sloučit proces 3D tisku s pacientem. Je tak vhodné vytvářet nástroje na míru pro konkrétní pacienty, tím ušetřit drahocenný čas a také určit pro pacienty vhodná a pohodlná řešení, právě díky aditivní výrobě. Lze tak vyrábět mnoho zdravotnických prostředků, od naslouchátek a protéz, až po protetické ruce. Benefitem aditivní výroby je tvorba prvotních prototypů, umožňujících flexibilitu a schopnost reagovat na současné podněty ve velmi krátkém čase. Např. výroba ortéz, protéz a jiných zdravotnických nástrojů či materiálu dnes není pouze pro velké průmyslové společnosti. Tištěné implantáty nebo protetický tisk se stávají stále běžnějšími a dostupnějšími. Profesionální 3D tiskárny vytvářejí přesné anatomické repliky částí těla, podle potřeby z lékařských snímků pacienta, nebo podle databází lékařských digitálních souborů. Touto trojrozměrnou reprezentací lze uskutečňovat předoperační trénink a procvičování různých výukových školení. [71]

### 5.4.2 Aplikace

V oblasti profesionální individuální péče o pacienty je 3D tisk stále rozšířenější technologií s cílem zlepšit zdravotní stav pacienta a kvalitu služeb. Provizorní protézy představují jen minimum toho, co lze pokročilejšími technikami vytisknout. Drasticky se tak mění průmyslová odvětví, od ortopedie, až po protetickou stomatologii. Podobné zlepšení lze pozorovat i v ortodoncii, konkrétně se jedná o zubní protézy. Samotný model je vytvářen pomocí laserového skeneru zubů a vytvoření adekvátního modelu, např. zubní korunky. Přizpůsobená zubní korunka zajišťuje přesnou estetiku a funkčnost pro pacienta. Vyrábí ji společnost NextDent. Model vzniká prostřednictvím skenu zubu pacienta, ten je později vytisknut na 3D tiskárně z pryskyřice. Tiskové stroje, které dokážou vytisknout v jedné dávce až 200 zubních korunek a můstků z kobaltu a chromu, jsou dílem britské společnosti Renishaw. Tyto modely jsou rychleji vyrobené a jsou levnější než tradičně vyrobené zuby. [72]



Obrázek 38 3D skenování zubů a výroba korunek [73]

Aditivní výroba v oblastech biomedicíny představuje jedinečný proces, založený na přidávání látek se schopností vylepšit a upravit díly, které jsou extrémně komplikované. Tisk těchto biomateriálů se značně rozvíjí a umožňuje vyrábět kompatibilní tkáně nebo orgány. Především do budoucna by se mohlo jednat o velký pokrok v oblasti transplantace orgánů, nicméně tisk z plastu je samozřejmě primitivní oproti tisku živých buněk. I po výtisku takového orgánu ještě není vyhráno. Samotný tisk orgánů a tkání je v teprve v počátku, ale existují společnosti, které již využívají biotisk pro výrobu tištěných orgánů pro předklinické testování. Brzy se začnou nabízet modely tištěných lidských jater a uvažuje se dále o tisku lidských uší, srdečních chlopní nebo ledvin. Stále je ovšem velice obtížné zkoordinovat takové orgány, aby přesně došlo k přijetí pacientem. Dnes lze již vytisknout kostní tkáně - např. meniskus představující část lidské chrupavky, kdy pro výrobní technologii živé chrupavky se používá speciální aditivum. V současnosti se dále tisknou tkáně pro opravy průdušnic. Chrupavka musí být nejprve dodatečně prozkoumána, aby mohla být inovována a použita pro pacienty s velkou ortopedickou zárukou. [74]



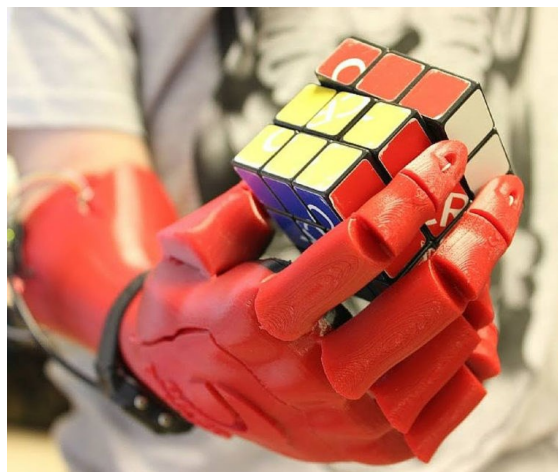
Obrázek 39 Jak může vypadat 3D tisknutelný materiál napodobující chrupavku [75]

Chirurgické implantáty vytištěné z titanu jsou dnes již realitou a tyto rychle se rozvíjející technologie mají obrovské využití v biomedicině i v lékařství, jak k nápravě zděděných, tak zdeformovaných částí těla, jako jsou části lebek, vnitřní orgány, kosti a šlachy. Pomocí aditivní výroby byly vyměněny kyčelní, holenní a stehenní kosti. Např. společnost CEIT Biomedical Engineering z Bratislavy se zaměřuje přímo na výrobu chirurgických implantátů na zakázku, a jedná se hlavně o implantáty z titanu. Klíčem k úspěchu jsou porézní struktury titanu, jelikož žádná kost není stejná. Má odlišnou míru hustoty v závislosti na tom, zda kost nese váhu, implantáty z jiných struktur by tak tělo nemuselo přijmout. [76]



Obrázek 40 Kraniální implantát [77]

Nahrazování lidských končetin je dnes méně náročné a levnější, tisk protetik je jedním z hlavních biomedicínských oblastí, která pokračuje v rozvoji a je stále více inovována. 3D tištěné ruce či paže jsou hojně nabízeny a jsou tak rychlými alternativami s nízkými finančními náklady. [78]



Obrázek 41 Bionická 3D ruka [79]

## 5.5 Elektronika

### 5.5.1 Využití

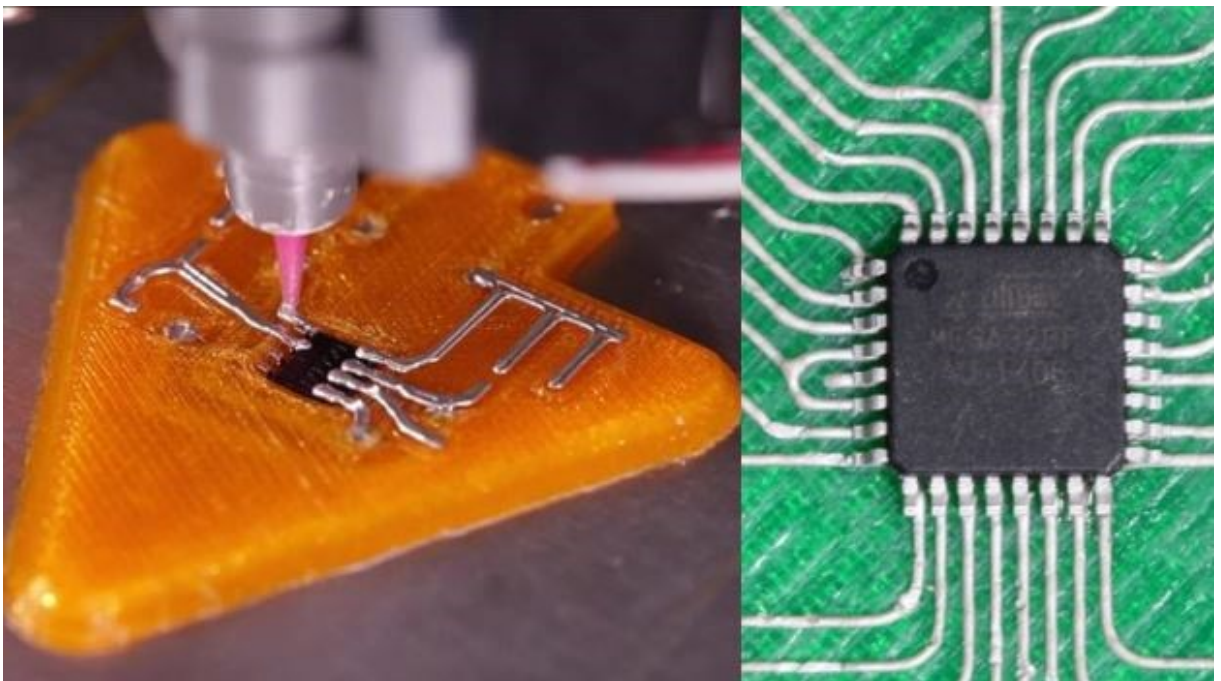
Přebytkem elektronů na jednom povrchu a nedostatkem na druhém vzniká třením elektrostatický výboj mezi dvěma elektricky nabitými částmi, způsobený kontaktem těchto ploch. Tyto výboje představují skutečný problém a citlivé elektronické součástky tak mohou být snadno zničeny, protože může dojít k požáru nebo dokonce k výbuchu v hořlavém prostředí. Schopnost vyrábět elektronické součásti odolné proti elektrostatickým výbojům klasickou metodou již není úplně vhodné a začíná se přecházet k aditivní výrobě. Díky vodivému 3D tisku by měl vývoj elektroniky postoupit o třídu výš, a funkce vodivého tisku by mohly být užitečné zejména při vývoji internetu věcí (IoT). Tisk zařízení jako jsou LED diody a dotykové senzory, měkká robotika, elektronika v komunikačních zařízeních, NFC tištěné antény a další složité součásti pomocí aditivní výroby, se stávají skutečností. Funkční chytré telefony a jiné smart technologie ukazují nové příležitosti a přechod k novým způsobům vytváření krytů, desek plošných spojů a elektronických součástek jsou nové výzvy. Aditivní výroba má tak elektronice co nabídnout a tisk elektronických prvků se stává zcela běžným. V současnosti je velký zájem o levné, lehké a flexibilní elektronické součástky, jako jsou třeba elektronické systémy. Oproti běžným plastovým a drátovým systémům nabízejí tyto aditivně vyrobené zařízení, jako jsou rolovací displeje, ohebné klávesnice a obvody tištěné z papíru jiné výhody. Výhodou jsou především nízké náklady na výrobu, snadná a rychlá výroba, flexibilita a kompatibilita v různých pracovních podmínkách. Vývoj techniky tisku k vytvoření takovýchto obvodů trval mnoho let. Nejčastěji se používají polymery, papírové materiály a vodivý inkoust. Při běžné aditivní výrobě vzniklé komponenty využívají své vrstvené povahy. Jsou ohebné, tvořené i z více druhů materiálů najednou a šikovně strukturované tak, že do nich lze vložit elektroniku již při výrobě. [80]

### 5.5.2 Aplikace

Co se týče přímého tisku elektronických obvodů, tedy těch, co můžeme vkládat do komponent, je nejpoužívanějším způsobem tisk pomocí aerosolu z trysek. Je to varianta tryskání kovového, polymerového nebo jiného materiálu. Vzniklé obvody jsou extrémně detailní. Samozřejmě nejde vytisknout vše zároveň a např. rezistory, LED diody apod. jsou přidány do obvodu ručně později. Tisk elektrických systémů pro výrobu je určitě výhodný



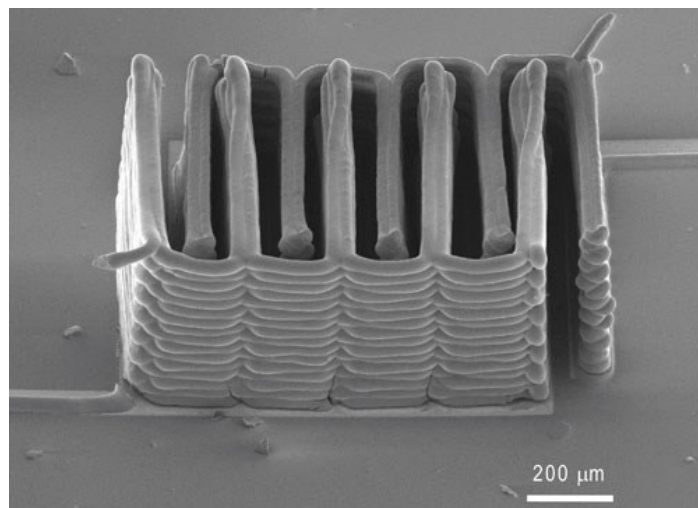
především díky možnosti fyzicky vkládat je do dalších součástí a vytvářet tak inteligentní díly, schopné lépe sledovat mechanické části. Ty obsahují senzory vevnitř a tato elektronika a senzory jsou zároveň chráněny proti vlivům vnějšího prostředí. Použít lze i techniku FDM s extrudovaným vodivým materiálem nebo tiskovými strunami, vzniklé součástky však nemají takovou flexibilitu. Plášť je tvořen roztokem materiálů spojených v jeden kompozitní materiál, upravený mířeným laserem nebo jinou metodou. U elektronických obvodů pak laser pracuje s vodivými pastami na povrchu. Obvykle jsou plastové, keramické nebo skelné. U techniky FDM a tryskání aerosolu dochází k vkládání elektrických obvodů zároveň se vznikem součástí. Další vhodnou technikou je ultrazvukové svařování tenkých vrstev. Takto vytvořené součásti vznikají při pokojové teplotě. Je tak snadné bez poškození do nich zabudovat různé senzory, obvody, optická vlákna, dielektrické materiály o vysoké hustotě, aniž by došlo k jejich roztavení. Zde se musejí elektronické komponenty vkládat ručně, když je to potřeba. V některých případech nelze použít vodivých materiálů, jeví se tak vhodné použít proces přímého zápisu u inkoustového tisku nebo tryskání aerosolu pomocí stereolitografie a vložení elektronických součástí do materiálu během vzniku objektu. [81]



Obrázek 42 Nová forma plastu, který vede elektřinu tzv. carbomorph [82]

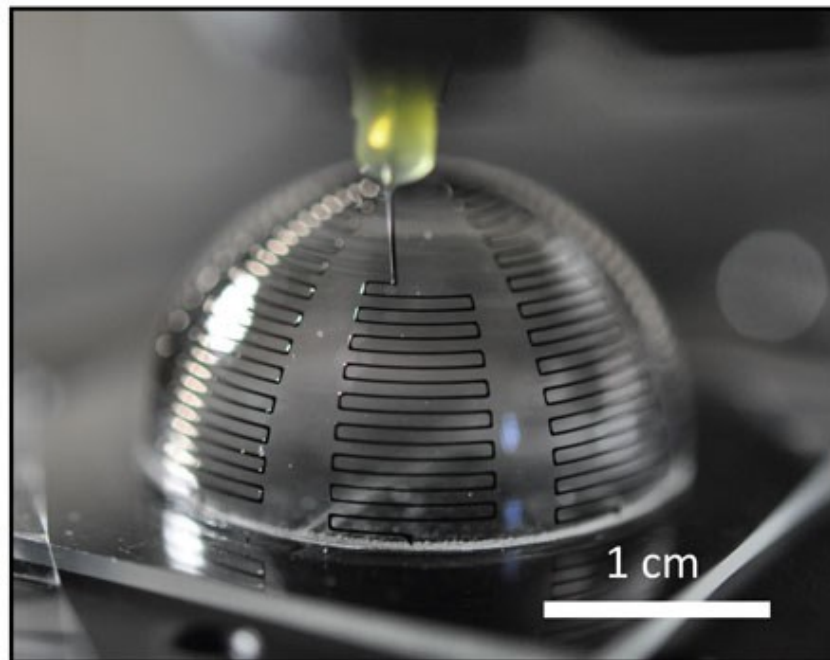


Dalším milníkem je digitální výroba elektronických systémů funkčních zařízení - příkladem může být tisk baterií a jiných zařízení. V současnosti sice ještě takováto elektronická zařízení nelze tisknout, ale je to jen otázkou času. Pokusy o tisk zdrojů vhodných pro technologie přímého zápisu, napájení, depoziční výroba při kombinaci vytlačování materiálu a CNC frézování apod., již proběhly. Důvodů pro tisk baterií je více a do budoucna je to především možnost vzniku velmi složitých geometrických součástí z více materiálů. Vznikly by tak kompaktnější a efektivnější prostředky, vhodné do nových, nevyzkoušených zařízení. Nejvyšším cílem je ale zmenšení baterií a vznik nových zdrojů energie. Tím by se postupně objevila zcela nová generace technologií, jako jsou biomedicínské senzory s vlastním napájením nebo plně integrovaná zařízení. [83]



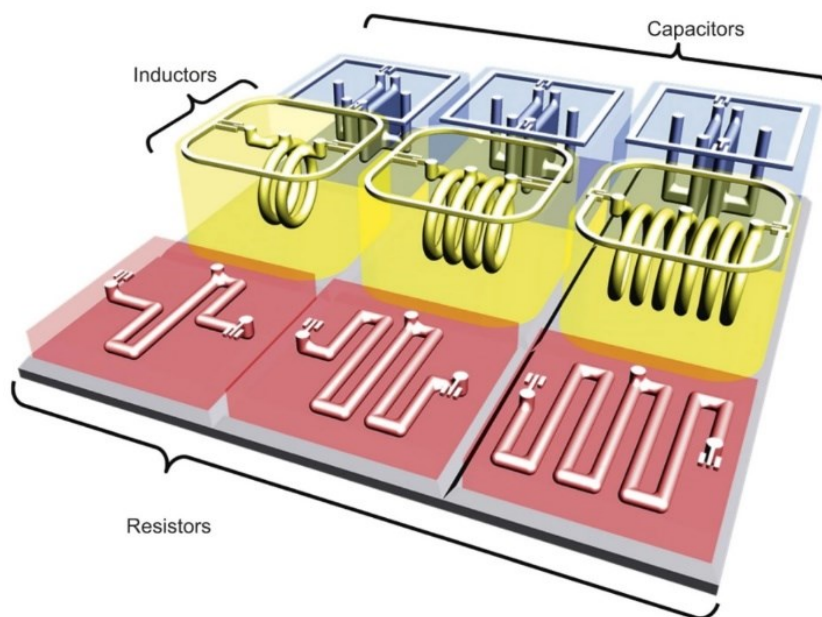
Obrázek 43 Prokládaný svazek elektrod, které byly 3D tištěny vrstvu po vrstvě za účelem vytvoření pracovní anody a katody mikrobaterie [84]

Antény, nejčastěji vyrobeny z vodivých materiálů představují základní bezdrátové zařízení, speciálně navržené k šíření elektromagnetických vln s různými jmenovitými výkony, frekvencemi a směrovostí dle použití. Při využití inkoustu se stříbrnými nanostrunami vznikají antény s nízkou spotřebou, vhodné pro bezdrátový přenos. Pomocí sítotisku nebo inkoustového tisku vznikají rovněž výborné RFID antény. Antény vzniklé tzv. aditivní výrobou dokážou lépe šířit signály v rozsahu GHz i vyšším a vznikají tak příležitosti tvořit speciálně konstrukčně tvarované antény. Antény jsou kvantifikovány pomocí vlnového čísla  $k$  ( $k = 2\pi / \lambda$ ,  $\lambda$  = vlnová délka na pracovní frekvenci), malé antény zvané ESA vzniklé pomocí výroby používají vlnové číslo  $\leq 0,5$  a vykazují tak výrazné zlepšení šířky pásma oproti běžným anténám. [79]

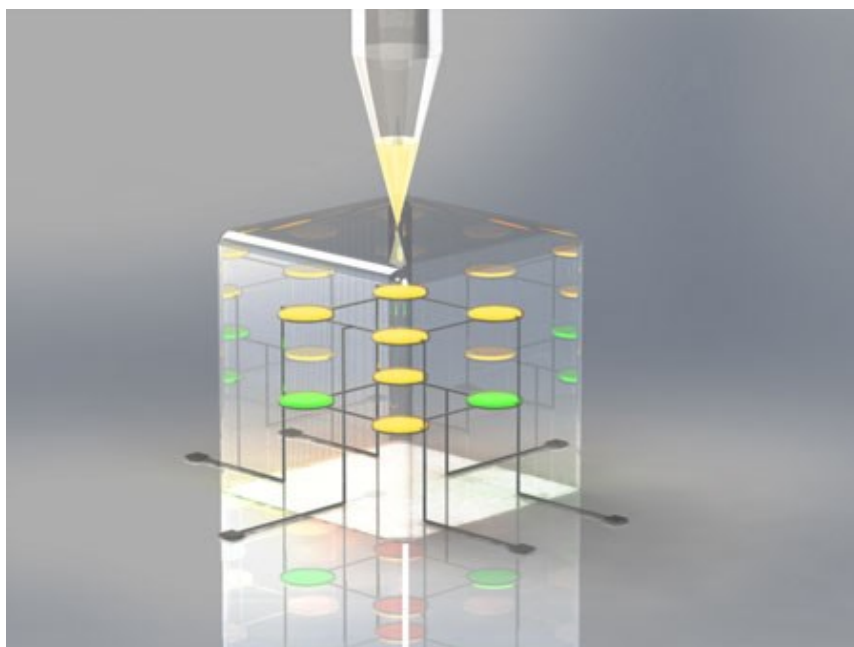


Obrázek 44 Optický obraz antény během procesu tisku z nanočástic stříbra. [85]

Do popředí 3D tisku se dostává hybridizace systémů – tedy kombinace různých technik tisku pomocí inkoustu a vytlačování nebo práškových lůžek a tryskání aerosolu. Tyto systémy byly úspěšně použity pro elektronický 3D tisk zařízení např. robotů, sloužících pro pohodlné umístění komponentů, kombinovaných s aditivní výrobou. Vrcholem toho všeho pak je především 3D tisk aktivních a pasivních elektromechanických zařízení, kombinovaných s vícero materiály, které nabízejí multifunkční a nové výhody. Stříbrný inkoust tisknutý na polymerní substrát dal vzniku tenkovrstvým tranzistorům. Dále pak vznikají rezistory z vodivých polymerů na plastových substrátech, s různými odpory nebo cívky a kondenzátory. Duté trubičky vznikají odstraněním natisklého vosku se strukturálními polymery a následně jsou naplněny tekutým kovem. Takto naplněné součástky vykazují odpor, kapacitu a indukčnost. Tisknout lze i světelné diody, např. speciální bodové světelné diody QD-LED vykazují vysoké barevné emisní vlastnosti. [83]



Obrázek 45 Součásti 3D mikroelektroniky, včetně kondenzátorů, induktorů a rezistorů [86]



Obrázek 46 3D tištěné vícerozměrné pole vestavěných QD-LED [87]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 DRŽÁK DO SPEKTROFOTOMETRU UV/VIS

Pro účely diplomové práce byla zvolena výroba držáků do spektrofotometru UV/VIS. Samotné absorpční spektrofotometry představují přístroje pro měření spekter propustnosti a absorbance. Spektrofotometr UV/VIS (obrázek 47) je určen především pro analytické aplikace, kde přesnost a preciznost měření hrají klíčovou roli. Samotný spektrofotometr pracuje na principu měření energie pohlcené vzorkem při průchodu záření, v našem případě se tak jednalo i o výrobu destiček, sloužících jako vzorky vkládané do držáků, kterými procházel světelný paprsek. Po měření získáme graficky vyjádřené absorpční spektrum, které vyjadřuje závislost absorbance na vlnové délce. Pokud máme tedy v úmyslu měřit energii pohlcenou vzorkem jako jsou fólie nebo sklo, musí být samotný přístroj vybaven držákem pevných vzorků. V následujících kapitolách si takovýto držák navrhne a následně vytiskneme a v praxi vyzkoušíme.



Obrázek 47 Místo vložení držáku do spektrofotometru

## 7 NÁVRH A ZKUŠEBNÍ TISK VYBRANÉ SOUČÁSTI

V následujících kapitolách bude rozepsán návrh vybrané součásti, technologický proces aditivní výroby v praktickém využití, dále pak samostatná použitá 3D tiskárna a použitý materiál. Pro tisk 3D součásti byla zvolena 3D tiskárna Prusa i3 MK3 (obrázek 48), která byla pro účely praktické části diplomové práce k dispozici ve společnosti Plasty Mladeč a jejich značky Filament PM. Na výběr bylo až 16 druhů materiálů v široké škále barev. Tiskárna Prusa funguje na bázi FDM, konkrétní zvolený materiál byl PETG tmavé barvy. Praktická část tedy představuje konstrukci 3D držáků pevných vzorků do spektrofotometru a destiček sloužících jako vzorky. Celá sada bude následně sloužit pro účely výuky v laboratořích forezních věd univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Jedná se o předměty menších rozměrů a pro tisk by neměly být konstrukčně náročné. Při navrhování a konstrukci 3D držáku bylo tedy hlavním cílem vytvořit předmět, který nebude konstrukčně příliš složitý, bude pevný, tuhý, přesný a s ohledem na pořizovací náklady i levný.

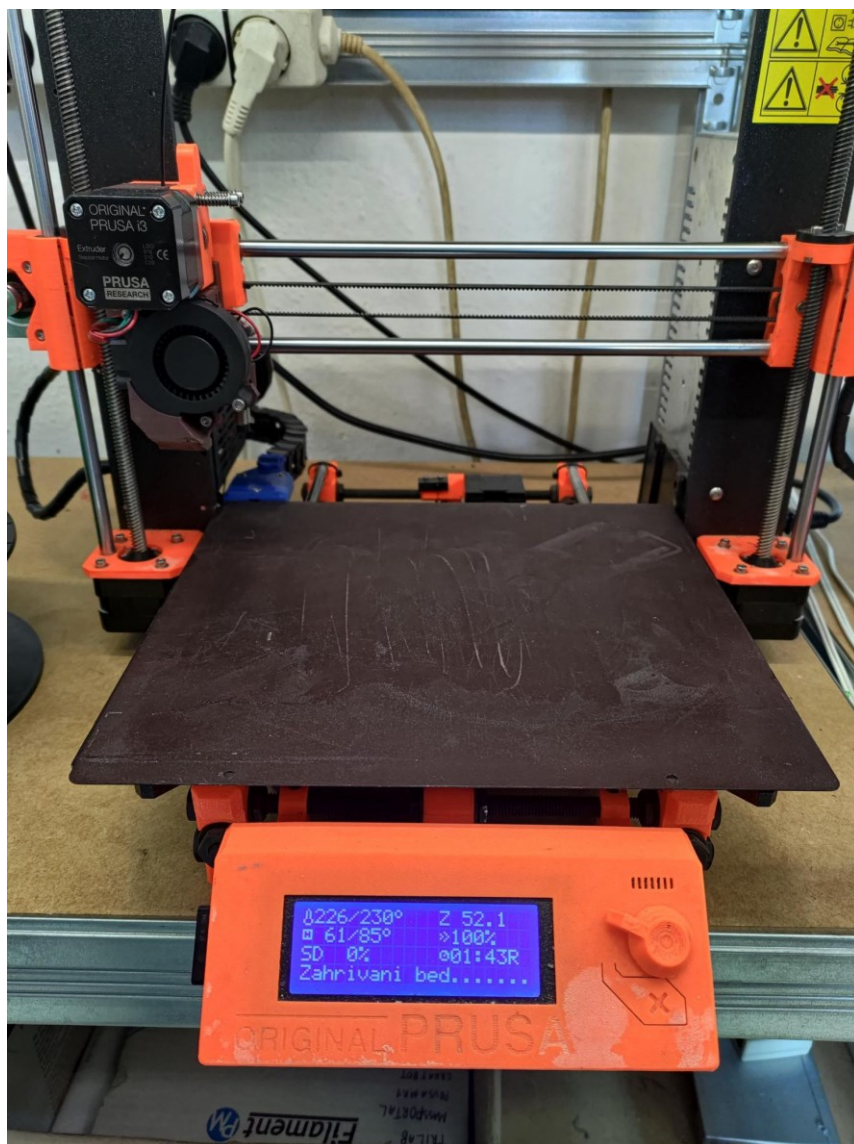
### 7.1 Zvolená tiskárna a FDM technologie

Tiskárna Prusa i3 MK3 je dle webu ALL3DP.com a časopisu MAKE považována za nejlépe hodnocenou 3D tiskárnu za rok 2019. Mezi její přednosti patří přebudovaný extruder, celá řada senzorů, dále pak magnetická vyhřívaná podložka s vyměnitelnými pružnými tiskovými pláty s PEI povrchem a mnohem více. [88] Tiskárna Prusa i3 MK3 funguje na principu tisku metodou FDM. Tisková hlava tak postupně přebírá strunu z termoplastu navinutého na filamentu a nanáší jej na stavěcí plochu, typicky v osách X a Y, kdy modelovací deska leží vertikálně v ose Z. Metoda FDM byla podrobněji popsána v podkapitole 4.3.

### 7.2 Zvolený materiál

Jako zvolený materiál byl tzv. PETG představující podobnost s materiálem PET, ze kterého se vyrábí PET láhve. Navíc je zde přidán glykol, představující písmeno G v názvu, který se přidává během výrobního procesu. Díky Glykolu je PET materiál méně křehký a tím i vhodnější pro tisk. Předností je pevnost a houževnatost materiálu, který se vyznačuje dobrou tepelnou stálostí. [89] Ukázka tohoto materiálu (navinutého filamentu) je na obrázku 49.





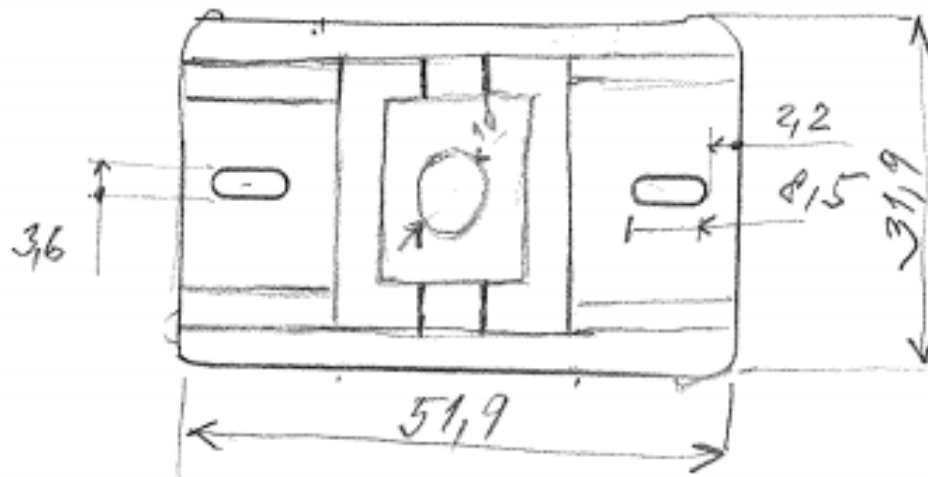
Obrázek 48 Tiskárna Prusa i3 MK3



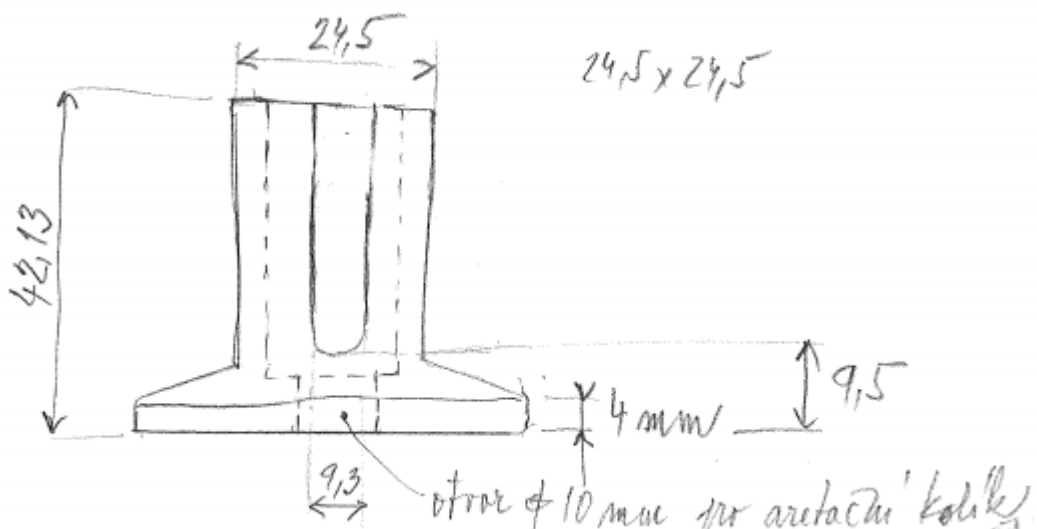
Obrázek 49 Materiál PETG [89]

### 7.3 Návrh

Následoval samotný návrh držáku, který můžeme vidět na obrázcích 58 a 59, kdy v prvním kroku je potřeba nakreslit objekt, ze kterého budou následně vygenerována data. Návrh musel být orientovaný přesně na konkrétní spektrofotometr, aby mohl být vhodně umístěn a plnil tak svoji funkci.



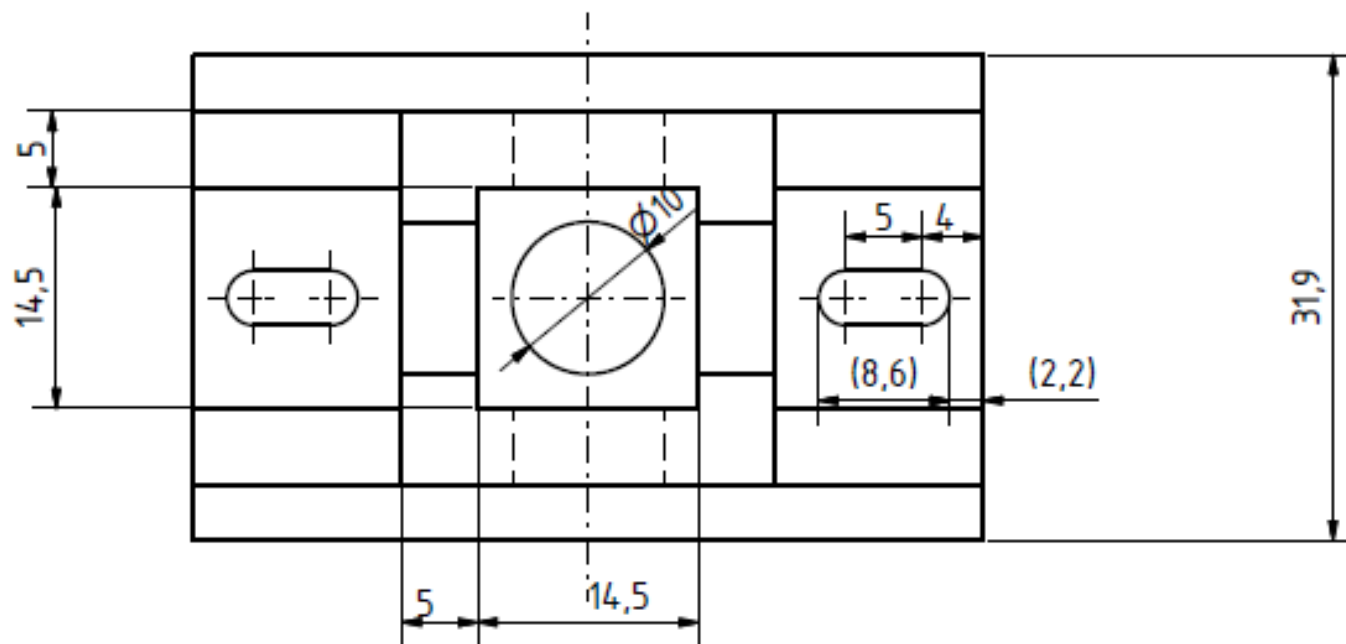
Obrázek 50 Náčrt půdorysu držáku pevných vzorků do spektrofotometru



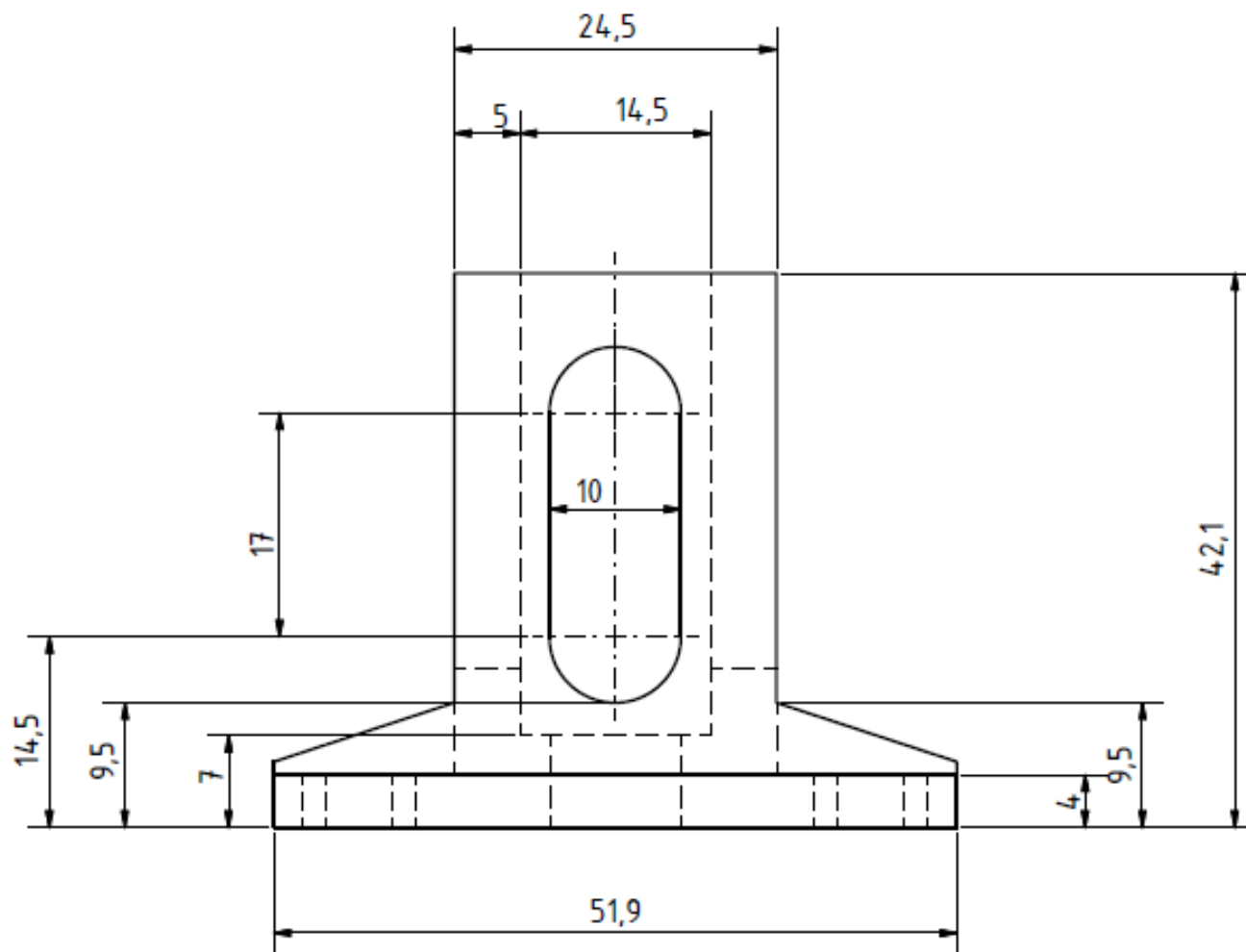
Obrázek 51 Náčrt nárysu držáku pevných vzorků do spektrofotometru

V druhém kroku došlo k samotnému překreslení v programu AUTOCAD a dále k menším úpravám rozměrů a přidání vybrání, do kterého se bude vkládat vzorek ve formě destičky, papírku či jiného materiálu.

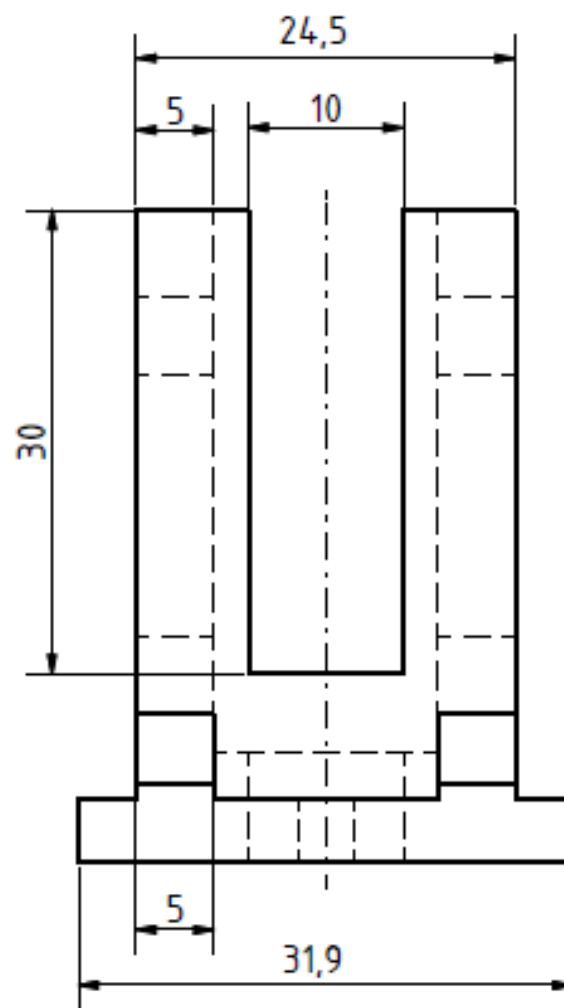




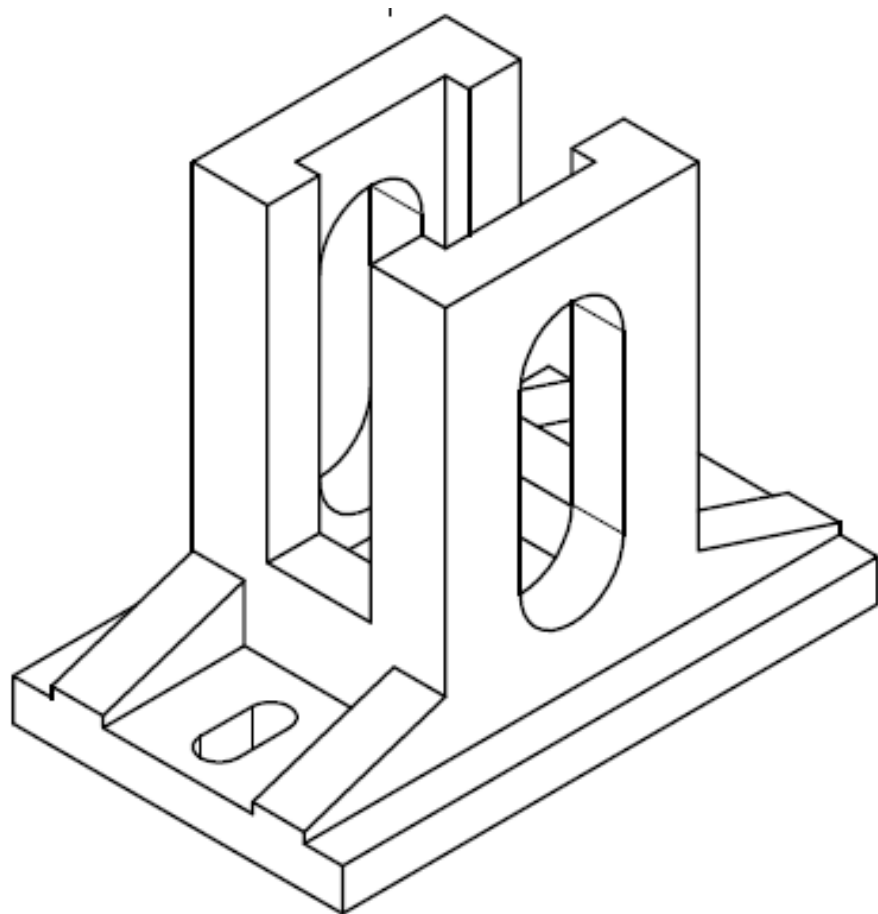
Obrázek 52 Překreslený půdorys držáku pevných vzorků do spektrofotometru



Obrázek 53 Překreslený nárys držáku pevných vzorků do spektrofotometru



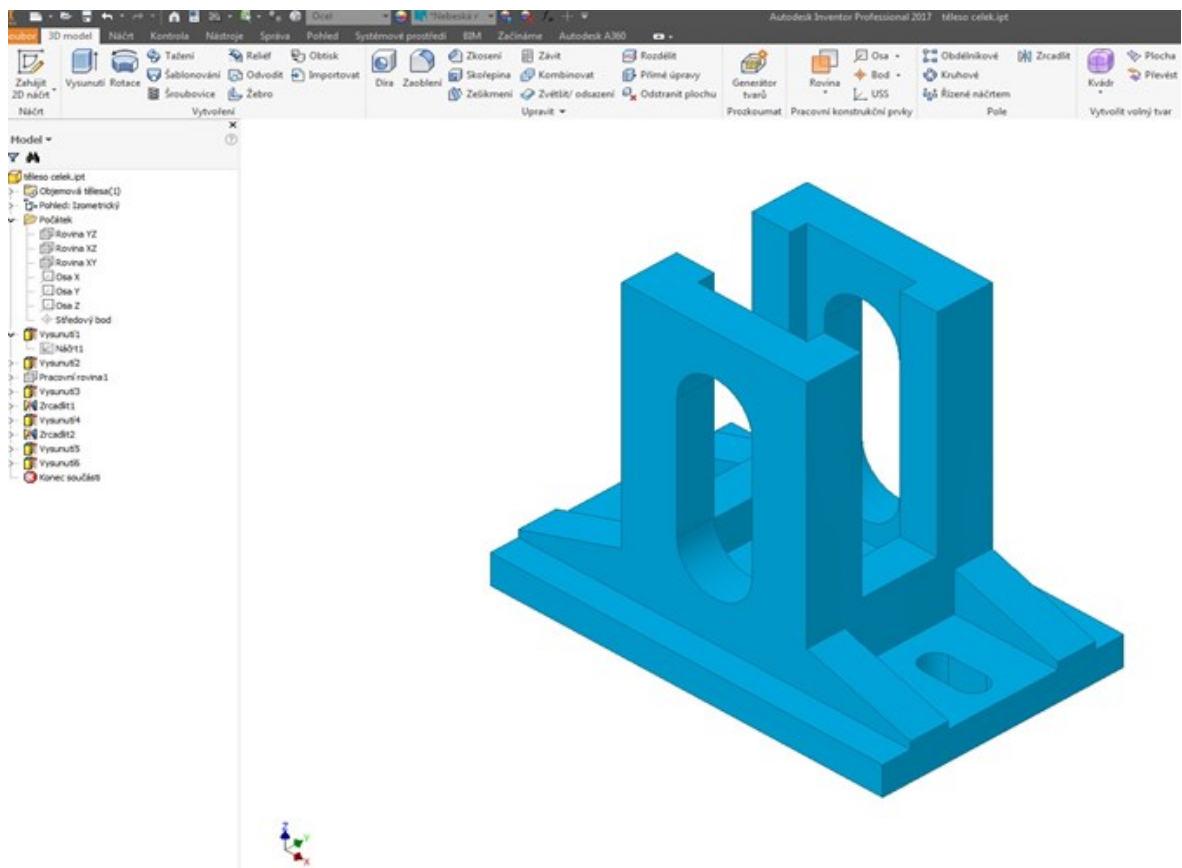
Obrázek 54 Překreslený bokorys držáku  
pevných vzorků do spektrofotometru



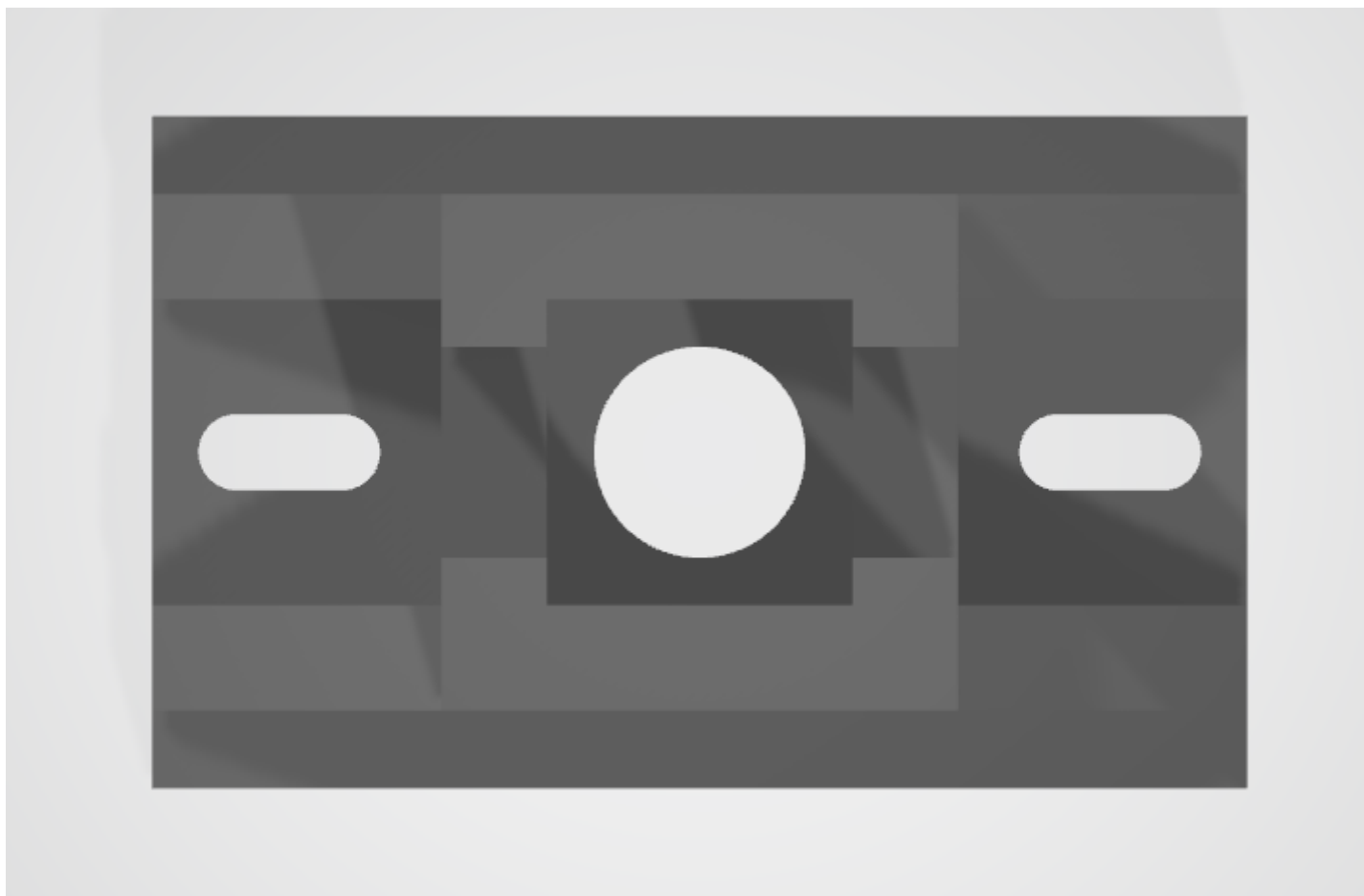
Obrázek 55 3D pohled držáku pevných vzorků do spektrofotometru

## 7.4 Vytvoření modelu v CAD systému Autodesk Inventor

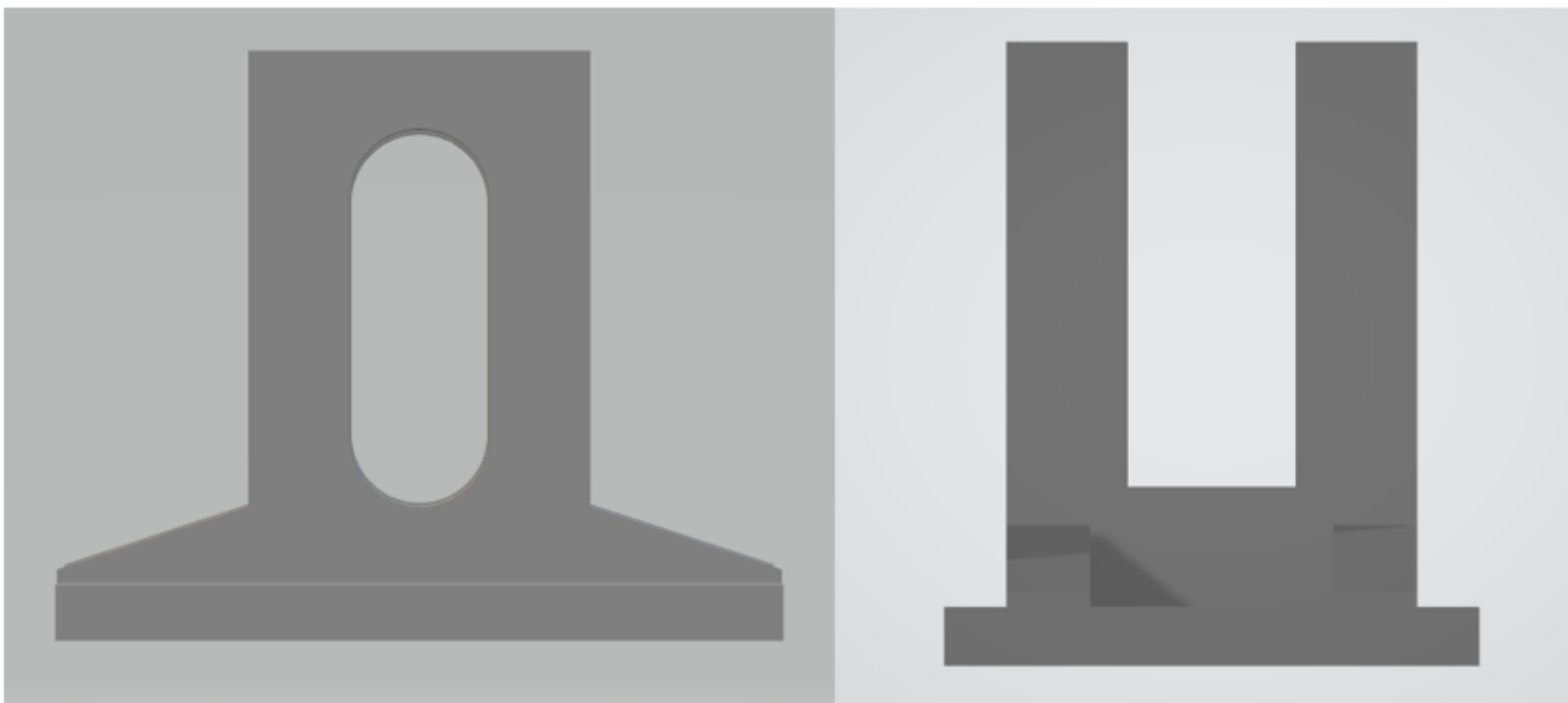
V následujícím kroku bylo potřeba vytvořit z 2D obrázků ve výkresové části samostatný 3D objekt, z něho budou v dalším kroku vygenerována data, využitelná 3D tiskárnou. Pro tyto účely existuje mnoho programů a profesionálních softwarů, které umožňují vytvářet 3D objekty a následně je převádět do vhodných formátů, především exportování do formátu STL. Pro potřeby diplomové práce byl zvolen software Autodesk Inventor Profesional, následně pak došlo k vytvoření samotného držáku a jeho úprav. Ukázku vymodelovaného objektu držáku můžeme vidět níže na obrázku 64. Dále následují půdorys, bokorys a nárys.



Obrázek 56 Vymodelovaný držák pevných vzorků do spektrofotometru



Obrázek 57 3D pohled z vrchu na držák pevných vzorků do spektrofotometru

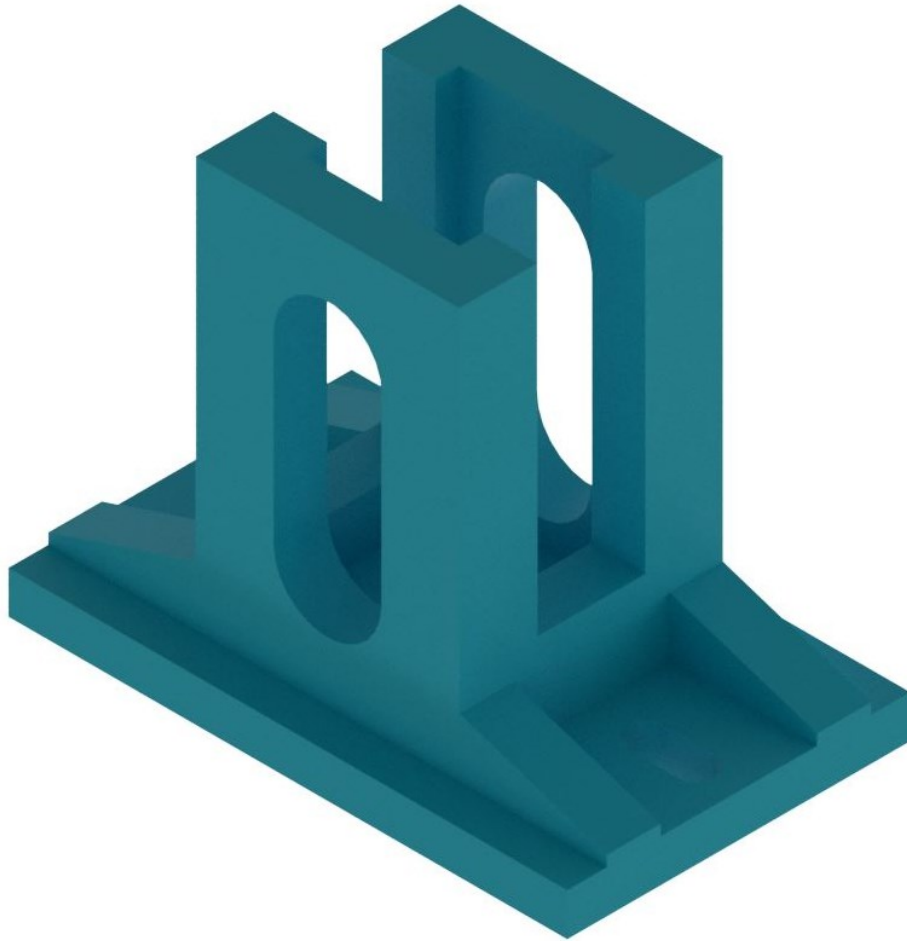


Obrázek 58 3D pohledy na přední a boční část držáku pevných vzorků do spektrofotometru

## 7.5 Export do formátu .STL

Program Autodesk Inventor umožňuje vyexportování našeho modelu ve formátu STL.

Formát .STL se používá pro technologie rychlého prototypování, především pro výrobu trojrozměrných objektů, tzv. stereolitografie. Samotný formát pak obsahuje design použitý jako hlavní model pro vytvoření našeho prototypu. [88]



Obrázek 59 3D objekt ve formátu .STL



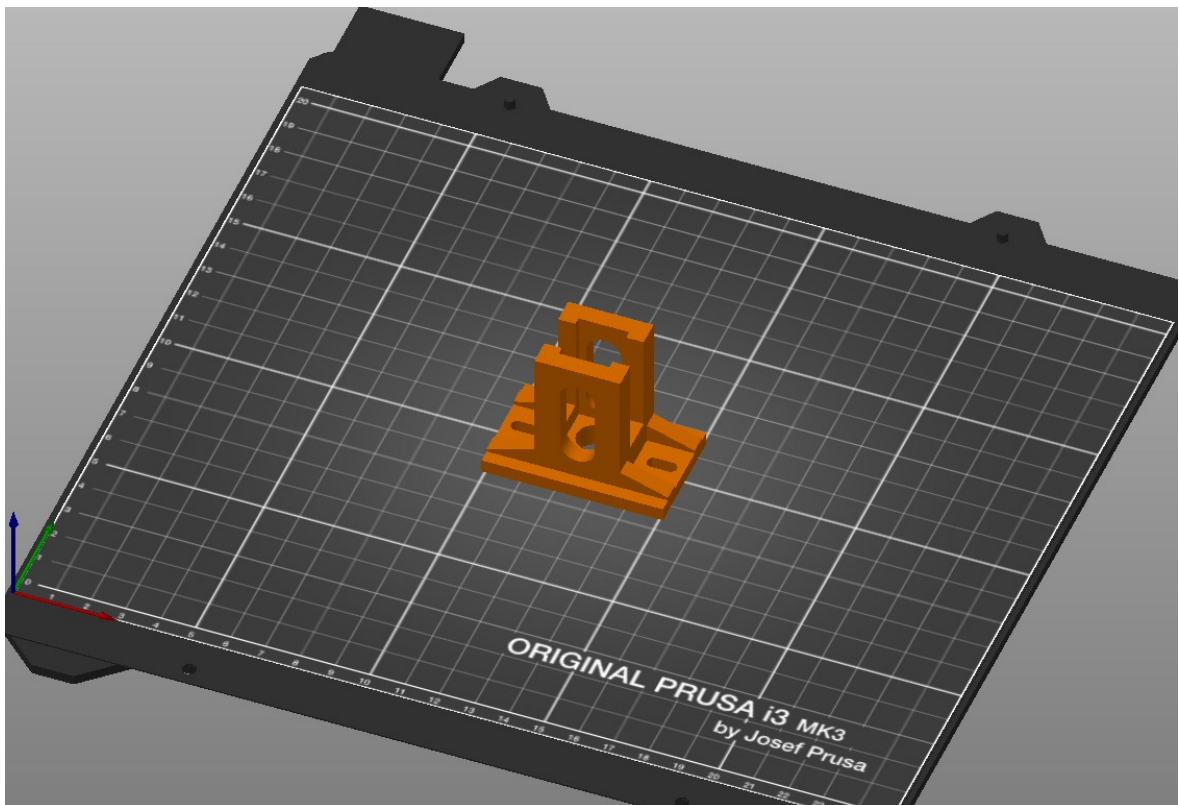
### 7.5.1 Kontrola celistvosti sítě

Pro kontrolu celistvosti sítě vyexportovaného .STL souboru byl zvolen program Autodesk Netfabb Premium, který prověří celistvost vzniklé trojúhelníkové sítě. Po následném načtení a spuštění základních oprav nebyly nalezeny žádné trhliny v modelu, byl tedy v pořádku a připravený na tisk.

## 7.6 Import objektu formátu .STL do 3D tiskárny

### 7.6.1 Umístění objektu na stavěcí plochu

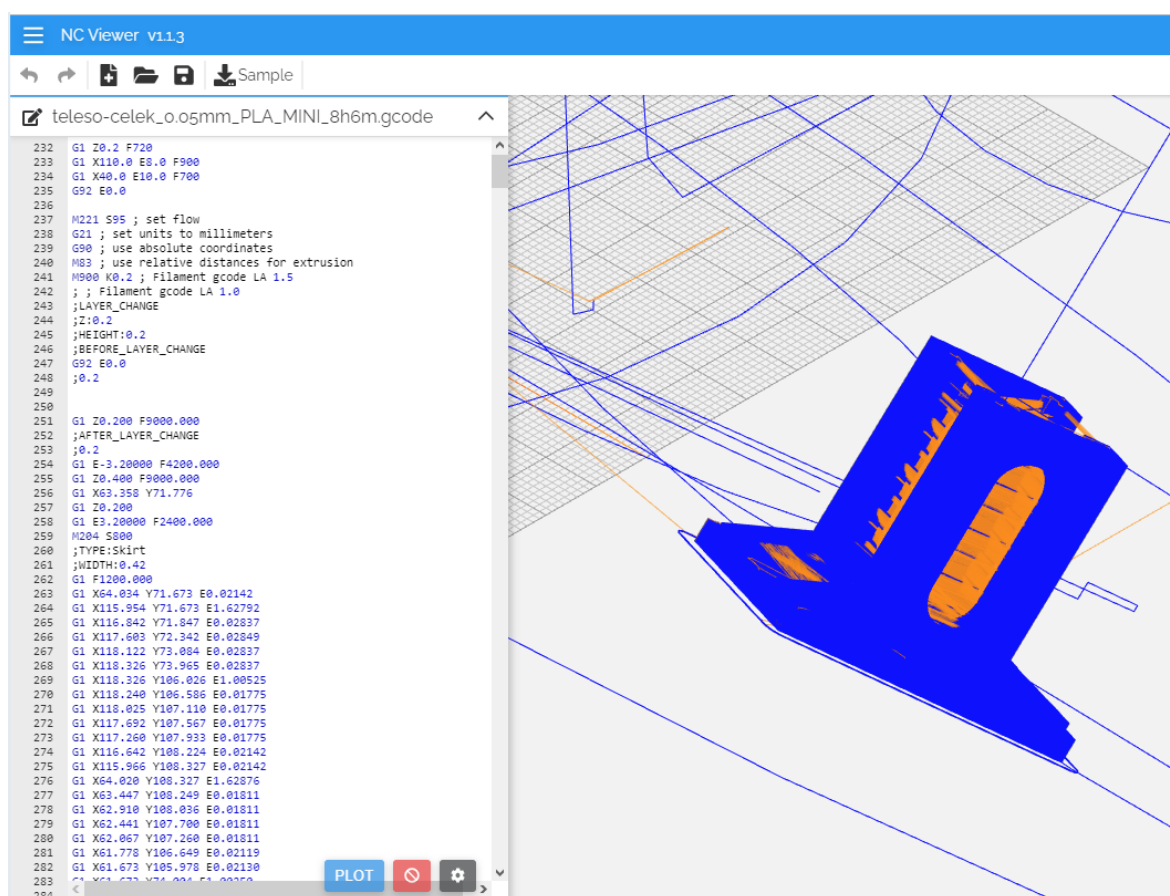
Dalším postupem bylo importování 3D modelu ve formátu .STL do tiskárny. Vzhledem k použitému zařízení, tedy tiskárny Prusa, byl zvolen originální a doporučený software Prusa Slic3r. Došlo k nastavení jednotlivých parametrů tisku, určeného typu materiálu a tvaru tištěné součásti dle předchozích praktických zkušeností s 3D tiskem technologií FDM. Umístění objektu na ploše před samotným tiskem zobrazuje obr. 60.



Obrázek 60 Umístění objektu na virtuální stavěcí ploše

## 7.7 Generování G-kódu pro 3D tiskárnu

Software Prusa Slic3r pro tvorbu 3D objektů nám umožňuje vytvořit tzv. g-kód, dle kterého se samotná tiskárna pohybuje. G-kód představuje programovací jazyk, vytvořený pro obráběcí stroje. Pomocí g-kódu dochází k pohybování a provádění instrukcí obráběcího stroje. Tento postup je společný pro soustruhy, frézky a 3D tiskárny. Liší se jen úrovní specifických příkazů pro jednotlivé operace. [91] V našem případě data obsahovala informace určující směr pohybu tiskové hlavy, tloušťku vrstvy, použitý materiál a informace o teplotách v trysce a podložce. Následně je objekt připraven k přímému tisku.



Obrázek 61 Ukázka G-kódu zobrazeného na stránkách [www.ncviewer.com](http://www.ncviewer.com)

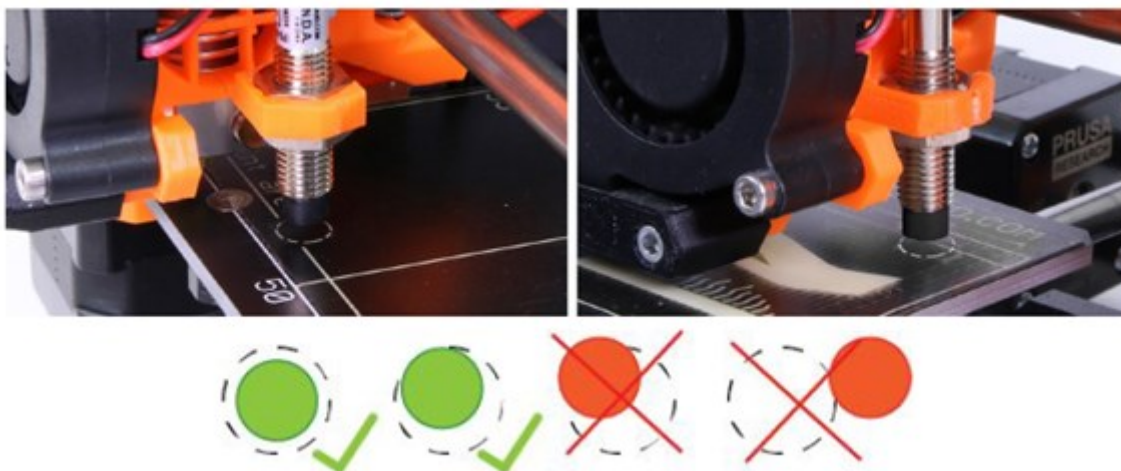
## 7.8 Nastavení 3D tiskárny

### 7.8.1 Příprava tiskové plochy

Tiskovou plochu je před tiskem vhodné očistit od nečistot z minulého tisku a otisků prstů, tímto dojde k nejlepším výsledkům přilnavosti na povrchu. Pokud chceme dosáhnout co nejlepší přilnavosti, je nejlepší volbou 90% izopropylalkohol, dostupný v lékárně. Nebo lze použít denaturovaný alkohol. Jiné roztoky s nižší koncentrací nejsou vhodné vzhledem k obsahu nevhodných chemikálií či oleje. [92]

### 7.8.2 Kalibrování souřadnic XYZ

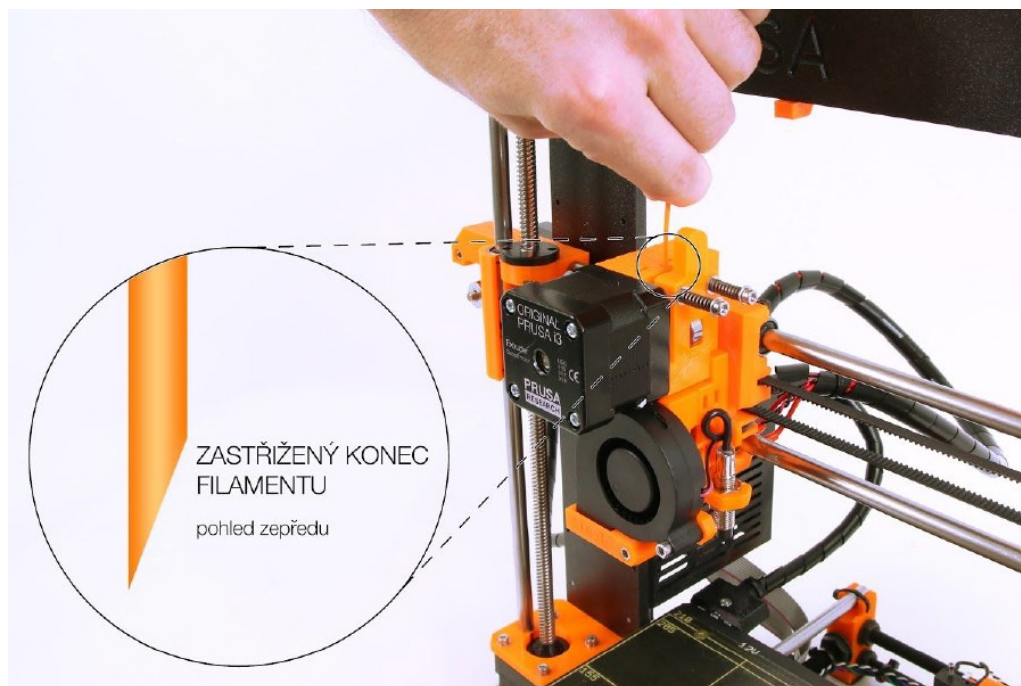
Pro účely korekce zkosení os XY a zaměření pozic všech devíti kalibračních bodů je nutné provést kalibraci souřadnic XYZ, důležitá je korekce osy X, která musí být rovnoběžná s linkami na tiskové ploše. První krok kalibrace představuje vyhledání čtyř kalibračních bodů, aby nedošlo k poškození tiskové plochy tiskovou hlavou. Následuje vyhledání devíti kalibračních bodů, zaměření výšky indukční sondy nad kalibračními body a uložení těchto informací do paměti. Kalibrace i samotné sledování lze nastavením na display tiskárny. [93]



Obrázek 62 Kalibrační sonda se vždy musí nacházet uvnitř kalibračních kroužků [93]

### 7.8.3 Zavedení filamentu do tiskové hlavy

Před zavedením samotného filamentu, představujícího vstupní materiál pro 3D tisk, došlo k úspěšné kalibraci tiskárny, k předehřátí tiskové hlavy a stavební plošiny. Teplota se nastavuje automaticky, dle použitého materiálu. K zavedení filamentu dochází ručně, jakmile dojde k dosažení požadované teploty, tisková hlava sama uchytí filament a zavede jej. Na závěr dojde ke kontrole, zda roztavený filament vytéká z trysky. [94]



Obrázek 63 Zavedení filamentu do tiskové hlavy [93]

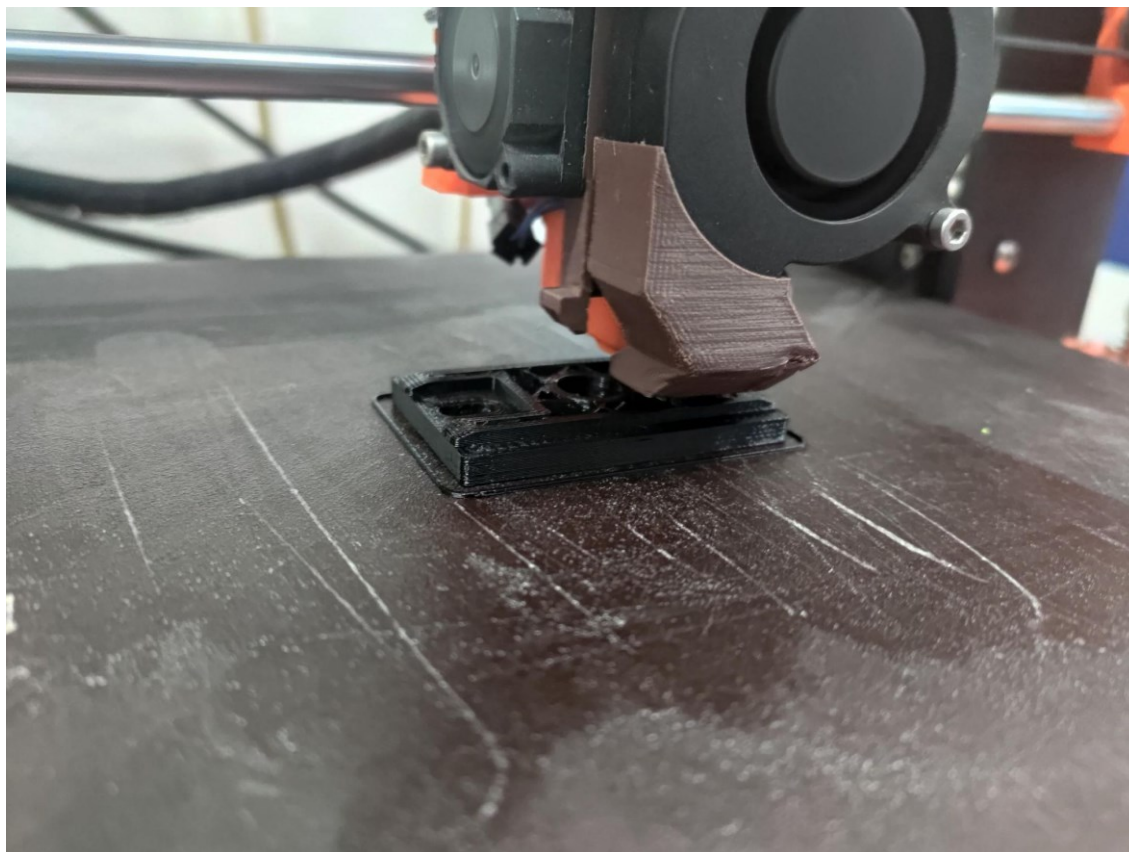
## 7.9 Tisk samotného předmětu

Tiskárna přijala G-kód a započala stavba předmětu, která proběhla bez sebemenších problémů. Samotný tisk trval necelé dvě hodiny, jak lze vidět na obrázku 64. Dále následují fotografie průběhu tisku.

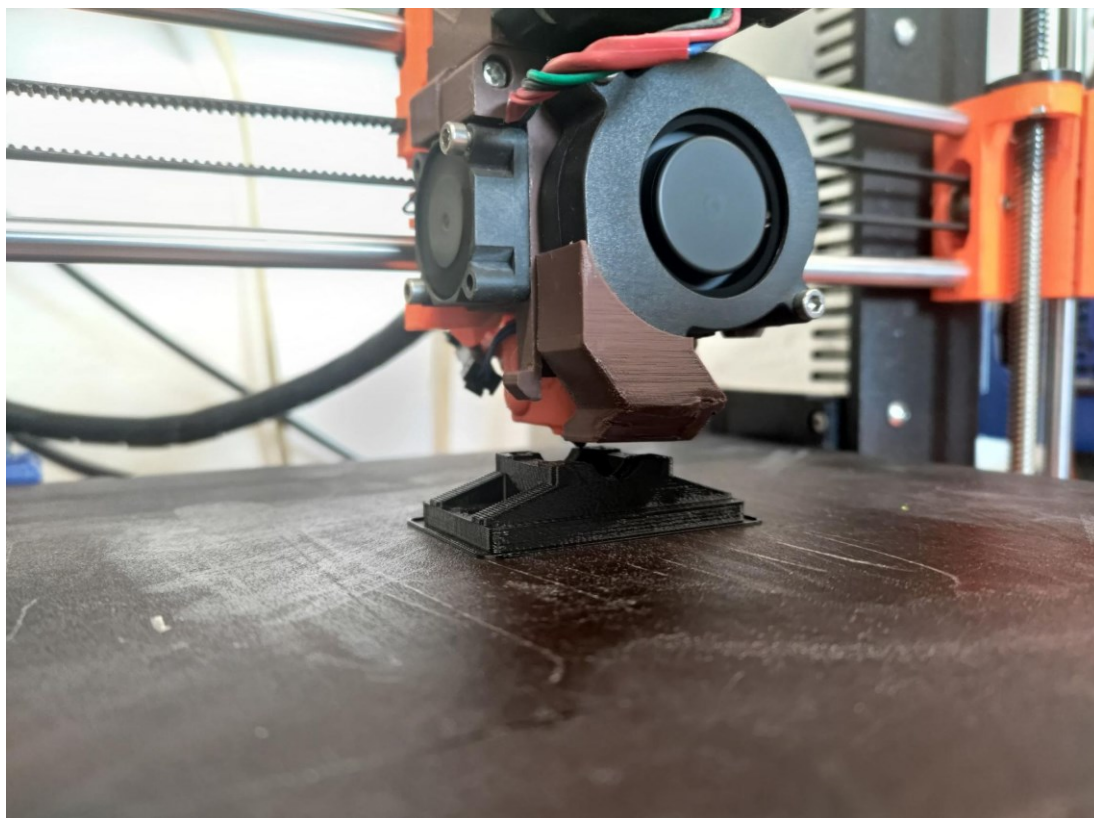


Obrázek 64 Doba trvání tisku

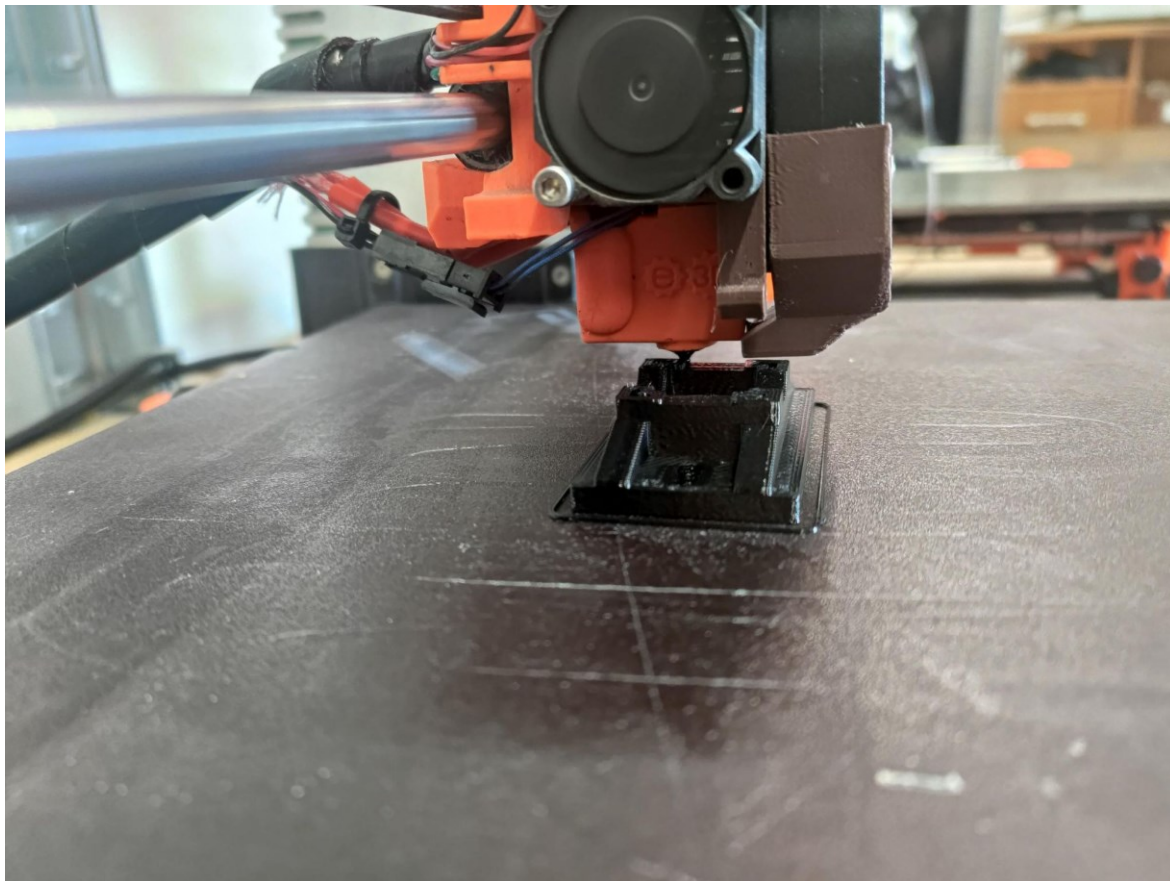




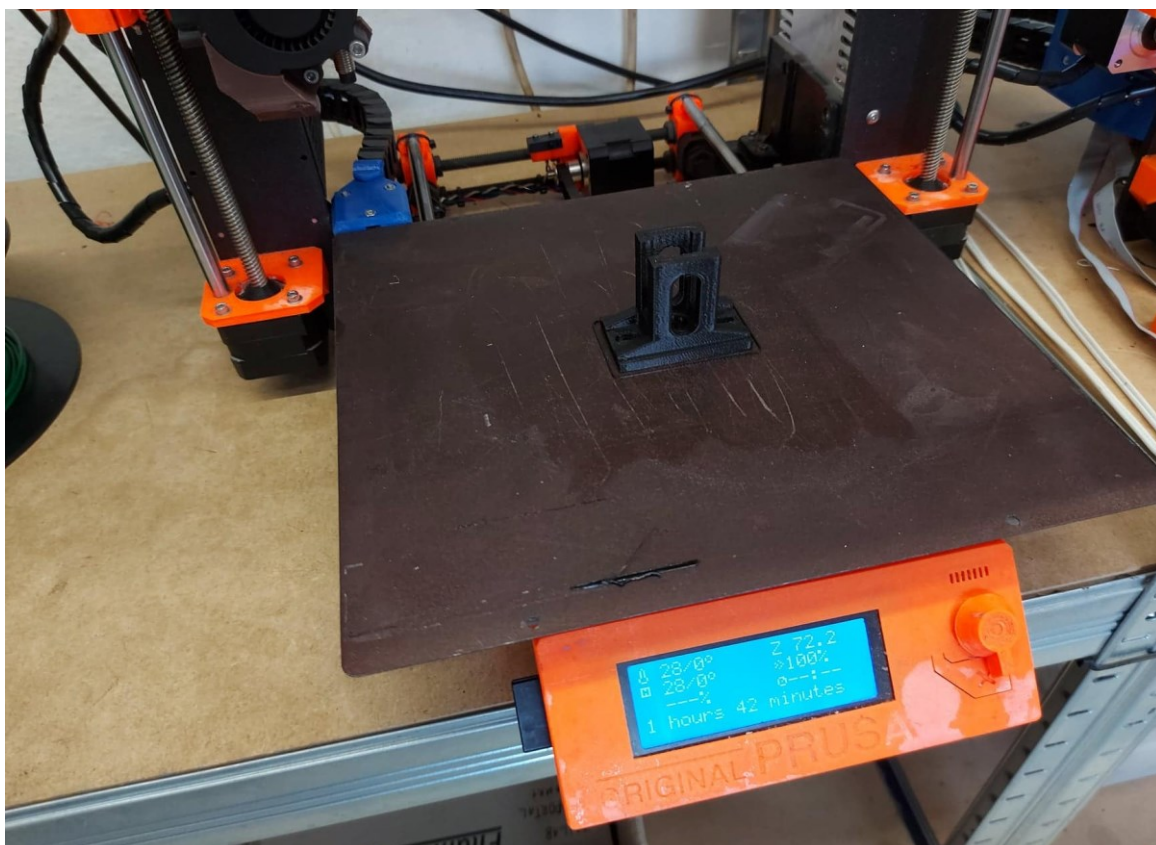
Obrázek 65 Počáteční fáze tisku



Obrázek 66 Tisk zhruba v třetině

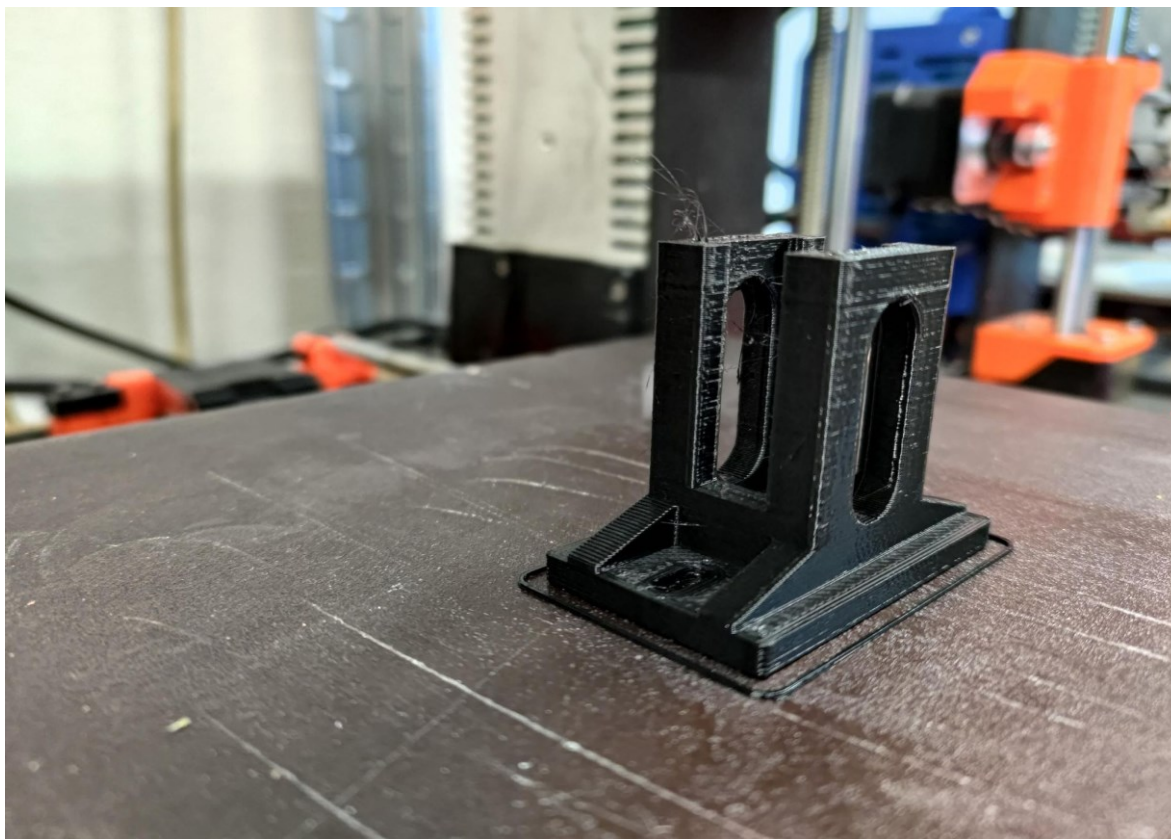


Obrázek 67 Pokračování tisku

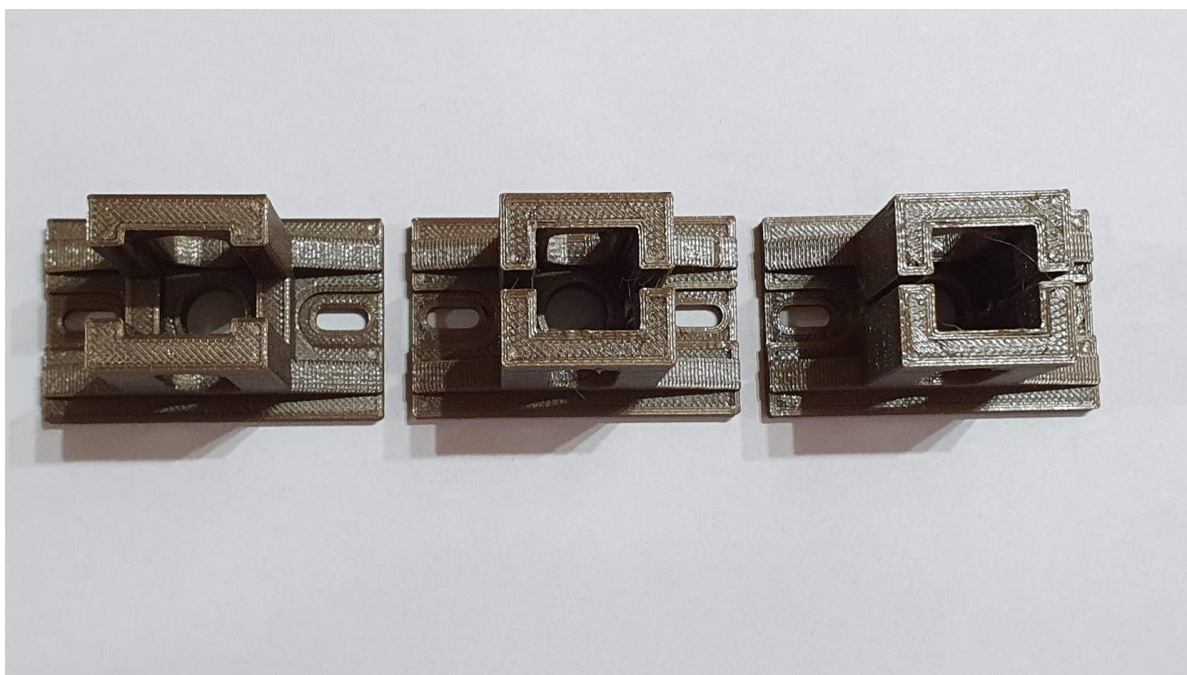


Obrázek 68 Konečná fáze tisku



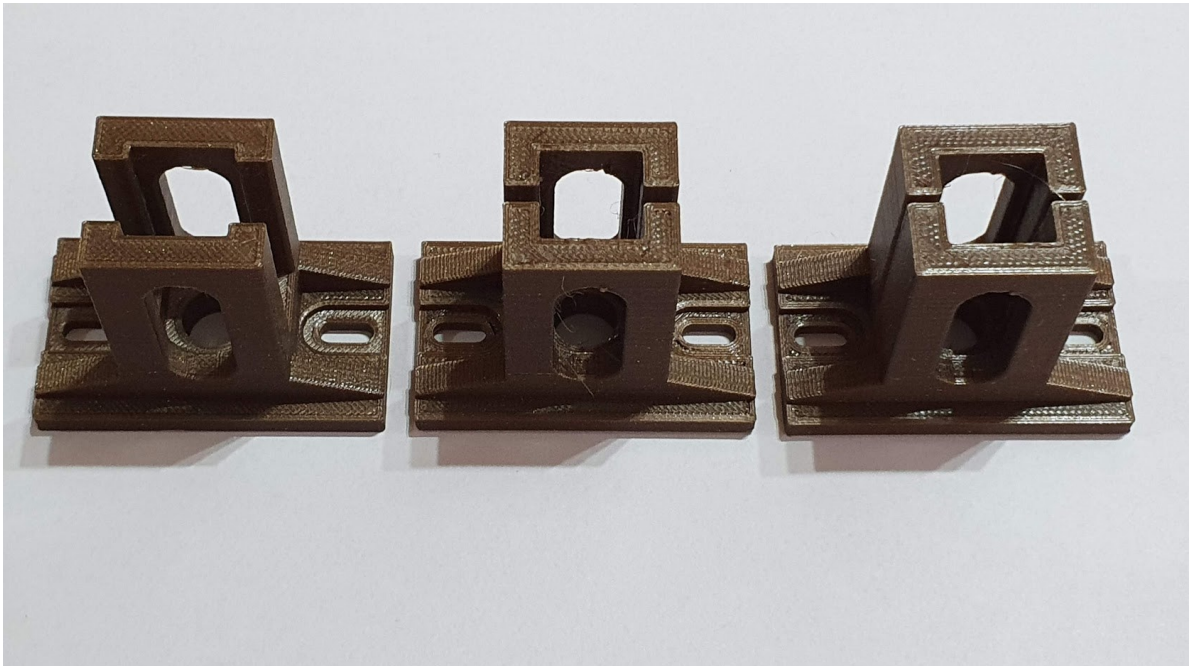


Obrázek 69 Vytisknutý držák pevných vzorků do spektrofotometru

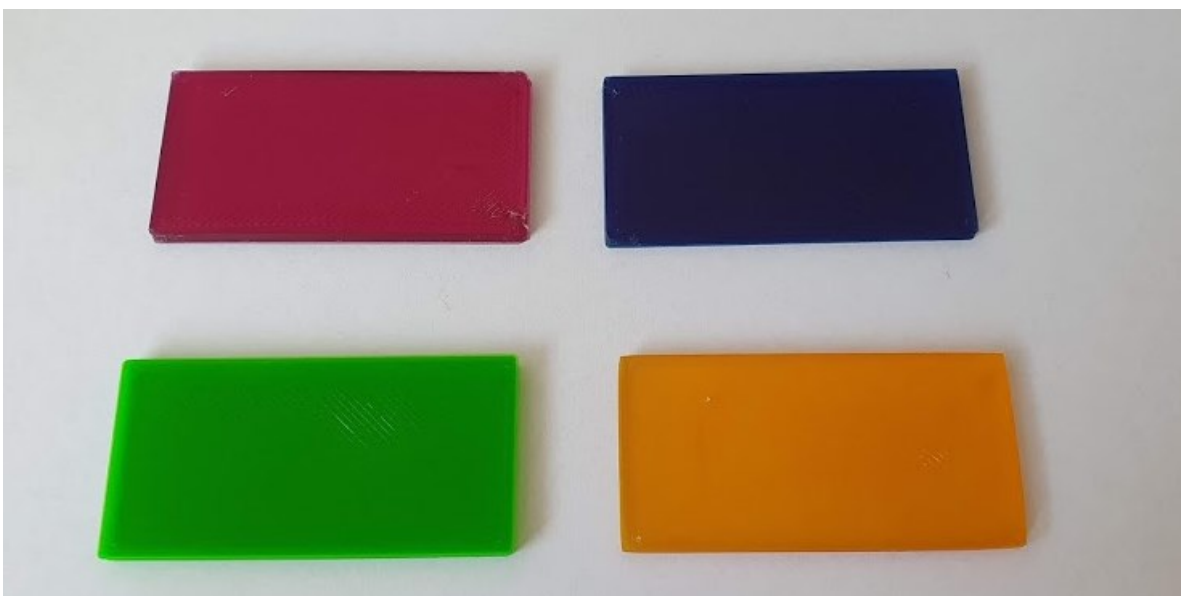


Obrázek 70 Vytisknuté držáky – zleva na kyvety, destičky a papír





Obrázek 71 Vytisknuté držáky – zleva na květy, destičky a papír



Obrázek 72 Vytisknuté destičky (vzorky) do spektrofotometru z materiálu PLA

## 7.10 Otestování

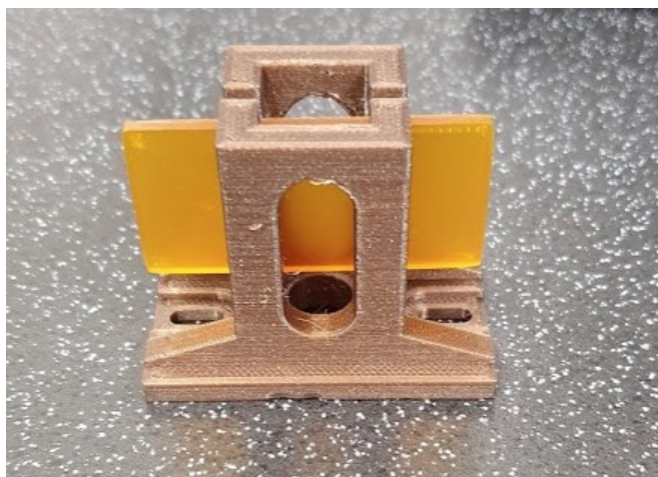
Po dokončení byly objekty odebrány z tiskové plochy a posledním krokem bylo jejich odzkoušení. Každý držák byl následně našroubován na základnu, vložen a odzkoušen přímo ve spektrofotometru (obrázky 73 a 74) v laboratorních podmínkách. Držáky se osvědčily a mohou s přehledem nahradit originál. Otestovány byly i vzorky ve formě destiček, vytisknuté z polymléčné kyseliny (PLA). Jednotlivé barvy byly vybrány tak, aby splňovaly podmínku transparentnosti materiálu a bylo je tedy možné prosvítit paprskem ve spektrofotometru. Tímto držáky i destičky splnily svůj účel.



Obrázek 73 Umístění držáku ve spektrofotometru



Obrázek 74 Detailnější pohled umístění držáku ve spektrofotometru



Obrázek 75 Umístění destičky v držáku

## 7.11 Aplikace a doporučení pro praxi

Cílem diplomové práce bylo najít praktické využití pro 3D tisk v oblastech bezpečnosti a jejího uplatnění. Vytisknuté držáky pevných vzorků spolu s vzorky tento cíl splnily a tvoří jednotnou sadu, která bude sloužit pro praktické účely výuky jak profesorům, tak studentům v laboratořích forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati. Samotné držáky byly koncipovány a tisknuty tak, aby je bylo možné snadno našroubovat nebo vyjmout ze spektrofotometru a vzhledem k umístování vzorků, aby do nich bylo možné vložit různě velký materiál. Jeden držák je tak vhodný pro umístění kyvet, druhý pro samotné destičky s floušťkou do 5 mm a poslední pro velmi úzké předměty, jako jsou křídové papíry apod. Držáky tak poslouží k analyzování různých vzorků, k laboratorním měřením či jiným účelům a najdou si vždy uplatnění. Příslušenství k spektrofotometrům není z nejlevnějších a chceme-li zakoupit takovýto držák v originále, musíme počítat s cenovkou přesahující čtyři tisíce korun, oproti tomu z jedné cívky tiskového materiálu v hodnotě 600 korun lze vytisknout desítky takovýchto držáků. Řešením 3D tisku tak ušetříme i značné finanční prostředky. Navíc, pokud by se držák nedopatřením nebo opotřebením zničil, nebude problém vytisknout zcela nový. Tyto výrobky se tak staly plnohodnotnými produkty vhodnými k aplikování, nahrazující originálně sériově vyráběné modely. Závěrem tak mohu podotknout, že vzhledem k budoucímu využívání ve školních podmínkách a přímo oborů bezpečnostních technologií výrobky splnily svůj účel, jsou vhodné do bezpečnostního prostředí a přímo s ním souvisí.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat uplatnění 3D tisku v různých odvětvích, tykajících se především bezpečnosti, dále navrhnout a vytisknout funkční součást, vhodnou do bezpečnostního prostředí. Úvodní část této práce popisuje obecný postup, kterým si musí každý projít při vytváření nového prototypu, počínaje vytvořením prostorového modelu v některém z CAD softwarů, až po jeho vytištění. Následují postupy a principy nejpoužívanějších aditivních technologií se základními schémata fungování a také jsou probrány jejich nejdůležitější vlastnosti. Hlavní část teoretické práce se zabývá aplikováním tisku v bezpečnostních aplikacích. Jednalo se především o bezpečnost, obranu, zbrojní průmysl, letectví a kosmonautiku, automobilový průmysl, lékařství a elektroniku. V každé oblasti bylo popsáno několik možností využití 3D tisku. Oblastí využití 3D tisku je neskutečně mnoho, důraz byl tedy kladen na nejvíce využívané možnosti, se kterými se lze setkat. Do této fáze včetně je vše probíráno v teoretické rovině.

Praktická část je věnována realizaci prototypu 3D objektu. Jako objekt byl vybrán držák do spektrofotometru spolu s vhodnými vzorky ve formě destiček. Celá sada bude sloužit pro účely výuky v laboratořích FAI na Univerzitě Tomáše Bati. Nejprve byl vytvořen náčrt součástky vhodné pro umístění do spektrofotometru, který byl následně překreslen do výkresové části. V dalším kroku došlo k samotnému vytvoření 3D objektu dle výkresu v programu Autodesk Inventor Professional. Po zhotovení byl objekt vyexportován ve formátu .STL vhodného na tisk a byla ověřena celistvost objektu programem Netfabb Studio, aby tak nedošlo k nečekaným problémům během tisku. Závěr práce obsahuje stručný popis tiskárny Prusa i3, na které byl umožněn tisk součásti. Popsán byl též použitý materiál se základní charakteristikou. Celý průběh tisku byl zdokumentován. Zakončení práce obsahuje popis využití držáku v laboratorním prostředí a dále doporučení pro praxi. Závěrem mohu konstatovat, že 3D tiskárny představují moderní a flexibilní zařízení, díky kterým mohou uživatelé vytvářet velmi zajímavé a praktické objekty, jak v průmyslové praxi, tak při tvorbě náhradních dílů apod. 3D tisk tak v sobě skrývá vysoký potenciál, co se týká uplatnění, a lze tak v budoucnu očekávat stále častější využití.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 3D Printing and International Security: Risks and Challenges of an Emerging Technology [online]. Germany: Peace Research Institute Frankfurt (PRIF) 2017, 2017 [cit. 2020-11-18]. ISBN 978-3-946459-17-0. Dostupné z: [https://www.academia.edu/33215963/3D\\_Printing\\_and\\_International\\_Security\\_Risks\\_and\\_Challenges\\_of\\_an\\_Emerging\\_Technology](https://www.academia.edu/33215963/3D_Printing_and_International_Security_Risks_and_Challenges_of_an_Emerging_Technology)
- [2] STRŽÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. Základy 3D tisku s Josefem Průšou [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [3] ADDITIVE MANUFACTURING FEASIBILITY STUDY & TECHNOLOGY DEMONSTRATION: EDA AM State of the Art & Strategic Report [online]. 2018, June 2018 [cit.2020-11-18]. Dostupné z: [https://eda.europa.eu/docs/default-source/projects/eda-am-study-and-strategic-report\\_v6.pdf](https://eda.europa.eu/docs/default-source/projects/eda-am-study-and-strategic-report_v6.pdf)
- [4] Historie 3D tisku - 3D tiskni.cz. *3D tisk na zakázku | 3d-tiskni.cz* [online]. Copyright © Copyright 2020, 3D [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://3d-tiskni.cz/zkusebni-prispevek-lorem-ipsam-dolor-amet-sit/>
- [5] History of 3D Printing: It's Older Than You Think [Updated]. *Redshift | Exploring the Future of Making* [online]. Copyright © 2021 Autodesk, Inc All Rights Reserved [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>
- [6] SURESH, Ganzi. *PROCESSING AND CHARACTERIZATION OF LENS TM DEPOSITED Co-Cr-W ALLOY FOR BIO-MEDICAL APPLICATIONS* [online]. ANDHRA PRADESH, INDIA, 2019 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/39763469/PROCESSING\\_AND\\_CHARACTERIZATION\\_OF\\_LENS\\_TM\\_DEPOSITED\\_Co\\_Cr\\_W\\_ALLOY\\_FOR\\_BIO\\_MEDICAL\\_APPLICATION](https://www.academia.edu/39763469/PROCESSING_AND_CHARACTERIZATION_OF_LENS_TM_DEPOSITED_Co_Cr_W_ALLOY_FOR_BIO_MEDICAL_APPLICATION)  
S. Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY. DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERINGKONERU LAKSHMAIAH EDUCATION FOUNDATION.
- [7] 3D printing with AutoCad and MakerBot | GrabCAD Tutorials. *GrabCAD: Design Community, CAD Library, 3D Printing Software* [online]. Copyright © 2021 GrabCAD, a STRATASYS solution [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/pictures/files/104258/original.png?1489880421>
- [8] Fusion 360 - Jak upravit STL soubor?. *Inventor 3D blog* [online]. Copyright © Copyright 2012 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.inventor3dblog.cz/fusion360-uprava-stl/>

- [9] 3D tisk: Krok za krokem | FutLab.cc. *FutLab.cc | Umělecká dílna a slévárna* [online]. Dostupné z: <https://futlab.cc/3d-tisk-postup/>
- [10] 3D printing with AutoCad and MakerBot | GrabCAD Tutorials. *GrabCAD: Design Community, CAD Library, 3D Printing Software* [online]. Copyright © 2021 GrabCAD, a STRATASYS solution [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/pictures/files/104261/original.png?1489880247>
- [11] Jak připravit kvalitní a přesný model pro 3D tisk | MůjSolidworks.cz. *MůjSolidworks.cz | Komunitní portál pro uživatele CAD systému SolidWorks* [online]. Copyright © 2021, Mujsolidworks.cz [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mujsolidworks.cz/jak-pripravit-kvalitni-a-presny-model-pro-3d-tisk/>
- [12] Materiály - Prusa Research a.s.. – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. *Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. Copyright © Prusa Research a.s., [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://cdn.prusa3d.com/wp-content/uploads/2019/08/prusament-petg-prusa-orange-1kg.jpg>
- [13] 3DEXPERIENCE Platform. *3DEXPERIENCE Platform* [online]. Dostupné z: <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/material-extrusion>
- [14] Přehled dostupných materiálů. *na3D - 3D tisk pro každého!* [online]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/prehled-dostupnych-materialu>
- [15] Materiály - Prusa Research a.s.. – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. *Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. Copyright © Prusa Research a.s., [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://cdn.prusa3d.com/wp-content/uploads/2019/08/prusament-pla-prusa-galaxy-black-1kg.jpg>
- [16] Zub, játra, dům i hračku. Co ještě zvládne 3D tisk? - Světchytře.cz. *Světchytře.cz - Píšeme o technologiích, které lidem usnadňují život.* [online]. Copyright © 2018 SocialBooster s.r.o. [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.svetchytre.cz/a/iYiAf/zub-jatra-dum-i-hracku-co-jeste-zvladne-3d-tisk>
- [17] 3D PRINTING AND THE FUTURE OF SUPPLY CHAINS: A DHL perspective on the state of 3D printing and implications for logistics [online]. 2016, November 2016 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about\\_us/logistics\\_insights/dhl\\_trendreport\\_3dprinting.pdf](https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_3dprinting.pdf)
- [18] 3D Printer Settings for PLA Filament – A Beginner’s Guide | 3D Printing Today - 3D Printing News and 3D Printing Trends. *3D Printing News and Technology* [online]. Copyright © 2021 3D Printing Today [cit. 16.02.2021]. Dostupné



z: <https://www.3dprintingtoday.com/wp-content/uploads/2020/02/3D-Printer-Settings-for-PLA-Filament.png>

[19] UPrint 3D. [Online] UP Olomouc. [Citace: 18. 11 2020.]

<http://www.uprint3d.cz/materialy-a-technologie/>

[20] 3D tisk – různé cesty, různé možnosti | Technický týdeník. *TT | Technický týdeník* [online]. Copyright © Business Media CZ Nádražní 32, 150 [cit. 15.03.2021].

Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/3d-tisk-ruzne-cesty-ruzne-moznosti\\_50705.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/3d-tisk-ruzne-cesty-ruzne-moznosti_50705.html)

[21] 3D tisk fotopolymerizací | cotu.cz. *3D tisk, výroba prototypů a sériová výroba* | cotu.cz [online]. Copyright © 2021 [cit. 15.03.2021]. Dostupné

z: <https://www.cotu.cz/blog/151/3d-tisk-fotopolymerizaci>

[22] WAHLSTRÖM, Terese. *Additive Manufacturing in Production - for the Automotive Industry* [online]. Lund, Sweden, 2016 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z:

<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=8868478&fileOid=8868479>. Master's Degree. FACULTY OF ENGINEERING LTH | LUND UNIVERSITY.

[23] Materiály a technologie. *UPrint 3D – 3D tisk, aditivní výroba, 3D skenování* [online]. Copyright © Vědeckotechnický park Univerzity Palackého v Olomouci, 2019 [cit.

16.02.2021]. Dostupné z: [http://www.uprint3d.cz/wp-](http://www.uprint3d.cz/wp-content/uploads/2017/03/Slepeck%C3%A11_mapa_%C4%8CR-fotopolymer01-590x332.jpg)

[content/uploads/2017/03/Slepeck%C3%A11\\_mapa\\_%C4%8CR-fotopolymer01-590x332.jpg](http://www.uprint3d.cz/wp-content/uploads/2017/03/Slepeck%C3%A11_mapa_%C4%8CR-fotopolymer01-590x332.jpg)

[24] Selective Laser Sintering - 3D-tisk.cz. *3D-tisk.cz - Vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Copyright © 2019 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

[25] Electron Beam Melting (EBM) | GE Additive. *GE.com | Building a world that works | General Electric* [online]. Copyright © 2021 General Electric [cit. 15.03.2021]. Dostupné

z: <https://www.ge.com/additive/ebm>

[26] 3D Printing Service Rapidsol | Technologies | Direct Metal Laser Printing. *3D Printing Service Rapidsol | Home* [online]. Copyright © Rapidsol. 3D Printing Service.

ALL Rights Reserved. [cit. 16.02.2021]. Dostupné

z: <https://www.rapidsol.org/img/techs/dmp/5.jpg>

[27] S. Scott Crump: Muž, který naučil svět tisknout ve 3D –

Konstrukter.cz. *Konstrukter.cz – CAD/CAM, 3D tisk a konstruování výrobků* [online].

Copyright © 2019 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/s-scott-crump-muz-ktery-naucil-svet-tisknout-ve-3d/>



- [28] Industrial Additive Manufacturing Platform | Markforged. *Industrial Additive Manufacturing Platform | Markforged* [online]. Copyright ©2021 Markforged. All rights reserved. [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://markforged.com>
- [29] Materiály a technologie. *UPrint 3D – 3D tisk, aditivní výroba, 3D skenování* [online]. Copyright © Vědeckotechnický park Univerzity Palackého v Olomouci, 2019 [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: [http://www.uprint3d.cz/wp-content/uploads/2017/03/Ref-Prototyp\\_chladi%C4%8De-ALW\\_industry-960x640.jpg](http://www.uprint3d.cz/wp-content/uploads/2017/03/Ref-Prototyp_chladi%C4%8De-ALW_industry-960x640.jpg)
- [30] Technológia InkJet Printing – 1. časť Úvod do technológie InkJet Printing. *Aktuálne na DPS* [online]. Copyright © 2021 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:38156/technologie-inkjet-printing-1-cast-uvod-do-technologie-inkjet-printing>
- [31] *Materialise | 3D Printing Innovators* [online]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/polyjet>
- [32] PolyJet Parts On Demand | Stratasys Direct. *Stratasys Direct: Manufactured Parts On Demand* [online]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/-/media/direct/polyjet/polyjet-3d-printed-head-model.png?h=530&w=438&la=en&hash=7E002942BACA2A04C3E8A252C8F8E6AD4E5C3B7F>
- [33] Introduction to binder jetting 3D printing | 3D Hubs . *3D Hubs | On-demand Manufacturing: Quotes in Seconds, Parts in Days* [online]. Copyright © 2021 3D HUBS B.V. All rights reserved. [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>
- [34] Binder Jet metal Additive Manufacturing: process chain considerations when moving towards series production - Additiva. [online]. Copyright © 2016 [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <http://www.additivalab.com/wp-content/uploads/2019/11/Binder-jetting2.jpg>
- [35] 3D Printing Processes - Sheet Lamination (Part 8/8). *Electronic Projects, Electrical Engineering Resources and Makers Articles* [online]. Copyright © 2021 WTWH Media LLC. All Rights Reserved. The material on this site may not be reproduced, distributed, transmitted, cached or otherwise used, except with the prior written permission of WTWH Media [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/tech-articles/3d-printing-processes-sheet-lamination-part-8-8/>
- [36] Materiály a technologie. *UPrint 3D – 3D tisk, aditivní výroba, 3D skenování* [online]. Copyright © Vědeckotechnický park Univerzity Palackého v Olomouci, 2019 [cit.

- 16.02.2021]. Dostupné z: <http://www.uprint3d.cz/wp-content/uploads/2017/03/Klad%C3%ADvko-pap%C3%ADr-590x332.jpg>
- [37] Laser Engineered Net Shaping - an overview | ScienceDirect Topics. *ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books*. [online]. Copyright © [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laser-engineered-net-shaping>
- [38] 3D Printed Electronics - Aerosol Jet Technology - Optomec. *Home - Optomec* [online]. Copyright © Copyright Optomec, Inc., 2020 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://optomec.com/printed-electronics/aerosol-jet-technology/>
- [39] Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) – Advantages of Wire AM vs. Powder AM | Additive Manufacturing (AM). *Additive Manufacturing (AM)* [online]. Copyright © 2021 Amazing AM, LLC. All Rights Reserved. Product of California, USA. AMazing [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <http://additivemanufacturing.com/2015/10/14/electron-beam-additive-manufacturing-ebam-advantages-of-wire-am-vs-powder-am/>
- [40] Additive Manufacturing: Making Sense of Laser Metal Deposition and 3D Printing | Fabricating and Metalworking. *Home | The Business of Metal Manufacturing | Fabricating & Metalworking* [online]. Copyright © 2021 Alliance Communications, Inc. All Rights Reserved. [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://fgxfw9tiv7-flywheel.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/07/Picture-3-LMD-HR.jpg>
- [41] Wohlers Report Finds Slower Overall Growth, More Competition in 3D Printing Space | Cadalyst. *Cadalyst | Cadalyst* [online]. Copyright © [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://www.cadalyst.com/hardware/3d-printers/wohlers-report-finds-slower-overall-growth-more-competition-3d-printing-space-3>
- [42] The 3D Printing Industry Will Be Reshaped | Digital Alloys. *Homepage | Digital Alloys - Metal Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2020 Digital Alloys [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://www.digitalalloys.com/wp-content/uploads/2020/05/3D-Printing-Sectors-Pie-Chart.png>
- [43] A Tactical Advantage? Additive Manufacturing in the US Military - Technology and Operations Management. *Harvard Business School Digital Initiative* [online]. Dostupné z: <https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/a-tactical-advantage-additive-manufacturing-in-the-us-military/>
- [44] Fuel3D Showcases 3D Facial Recognition Technology at Goodwood Festival of Speed - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. *3DPrint.com* |

- The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2021 [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprint.com/217672/fuel3d-3d-facial-recognition/>
- [45] This is what 3-D printing in full color looks like. *ZME Science: not exactly rocket science* [online]. Copyright © 2007 [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://www.zmescience.com/other/great-pics/3d-printing-full-colour-0423432/>
- [46] This is what 3-D printing in full color looks like. *ZME Science: not exactly rocket science* [online]. Copyright © 2007 [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2016/01/face.jpg>
- [47] Origin and Chronicled Team Up to Create the First-Of-Its-Kind 3D Printed Sneaker and Luxury Goods Authenticity Tags - 3DPrint.com | *The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*. *3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2021 [cit. 16.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprint.com/125641/3d-printed-authenticity-tags/>
- [48] Blue RFID chip (3D) - evolutionID GmbH. *evolutionID GmbH - Herstellerunabhängige RFID Beratung seit über 20 Jahren* [online]. Copyright © 2021 [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: [https://www.evolutionid.de/wp-content/uploads/2016/10/Fotolia\\_78652509\\_XS.jpg](https://www.evolutionid.de/wp-content/uploads/2016/10/Fotolia_78652509_XS.jpg)
- [49] A “Virtual Wall” That Improves Wireless Security and Performance. *302 Found* [online]. Copyright © 2021 Trustees of Dartmouth College [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://www.dartmouth.edu/press-releases/virtual\\_wall\\_improves\\_wireless\\_security\\_performance.html](https://www.dartmouth.edu/press-releases/virtual_wall_improves_wireless_security_performance.html)
- [50] A “Virtual Wall” That Improves Wireless Security and Performance. *302 Found* [online]. Copyright © 2021 Trustees of Dartmouth College [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.dartmouth.edu/press-releases/images/wiprint.jpg>
- [51] UrbanAlps Receives Prestigious Award for 3D Printed, Copy-Proof Stealth Key - 3DPrint.com | *The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*. *3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2021 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprint.com/136796/urbanalps-stealth-key-award/>
- [52] Novinka v české republice Stealth Key. *LOCKPICKERS.CZ Lockpicking , Lockpickeři* [online]. Copyright © lockpickers.cz [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <http://www.lockpickers.cz/images/CLANKY/st5.jpg>
- [53] SlidX Announces New Surveillance and Security Drone, the Black Manta Air - 3DPrint.com | *The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*. *3DPrint.com | The*

- Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2021 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprint.com/157141/slidx-announces-black-manta-air/>
- [54] Store Slidx. *Store Slidx* [online]. Copyright © 2021 Slidx. Tous droits réservés. [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <http://store.slidx.com/wp-content/uploads/2017/06/black-manta-air-400.png>
- [55] R.A.M.B.O. is a 3D Printed Grenade Launcher Made by U.S. Army | All3DP. *All3DP | World's #1 3D Printing Magazine* [online]. Dostupné z: <https://all3dp.com/3d-printed-grenade-launcher-rambo/>
- [56] R.A.M.B.O. is a 3D Printed Grenade Launcher Made by U.S. Army | All3DP. *All3DP | World's #1 3D Printing Magazine* [online]. Dostupné z: [https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2017/03/27031255/Fig1\\_RAMBO.jpg](https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2017/03/27031255/Fig1_RAMBO.jpg)
- [57] 3D Printing Skin: The Most Promising Projects | All3DP. *All3DP | World's #1 3D Printing Magazine* [online]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printing-skin-the-most-promising-projects/>
- [58] L'Oréal uses EpiSkin, lab-grown skin, to combat animal testing. *Mic | Breaking News, Opinion, Reviews, Analysis* [online]. Dostupné z: <https://imgix.mic.com/mic/rnwzpf25hctntxtaza4mhfovwxasvrj1uoean0nztkgmbao5yepzohpqddhhr.jpg?w=646&fit=max&auto=format%2Ccompress>
- [60] Patterson, A.E., Collopy, P.D., & Messimer, S.L. (2015). State-of-the-Art Survey of Additive Manufacturing Technologies, Methods, and Materials. Technical Report (UAH 2015-06). Huntsville, Alabama: University of Alabama in Huntsville. DOI: 10.13140/RG.2.2.33894.47684/1.
- [61] CUNNINGHAM, Victor, Christopher A. SCHRADER a James YOUNG. *NAVY ADDITIVE MANUFACTURING: ADDING PARTS, SUBTRACTING STEPS* [online]. MONTEREY, CALIFORNIA, 2015 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/36737944.pdf>. MBA PROFESSIONAL REPORT. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL.
- [62] Norsk Titanium to Deliver the World's First FAA-Approved, 3D-Printed, Structural Titanium Components to Boeing | Business Wire. [online]. Copyright © 2021 Business Wire, Inc. [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://mms.businesswire.com/media/20170410005330/en/579985/4/RPD\\_Finished\\_787\\_Component.jpg?download=1](https://mms.businesswire.com/media/20170410005330/en/579985/4/RPD_Finished_787_Component.jpg?download=1)

- [63] GE Signs 5-year Agreement With DOE To Improve 3D Printing | WVXU. *WVXU | WVXU & WMUB Connecting you to a world of ideas.* [online]. Copyright © 2021 WVXU [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://mediad.publicbroadcasting.net/p/wvxu/files/styles/x\\_large/public/201910/leap\\_fuel\\_nozzle\\_1\\_1.jpg](https://mediad.publicbroadcasting.net/p/wvxu/files/styles/x_large/public/201910/leap_fuel_nozzle_1_1.jpg)
- [64] NASA. *NASA* [online]. Copyright © 2011 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full\\_width\\_feature/public/\\_elg6172.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/_elg6172.jpg)
- [65] Redwood, Ben. Additive Manufacturing Technologies: An Overview. 3D HUBS. [Online] [Citace: 18. 11. 2020.] <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additivemanufacturing-technologies-overview>
- [66] Additive manufacturing: Building the future [online]. U.S. Department of energy, 2019 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/2019-OTT-Additive-Manufacturing-Spotlight\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/2019-OTT-Additive-Manufacturing-Spotlight_0.pdf)
- [67] Why is Formula 1 turning to 3D printing? - 3Dnatives. *Impression 3D et Imprimante 3D : Meilleur Prix, Comparatif, News* [online]. Copyright © 3Dnatives 2021 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Formula1\\_2.jpg](https://www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Formula1_2.jpg)
- [68] Why is Formula 1 turning to 3D printing? - 3Dnatives. *Impression 3D et Imprimante 3D : Meilleur Prix, Comparatif, News* [online]. Copyright © 3Dnatives 2021 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Formula1\\_3.jpg](https://www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Formula1_3.jpg)
- [69] Bugatti - World premiere: brake caliper from 3-D printer. *Official BUGATTI Automotive Website* [online]. Copyright © [cit. 18.02.2021]. Dostupné z: <https://www.bugatti.com/media/news/2018/world-premiere-brake-caliper-from-3-d-printer/>
- [70] Bugatti - World premiere: brake caliper from 3-D printer. *Official BUGATTI Automotive Website* [online]. Copyright © [cit. 18.02.2021]. Dostupné z: [https://www.bugatti.com/fileadmin/\\_processed\\_/sei/p110/se-image-cdedb5c52ecac8a7a5d9d8714d87476a.webp](https://www.bugatti.com/fileadmin/_processed_/sei/p110/se-image-cdedb5c52ecac8a7a5d9d8714d87476a.webp)
- [71] 3D Printing in Medical Industry: Organs and Medical Parts. [online]. Copyright © 2009 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/applications/medical/>

- [72] CEO Receives First 3D Printed MFH Crown from Own Company - 3D Printing Industry. *3D Printing Industry-The Authority on 3D Printing & Additive Manufacturing* [online]. Copyright © Copyright 2017 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/ceo-receives-first-3d-printed-micro-filled-hybrid-crown-from-own-company-65286/>
- [73] CEO Receives First 3D Printed MFH Crown from Own Company - 3D Printing Industry. *3D Printing Industry-The Authority on 3D Printing & Additive Manufacturing* [online]. Copyright © Copyright 2017 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2016/01/3D-scan-of-teeth-for-Vertex-Dental-NextDent-3D-printed-crown.jpg>
- [74] 3D Printable Implants: the Future of Meniscus Repair? | Mr Jonathan Webb. *Welcome | Mr Jonathan Webb* [online]. Copyright © Copyright [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <http://www.mrjonathanwebb.co.uk/3d-printable-implants-future-meniscus-repair/>
- [75] 3D Printable Implants: the Future of Meniscus Repair? | Mr Jonathan Webb. *Welcome | Mr Jonathan Webb* [online]. Copyright © Copyright [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <http://www.mrjonathanwebb.co.uk/wp-content/uploads/2017/05/Meniscus-repair-with-3D-printed-cartilage.jpg>
- [76] 3D-Printed Titanium Advances on the Medical World. *Redshift | Exploring the Future of Making* [online]. Copyright © 2021 Autodesk, Inc All Rights Reserved [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://redshift.autodesk.com/3d-printed-titanium/>
- [77] 3D-Printed Titanium Advances on the Medical World. *Redshift | Exploring the Future of Making* [online]. Copyright © 2021 Autodesk, Inc All Rights Reserved [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://cdn.redshift.autodesk.com/2016/05/novax-cranial-implant.jpg>
- [78] Prosthetics firm targets NHS with affordable 3D-printed super hero arms. *News, Trends And Analysis of The UK Access and Mobility Industry* [online]. Copyright © 2018 Promedia Publishing Ltd All Rights Reserved. [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.accessandmobilityprofessional.com/prosthetics-firm-targets-nhs-affordable-3d-printed-super-hero-arms/>
- [79] Prosthetics firm targets NHS with affordable 3D-printed super hero arms. *News, Trends And Analysis of The UK Access and Mobility Industry* [online]. Copyright © 2018 Promedia Publishing Ltd All Rights Reserved. [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.accessandmobilityprofessional.com/wp-content/uploads/2018/06/open-bionics-arm-4-768x644.jpg>

- [80] 3D printing electronics: Transforming the electronic industry. [online]. Copyright © 2009 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/applications-of-3d-printing/3d-printing-electronics/>
- [81] LEIGH, Simon J., Robert J. BRADLEY, Christopher P. PURSSELL, Duncan R. BILLSON, David A. HUTCHINS a Jeongmin HONG. A Simple, Low-Cost Conductive Composite Material for 3D Printing of Electronic Sensors. *PLoS ONE* [online]. 2012, 7(11) [cit. 2021-02-17]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0049365
- [82] 3D tiskárna Voxel8 vytiskne funkčního drona včetně obvodů | cdr.cz. *cdr.cz - Vybráno z IT* [online]. Copyright © 1998 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://cdr.cz/sites/default/files/styles/large/public/voxel8\\_3dprinter\\_02.jpg?itok=RtDyLVlq&c=64ed84f6699cbc78eb28375ba3273bca](https://cdr.cz/sites/default/files/styles/large/public/voxel8_3dprinter_02.jpg?itok=RtDyLVlq&c=64ed84f6699cbc78eb28375ba3273bca)
- [83] ESPERA, Alejandro H., John Ryan C. DIZON, Qiyi CHEN a Rigoberto C. ADVINCULA. 3D-printing and advanced manufacturing for electronics. *Progress in Additive Manufacturing* [online]. 2019, 4(3), 245-267 [cit. 2021-02-17]. ISSN 2363-9512. Dostupné z: doi:10.1007/s40964-019-00077-7
- [84] Printing tiny batteries | Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences. *Home Page | Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences* [online]. Copyright © 2021 President and Fellows of Harvard College [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.seas.harvard.edu/sites/default/files/images/news/lewis-battery-horiz-500px.jpg>
- [85] Conformal printing of 3D electrically small antennas. *Nanotechnology and Emerging Technologies News from Nanowerk* [online]. Copyright © [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.nanowerk.com/spotlight/id19989.jpg>
- [86] BOGUE, Robert. 3D printing: an emerging technology for sensor fabrication. *Sensor Review* [online]. 2016, 36(4), 333-338 [cit. 2021-02-17]. ISSN 0260-2288. Dostupné z: doi:10.1108/SR-07-2016-0114
- [87] Fully 3D-printed quantum dot LEDs. *Nanotechnology and Emerging Technologies News from Nanowerk* [online]. Copyright © [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: [https://www.nanowerk.com/spotlight/id37985\\_2.jpg](https://www.nanowerk.com/spotlight/id37985_2.jpg)
- [88] Original Prusa i3 MK3S+ - Prusa Research a.s.. – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. *Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. Copyright © Prusa

Research a.s., [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/original-prusa-i3-mk3/>

[89] PETG | Filament PM. *Tiskové struny do 3D tiskáren | Filament PM* [online].

Copyright © 2021 Plasty Mladeč [cit. 30.03.2021]. Dostupné z: <https://www.filament-pm.cz/petg>

[90] STL - 3D-tisk.cz. *3D-tisk.cz - Vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Copyright © 2019 [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/stl/>

[91] macmatic - Váš dodavatel CNC obráběcích strojů a příslušenství - macmatic - Váš dodavatel CNC obráběcích strojů a příslušenství. *macmatic - Váš dodavatel CNC obráběcích strojů a příslušenství* [online]. Copyright © 2015 macmatic [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: <https://www.macmatic.cz/component/content/article/40-technicke-clanky/66-k-cemu-slouzi-g-kody-a-m-kody>

[92] Prusa Knowledge Base. *Prusa Knowledge Base* [online]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/problemy-s-prvni-vrstvou\\_1804](https://help.prusa3d.com/cs/article/problemy-s-prvni-vrstvou_1804)

[93] Příručky pro nové uživatele MK3S - Prusa Research a.s.. – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. *Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. Copyright © Prusa Research a.s., [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d\\_manual\\_mk3s\\_cz.pdf](https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3s_cz.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CAD	Computer Aided Design
FDM	Fused Deposition Modeling
FFM	Fused Filament Modelling
MEM	Melted and Extruded Modelling
FFF	Fused Filament Fabrication
SLA	Stereolitografie
DLP	Digital Light Processing
MJ	Material Jetting
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PP	Polypropylen
BJ	Binder Jetting
LS	Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
SHS	Selective Heat Sintering
DMLS	Direct metal laser sintering
SLM	Selective Laser Melting
LBM	Laser Beam Melting
DMP	Direct Metal Printing
LMF	Laser Metal Fusion
DED	Directed Energy Deposition
LMD	Laser Metal Deposition
LENS	Laser Engineered Net Shaping
DLF	Directed Light Fabrication
DMD	Direct Metal Deposition
SL	Sheet Lamination
LOM	Laminated Object Manufacture
RepRap	Replicating Rapid Prototyper
PLA	Polylaktid Acid
ASA	Acrylonitril-styrén-acrylát
HIPS	High Impact Polystyrene
PVA	Polyvinylalkohol
PET	Polyethylentereftalát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Model vytvořený pomocí programu Autodesk AutoCAD [7] .....	13
Obrázek 2 Model ve formátu .STL v programu MakerBot Print [10].....	14
Obrázek 3 3D tisk s PLA tiskovou strunou [12].....	15
Obrázek 4 Předmět před a po dokončení povrchové úpravy [2] .....	16
Obrázek 5 Princip aditivní výroby [2] .....	17
Obrázek 6 PLA je nejčastěji používaným materiálem pro 3D tisk [15].....	18
Obrázek 7 PETG je velmi houževnatý materiál s dobrou tepelnou odolností [18] .....	19
Obrázek 8 Základní schéma procesu fotopolymerizace pomocí technologie SLA [22] .....	22
Obrázek 9 Slepcké mapa vytištěná metodou fotopolymerizace [23].....	22
Obrázek 10 Základní schéma procesu fúze práškového lože s využitím technologie SLS, DMLS nebo SLM [22].....	24
Obrázek 11 Kovová součást vytvořená pomocí aditivní technologie DMLS [26].....	24
Obrázek 12 Základní schéma procesu vytlačování materiálu pomocí technologie FDM [22] .....	26
Obrázek 13 Prototyp chladiče vzniklý metodou FDM [29] .....	26
Obrázek 14 Základní schéma procesu tryskání materiálu – Material Jetting [22] .....	28
Obrázek 15 Model hlavy vytisknutý technikou PolyJet [32] .....	29
Obrázek 16 Základní schéma procesu tryskání pojiva -Binder Jetting [22].....	31
Obrázek 17 Sériová výroba součásti pomocí procesu tryskání pojiva -Binder Jetting [34]	31
Obrázek 18 Základní schéma procesu laminování plechu pomocí technologie Sheet lamination [22].....	33
Obrázek 19 Laminovaná rukojeť kladiva [36].....	33
Obrázek 20 Základní schéma procesu usměrněné depozice energie [22] .....	35
Obrázek 21 Dodatečný tisk pomocí LMD na již vytvořenou součást [40] .....	36
Obrázek 22 Procentuální rozdělení využívání 3D tisku podle sektorů z roku 2020 [42].....	37
Obrázek 23 3D vytištěná replika obličeje [46] .....	39
Obrázek 24 RFID čip vyrobený pomocí 3D tisku [48] .....	39
Obrázek 25 Zvýšení signálu a zabezpečení pomocí Wifi reflektorů [50] .....	40
Obrázek 26 Bezpečnostní klíč Stealth Key [52] .....	41
Obrázek 27 Bezpečnostní a sledovací dron Black Manta Air [54].....	42
Obrázek 28 Granátomet M203 RAMBO vytištěný na 3D tiskárně [56] .....	43
Obrázek 29 Buněčné kultury k produkci lidské tkáně a rekonstruovaná lidská tkáň [58] ..	43
Obrázek 30 potraviny vytvořené aditivní výrobou [59] .....	44
Obrázek 31 Konstrukční titanový komponent pro Boeing 787 Dreamliner [62] .....	46
Obrázek 32 Společnost GE vyrábí palivovou trysku pomocí aditivní výroby [63].....	46

Obrázek 33 3D tiskárna mezinárodní vesmírné stanice [64].....	47
Obrázek 34 3D tištěné monopulsní anténní pole [65] .....	48
Obrázek 35 Hydraulické potrubí týmu Renaul F1 vyrobené pomocí CNC obrábění a svařování (nahore) a pomocí SLA (dole) [67].....	50
Obrázek 36 Elektronické chladicí potrubí z nylonu vyztuženého uhlíkovými vlákny týmu Renault F1 [68].....	50
Obrázek 37 Brzdový třmen společnosti Bugatti vzniklý aditivní výrobou [70].....	51
Obrázek 38 3D skenování zubů a výroba korunek [73] .....	53
Obrázek 39 Jak může vypadat 3D tisknutelný materiál napodobující chrupavku [75].....	53
Obrázek 40 Kraniální implantát [77].....	54
Obrázek 41 Bionická 3D ruka [79].....	54
Obrázek 42 Nová forma plastu, který vede elektřinu tzv. carbomorph [82] .....	56
Obrázek 43 Prokládaný svazek elektrod, které byly 3D tištěny vrstvu po vrstvě za účelem vytvoření pracovní anody a katody mikrobaterie [84].....	57
Obrázek 44 Optický obraz antény během procesu tisku z nanočástic stříbra. [85].....	58
Obrázek 45 Součásti 3D mikroelektroniky, včetně kondenzátorů, induktorů a rezistorů [86] .....	59
Obrázek 46 3D tištěné vícerozměrné pole vestavěných QD-LED [87].....	59
Obrázek 47 Místo vložení držáku do spektrofotometru .....	61
Obrázek 48 Tiskárna Prusa i3 MK3 .....	63
Obrázek 49 Materiál PETG [89].....	63
Obrázek 50 Náčrt půdorysu držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	64
Obrázek 51 Náčrt nárysu držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	64
Obrázek 52 Překreslený půdorys držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	65
Obrázek 53 Překreslený nárys držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	66
Obrázek 54 Překreslený bokorys držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	67
Obrázek 55 3D pohled držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	68
Obrázek 56 Vymodelovaný držák pevných vzorků do spektrofotometru .....	69
Obrázek 57 3D pohled z vrchu na držák pevných vzorků do spektrofotometru .....	70
Obrázek 58 3D pohledy na přední a boční část držáku pevných vzorků do spektrofotometru .....	71
Obrázek 59 3D objekt ve formátu .STL .....	72
Obrázek 60 Umístění objektu na virtuální stavěcí ploše .....	73
Obrázek 61 Ukázka G-kódu zobrazeného na stránkách www.ncviewer.com .....	74
Obrázek 62 Kalibrační sonda se vždy musí nacházet uvnitř kalibračních kroužků [93].....	75
Obrázek 63 Zavedení filamentu do tiskové hlavy [93].....	76
Obrázek 64 Doba trvání tisku .....	76

---

Obrázek 65 Počáteční fáze tisku .....	77
Obrázek 66 Tisk zhruba v třetině.....	77
Obrázek 67 Pokračování tisku .....	78
Obrázek 68 Konečná fáze tisku .....	78
Obrázek 69 Vytištěný držák pevných vzorků do spektrofotometru .....	79
Obrázek 70 Vytištěné držáky – zleva na kyvety, destičky a papír .....	79
Obrázek 71 Vytištěné držáky – zleva na kyvety, destičky a papír .....	80
Obrázek 72 Vytištěné destičky (vzorky) do spektrofotometru z materiálu PLA .....	80
Obrázek 73 Umístění držáku ve spektrofotometru .....	81
Obrázek 74 Detailnější pohled umístění držáku ve spektrofotometru.....	82
Obrázek 75 Umístění destičky v držáku .....	82

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD s elektronickou verzí práce včetně výkresové dokumentace a jednotlivých STL souborů

Příloha P II: Výkresová dokumentace – držák pevných vzorků do spektrofotometru typu kyvety

Příloha P III: Výkresová dokumentace – držák pevných vzorků do spektrofotometru typu destičky

Příloha P IV: Výkresová dokumentace – držák pevných vzorků do spektrofotometru typu papír

Příloha P V: Výkresová dokumentace – 3D pohledy držáku pevných vzorků do spektrofotometru typu kyvety

Příloha P VI: Výkresová dokumentace – 3D pohledy držáku pevných vzorků do spektrofotometru typu destičky

Příloha P VII: Výkresová dokumentace – 3D pohledy držáku do pevných vzorků spektrofotometru typu papír

