



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Prognóza 3D tisku se zaměřením na zdravotnictví

Forecast of 3D printing with a Focus on Healthcare

# **STUDIJNÍ PROGRAM**

Projektové řízení inovací v podniku

# **VEDOUcí PRÁCE**

Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prebylova** Jméno: **Natalia** Osobní číslo: **503134**  
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**  
Zadávací katedra/ústav: **Institut ekonomických studií**  
Studijní program: **Projektové řízení inovací**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Prognóza 3D tisku se zaměřením na zdravotnictví**

Název diplomové práce anglicky:

**3D Printing Forecast with a Focus on Healthcare**

Pokyny pro vypracování:

Diplomant provede analýzu 3D tisku segmentu včetně jeho dílčích částí (zdravotnictví).  
Případová studie bude obsahovat rozbor nejúspěšnějších firem např. Prusa Research, HP aj.  
pomocí elektronických zdrojů informací.

Seznam doporučené literatury:

Štědroň B. a kol.: Prognostické metody a jejich aplikace, C.H.BECK, Praha 2012  
Štědroň B. a kol.: Prognostika, C.H.BECK Praha 2019  
Štědroň B. a kol.: Právo a umělá inteligence, A. Čeněk, Praha 2020

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **05.01.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **17.02.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Mgr. František Hřebík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

PREBYLOVA, Natalia. Prognóza 3D tisku se zaměřením na zdravotnictví. Praha: ČVUT 2023. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV  
VYŠŠÍCH STUDIÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citovala a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 13. 02. 2023

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji především vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Zmatlíkovi, Ph. D, a odbornému konzultantovi doc. RNDr. Bohumíru Štědroňovi, CSc., za jich cenné rady, trpělivost a čas. Rovněž děkuji mé rodině a přátelům za podporu během mého studia.

# Abstrakt

Diplomová práce se věnuje revoluční technologii aditivní výroby (3D tisku) a její aktuální role v průmyslu. Cílem této diplomové práce bylo provést prognózu vývoje technologií 3D tisku se zaměřením na zdravotnictví. Pro vytvoření prognózy byly použity metody matematické extrapolace historických dat s intervalem spolehlivosti 95 % a metodu výzkumu veřejného mínění (anketu). V rámci teoretické části diplomová práce seznamuje čtenáře s pojmem 3D tisk. Popisuje celý proces výroby od vzniku 3D modelu pomocí různých metod do post processingu. Zabývá se také historií 3D tisku, definicí hlavních odvětví a trendy. V praktické části práce za využitím veřejných zdrojů informace je provedena analýza vývoje trhu 3D biotisku, dále byla provedená analýza finančních ukazatelů vybraných společností, hlavním předmětem podnikání kterých je 3D tisk ve zdravotnictví, a na základě získaných informací, pomocí použitých prognostických metod, je vytvořena prognóza vývoje vybraných společností do roku 2035. Dále byly zanalyzovány odpovědi respondentu z ankety a následně vyhodnoceny. Tento typ výzkumu je velmi užitečný pro zjišťování postojů a preferencí veřejnosti a tyto odpovědi nám určitým způsobem naznačují směr, kterým technologie pokročí dal. V závěru je stručně shrnutí dosažených výsledků kde je popsáno jaká jsou očekávání veřejnosti od možností dané technologii, jaké jsou obavy, kde vidí největší potenciál a v čem hrozbu.

## Klíčová slova

3D tisk, Aditivní výroba, průmysl, zdravotnictví, bioinkoust, prognóza.

# Abstract

The master's thesis is devoted to the revolutionary technology of additive manufacturing (3D printing) and its current role in industry. The aim of this diploma thesis was to forecast the development of 3D printing technologies with a focus on healthcare. The methods of mathematical extrapolation of historical data with a confidence interval of 95% and the method of public opinion research (survey) were used to create the forecast. As part of the theoretical part, the thesis introduces the reader to the concept of 3D printing. It describes the entire production process from the creation of a 3D model using various methods to post processing. It also covers the history of 3D printing, defining the main industries and trends. In the practical part of the work, using public sources of information, an analysis of the development of the 3D bioprinting market was carried out, and an analysis of the financial indicators of selected companies, whose main business is 3D printing in the healthcare sector, was also carried out, and based on the information obtained, with the help of forecasting methods, a forecast of the development of selected companies until 2035 is created. Furthermore, the respondents' answers from the survey were analyzed and subsequently evaluated. This type of research is very useful for finding out the attitudes and preferences of the public, and these answers give us some indication of the direction in which technology will advance. At the end, there is a brief summary of the achieved results, where it is described what the public's expectations are from the possibilities of the given technology, what are the concerns, where do they see the greatest potential and what are the threats.

**Key words**

3D printing, Additive manufacturing, industry, healthcare, bio-ink, forecasting.



# Obsah

ÚVOD .....	10
<b>1. ZÁKLADNÍ INFORMACE O 3D TISKU .....</b>	<b>12</b>
1.1 HISTORIE 3D TISKU .....	13
1.2 VÝROBNÍ METODY .....	17
1.3 VÝROBNÍ PROCES ADITIVNÍ VÝROBY .....	20
1.4 VÝHODY A NEVÝHODY 3D TISKU .....	24
<b>2. DRUHY 3D TISKU .....</b>	<b>31</b>
<b>3. UPLATNĚNÍ 3D TISKU .....</b>	<b>38</b>
3.1 ZDRAVOTNICTVÍ .....	38
3.2 PRŮMYSL .....	48
<b>4. TRENDY 3D TISKU .....</b>	<b>54</b>
<b>5. PROGNOSTIKA, PROGNOZA A PROGNOSTICKÉ METODY .....</b>	<b>57</b>
<b>6. TRH BIOADITIVNÍ VÝROBY A PROGNOZA JEHO VÝVOJE Z VEŘEJNÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>60</b>
<b>7. SVĚTOVÍ HRÁČI NA TRHU 3D BIOTISKU .....</b>	<b>62</b>
<b>8. EKONOMICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH SPOLEČNOSTÍ .....</b>	<b>67</b>
3D SYSTEMS CORPORATION .....	67
MATERIALISE NV .....	70
STRATASYS LTD. ....	73
POROVNÁNÍ SPOLEČNOSTÍ .....	76
PROGNOZA VYBRANÝCH SPOLEČNOSTÍ .....	78
<b>9. ANKETA NA SOCIÁLNÍCH SÍTÍCH .....</b>	<b>83</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>93</b>
<b>ZDROJE .....</b>	<b>95</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>98</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>101</b>

# Úvod

Cílem této práce bylo prozkoumat směr vývoje 3D tisku a pomocí analýzy statistických údajů a využití prognostických metod odpovědět na otázky současné i budoucí role aditivní výroby ve zdravotnictví a v průmyslových odvětvích.

3D tisk je automatizovaný výrobní proces, při kterém se z digitálního 3D modelu vyrábí fyzický trojrozměrný produkt. Tento proces výroby se také nazývá aditivní. Technologií je nyní k dispozici více, ale ta nejpoužívanější, FFF (fused filament fabrication), funguje velice jednoduše. Objekt vzniká postupně, vrstvu po vrstvě, natavováním tenkého proužku plastového materiálu. Náplní do 3D tiskárny existuje celá řada. Mezi nejvíc populárními materiály patří PLA, PET-G, ASA a ABS. Jedničkou všech materiálů pro 3D tisk je PLA. Patří mezi nejvíce používané filameny na světě díky své nízké ceně a bohaté barevné škále.

Většina amatérské veřejnosti pojem 3D tisk již určitě někde zaslechla, ale jak ukázala studie, ne vždy jsou si úplně jisti, co se za ním opravdu skrývá. A to je zcela pochopitelné, protože 3D tisk je oborem, který se neustále rozvíjí a zasahuje do velkého množství průmyslových odvětví. Analýza finančních údajů společností ukázala, že největší hráče na trhu 3D tisku v průběhu posledního desetiletí hodně investují do výzkumu a vývoje, a to nejen do zlepšování samotných tiskacích strojů, ale i do softwaru který je nedílné součástí tiskárny a je v podstatě její mozem, ale také hlavně do vývoje nových materiálů, které by měly ještě víc rozšířit hranice využití a tím posunout technologii ještě víc dopředu.

Relevance tohoto tématu spočívá v rychle rostoucím rozšíření technologie 3D tisku, která již nyní umožňuje vytvářet 3D tiskové modely jakékoli složitosti v různých odvětvích, což začalo výrazně ovlivňovat naše životy. Z hlediska obvyklého uživatele 3D tisk je porad sci-fi, o tolik nejsme si zatím moc zvykli na technologii. Ale postupně se to začíná víc a víc začleňovat do našich životů do dosud nečekaného oboru zdravotnictví. Jelikož hlavní výhodou tohoto výrobního procesu je maximální customizace, právě proto má to velký potenciál v medicíně, lékařství, veterinářství. Už teď stomatologové z celého světa rádi používají metodu 3D tisku pro výrobu zubních korunek. To je totiž jistota, že vyrobená korunka bude maximálně přizpůsobená konkrétnímu pacientovi. To znamená potom nebude potřeba dalších úprav, což pomáhá ušetřit čas a peníze. Zde vyhrává do slova každý.

Jsou ve společnosti také i obavy, že technologie natolik zasáhne do našich životů, že člověk postupem času ztratí svou přirozenost a bude vypadat spíš jako kyborg, než člověk. Jednoduše řečeno - je to rychle rozvíjící technologie která do budoucna má obrovský potenciál, vidí to i globální společnosti, cílem kterých pochopitelně maximalizovat své zisky. Ale my jako lidstvo musíme přistupovat ke všemu novému se zdravou opatrností aby využití technologií přispívalo společnosti a pracovalo pro její prosperitu.

# TEORETICKÁ ČÁST

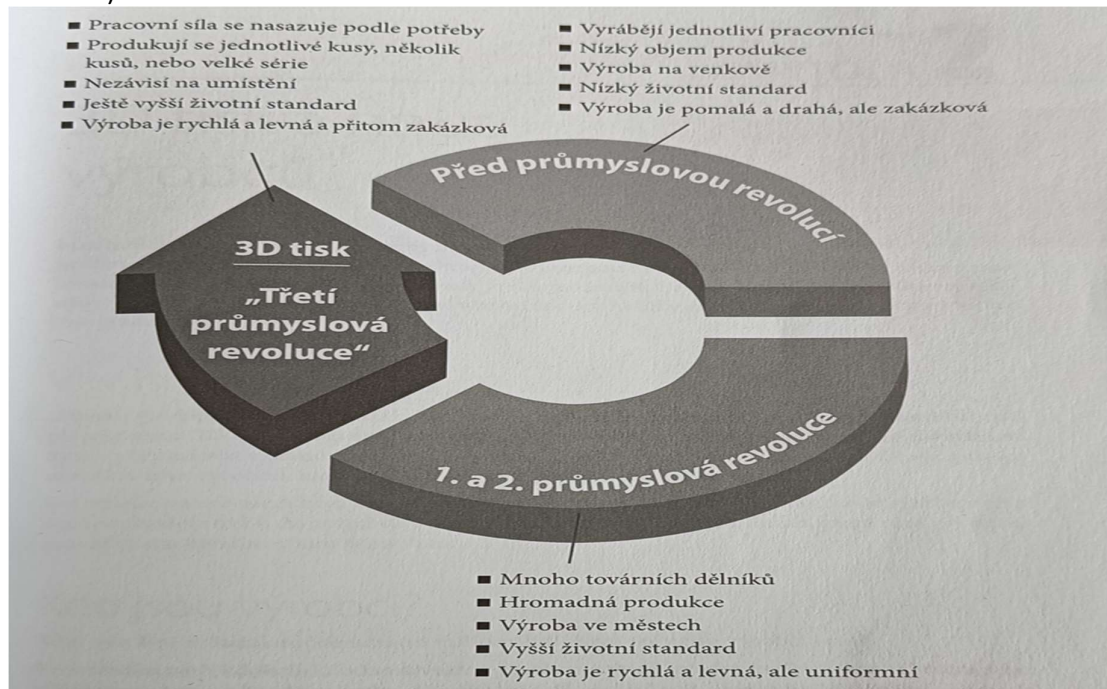
# 1. Základní informace o 3D tisku

Trh 3D tiskáren v poslední letech zažívá ohromný rozmach. Dnes 3D tisk již našel uplatnění v lékařství, automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, nebo v architektuře a sportu. Nyní se s nimi můžeme setkat také v domácnostech. Jsou to velice užitečná zařízení, která jsou nyní už i cenově dostupná a proto není se čemu divit.

V první a druhé průmyslové revoluci se vyvinuly nové výrobní procesy, které spočívaly mimo jiné v přechodu od ruční produkce k výrobě pomocí strojů, novým způsobům chemického zpracování, širšímu využití parní síly, vývoji strojů a hromadné produkci. Druhá průmyslová revoluce, kdy probíhalo zavádění montážních pásů, i nadále ovlivňuje způsob, jakým vznikají průmyslové výrobky v současnosti.

Tyto dvě revoluce vyznačují zásadní historické zvraty, protože nějakým způsobem ovlivnily téměř všechny aspekty každodenního života.

3D tisk, podobně jako jeho tovární předchůdci, vytváří nové výrobní procesy a slibuje kromě výroby proměnit i životní styl. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že tato nová výrobní technologie je velmi osobní. V zásadě se jedná o továrnu na pracovním stole, ve které lze vytvořit prakticky cokoli. 3D tisk kompletně nenahradí tradiční výrobní procesy. Spíše současné metody hromadné produkce doplní. Díky 3D tisku se navíc vrací výrobní centra tam, kde se nacházela kdysi. V současnosti lze vyrábět ve venkovských oblastech i ve městech. Výroba se může přesunout z továren zpět do malých dílen a ekonomicky lze produkovat nejen hromadně, ale i po jednotlivých kusech. 3D tisk tak dokáže kombinovat nejlepší aspekty výroby před průmyslovou revolucí a po ní, jak je vidět na obrázku (Začínáme s 3D tiskem, Liza Wallach) níže.



Obrázek 1: 3D tisk kombinuje nejlepší vlastnosti všech historických varovných období. (Jeff Hansen, Honey Point 3D)

Do budoucna 3D tisk nabízí kombinaci vysoko objemové produkce s možností široké customizace. Toho lze docílit přizpůsobením výrobního softwaru tak, aby konečná produkce vyhovovala více zákazníkům najednou. Díky těmto novým výrobním procesům by se zboží mohlo vyrábět lokálně a došlo by k eliminaci potřeby vyrábět zboží v centralizovaných továrnách za užití úspory z rozsahu.

3D tisk je způsob výroby zboží ve světě informačních technologií. Takovéto lokalizované výroby již nebudou potřebovat globální přepravní aparát k dodání zboží od výrobce k zákazníkovi, čímž ušetří obrovská množství paliva, času, pracovní síly a dopravních prostředků (Lutafali 2016).

## 1.1 Historie 3D tisku

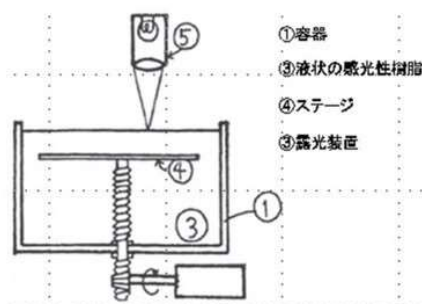
Zpočátku se 3D tisk primárně označoval jako Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů) a dodnes se s tímto označením můžeme setkat. Před příchodem dostupných tiskáren se totiž používal výlučně pro výrobu prototypů.

Určit přesný okamžik vzniku 3D tisku není úplně jednoduché. Většina autorů však přisuzuje největší význam roku 1984. 3D tisk se objevil ve světě před 40 lety a otevřel úžasné možnosti pro vytváření různých modelů v prototypování, ve stomatologii, malosériové výrobě, zakázkových výrobcích, miniaturách, sochách, modelech a v dalším. 3D tisk ušel od svého začátku dlouhou cestu. Dosud většina lidí považuje 3D tisk za novou technologii, i když je pravda, že toto odvětví udělalo v posledních letech obrovské skoky vpřed, vše se staví na základně, která byla vyvinuta téměř před 100 lety.

Od těchto raných dnů se 3D tisk začal vztahovat k řadě specifických technologií, z nichž některé z nejběžnějších jsou modelování tavené depozice (FDM), stereolitografie (SLA) a selektivní laserové slinování (SLS). První vrcholy 3D tisku nastaly, když byla každá z těchto technologií vyvinuta, patentována a chráněna ochrannou známkou.

Další skok vpřed nastal, když tyto patenty začaly vyprchávat a více lidí mohlo s touto technologií experimentovat. Právě toto období, kdy FDM tisk explodoval v popularitě, si mnoho lidí mylně představuje jako původ 3D tisku.

První významný patent desetiletí podal japonský vynálezce Dr. Hideo Kodama v roce 1981. Svůj vynález popsal jako „zařízení pro rychlé prototypování“. Ještě důležitější je, že byl prvním člověkem, který kdy požádal o patent, který popisoval proces vytvrzování laserovým paprskem. Jeho patent bohužel nikdy neprošel, omylem zmeškal roční lhůtu pro podání patentu, a tak nedokázal včas splnit veškeré patentové požadavky.



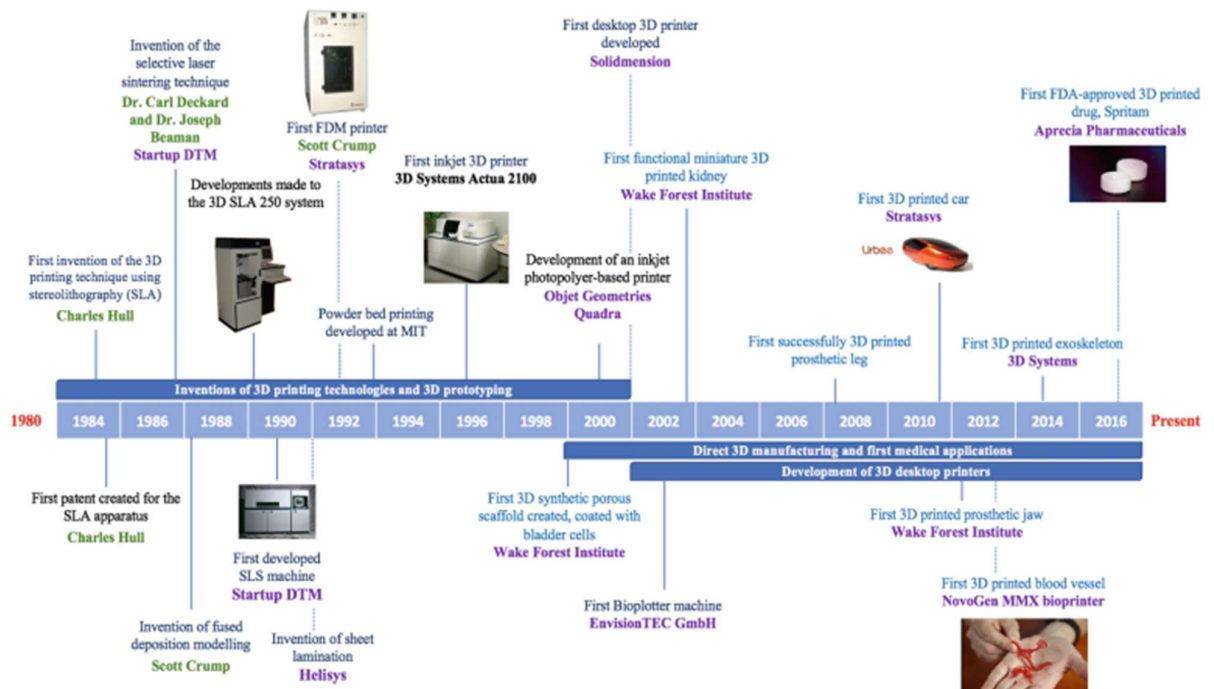
Obrázek 2: Nákres Dr. Hideo Kodama který znázorňuje, jak aditivní výroba funguje. (Zdroj <https://www.sutori.com/en/story/3d-printing-history--jpPEbvs5oY2sna6Pr5vdduHk>)

Další na řadě bylo trio francouzských vynálezců, kteří přišli s patentem v roce 1984. Jean-Claude André, Olivier de Witte a Alain le Méhauté byli kolegové pracující pro francouzskou technologickou firmu Alcatel a Francouzské národní centrum pro vědecký výzkum (CNRS). Následovali zaměření Dr. Kodamy na „rychlé prototypové zařízení“ k výrobě složitých dílů.

De Witte měl předchozí zkušenosti s prací s lasery pro vytvrzování pevných látek a považoval tuto technologii za nejlepší možnost použití při rychlém prototypování. Bohužel jejich zaměstnavatelé ve společnosti Alcatel a CNRS se o technologii nezajímali a trojice nebyla schopna financovat svůj projekt poté, co požádala o patent, což je přinutilo opustit tento nápad.

Rok 1984 překonal Orwellova očekávání a ukázal se být průlomovým rokem pro vznikající technologii 3D tisku. Na druhé straně francouzského tria americký patentový úřad udělil Billu Mastersovi vůbec první schválený patent na jakoukoli formu technologie, která nyní spadá pod deštník 3D tisku.

Zajímavostí je, že Masters je také vynálezcem kajaku poté, co získal více než 30 patentů na jeho design. Méně zábavná je skutečnost, že Masters nakonec opustil svou práci na 3D tisku (poté, co na začátku 90. let vyrobil funkční stroj), aby se zaměřil na svůj rostoucí kajakářský byznys.



Obrázek 3: Hlavní milníky vývoje 3D tisku (<https://www.3dpe.ir/3d-printer-history/>)

Zde přichází na scénu Charles „Chuck“ Hull, otec 3D tisku. V roce 1984 podal patent na stereolitografický systém, pouhé tři týdny poté, co trio ve Francii požádalo o svůj patent. Hullovou myšlenkou bylo použít UV lampy jeho společnosti k vytvrzení fotocitlivé pryskyřice vrstvu po vrstvě a vytvořit tak malé zakázkové díly.

Jeho patent byl schválen v roce 1986 a založil vlastní společnost: 3D Systems. O dva roky později vydali průkopnickou první komerčně dostupnou 3D tiskárnu – SLA-1 – v roce 1988. Kromě samotného velkolepého stroje Hull také vyvinul formát souborů STL a proces digitálního krájení, které jsou pro průmysl 3D tisku dodnes klíčové.

Nyní jsme přišli na to, že tisk SLA byl první, kdo se dostal na trh, ale tisk FDM a SLS nezůstal pozadu. Oba měli své první schválené patenty podány v roce 1988.

Selektivní laserové slinování poprvé vynalezl dole v Texasu univerzitní student Carl Deckard. V té době byl pouze studentem, jeho tiskárna byla základní a uměla vyrábět pouze základní kusy plastu. Nicméně nápad tu byl a provedení se brzy vyvinulo do tisku SLS, který známe dnes.

V roce 1988 byl také podán patent na modelovací stroj s tavenou depozicí od Scotta Crumpa, spoluzakladatele společnosti Stratasys. Trvalo až do roku 1992, než byl patent udělen, ale Stratasys se svými novými FDM stroji rychle chytil vedení v 3D tisku.

Toto období končí tím, co může způsobit určitý zmatek ohledně toho, jak dlouho 3D tisk existuje. V roce 1993 zavedl profesor MIT Emanuel Sachs do slovníku termín „3D tisk“ a průmysl dříve známý jako „rychlé prototypování“ se nikdy neohlížel.

Nyní přichází éra, kdy se většina lidí dozvěděla o 3D tisku. Za tuto proliferaci je zodpovědná celá řada událostí, počínaje tím, že společnost Zcorp v roce 2000 představila vícebarevnou 3D tiskárnu. Přepočala technologii inkoustového tisku běžnou u domácích plnobarevných tiskáren a upravila ji pro tisk barevných 3D objektů. I když se nevyvinul do průmyslového standardu, vícebarevný tisk zůstává oblíbenou fascinací některých.

Další důležitý vývoj přišel v roce 2004, kdy Adrian Bowyer založil hnutí RepRap. Jeho cílem bylo využít 3D tiskárny k výrobě více 3D tiskáren, a tak vytvořit samoreprodukující se stroje.

Tato myšlenka byla o několik let vzdálena realitě, ale rychle si získala oblibu v komunitě 3D tisku, a to včetně zakladatele Prusa Research Josefa Průši. Samoreprodukující se stroje RepRap byly ohlašovány jako budoucnost a někteří věřili, že by mohly zahájit druhou průmyslovou revoluci, skoncovat s globálním kapitalismem a zachránit životní prostředí.

Průmysl udělal další velký skok vpřed v roce 2006, kdy společnost Objet introducing vytvořila první komerčně dostupnou stolní 3D tiskárnu, která zahájila novou éru domácích fandů, kteří mohli experimentovat s 3D tiskem.

Rok 2000 byl také koncem éry, kdy vypršely patenty, které spustily dominantní technologie v 80. a 90. letech. První patent na technologii SLA byl v roce 2009, ten podal Chuck Hull, aby uvedl svou tiskárnu SLA-1 na trh.

Vzhledem k tomu, že tyto patenty skončily v roce 2009, konkurenti rychle přišli na trh s novými sadami tiskáren pro kutily. Tyto sady byly k dispozici za mnohem nižší cenu než dříve a ignorovaly komerční průmyslový trh, na který se Stratasys zaměřil. Místo toho se výrobci zaměřili na spojení s jednotlivými spotřebiteli a rozvíjející se komunitu fandů, kteří se shromažďují online kolem technologií Thingiverse, Objet a RepRap. Nejvýznamnějšími poskytovateli DIY kitů byli BfB Rapman a Makerbot, oba představili své FDM produkty v roce 2009 krátce po vypršení patentu.

Éra patentů skončila téměř úplně v roce 2014 s vypršením platnosti patentů SLS. Nyní je technologie všech tří hlavních forem 3D tisku ve veřejné doméně, lze s ní volně experimentovat a vylepšovat ji.

Zatímco všechny tyto patenty končily, došlo také k zásadním průlomům v laboratořích po celém světě zaměřených na lékařský 3D tisk. První lékařský průlom, který zaujal titulky, byl v roce 2000, kdy vědci z Wake Forest úspěšně 3D vytiskli lidskou ledvinu, i když trvalo dalších 13 let, než došlo k úspěšné lidské transplantaci.

V roce 2008 se objevily první 3D vytištěné protetické končetiny, které bylo možné vytisknout tak, jak jsou, bez nutnosti další montáže po sejmutí z tiskového lůžka. Tento vývoj byl oslavován mnoha a pomohl zlepšit nespočet životů díky své přesnosti, možnosti přizpůsobení a nižším nákladům.

Trend zdokonalování medicíny pokračoval i v roce 2012 tiskem první protetické čelisti. Na rozdíl od ledviny s touto technologií nedošlo k žádnému zpoždění, protože byla úspěšně implantována do lidského pacienta téhož roku.



S vypršením platnosti patentů Stratasysu se společnost v posledních letech obrátila na novou strategii, jak ovládnout průmysl 3D tisku: akvizici svých konkurentů. V letech 2012 a 2013 byly uzavřeny dohody se společnostmi Stratasys na koupi společností Objet a Makerbot, průkopnických společností, které jsme dříve zaznamenali pro jejich roli v historii zpřístupňování 3D tisku pro fandů.

Toto nebyl jediný titulek v roce 2013, který vyvolal kontroverze. 3D tisk se také dostal do hlavního proudu poté, co byla první zbraň úspěšně 3D vytištěna, což vyvolalo mnoho debat, když byly návrhy zpřístupněny online.

Naštěstí tato kontroverze nestačila ke zpomalení dynamiky 3D tisku, která ještě více explodovala poté, co Barack Obama tuto technologii přijal a diskutoval o 3D tisku ve svém projevu o stavu Unie v roce 2013. 3D tisk byl oficiálně mainstream a technologie a terminologie vstoupily do veřejného slovníku.

V roce 2014 3D tisk doslova opustil tento svět, když NASA vzala tiskárnu do vesmíru a úspěšně ji použila na Mezinárodní vesmírné stanici. To, o čem se ve sci-fi dlouho teoretizovalo, se stalo realitou a potenciálně signalizuje budoucnost průmyslu 3D tisku.

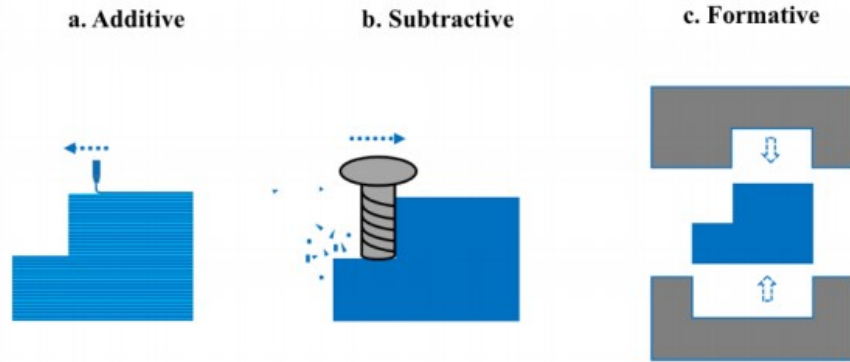
První průlom v biotisku přišel v roce 2015, kdy Cellink oznámil první komerční prodej „bioinkoustu“, který umožňuje 3D tisk tělesné tkáně. To bylo rychle následováno v roce 2016 dublinskou laboratoří, která oznámila, že mohou tisknout lidskou kost nebo chrupavku.

I když se to může zdát méně okouzující, stejně významný milník přišel v roce 2018, kdy se první rodina přestěhovala do plně 3D tištěného domova. Zatímco původně byla zamýšlena jako nákladově efektivní způsob, jak postavit cenově dostupné domy po celém světě, tato technologie se stále vyvíjí s domy, které se v poslední době stavějí pro luxusní kupce.

## 1.2 Výrobní metody

Výrobní metody průmyslové se dělí na tři základní kategorie – subtraktivní, formativní a aditivní.

Při tradiční výrobě pomocí subtraktivní metody dochází k postupnému odběru materiálu z pevného bloku. Tento odběr lze provést buď ručně, nebo automatizovaně. Důležitým prvkem subtraktivní metody, hlavně automatizované, je generovat tvary s vysokou přesností. Formativní metoda využívá napětí, jako je tlak, tah, smyk nebo nějaká kombinace, aby způsobily plastickou deformaci materiálu do požadovaného tvaru. Ve většině případů je typická pro plasty a kovy. V tomto procesu se nepřidává ani neubírá žádný materiál. Existuje však další metoda, která začíná svým objemem růst na úkor jiných metod. Jedná se o aditivní výrobu často známou jako 3D tisk.



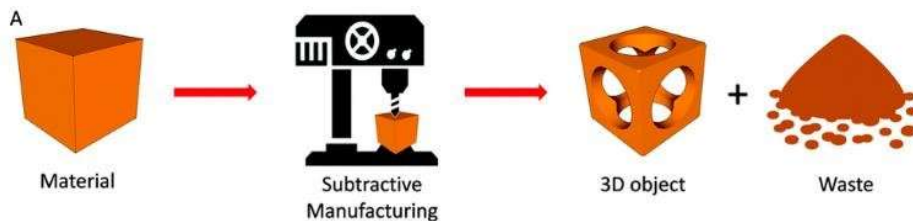
Obrázek 4: Hlavní výrobní metody (<https://www.regenhealthsolutions.info/2019/09/22/university-of-akron-thesis-student-3d-prints-ppf-structures-for-bone-regeneration-applications/>).

## • Subtraktivní výroba

Subtraktivní výrobní metoda, to je metoda, kde se objekt vyrábí odstraněním přebytečného materiálu z objemného objektu obráběním. To je zastřešující termín pro různé procesy řízeného obrábění a odstraňování materiálu, které začínají plnými bloky, tyčemi, tyčemi z plastu, kovu nebo jiných materiálů, které jsou potom tvarovány odebráním materiálu řezáním, vyvrtáváním, vrtáním nebo broušením. Tyto procesy se provádějí buď ručně, nebo častěji jsou řízené počítačovým numerickým řízením (CNC). Subtraktivní výrobní procesy se obvykle používají k vytváření dílů z plastů nebo kovů.

Jednou z výhod obrábění je nákladová konkurenceschopnost výroby dílů v objemech několika stovek. Výroba stejného dílu může být přesně duplikována znovu a znovu. Lze také dosáhnout kritických tolerancí.

Nevýhody zahrnují mzdové náklady spojené s procesem nastavení nebo přemístěním dílů. Vyžaduje kvalifikovaného strojníka a operátora. Také musíte zaplatit za množství materiálu potřebné k zahájení procesu, nikoli za materiál, který zbyde po dokončení dílu. Složitost návrhu součásti je také omezená. Další nevýhodou je, že při této výrobě vzniká velký objem odpadu.



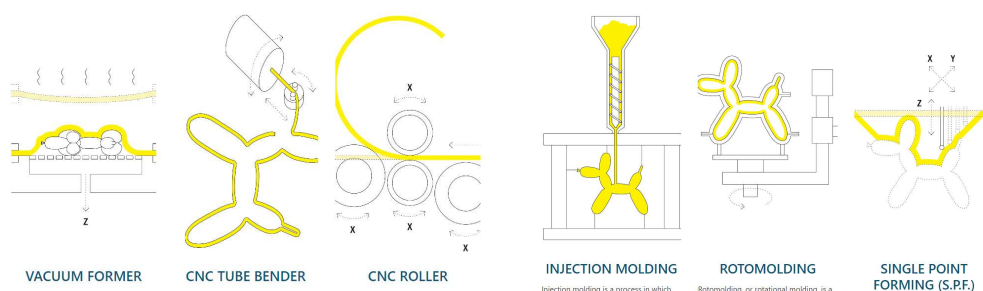
Obrázek 5: Schematické znázornění subtraktivní výrobní metody (<https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg>)

## • Formativní výroba

Vhodná pro vysokoobjemové produkce stejných součástí. Tato metoda má několik hlavních druhů výroby. Nejčastěji používaný druh formativní výroby je vstřikování. Vstřikování je způsob výroby zboží pomocí formovacího procesu. Forma je vyrobena ve formě potřebné části. Roztavený materiál je vtlačěn do dutiny formy. Materiál chladne a tvrdne a přebírá podobu designu formy. Poté se nově vytvořený díl odstraní a forma se znovu naplní.

Velkou výhodou vstřikování je schopnost vyrábět tisíce stejných dílů při nízkých jednotkových nákladech. Nevýhodou vstřikování je časová náročnost a náklady na výrobu formy. Formy mohou stát tisíce, a dokonce desítky tisíc dolarů, a to v závislosti na složitosti součástí. To by výrobu jednoho nebo jen několika dílů extrémně prodražilo.

Počáteční investice jsou velmi vysoké z důvodu pořízení potřebných forem. Tato metoda je velice vhodná k vyprodukování velkého množství produktů s relativní nízkou jednotkovou cenou.



Obrázek 6: Druhy formované výroby. (<https://meltcollective.com/project/tool-library/formative-fabrication>)

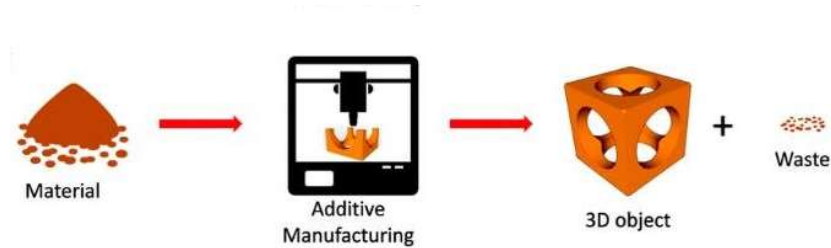
## • Aditivní výroba

Na rozdíl od subtraktivního procesu odebrání materiálu z většího kusu procesy aditivní výroby nebo 3D tisku vytvářejí objekty přidáváním materiálu po jedné vrstvě, přičemž každá následující vrstva se váže k předchozí vrstvě, dokud není díl kompletní.

Stejně jako subtraktivní CNC nástroje vytvářejí aditivní výrobní technologie díly z CAD modelů. Příprava modelů pro 3D tisk pomocí softwaru pro přípravu tisku nebo sliceru je většinou automatizovaná, takže nastavení úlohy je podstatně jednodušší a rychlejší než u CNC nástrojů. V závislosti na technologii 3D tiskárna nanáší materiál, selektivně taví a taví prášek nebo vytvrzuje tekuté fotopolymerní materiály za účelem vytvoření dílů na základě dat CAM. 3D tištěné díly často vyžadují určitou formu čištění a povrchové úpravy, aby dosáhly svých konečných vlastností a vzhledu, než budou připraveny k použití.

Výhody aditivní výroby oproti jiným jsou rychlost, nízké náklady na pracovní sílu, možnost přizpůsobení a schopnost vytvářet vysoce složité geometrické návrhy. Také velkou výhodou

je, že množství výrobního odpadu je minimální. Nevýhody zahrnují méně konkurenceschopné náklady na velkoobjemové výrobní série a omezenou přesnost a toleranci.



Obrázek 7: Proces výroby pomocí aditivní metody (<https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg>)

### 1.3 Výrobní proces aditivní výroby

Proces 3D tisku se skládá ze tří hlavních na sebe navazujících kroků. Nejprve je třeba si obstarat samotný model, který se bude tisknout. Poté je nutné připravit jej pro tisk. A až posledním krokem je samotný tisk.

- **Vytvoření modelu**

Prvním krokem je získání požadovaného 3D modelu, který je typicky ve formátu STL. Takový formát je však pro tiskárnu nesrozumitelný, a nelze jej tedy rovnou tisknout. STL soubor je vstupem pro program zvaný obecně slicer (PrusaSlicer, Simplify3D, Cura). 3D model lze získat v zásadě třemi způsoby: 1. Stažení hotového modelu z internetu; 2. Vymodelování vlastního modelu; 3. 3D skenování existující věci.

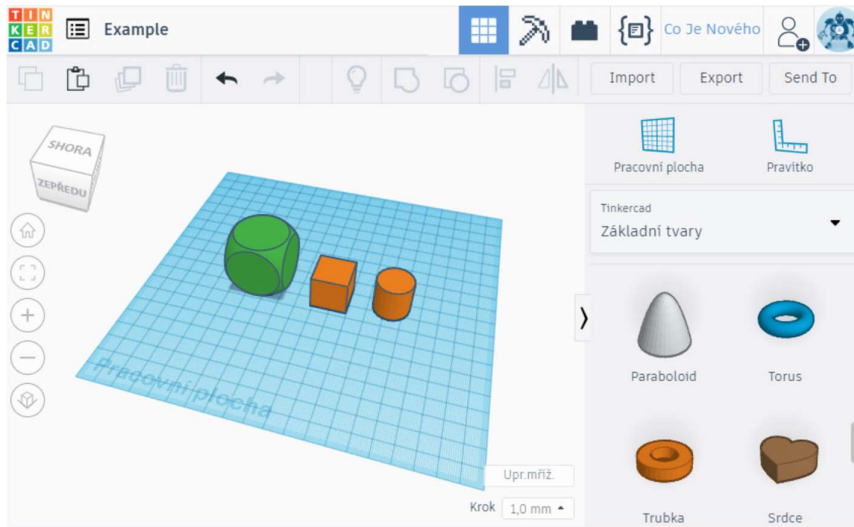
#### **Stažení hotového modelu z internetu.**

Nejsnazší způsob, jak začít s 3D tiskem, je najít si volně dostupné 3D modely na internetu ve formátu .stl nebo .obj. Databázi s 3D modely existuje celá řada a lze v nich nalézt nepřehledné množství hotových modelů od tvůrců z celého světa. Mezi nejoblíbenější patří: [www.prusaprinters.org](http://www.prusaprinters.org), [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com), [www.myminifactory.com](http://www.myminifactory.com) a další.

#### **Vymodelování vlastního modelu.**

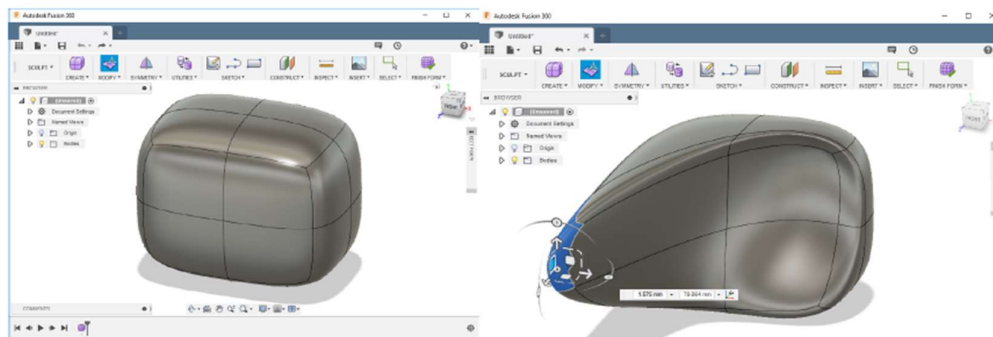
Paleta nástrojů pro 3D modelování je velmi široká a stále se rozšiřuje. Od jednoduchých webových aplikací, jako je například Tinkercad ([www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com)), přes parametrické modelování pomocí zdrojového kódu v OpenSCAD až po profesionální nástroje, jako je například oblíbený Autodesk Fusion 360. Všechny tyto aplikace umožňují exportovat vytvořený model do souboru STL.

Tinkercad je vhodný pro začátky s modelováním. Nástroj je po registraci zdarma. Základními stavebními bloky jsou trojrozměrné tvary, které snadno myší přetáhneme z knihovny po pravé straně obrazovky na pracovní plochu.



Obrázek 8: Aplikace Tinkard (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 26)

Autodesk Fusion 360 se používá pro tvorbu komplexnějších modelů či sestav z více dílů pasujících do sebe. Fusion 360 umožňuje pracovat nejen v režimu počítačem podporovaného navrhování (CAD), ale nabídne také obrábění (CAM), analýzy pevnosti či vizualizace. Kromě tradičního prostředí pro parametrické modelování jsou ve Fusionu 360 ještě další užitečné prostředí pro voln plošné modelování. (Stříteský, Ondřej. Spoluautoři: Josef Průša, Martin Bach, Základy 3D tisku)



Obrázek 9: Autodesk Fusion 360 (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 27)

### 3D skenování a fotogrammetrie.

Jedná se o způsoby, jak přenést reálný předmět do počítačového modelu. 3D skenery na trhu existují už relativně dlouho, ale jejich cena a dostupnost není přívětivá. Pohybují se v rozmezí od desítek tisíc až po statisíce korun. Kvalita výstupu je zpravidla přímo úměrná ceně. Existuje však i levnější způsob zvaný fotogrammetrie, který je založený na sérii fotografií z různých úhlů pohledu. Ty jsou následně počítačovým programem zpracovány do 3D modelu. Ten odhadne pozice kamer a vytvoří spoustu 3D bodů připomínajících původní objekt. Chcete-li získat tisknutelný soubor, musíte převést tyto body na trojúhelníkovou síť. Nakonec je dobré model opravit, utěsnit všechny otvory, naslicovat a tak bude připravený k tisku. (Stříteský, Ondřej. Spoluautoři: Josef Průša, Martin Bach, Základy 3D tisku)

- **Manipulace s modelem. Slicování**

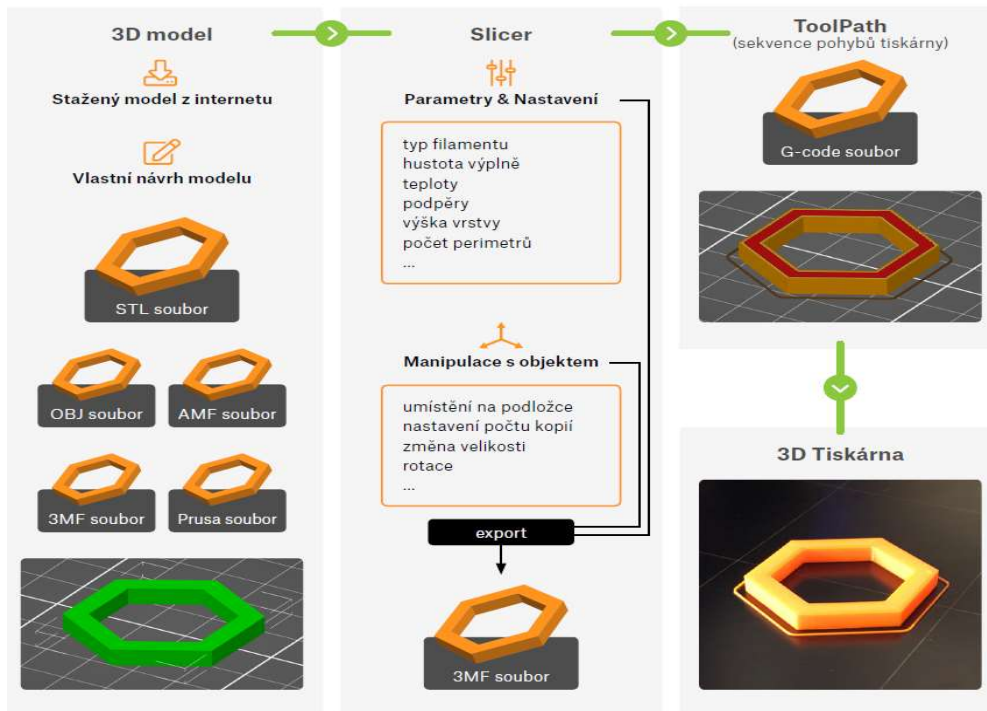
Jakmile je model dokončen, převede jej uživatel do podporovaného formátu, který rozdělí model na jednotlivé polygony. V této fázi procesu uživatel zvažuje fyzickou velikost modelu a celkový počet polygonů, díky čemuž může volit kvalitu detailů modelu. Jedná se o proces převodu 3D modelu na strojový kód G-code. K převodu slouží software zvaný obecně slicer. Mezi nejznámější slicery pro FFF tiskárny patří PrusaSlicer, Simplify3D a Cura. Vstupem programu je nejenom 3D model, ale také celá řada nastavení, která mají vliv na kvalitu, pevnost a dobu tisku. Modely je většinou možné také modifikovat v rozsahu zmenšování či zvětšování, otáčení dle os, řezání či rozdělování na separátní objekty. V neposlední řadě slouží slicer také k tomu, abychom si jednotlivé 3D modely rozmístili po tiskové ploše. Slicer a jeho správné nastavení je stejně důležité jako kvalita a mechanické zpracování samotné tiskárny. Slicerů existují desítky, každý má své přednosti a nedostatky. Většina z nich je k dispozici zdarma. Obvykle každý solidní výrobce 3D tiskárny má svůj slicer, do kterého dodává profily pro svoje tiskárny. (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 35)

- **Tisk modelu**

Správně připravený povrch tiskové položky je základním krokem úspěšného tisku. Odlepení výtisku od podložky má za následek neúspěšný tisk. Tomu je potřeba věnovat náležitou pozornost.

Dále samotný tisk je nejdůležitější součástí celého výrobního procesu. Správný výsledek záleží nejenom na dobře vytvořeném modelu a vhodné úpravě ve slicerech, ale také na správném nastavení zvolené tiskárny, případně na okolních vlivech. Správná kalibrace tiskárny je důležitým prvkem každého tisku, právě proto většina komerčně užívaných tiskáren využívá autokalibrace před každým dalším tiskem.

Spustit tisk znamená začít číst vygenerovaný G-code a posílat ho do tiskárny. Během celé doby tisku musí být zaručeno, že tiskárna bude sekvenčně dostávat instrukce z G-code souboru. Pokud z nějakého důvodu dojde k přerušení doručování instrukcí, tisk je nenávratně zničený. Nejspolehlivějším řešením je tisk z SD karty či obdobného média, ze kterého si tiskárna sama G-code čte. Tisk tak není závislý na žádném dalším zařízení. Alternativně je možné 3D tiskárnu připojit k počítači jako jakoukoliv běžnou tiskárnu na papír. Počítač přes specializovaný program (například Pronterface) během celého několikahodinového tisku posílá postupně instrukce do tiskárny. Nevýhodou tohoto řešení je riziko problému na straně počítače během tisku. Počítač se může vypnout, uspat, restartovat nebo zaseknout. Tím dojde k přerušení komunikace a dodávání instrukcí pro tiskárnu, a tedy ke zničení tisku. Proto se připojení napřímo s osobním počítačem nedoporučuje a nepoužívá. Situace se změní, pokud si vyhradíme vhodný a spolehlivý počítač speciálně pro účely tisku. Takovým řešením je malý jednodeskový počítač Raspberry Pi s operačním systémem Raspbian. Komunikaci a obsluhu tiskárny obstarává aplikace OctoPrint. Uživatel do prostředí OctoPrint přistupuje přes webový prohlížeč. Výhodou tohoto řešení je především možnost monitoringu a vzdáleného ovládání. (Stříteský, Ondřej. Spoluautoři: Josef Průša, Martin Bach, Základy 3D tisku)



Obrázek 10: Kroky 3D tisku od 3D modelu po vytištění (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 24)

## • Vyjmutí tisku a postprocessing

Vyjmutí tisku se liší v závislosti na použité metodě. Vyjmutí a následné opracování je daleko náročnější u tisků z kovů nežli u ostatních metod. Odstranění přebytečného materiálu bránícího vyjmutí modelu, samotné vyjmutí tištěného modelu, odstranění podpor a následné dokončovací práce na modelu dle předem stanovených požadavků. Výtisky je možné ve většině případů ihned po vytištění použít jako funkční díly. Pokud však jsou vyšší nároky na vzhled výtisku, přichází řada na takzvaný postprocessing. Postprocessing je celá řada technik a dílčích prací na modelu s obecným cílem získat hladký, barevný a hezky vypadající povrch modelu. Plastové modely je možné ručně brousit (broušení elektrickými vysokootáčkovými nástroji typicky vede spíše k tavení plastu než jeho broušení), kytovat karosářským tmelem, stříkat plničem, laminovat, malovat akrylovými barvami, stříkat barvou ve spreji a mnoho dalšího. Při nanášení tmelu či kytu ve větší vrstvě je třeba počítat se ztrátou detailu modelu. (Stříteský, Ondřej. Spoluautoři: Josef Průša, Martin Bach, Základy 3D tisku)



## 1.4 Výhody a nevýhody 3D tisku

Vynález 3D tisku způsobil revoluci ve výrobě a vývoji produktů. Díky svým inovativním přednostem, které jsou mnohem lepší než tradiční výroba, se stala populární mezi mnoha výrobci. Nicméně, jako každá jiná výrobní metoda, 3D tisk má i své nevýhody. V této části práce se podíváme na existující a možné výhody a nevýhody 3D tisku, abychom mohli tuto převratnou technologii prozkoumat více do hloubky.

- **Výhody**

### ADVANTAGES OF 3D PRINTING TECHNOLOGY



Obrázek 11: : Výhody technologie 3D tisku (Mallika Rangaiah <https://www.analyticssteps.com/blogs/3d-printing-technology-advantages-and-disadvantages>)

#### 1. RYCHLOST

Hlavní výhodou 3D tisku je především rychlost, s jakou jsou díly obecně vyráběny ve srovnání s tradičními výrobními postupy. CAD model umožňuje nahrát a vytisknout složité návrhy během několika hodin. 3D tisk také umožňuje rychlé ověření a také vývoj návrhových konceptů. Zatímco dříve trvalo získání prototypu několik dní až týdnů, aditivní výroba umožňuje připravit model pouze za několik hodin. Přestože stroje na průmyslovou aditivní výrobu obvykle zaberou více času na tisk a následné zpracování dílu, kapacita výroby funkčních koncových dílů v malých až středních objemech umožňuje ve srovnání s tradičními výrobními přístupy obrovskou výhodu šetřící čas.

#### 2. NIŽŠÍ NÁKLADY

V případě malé výroby je 3D tisk vysoce efektivní a užitečný výrobní proces. Konvenční přístupy k výrobě prototypů, jako je CNC obrábění, vyžadují vysoký počet nákladných strojů a mají vyšší náklady na pracovní sílu, protože pro jejich obsluhu vyžadují zkušené operátory a techniky. To je v kontrastu s postupem 3D tisku, při kterém je k výrobě dílu zapotřebí pouze několik strojů a menší počet operátorů. Výsledkem je, že vzniká méně odpadního materiálu, protože díl je vyvíjen a vyroben od začátku na míru, místo aby byl vyřezán z pevných bloků.



### **3. FLEXIBILITA**

Další užitečnou výhodou 3D tisku je to, že daná tiskárna může vyvinout cokoli, co se hodí do jejího objemu. U tradičních výrobních postupů by každý nový díl nebo změna v návrhu dílu potřebovala nový nástroj, formu nebo přípravek pro výrobu, aby se vyvinul nový díl. 3D tisk, na rozdíl od tradičních výrobních přístupů, umožňuje zahrnutí více materiálů do jednoho předmětu, což umožňuje měnit a koordinovat řadu barev, textur a mechanických charakteristik. 3D tisk umožňuje všem uživatelům, dokonce i těm, kteří mají méně zkušeností s návrhem pomocí počítače, upravovat návrhy způsobem, který preferují, a vyvíjet jedinečné, personalizované čerstvé díly. To také znamená, že každý nabízený design může být vyvinut pomocí řady různých materiálů.

### **4. KONKURENČNÍ VÝHODA**

Díky rychlosti tisku a nižším nákladům na 3D tisk jsou minimalizovány výrobní a životní cykly produktů. Podniky mohou vytvářet lepší a pokročilejší produkty v kratším čase, což poskytuje konkurenční výhodu. Umožňuje to také vyvíjet produkty v rané fázi, rychleji vytvářet prototypy, což znamená, že produkt bude vynalezen, připraven k výrobě a uveden na trh dříve. Schopnost vytvořit prototyp v životní velikosti umožňuje designérům přemýšlet o produktech, které vyvíjejí, jinak. Umožňuje také efektivní testování trhů, získávání zpětné vazby od potenciálních spotřebitelů a investorů, přičemž to umožňuje vyhýbat se riziku masivních nákladů na prototypování.

### **5. HMATATELNÝ DESIGN A TESTOVÁNÍ VÝROBKU**

Prožitek pocitu a dotyku prototypu výrobku nelze srovnávat s pohledem na výrobek na obrazovce. Fyzický prototyp lze otestovat a v případě zjištění jakýchkoli nedostatků lze soubor s počítačovou podporou upravit a do následujícího dne vytisknout novou verzi.

### **6. KVALITA**

Tradiční výrobní přístupy mohou vést ke špatným návrhům a špatné kvalitě prototypů. V případě, že zúčastněné prvky nejsou správně smíchány, může být konečný výsledek zkažen, jako například v případě subtraktivních nebo i jiných přístupů, kvalita často není zaručena. 3D tisk umožňuje krok za krokem sestavit produkt nebo jeho část, což zajistí vylepšení designu a lepší kvalitu dílů nebo součástí.

### **7. KONZISTENTNOST**

V klasických výrobních metodách mohou vznikat situace, kdy některé díly nebudou kompatibilní nebo jejich kvalita bude horší než u jiných dílů výrobků. V případě 3D tisku se díly tisknou postupně. Každý následující jednotlivý díl může být zkontrolován, což umožňuje rychlé sledování defektů, minimalizuje se celkový počet chybějících a plýtvaných dílů a zároveň zvyšuje konzistentní kvalitu generovaných dílů.

### **8. MINIMIZACE RIZIKA**

3D tisk umožňuje podnikům minimalizovat svá výrobní rizika. Technologie dovoluje produktovým designérům ověřovat prototypy produktů před technologií 3D tisku a produktovým designérům umožňuje ověřovat prototypy produktů předtím, než se pustí do značné výrobní investice, která by mohla být katastrofální v případě chybného projektování.

## 9. DOSTUPNOST

Systémy 3D tisku jsou mnohem dostupnější a může je využívat více lidí než v případě běžného výrobního závodu. Na rozdíl od vysokých nákladů spojených s řízením klasických produkčních systémů technologie 3D tisku vyžadují nižší náklady. Vzhledem k tomu, že jsou téměř zcela automatizované, potřebují také minimum personálu pro řízení a obsluhu stroje, což zaručuje cenově dostupnější úroveň než jiné výrobní systémy.

## 10. UDRŽITELNOST

Tradiční výrobní proces je v podstatě subtraktivní proces, při kterém se suroviny během výroby ztrácejí a potom znovu a znovu používají, což má za následek velké množství odpadu a vysoké náklady na jeho přepracování a recyklaci. Díky 3D tisku je k výrobě potřeba méně dílů. To znamená i menší dopad na životní prostředí, protože se po světě posílá méně zboží a méně požadavků na provoz a údržbu energeticky náročného závodu. 3D tisk generuje poměrně málo odpadků na jeden díl, a navíc materiály používané při 3D tisku jsou obvykle recyklovatelné. Velkoobjemové 3D tiskárny umí samy přepracovat vzniklý odpad. Termoplastické materiály lze například roztavit, ztuhnout (ochladit, aby ztuhly), znovu roztavit, znovu ztuhnout a tak dále. Výrobní „odpad“ tak může být znovu využit.

### • Nevýhody 3D tisku

Přestože nabízí aditivní technologie nesporné výhody oproti ostatním typům výroby, stále existují kritická omezení, která brání tomu, aby plně nahradila jiné výrobní metody. Navíc rychlým šířením technologií do budoucna mohou vznikat i další rizika, která se teprve zjišťují v praxi.

#### 1. OMEZENOST

Omezená velikost tiskové plochy a omezenost použití. Zařízení dokáže vytisknout pouze model, který se vejde na jeho platformu. Pokud bude potřeba vytvořit větší prototyp, bude nutné se uchýlit k různým trikům: můžete například vytisknout model po částech a pak je nějakým způsobem sestavit. Navzdory tomu, že již existuje prototyp 3D tiskárny s neomezenou velikostí pracovní plošiny, nelze zatím hovořit o masovém zavedení takové technologie. Většina komerčních tiskáren používaných dnes zatím pracuje pouze s polymery, jejichž užití je velice omezené. Zároveň vlastnosti materiálu jsou většinou horší než u polymerů vytvářených pomocí formativní výroby.

#### 2. NEPŘESNOST

Zbavit se úplně tepelného smršťování nebo smršťování hotového modelu není možné. Toto je fyzický proces, můžeme jej pouze kompenzovat. Vrstvy se mohou stékat, vertikála nemusí být dodržena, vrstvy neleží přesně na sobě. Výstupky na horní vrstvě modelu mohou být otevřené nebo uzavřené. V podstatě to je způsobeno prohýbáním plastu, který při tisku na vzduchu bez podpěr nestihne vychladnout. Bude-li k modelu špatně zvolené vrstvení, nemusí být výrobek vůbec využitelný.

**3. MENŠÍ PEVNOST** ve srovnání s konvenční výrobou. Mnoho 3D tištěných dílů je na rozdíl od konvenčních výrobních postupů poměrně křehkých, kromě těch vyrobených z kovu,

kteří mají účinné mechanické vlastnosti. To je z velké části způsobeno tím, že díly jsou konstruovány po vrstvách, což značně minimalizuje její pevnost.

**4. ZVÝŠENÉ NÁKLADY** při velkém objemu. Obecně provádění velkých výrobních operací prostřednictvím 3D tisku je nákladnější kvůli menšímu dopadu úspor z rozsahu. Podle odhadů, když je provedeno přímé srovnání mezi podobnými díly, je 3D tisk méně nákladově efektivní ve srovnání s díly vyrobenými pomocí konvenčních výrobních postupů. V současném stavu nemá aditivní výroba možnost dosahovat velkoobjemové produkce ve stejném množství jako například formativní výroba. Nicméně tato omezení se týkají výroby tisícových sérií. Pro maloobjemovou výrobu je metoda 3D tisku přijatelná, i omezení z hlediska masové produkce by mohla být odstraněna za pomoci většího množství tiskáren.

#### **5. ŠKODLIVÉ EMISE**

Během tisku se produkuje velké množství škodlivých emisí. Množství škodlivých emisí aerosolu do atmosféry výrazně závisí na rozměrech zařízení a množství termoplastu produkovaného tiskárnou. Chemikálie se ukládají v našich plicích a také přispívají ke zvětšení velikosti ozónové díry. Tým výzkumníků pod vedením profesora Brenta Stephense provedl vlastní experiment, kde testoval pět modelů 3D tiskáren. Díky tomu byli vědci schopni vypočítat koncentraci nanometrových částic, které se tvoří během procesu 3D tisku. Výsledky experimentu nepotěšily ani výrobce tiskáren, ani majitele a uživatele zařízení. Faktem je, že 3D tiskárny využívající při tisku kyselinu polyléčnou (PLA) prokázaly extrémně vysokou úroveň emise ultrajemných částic – od 20 miliard za minutu. Zařízení poháněná akrylonitrilbutadienstyrenem (ABS) uvolňují do atmosféry až 200 miliard částic za minutu. Vědci uvedli, že škodlivé emise v takovém množství jsou podobné těm, které se vypouštějí do atmosféry při spalování tabáku nebo vonných svíček nebo při spalování zemního plynu. Při použití laserové tiskárny využívající jako tiskový materiál prášek navíc nevznikají méně škodlivé emise. (<https://www.foxnews.com/tech/study-3d-printing-can-be-hazardous-to-your-health>)

#### **6. POMALÁ RYCHLOST**

3D tiskárny jsou ve skutečnosti velmi pomalé. Někteří výrobci uvádějí vysokou rychlost tisku, ale toto číslo je relativní. Zvláště pokud jde o výrobu velkého množství prototypů. Mnoho uživatelů, kteří vlastní levné tiskárny, je nechává běžet celou noc, aby měli do rána hotový malý model. V závislosti na rozměrech a kvalitě tištěného produktu může být proces zpožděn. V průměru může proces vytváření modelu trvat několik hodin až několik dní. Doba trvání je přímo úměrná velikosti objektu: čím větší je budoucí prototyp, tím více času zabere tisk.

#### **7. POŽADAVKY NA NÁSLEDNÉ ZPRACOVÁNÍ**

Většina 3D tištěných dílů vyžaduje určitý druh následného zpracování. Může se jednat o vyhlazování pro vytvoření požadované povrchové úpravy nebo o tepelné zpracování pro dosažení konkrétních vlastností materiálu a také o finální obrábění.

#### **8. PORUŠENÍ AUTORSKÝCH PRÁV**

Rozvoj technologie 3D tisku může vest k nárůstu výroby padělků. Je to proto, že nyní může kdokoli s přístupem k modelu existujícího produktu rychle ho zkopírovat. Kvůli tomu se již teď zvýšil počet porušení patentů a je téměř nemožné identifikovat padělaný produkt.

Vývoj technologie 3D tisku zkomplikoval život držitelům autorských práv a patentů při ochraně práv na jejich unikátní produkty.

Nikdo ale zatím nedokázal, že by se v důsledku rozmachu aditivní výroby zvyšovala míra zneužívání práv na duševní vlastnictví například kopírováním existujících produktů. Evropská komise v roce 2020 vydala dokument s názvem „Dopady rozmachu průmyslového 3D tisku na duševní vlastnictví“ (<https://op.europa.eu/cs/publication-detail/-/publication/e193a586-7f8c-11ea-aea8-01aa75ed71a1>), ve kterém dospěla k závěru, že jen určité oblasti vyžadují zvýšenou pozornost, například ochrana dat uložených v CAD souborech. I s takovými problémy se však trh umí vypořádat a technologie nám dovoluje omezit nakládání s daty pro 3D tisk určitého objektu. (Jan Homola, Největší omyly o aditivní výrobě).

## **9. VÝROBA NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ**

Výroba výbušnin, nožů a dalších nebezpečných zbraní je nyní dostupnější díky technologii 3D tisku. Je to proto, že lidem je nyní umožněn přístup ke způsobu výroby předmětů ve vlastních domovech, což dříve nebylo možné, což znesnadnilo příslušným bezpečnostním orgánům určit, kdy teroristé a zločinci vyrábějí zbraně. S tím, jak se technologie 3D tisku stává levnější a uživatelsky přívětivější, očekává se nárůst vývoje a výroby nelicencovaných zbraní. Někteří zločinci využívají 3D tiskárny k vytvoření realistických čteček bankomatových karet.

Například v dubnu 2021 provedla španělská národní policie (Policía Nacional) razii a rozebrala nelegální dílnu na Kanárských ostrovech, která vyráběla 3D tištěné zbraně. Byly zabaveny dvě 3D tiskárny, spolu se součástmi zbraní, replika útočné pušky a několik příruček o městské guerillové válce a literatuře o nadřazenosti bílé rasy. Majitel dílny byl zatčen a obviněn z nedovoleného držení zbraní.

Ve dnech 24. a 25. května 2022 se v nizozemském Haagu sešlo více než 120 odborníků z celého světa, aby diskutovali o vznikající hrozbě 3D tištěných střelných zbraní. Konference pořádaná Europolem, nizozemskou národní policií v rámci střelných zbraní EMPACT, která byla pořádaná Univerzitou v Leidenu, byla první svého druhu, na níž se sešli přední odborníci z oblasti legislativy, policie, průmyslu 3D tisku, forenzní a akademické sféry. Během těchto dvou dnů byl během plenárních prezentací a v malých pracovních skupinách diskutován současný stav fenoménu, poučení z vyšetřování a možnosti budoucích intervencí.



Obrázek 12: Plakát na konferenci Haagu. (<https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/printing-insecurity-tackling-threat-of-3d-printed-guns-in-europe>)

Vedoucí týmu analytického projektu Europolu o zbraních a výbušninách Martin van der Meij řekl: „The threat posed by 3D printed weapons is very much on the radar of Europol, amid the growing number of such firearms being seized in investigations across Europe in recent years. Such a challenge can only be addressed by combining the expertise, resources and insights of law enforcement, the private sector and academia to get such guns off the streets.“ („Hrozba, kterou představují 3D tištěné zbraně, je hodně sledovaná Europolem, uprostřed rostoucího počtu takových střelných zbraní, které byly v posledních letech zabaveny při vyšetřování po celé Evropě. Takovou výzvu lze řešit pouze spojením odborných znalostí, zdrojů a poznatků orgánů činných v trestním řízení, soukromého sektoru a akademické sféry, aby se takové zbraně dostaly z ulic,“ vlastní překlad)

Konferenční závěry byly následující:

- Pro identifikaci a sledování vývoje v oblasti 3D tištěných střelných zbraní je zapotřebí spojení a spolupráce mezi donucovacími orgány a průmyslovým/soukromým sektorem;
- Bude vytvořena mezinárodní síť odborníků na 3D tištěné střelné zbraně, jejichž úkolem bude, aby donucovací orgány držely krok s vývojem v oblasti 3D tištěných střelných zbraní;
- Hlavní politická doporučení účastníků a další vývoj kolem 3D tištěných střelných zbraní budou zařazeny do informačního listu, který bude distribuován partnerům a tvůrcům politik po celém světě.

## • Důsledky 3D tisku

Technologie 3D tisku nevyhnutelně změní výrobní sféru. Nyní lze rychle, efektivně a s ohledem na životní prostředí využívat místní návrh a produkci. Je také možné vytvářet výrobky přizpůsobené konkrétním zákazníkům. Vzhledem k tomu, že každý 3D tisk probíhá samostatně, je možné jednotlivě výtisky upravovat (což hromadná výroba tak snadno nedovoluje) (Liza Wallach Kloski, Začínáme s 3D tiskem, str. 21). Důsledkem bude to, že 3D tisk bude pozičně usazen někde mezi hromadnou produkcí a lokálními farmářskými trhy (Lipson et al., 2013).

Aditivní výroba může zpochybnit koncept logistického řetězce, což může vést k četným následkům. Ty mohou zahrnovat just-in-time výrobu, snížení nákladů na skladování, dopravu, energii a další související náklady. Tato technologie se zdá být v blízké budoucnosti extrémně slibná, je třeba se však zaměřit i na její slabší stránky (Andre, 2017).

3D tisk svým způsobem může poškodit světový obchod dvěma způsoby. Za prvé, 3D tisk obvykle znamená přeskupení výrobních fází, protože 3D tiskárny dokážou vyrobit (mezi)produkt jako celek. Zkracuje tak dodavatelský řetězec, což vede k menšímu obchodu s meziprodukty. A pokud je 3D tisk součástí strategie vyrábět blíže k zákazníkovi – vzhledem k rostoucí popularitě místních pro místní – vede také k menšímu přeshraničnímu obchodu.

Ekonomicky se 3D tisk používá hlavně jako způsob výroby přizpůsobených nebo složitě tvarovaných výrobků. Zkušenosti ukazují, že není samozřejmé, že všechny zakázkové 3D tištěné produkty jsou vyráběny v blízkosti spotřebitele. V zajímavé studii Worldbank (2020) (zdroj [World Bank Document](#)) se ukázalo, že v případě sluchadel a zubních korunek nevedl 3D tisk k lokalizaci výroby. Na rozdíl od toho, co se zdá být konvenční, zjišťujeme, že nová technologie vede ke zvýšení světového obchodu, protože umožňuje snížit výrobní náklady. Analýza 35 dalších produktů, které stále více využívají 3D tisk, potvrzuje tento hlavní záznam, ale také naznačuje, že vlastnosti produktu, jako je objemnost, mohou ovlivnit vztah mezi 3D tiskem a obchodem.

Podle tohoto výzkumu je nedostatek kvalifikované pracovní síly v mnoha zemích důležitým důvodem, proč se například naslouchátka nevyrábí v zemích, kde se používají. Myšlenka, že s příchodem relativně levných a malých 3D stolních tiskáren si všichni zubaři začnou tisknout korunky sami, se nenaplnila. Alespoň zatím ne. Přeskupení výrobních procesů tedy nevede ve všech případech k úměrně menšímu obchodu.

Zatímco jak se rychle rozvíje technologie 3D tisku a pracuje se čím dál tím víc na vývoji 3D tiskových zařízení různých typů, ochrana životů a zdraví uživatelů zůstává prioritou. Rostou obavy ohledně potenciálních rizik spojených s lékařským používáním 3D tištěných zařízení. Pro udržení vysoké úrovně důvěry v tuto technologii je důležité zajistit technologickou vhodnost a odpovědnost nových schválených návrhů a certifikovaných materiálů pro využití výhod 3D tisku.

Federální agentury a vládní úřady zavedly předpisy a vypracovaly pokyny, které musí výrobci zdravotnických prostředků vytištěných na 3D tisku dodržovat. Byl zaveden

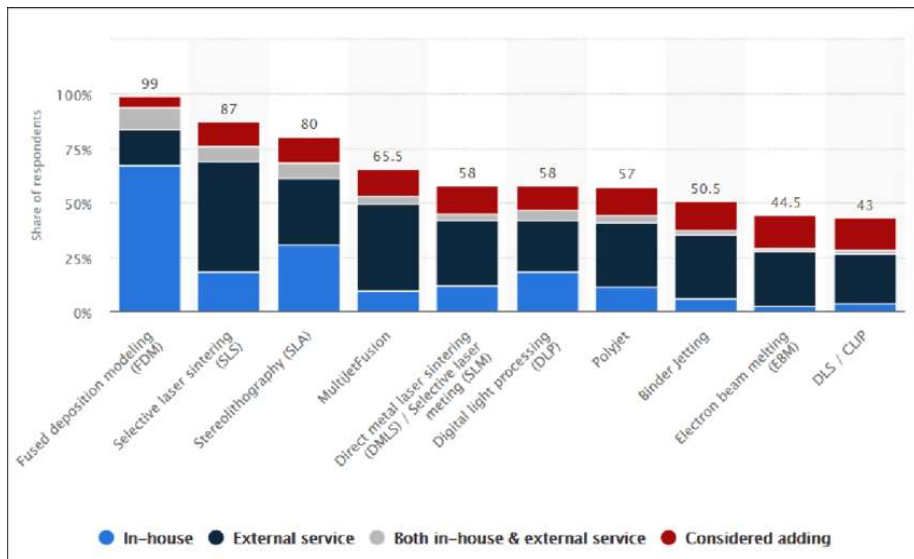
mezinárodní systém klasifikace rizik pro 3D tištěná zdravotnická zařízení a nyní musí být splněny základní zásady bezpečnosti a výkonu. Všechny činnosti výroby a následného zpracování musí být zdokumentovány a prováděny v rámci systému řízení kvality vyhovujícího normě ISO 13485 a konečná tištěná zařízení musí být hodnocena z hlediska biologické kompatibility na základě mezinárodních norem (jako je ISO10993-1). Vybudování silného rámce pro odpovědnost a implementace pokynů podporovaných regulačními orgány, a dokonce i vládami může pomoci získat větší důvěru ve 3D tištěná zdravotnická zařízení.

Předpisy však mají tendenci zaostávat za inovacemi, což může přispět ke kultuře, která nepatřičně spoléhá na postupy, kontrolní seznamy a pravidla spíše než na základní principy a etickou kulturu. Například pohodlí digitálního sdílení souborů by mohlo usnadnit vysokou úroveň porušování autorských práv. Je zapotřebí etického přístupu, aby se zabránilo zvýšenému napětí mezi různými skupinami s konkurenčními zájmy a opožděným reakcím na mimořádné události v důsledku porušování autorských práv. Povinnosti po uvedení na trh, které zahrnují zajištění toho, aby tištěná zařízení fungovala tak, jak bylo zamýšleno, a hlášení dříve nepředvídaných závad nebo poruch zařízení mohou kolem technologie vybudovat širší rámce etiky a odpovědnosti. Spolupráce mezi uživateli 3D tiskáren a lékařskými odborníky může zajistit bezpečnost a efektivní výkon zdravotnických zařízení vytištěných na 3D tiskárně.

## 2. Druhy 3D tisku

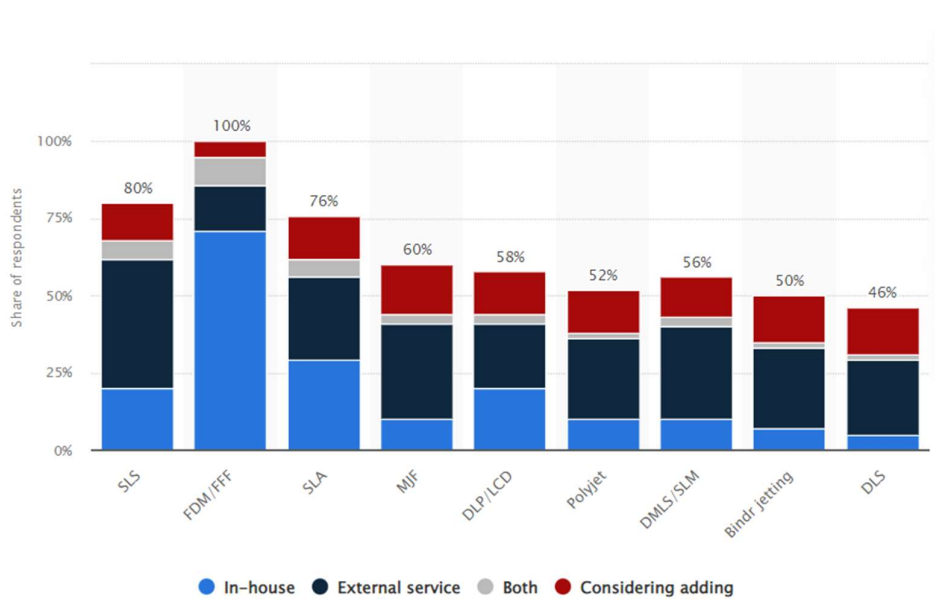
Současná literatura (Ondřej Stříteský, 2019) dělí metody aditivní výroby na 3 hlavní kategorie podle toho, jakou podobu má tiskový materiál a jakým způsobem je zpracováván. Metoda aditivní výroby na kapalně bázi, na bázi pevné složky, na bázi prášku a na bázi biologického materiálu (BIOINKS). Dělení podkategorií může být velice různorodé v závislosti na autorovi. Přestože jsou si některé metody 3D tisku velice podobné, jsou u nich využívány jiné názvy, neboť jsou součástí ochranné známky. Všechny technologie 3D tisku jsou založeny na stejném principu – postupném nanášení vrstev na sebe. V současné době neexistuje žádná technologie 3D tisku, která by byla univerzální a vhodná pro všechna použití.

Následující obrázek představuje přehled nejpoužívanějších technologií 3D tisku ve světě v roce 2020, ze kterého vidíme, že FDM, SLM a SLA jsou tři nejpoužívanější technologie 3D tisku (seřazeno dle frekvencí využití), přičemž jako nejpoužívanější metoda pro domácí využití byla technologie FDM.



Obrázek 13: Druhy 3D tisku dle typu uživatelů pro rok 2020. (Statista, 2020)

Další diagram znázorňuje, které technologie 3D byly nejméně používány v roce 2021.



© Statista 2022

Obrázek 14: Druhy 3D tisku dle typu uživatelů pro rok 2021. (Statista, 2022)

Je z diagramů vidět, že technologie FDM/FFF se postupně více a více vzdaluje ostatním technologiím a nyní se jeví jako nejméně populární v in-house podnicích.





Obrázek 15: Nejpoblárnější typy tiskáren v roce 2021

- **Technologie FDM/FFF**

Zde materiál v podobě tiskové struny je extrudovaný (vytlačovaný) tiskovou hlavou skrz rozehřátou trysku. Příkladem je technologie FDM (fused deposition modeling)/FFF (fused filament fabrication). Oba tyto názvy lze považovat za synonyma. FDM je registrovaná známka firmy Stratasys.

Mezi širokou veřejností se jedná o nejrozšířenější a nejdostupnější technologii 3D tisku. Je vhodná pro tisk funkčních modelů a prototypů. Stavebním materiálem je primárně roztažený plast. Ten je postupně nanášen na sebe vrstvu po vrstvě. Tiskovým materiálem je tisková struna (filament) nejčastěji průměru 1,75 mm. Dříve se používal také filament s průměrem 3 mm, nevýhodou byla ale menší přesnost v jeho dávkování. Oproti pryskyřici či jemnému prášku, které se využívají v dalších technologiích, je práce s filamentem jednoduchá a bezpečná. Na výtisku jsou patrné tiskové vrstvy. Jejich výška se při použití nejběžnější trysky průměru 0,4 mm pohybuje přibližně v rozsahu od 0,05 mm do 0,3 mm.

Cenové rozpětí FFF tiskáren se pohybuje v rozmezí od 2 500 Kč za levné tiskárny z Číny až po částky převyšující jednotky milionů korun za profesionální tiskárny. Tiskárna Original Prusa i3 MK3 v cenové relaci okolo 20 000 Kč je dobrým kompromisem mezi cenou a kvalitou.

- **Technologie SLA**

Při této technologii tekutý materiál je vytvrzován v rámci vrstvy na definovaných oblastech. Příkladem je technologie SLA stereolitografie. Materiál je vytvrzován světelným paprskem (UV laser či DLP projektor).

SLA technologie je založena na principu vytvrzování světlocitlivé pryskyřice pomocí světla. Podložka se při každé vrstvě posune a proběhne vytvrzení fotopolymeru na požadovaných místech. Tisk je v porovnání s FFF tiskárnami detailnější, ale typicky trvá déle a tisková plocha je menší. Tyto tiskárny si najdou uplatnění především v medicíně a šperkařství. Tisk je takřka ideálně hladký, detailní a nejsou na něm tak patrné vrstvy materiálu, jako jsme tomu zvyklí u FFF tiskáren. Nevýhodou této technologie může být menší tisková plocha oproti FFF

tiskárnám, a především toxicita pryskyřice. Je třeba se vyvarovat kontaktu pryskyřice s pokožkou a dýchání výparů během tisku.

Ceny 3D tiskáren s technologií SLA začínají přibližně na dvojnásobku ceny FFF tiskáren. Nejlevnější modely SLA tiskáren lze zakoupit již od 7 000 Kč. Profesionální řešení se pohybují v milionech korun. Tiskárna Original Prusa SL1 stojí 40 tisíc korun.

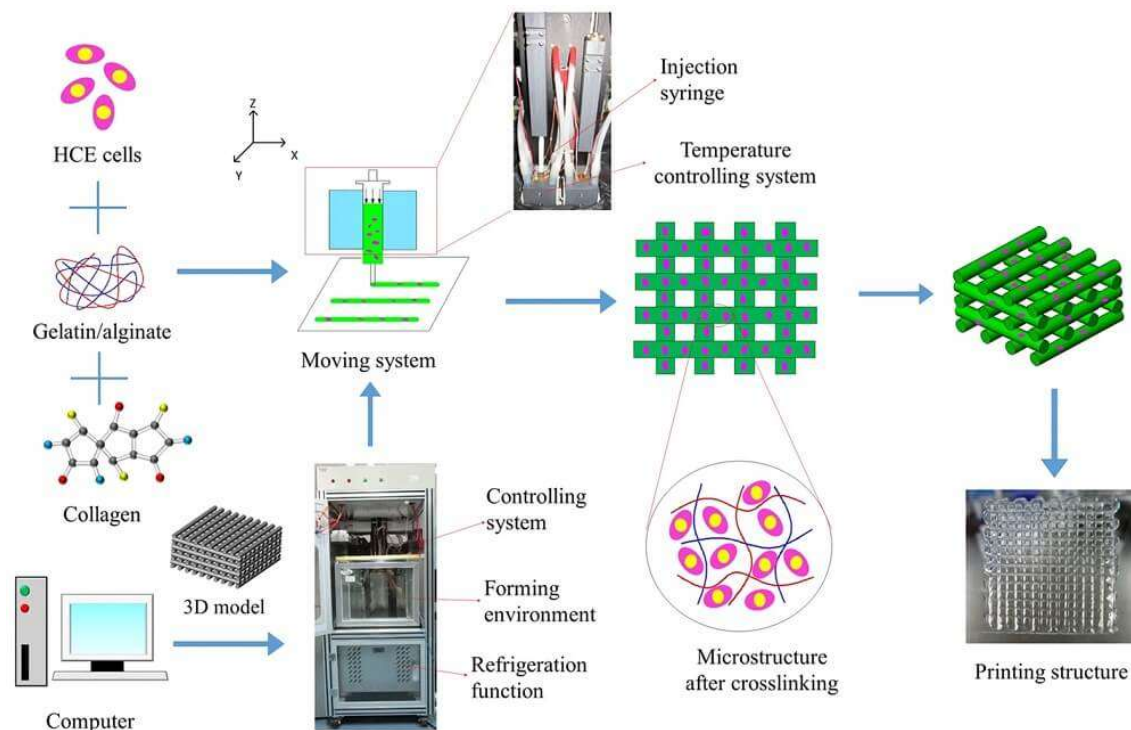
- **Technologie SLS**

Materiál v podobě jemného prášku je sinterován (spékán, nikoliv roztavován) laserem. Patří sem technologie 3D tisku SLS a DMLS. Během tisku nové vrstvy vždy válec nanese vrstvu jemného prášku a ten se laserem sintruje (spéká, materiál se neroztaví do tekuté podoby) v místech, která mají být součástí konečného výtisku. Tisk končí tak, že je celý model zasypaný v tiskovém materiálu. Proto je třeba při tvorbě dutého modelu vytvořit otvory umožňující vysypání nevytvrzeného materiálu. Ten je poté možné použít pro další tisk. Odpad tiskového materiálu je u této technologie minimální. Výhodou je velmi nevýrazné vrstvení materiálu. Tyto tiskárny zatím nejsou rozšířené mezi širokou veřejností tak, jako je tomu například u FFF tiskáren. Jejich využití je zejména v průmyslu a od toho se odvíjí i jejich cena, která začíná od 150 000 Kč. (Ondřej Stříteský, 2019)

- **Technologie na bázi bioinkoustu**

Jedná se o techniku, která zajišťuje trojrozměrný tisk z biologického materiálu. Může to být želatina, kolagen, kostní tkáň. Biotiskárny mohou tisknout jak živou tkáň, tak různé cévy, kosti, srdeční tkáň nebo celé orgány.

Princip 3D tisku je založen na přesném umístění biologických složek, biochemikálií a živých buněk způsobem vrstva po vrstvě s prostorovou kontrolou umístění funkčních složek na vyrobenou 3D strukturu. Proces 3D biotisku je založen na třech odlišných přístupech; biomimikry nebo biomimetika, autonomní sebeskládání a minitkáňové stavební bloky. 3D biotisk začíná vhodnou mikroarchitekturou, která je dále stabilizována lešením buněk a tkání při zohlednění vlivu výroby na životaschopnost buněk. Nejdůležitější motivací pro vývoj 3D biotisku je omezená dostupnost biologických látek, které jsou nutné pro rehabilitaci ztracených orgánů a tkání. 3D biotisk je složitější než 3D tisk, protože buňky jsou citlivější a vyžadují zvláštní pozornost, aby buňky mohly růst a dělit se a přitom je nutno nedovolit cytotoxickou aktivitu rozpouštědel používaných během procesu. Výzkum 3D biotisku je zaměřen na vývoj přístupů, které umožňují výrobu 3D funkčních živých struktur biologického a mechanického významu za účelem obnovy funkcí tkání a orgánů.

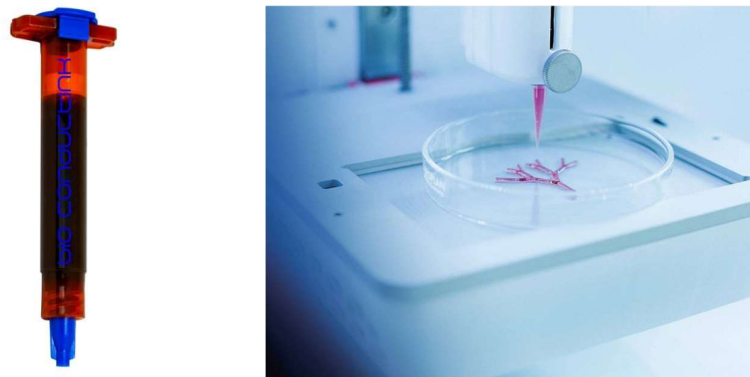


Obrázek 16: Schematické znázornění procesu 3D biotisku (Zdroj <https://www.nature.com/articles/srep24474>)

Hlavním materiálem pro 3D biotisk je speciální bioinkoust. Bioinkoust je biomateriál, který je vhodný pro biotisk buňkami a poskytuje dočasnou nebo trvalou podporu buňkám, mezi tím produkují vlastní extracelulární matrix. Bioinkousty na bázi biopolymerů, jako je kolagen, želatina, hyaluronan, hedvábí, alginát a nanocelulóza, jsou známé pro své příznivé biokompatibilní vlastnosti a jsou atraktivními biomateriály pro zapouzdření buněk a 3D biotisk. Tyto bioinkousty poskytují vhodné 3D prostředí s biologicky relevantními chemickými a fyzikálními signály, které napodobují přirozenému prostředí extracelulární matrix. Významné pokroky v technologii 3D biotisku a také vývoj nových bioinkoustů umožnily biotisk složitých 3D tkáňových struktur.

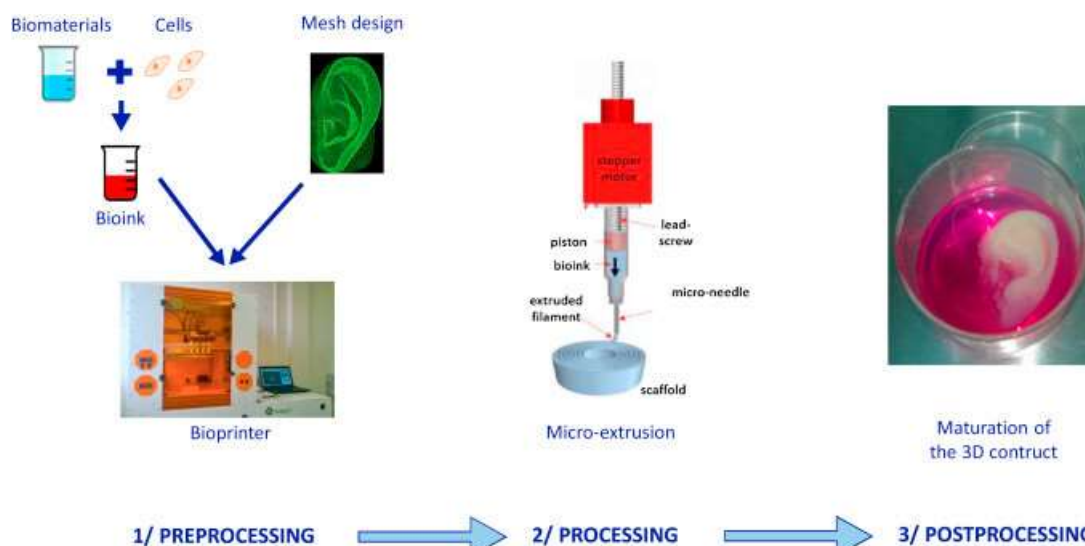
Na rozdíl od tradičních materiálů pro 3D tisk musí bioinkousty mít: tiskové teploty, které nepřekračují fyziologické teploty; podmínky mírného zesítnění nebo gelovatění; bioaktivní složky, které jsou netoxické a mohou být po tisku modifikovány buňkami.

Na obrázku níže je příklad pokročilého bioinkoustu. Jeho vzorec je elektricky vodivý a určený pro použití v modelech svalové kontrakce a nervové tkáně. Cena za 3 ml je kolem 160 USD.



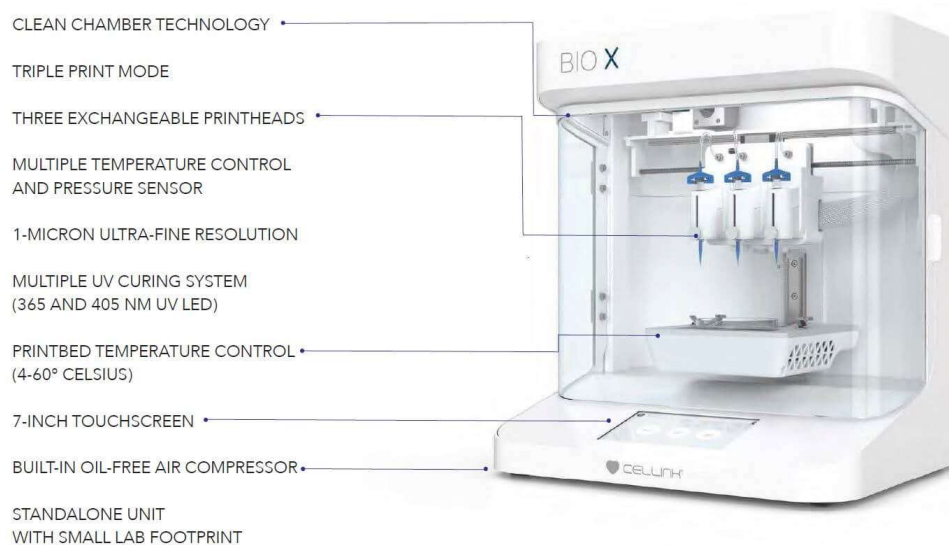
Obrázek 17: Příklad Bioinkoustu a práce s ním (Zdroj [https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2022/03/INKREDIBLE-16P\\_Digital-3.pdf](https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2022/03/INKREDIBLE-16P_Digital-3.pdf))

Hydrogely zapouzdřující buňky se používají při 3D biotisku k vytvoření živých tkáňových struktur vytvořením stavebních bloků mnohobuněčného biotisku. Zapouzdření buněk umožňuje přesnou kontrolu nad uchycením buněk a prostorovou distribucí buněk a biomolekul v lešení ve srovnání s jinými metodami a materiály.



Obrázek 18: Příklad výroby ucha pomocí metody 3D biotisku (Zdroj <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.12.014> <https://thebiologynotes.com/3d-bioprinting/>).

Biotiskárny dokážou více než jen tisknout buňkami, lze je také použít k výrobě technologií zapouzdření hydrogelových léčiv a technologií s prodlouženým uvolňováním, také pro výrobu velkých náplastí na míru nebo mikrometrických kuliček.



Obrázek 19: Biotiskárna Cellink (<https://www.cellink.com/>)

Jak 3D tisk, tak i 3D biotisk se používají v aplikacích tkáňového inženýrství. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma metodami spočívá v tom, že při biotisku inkoust zahrnuje biologické částice, jako jsou živé buňky nebo DNA, a proto musí být biokompatibilní (Netherlands: Academic Press, 2017). Tyto biologické částice jsou často kombinovány s hydrogelem, který poskytuje příznivé prostředí pro aktivní složky v bioinkoustu a lepší mechanické vlastnosti pro tisk (Gungor-Ozkerim PS, Inci I, Zhang YS, Khademhosseini A, Dokmeci MR, Bioinks for 3D Bioprinting: An Overview, *Biomaterials Science*, 2018; 6(5):915–46, <http://xlink.rsc.org/?DOI=C7BM00765E>). Při 3D tisku se bioaktivní složky přidávají do produktu po procesu tisku.

Tam, kde jiné aplikace tkáňového inženýrství mohou vytvářet tkáň pomocí lešení, s biotiskem je možné vytvořit podobné struktury bez potřeby lešení. K tisku takových lešení lze použít 3D tisk, ale 3D biotisk umožňuje výrobu struktur, které jsou jak biokompatibilní, tak mají zkrácenou dobu výroby. Při použití technologie k léčbě akutních ran může být rozhodující kratší doba výroby.

U tradičních metod lešení je náročné kontrolovat vnitřní strukturu materiálu. 3D biotisk poskytuje větší kontrolu a umožňuje přesné umístění různých typů buněk na požadovaná místa.

## 3. Uplatnění 3D tisku

3D tisk je vhodné aplikovat tam, kde dochází k vývoji nového produktu opakující se sekvencí operací a postupů, ale také u společností, které procházejí různými stádii vývoje produktu, než konečně dospějí k finálnímu produktu, kde každá úprava je mírnou modifikací předchozí verze. 3D tisk zajišťuje rychlejší a cenově dostupné řešení tohoto procesu. A především posouvá tento proces přímo ke konečnému spotřebiteli. V budoucnu si spotřebitel bude moci nakupovaný produkt upravit dle svých potřeb ještě před pořízením (Strokes, 2013). Umělá inteligence posouvá návrhy nových řešení směrem, kde dosavadní výrobní procesy nestačí. Důsledkem nových možností je, že se designeři nebudou muset omezovat kvůli výrobním postupům. Díky těmto skutečnostem se bude aditivní výroba stále více prosazovat v širším spektru odvětví.

### 3.1 Zdravotnictví

Jednou z hlavních výhod aditivní výroby je její schopnost navrhovat a vytvářet individuální produkty na míru. A co může být důležitější než přizpůsobení ve zdravotnictví, kde lékaři léčí pacienty, kteří jsou všichni jedineční a odlišní? Od nemocnic přes univerzity až po výzkumné laboratoře se mnoho lékařů zajímá o technologie 3D tisku.

Aplikace neustále přibývají, pokud jde o 3D tisk a lékařskou oblast. Během několika posledních let bylo slyšet o tak rozmanitém použití, jako je výroba protéz, implantátů, chirurgických modelů, a dokonce tkání a orgánů z buněk pacientů. Pokrok je bleskurychlý a vidíme stále více zdravotnických zařízení, která se vybavují 3D tiskárnami, a dokonce jednotkami zcela věnovanými 3D technologiím. Například ve Francii vybavil výrobce Poietis Hôpital de la Conception v Marseille 3D biotiskárnou pro usnadnění tvorby kožní tkáně, kterou lze implantovat/vytisknout přímo na problémové místo pacienta. A dětská nemocnice v Seattlu přijala 3D tiskárny využívající materiál PolyJet, která by jim měla pomoci při chirurgickém plánování složitých případů a snížit tak úmrtnost.

Zdravotnictví může z aditivní výroby těžit hned několika způsoby.

Jako nejjednodušší se nabízí výroba **výukového materiálu pro studijní účely**, případně pro přípravu před zamýšleným chirurgickým zákrokem. Nové obzory přinese aditivní výroba v nejbližší době ve **stomatologii a protetice**. Protetice přinese aditivní výroba možnost optimalizace tvarů protetických náhrad a ortéz přímo na míru konkrétního pacienta (Jina 2015). Takto vytištěné náhrady poskytují rovnoměrnější rozložení tělesné váhy a tím jsou pro uživatele pohodlnější a prospěšnější a nedochází k atrofii či nerovnoměrnému zatížení svalů. Zároveň takto vytvořené ortézy umožní pokožce lépe dýchat na rozdíl od sádrových či jiných neprodyšných materiálů. Pro stomatologii není využívání fotopolymerů ničím novým, v České republice se takovéto materiály používají jako zubní výplně již řadu let. Až v poslední době ovšem dochází k jejich sofistikovanějšímu využití – s rozvojem trhu výrobců 3D tiskáren. Výrobci nabízejí zubařům komplexní řešení od skenovacího a modelovacího softwaru pro tiskárny až po odborné zaškolení. Tyto technologie nezůstávají pouze u fotopolymerů, ale jsou schopné vyrábět korunky a částečné či totální náhrady (protézy) z velkého množství materiálů od keramiky až po kovy. Výhodou takovýchto náhrad je opět jejich přesnost a úprava tvarů právě pro potřeby pacientů (Chen et al. 2015).

# 3D PRINTING IN THE MEDICAL SECTOR

2022

## HOW IS THE TECHNOLOGY DEVELOPING IN MEDICINE?



### Dentistry

Additive manufacturing in the dental sector helps in the development of crowns, dental implants or surgical guides.



### Implants

Individualized implants are made using various 3D printing techniques adapting to the needs of patients.



### Medical devices

By scanning body parts, measurements are taken to model medical applications in 3D that are adapted to each patient.



### Bioprinting

Similar to inkjet printing, bioprinting is created by mixing hydrogel and human cells. After printing, the individual cells grow together to form a living tissue.



### Medications

Whether with FDM, SLA or SLS technologies, 3D printed drugs enable personalized dosing for each patient.



### Surgical planning

The model is created with the help of a CT scan, then scanned in 3D using special software and later produced using 3D printing.

Obrázek 20: 3D tisk ve zdravotnictví v roce 2022

## TIMELINE

- 1984 ● Chuck Hull applies for the first patent for 3D printing technology (SLA)
- 2002 ● Scientists at Wake Forest University 3D print a functional miniature kidney
- 2007 ● Organovo, today a leader in the bioprinting industry, enters the market
- 2012 ● LayerWise creates first 3D-printed jawbone implanted in an 83-year-old woman
- 2014 ● First 3D-printed skull is implanted at the Medical Center in the Netherlands
- 2016 ● International Stem Cell Corporation develops the first functional ovary for a fertility study
- 2019 ● First 3D-printed heart made from human tissue at Tel Aviv University
- 2021 ● Patient Steve Verze receives the first 3D-printed eye prosthesis

Obrázek 21: Timeline vývoje 3D tisku ve zdravotnictví. (<https://www.3dnatives.com/en/infographic-3d-printing-medical-sector-200720225/#!>)



V roce 2022 přišel další průlomový bod, kdy chirurgové a vědci dokázali vytisknout **protézu oka** na 3D tiskárně a voperovat ji pacientovi.

Sedmačtyřicetiletý Brit Steve Verze dostal jako první člověk na světě umělé oko z 3D tiskárny. Zákrok provedli zdravotníci v *Moorfieldské oční nemocnici v Londýně*. Pacient umělé oko potřeboval už sedmadvacet let. Dostal první digitální umělé oko vytvořené pacientovi na míru. Oko vypadá realističtěji než jeho jiné alternativy. Je vytvořené tak, aby mělo lepší ostrost a reálnou hloubku ostrosti zornice. Další výhodou je, že jeho implementování bylo méně invazivní, než tomu je u jiných případů. Pacientovo funkční oko lékaři naskenovali, aby obě oči vypadaly stejně. Nemocnice 3D obraz oka nejdříve vytvořila a poté ho poslala na tisk do Německa. Po tisku oko putovalo zpět do Velké Británie, kde ho okularista *Moorfieldské oční nemocnice* dokončil a přešetřil.



Obrázek 22: Pacient s přesazeným okem po úspěšné operaci (<https://nypost.com/2021/11/25/man-becomes-worlds-first-3d-printed-eyeball-recipient/>)

Experti společnosti 3DBio Therapeutics, která se zabývá regenerativní medicínou, použili novátorskou metodu s využitím 3D tisku. Naskenovali druhé (zdravé) ucho pacientky a na základě dat z něj udělali program pro chybějící ucho – zrcadlovou kopii ucha zdravého.

Potom k rekonstrukci ucha použili chondrocyty – buňky, které se podílejí na růstu chrupavky. Smísili je s kolagenem (ve vodě nerozpustná bílkovina) a 3D biotiskárna ze směsi vyrobila ucho pokryté biologicky rozložitelným vrchním pláštěm, který slouží jako dočasná opora.





Obrázek 23: Bioimplantát ušního lalůčku (Profimedia, <https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298>)

Zárok provedli lékaři už v březnu 2022 v San Antoniu v Texasu. O úspěchu však informovali až v červnu 2022.

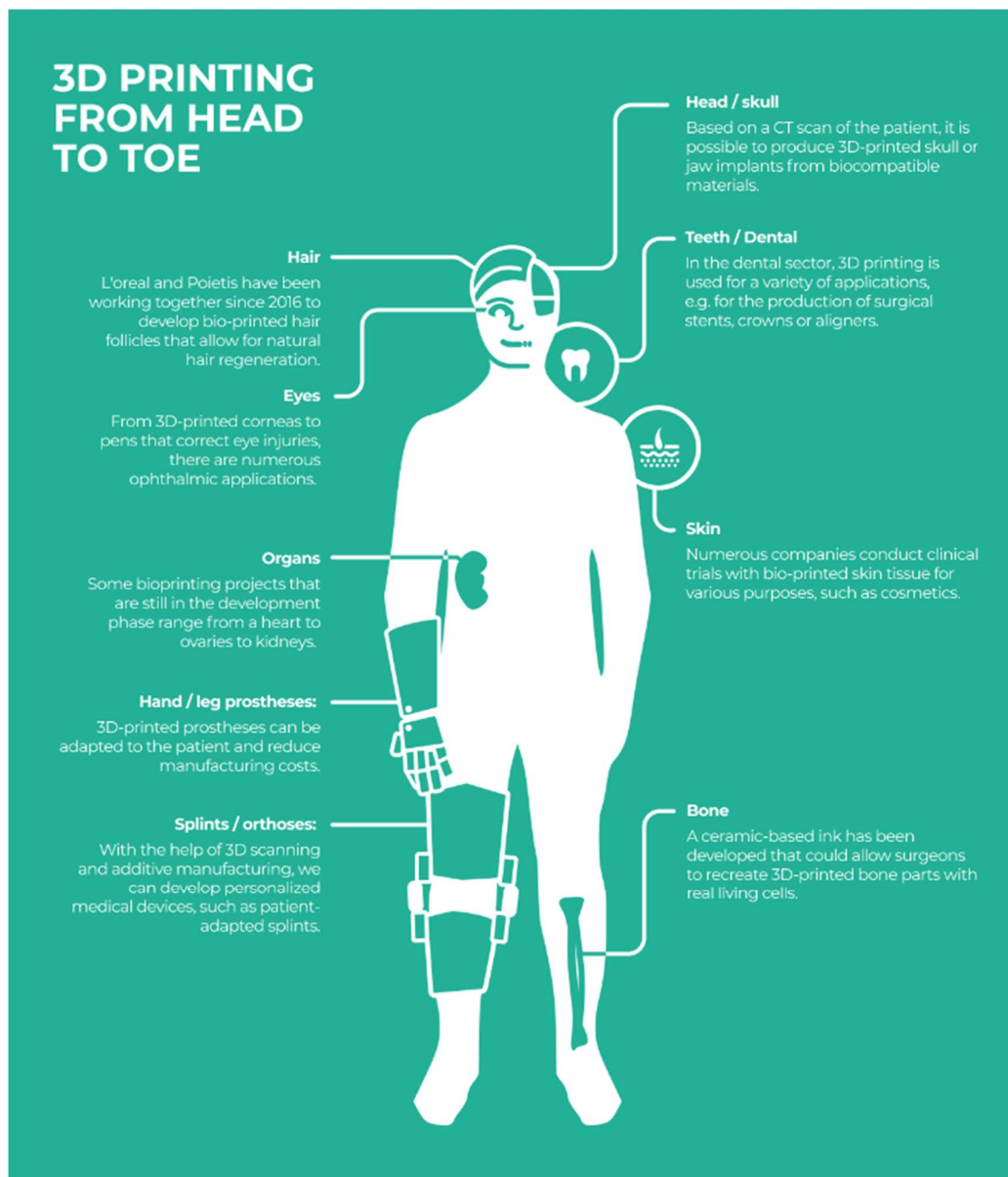
Samotný implantát musí na těle „dozrát“, poté by měl svým tvarem i pocitově působit jako normální lidské ucho. Experti z 3DBio Therapeutics jsou přesvědčeni, že tělo implantát s vlastními buňkami neodmítne.

Implantace pomocí 3D tisku je několikanásobně jednodušší, rychlejší a také méně bolestivá než výroba ucha z chrupavky žeber. Implantáty bude možné voperovat nejen dospělým lidem, ale také dětem, protože díky chondrocytům by měly růst s lidským tělem.



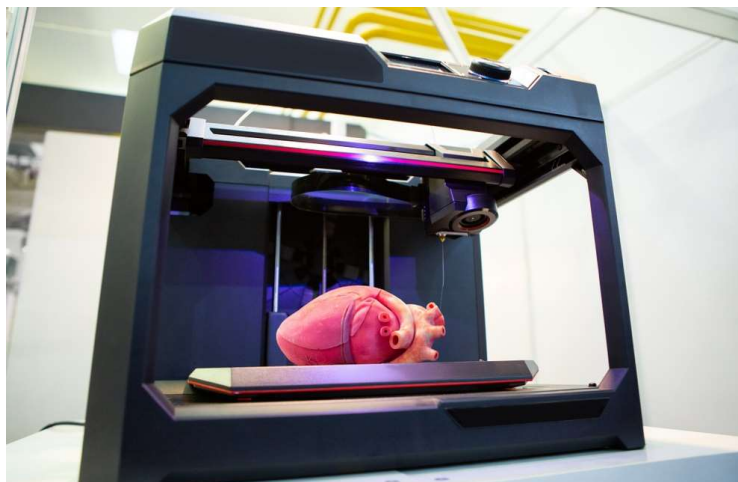
Obrázek 24: Pacientka před operací (vlevo) a měsíc po ní (vpravo). Implantát časem dozraje do typického vzhledu ucha (Profimedia, <https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298>)

Na obrázku níže vidíme, se kterými částmi lidského těla nejvíc vědci pracují pomocí 3D technologií v roce 2021–2022.



Obrázek 25: : 3D tisk od hlavy do paty

Co se týká **3D tisku orgánu** v České republice, jeho průkopníkem je například pražská specializovaná nemocnice **IKEM**, která tiskárny využívá k výrobě umělých lidských orgánů, a to včetně jater, ledvin nebo srdce, které si tiskne několikrát do měsíce. Vyrobené orgány často využívá pro přípravu na budoucí operace. Vytisknutý model totiž slouží jako vynikající pomůcka, díky které si lékaři mohou orgán důsledně prohlédnout a objevit možné komplikace ještě před začátkem operace.



Obrázek 26: Vytisknuté srdce pro studijní účely

Už v roce 2018 se médií prohnala zpráva o zázračné operaci, při které lékaři implantovali pacientovi plně funkční srdeční náhradu. Jednalo se tak o jeden z největších úspěchů české medicíny a nestojí za ním nikdo jiný než právě pražská nemocnice IKEM. Česká republika je totiž teprve třetí zemí (hned po Francii a Kazachstánu), kde se taková operace uskutečnila. Lékaři dlouho vyhodnocovali, zda by pro pacienta existovala jiná alternativa, nicméně vzhledem k jeho zhoršujícímu se stavu se nakonec rozhodli pro zákrok v podobě implantace umělého srdce. U následné operace asistoval profesionální tým složený ze 14 expertů, kteří byli na sále přítomní více než 8 hodin. I přes složitý zákrok vše dopadlo dobře a život padesátiletého muže byl zachráněn.

Co se týče 3D tiskáren, nemocnice IKEM se rozhodla investovat hned do dvou z nich. Jedná se o tiskárny Original Prusa I3 MK3, na kterých se v současné době tiskne 4 až 6 ledvin za měsíc. Kromě toho se však tato moderní zařízení hojně využívají i k tisku jiných orgánů či jejich částí – řeč je například o tisku aorty či dokonale funkčního srdce, o kterém si povíme za okamžik. Ve všech případech toto opatření slouží ke snížení rizika a důkladnější přípravě na operaci.

### **Stomatologie**

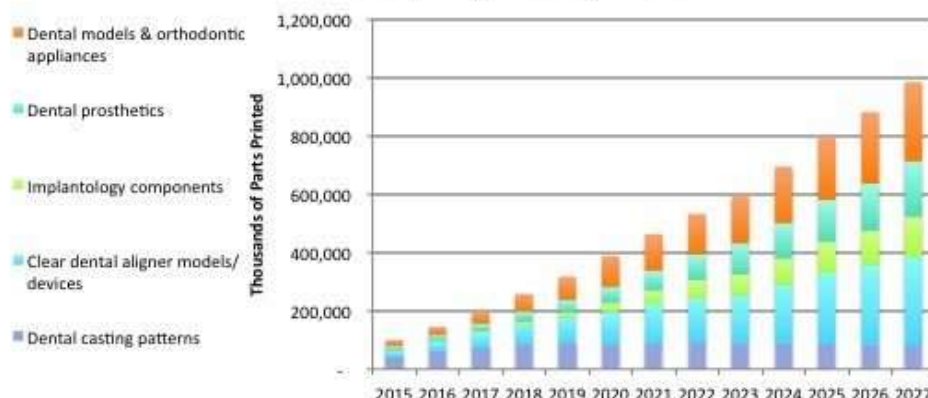
Předpokládá se, že 3D tisk se postupně stane dominantní výrobní technologií v oblasti stomatologie.

Scott Dunham, viceprezident výzkumu společnosti SmarTech Analysis, říká:

„Ve stomatologii byste teoreticky mohli mít skvělý důvod pro převod víc než 80 % výrobních prostředků na aditivní technologii.“

3D tisk již hraje v zubním průmyslu obrovskou roli a vyrábí korunky, chirurgická vodítka a většinu forem pro vyrovnávání zubů. Tato technologie má ale potenciál stát se dominantní technologií v tomto odvětví.

**Comparison of 3D Printed Dental Components and Devices by Production Share, all Applications, 2015-2027**



Obrázek 27: Vývoj 3D tisku v stomatologii (Zdroj report SmarTech Analysis)

Zpráva společnosti SmarTech Analysis naznačuje, že prodej 3D tiskáren v zubním průmyslu do roku 2025 překročí prodej obráběcího hardwaru a tato technologie se do roku 2027 stane celosvětově vedoucí výrobní metodou pro zubní výplně a zařízení.

### Bionáplast

Lidské buňky ve 3D tiskárně, které lze použít k překrytí ran jako náplast. To je dlouhodobý cíl experimentu Bioprint FirstAid. V rámci své mise Cosmic Kiss provedl německý astronaut ESA Matthias Maurer sérii experimentů na ISS.

Mobilní ruční zařízení má výrazně zlepšit léčbu ran na vesmírných misích, ale také při každodenním lékařském použití na Zemi. „S Bioprint FirstAid byla tato inovativní technologie nyní poprvé testována ve vesmírných podmínkách,“ řekl Michael Becker, projektový manažer Bioprint FirstAid z Německé vesmírné agentury v Německém leteckém středisku.

Biotisk je důležitým krokem k personalizované medicíně ve vesmíru a na Zemi. Bioprinter lze ovládat ručně a skládá se z rukojeti, tiskové hlavy, vodicích koleček a dvou zásobníků pro bioinkoust, který se používá k výrobě náplasti na krytí ran. Během experimentu na ISS byl tento inkoust nejprve nanesen na fólii na noze Matthiase Maurera. Byly použity dva bioinkousty s různým složením a dvě různé tiskové hlavy. „Technologický experiment zatím v tomto prvním kroku nepoužil skutečné lidské buňky, ale fluorescenční mikročástice. Zjištění pomohou vědcům dále rozvíjet technologii a umožnit aplikace pro pacienty,“ tvrdí Becker.



Zařízení Bioprinter FirstAid. Zdroj - OHB



Obrázek 28: Bioprinter a samosna bionáplast (Zdroj <https://svetprumyslu.cz/2022/02/08/hojeni-ran-ve-vesmiru-a-na-zemi-pomoci-3d-tistene-biosadry/>)

Bioinženýři z brněnské techniky vytvářejí s pomocí nové 3D biotiskárny umělé lidské cévy, vyvíjejí hojivé náplasti na tržné rány nebo materiály k výrobě kvalitnějších čepů pro zubní korunky.

„Umíme vyrobit cévu, jejíž stěny osadíme buňkami a sledujeme jejich chování. Dokážeme ji dokonce propojit i se systémem, který umí napodobit průtok krve touto cévou,“ řekl Právu za vývojáře Vratislav Čmiel z Vysokého učení technického v Brně. Toto takzvané buněčné inženýrství by mohli jednou v hojně míře využívat například chirurgové při operacích srdce.

Snahou světového výzkumu je i 3D tisk orgánů. Další možností je tisk drobných částí, například mřížek, které se vloží do postiženého místa, například do tržné rány, a pomohou ji zacelit. Mřížky by měly pomoci k tomu, aby se na nich uchytily buňky pacienta. Mohou také obsahovat postupně se uvolňující léčiva. Zotavování pacienta po zákroku tak bude snazší.

„Zabýváme se regenerativní medicínou. Navazujeme spolupráci s klinickou praxí. Snažíme se vypěstovat určitou náhražku lidské tkáně tvořenou biologicky velmi podobným materiálem. Jde o jakousi záplatu pro lepší hojení ran, nejen kůže, ale i pro implantaci,“ vysvětlil Čmiel.

Buněčné inženýrství pomůže v budoucnu k tomu, že tělo pacienta lépe přijme kovový nebo plastový implantát. Příkladem může být čep umístěný v čelisti pro zubní korunku. Cílem vývojářů je nyní vytisknout na něj pomocnou vrstvu. Může obsahovat podpurný materiál a živé buňky, popřípadě antibiotika či léčiva pomáhající přijmout čep a urychlit hojení. (Zdroj <https://www.novinky.cz/clanek/domaci-brnenska-biotiskarna-uz-umi-vytisknout-novou-cevu-cilem-je-cely-organ-doufaji-vedci-40377856>)

### 3D Modely orgánů

Lekařům zkvalitňuje předoperační přípravu řada tradičních i moderních technologií. Jedná se především o různé formy vizualizace postiženého orgánu, které mohou být zejména díky 3D tisku převedeny i do zhmotnělé podoby. Modely orgánů z 3D tiskáren umožňují chirurgům vizuální a hmatovou analýzu operovaného orgánu, včetně jeho využití přímo na sálu. Jejich obohacení o dimenzi rozšířené reality může v budoucnu nadále zkvalitnit nejen předoperační přípravu, ale i edukační proces.

### Druhá kůže

Lidé nejsou jedinými organismy, které využívají biotisk. Zvířata se také často zraní a neprovádí se dostatečný výzkum, který by zlepšil léčebné postupy pro tuto cílovou skupinu. Startupy a nově vznikající společnosti pracují na řešeních, která uspokojí různé typy pleti a biologické funkce, které se vyskytují u zvířat.

Italský startup Prometheus vyvíjí Ematik Ready, personalizovanou medicínu pro léčbu zranění zvířat. Startup vytváří druhou kožní náplast pro zraněné psy a koně, která zkracuje dobu léčení o polovinu. Aby toho dosáhl, Prometheus odebírá krev zraněnému zvířeti, analyzuje kožní růstové faktory a později používá mikrobiální biopolymery, které podporují aktivní molekuly k léčbě ran.

## Protetika

Metodikou je implantace jednotlivé protézy nebo protéz pacientovi s jejich dalším splynutím s kostí a kůží. Díky bioinertnímu složení a speciálně vyvinutému povlaku protéza neodmítá, neruší zvíře a po úplném naroubování se stává přirozeným prodloužením tlapky. Díky tomu se pacient může vrátit ke zdravému životu.

Pomocí CT vyšetření se získá digitální obraz, který jde dnes zaslat i na dálku, to znamená, že vše se může naplánovat a připravit, aniž by zvířecí pacient musel na prvotní vyšetření k specialistovi. Dále se načtou data do plánovače a navrhne se protéza. Poté se vytiskne 3D protéza. Protézy jsou jednotlivé implantovatelné nitrokostní titanové implantáty různých konfigurací, vyrobené pomocí aditivních technologií: 3D tisk protéz kovem a prototypování a odlévání polyuretanem pro vytvoření externích vyměnitelných exoprotéz. V případě rozbití nebo opotřebení je lze vyměnit.

Poté se na povrch protézy nanese biopovlak s kalcium-fosfátovou vrstvou. A po všech přípravách přichází pacient na operaci. Po ní hned první den se nasadí zvířatům vnější exoprotézy, které jim umožňují okamžitý návrat do plnohodnotného života.

Kočka nalezená na ulici (na foto níže) umrzla v mrazech  $-20^{\circ}\text{C}$  všechny packy, uši a ocas. Pro ni se pomocí 3D tiskárny vyrobily individuální protézy a na ty se nasadily silikonové „tlapky“ také vytištěné na 3D tiskárně. Operace se uskutečnila v roce 2018. V roce 2022 kočka pořád šťastně žije u majitelů, kde běhá, skáče a hraje si jako kterákoliv zdravá kočka, jen jednou za čas je potřeba měnit silikonové tlapy.



Obrázek 29: Kočka s čtyřmi protézami.

## 3D tisk vložek do bot na míru

Nyní může kdokoli bez jakékoli kvalifikace, zkušeností nebo znalostí v oboru podiatrie vyrábět pohodlné vložky pomocí zcela bezplatných nástrojů s otevřeným zdrojovým kódem a dražší multimateriálové tiskárny.

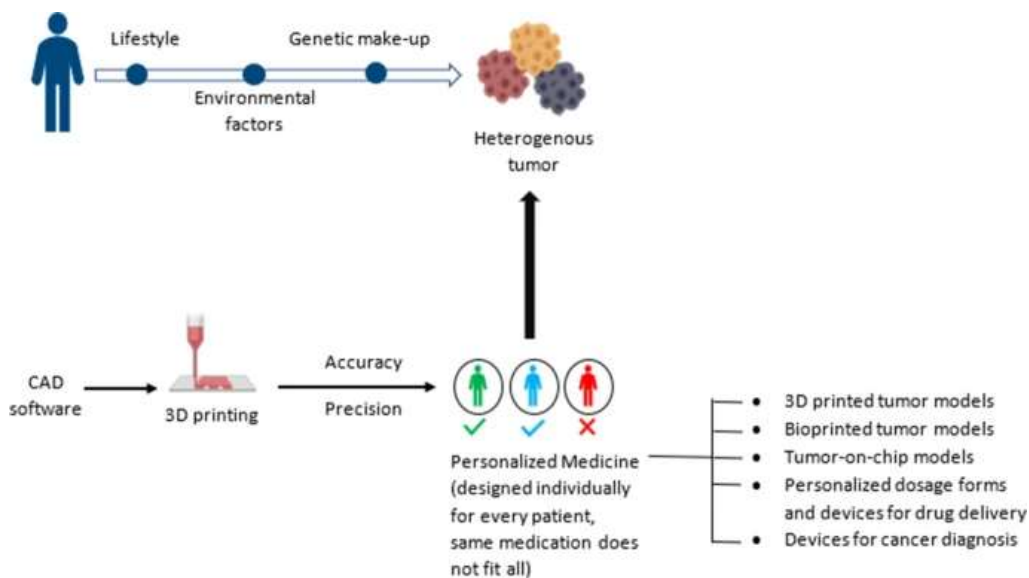




Obrázek 30: 3D vytištěná vložka do bot individuální.

### Farmaceutický průmysl.

Budoucnost 3D tisku spočívá ve výrobě tablet a dalších léků. To potvrzují pilulky na epilepsii legalizované v USA vyrobené speciální metodou. Podstata této perspektivy 3D tisku spočívá v postupném uvolňování účinných látek, takže místo mnoha tablet můžete vypít jen jednu. Různé techniky 3D tisku prokazují svou schopnost vyrábět léky speciálně působící proti nádoru prsů, jater, štítné žlázy a ledvin. Trojrozměrný tisk má velký vliv na modelování rakoviny a studie využívající modely rakoviny při léčbě a diagnostice. Trojrozměrné tištěné personalizované modely nádorů, jako jsou fyzické 3D modely, biotištěné modely a modely nádoru na čipu, prokazují lepší korelaci in vitro a in vivo při screeningu léků, metastázách rakoviny a studiích prognózy. Trojrozměrný tisk pomáhá při modelování rakoviny; navíc také změnila aspekt léčby rakoviny. Vylepšená léčba pomocí na zakázku vyrobených 3D tištěných zařízení, implantátů a lékových forem zajišťuje efektivní dodávání protirakovinných látek (Bhuskute Harshada, ShendePravin, 3D Printed Personalized Medicine for Cancer).



Obrázek 31: Využití 3D tisku při léčbě proti rakovině. (<https://doi.org/10.1208/s12249-021-02153-0>)

### **Výroba laboratorního a zdravotnického vybavení**

Pomocí 3D technologií je vybavení vyvinuté a vyrobené rychleji, flexibilněji a nákladově efektivněji než pomocí standardní cesty. Pro laboratorní zařízení a lékařské zobrazovací systémy (také známé jako zobrazovací diagnostika nebo jen zobrazování, např. CT, MRT nebo rentgenová zařízení) je aditivní výroba výrobních technologií, která nabízí nové příležitosti k optimalizaci jak produktu, tak výrobních nákladů.

Mnoho lékařských přístrojů a dílů pro laboratorní vybavení jsou složitými specializovanými produkty, které se vyrábějí pouze v malých sériích. Konvenční výroba často vyžaduje drahé nástroje, jejichž náklady je pak třeba přidat k výrobkům. Naproti tomu aditivní výroba funguje bez jakýchkoliv nástrojů a umožňuje výrobu dílů v menších sériích až do velikosti jedné dávky.

Výrobní proces je založen na CAD datech dílů. Tato technologie poskytuje svobodu návrhu a také možnost integrovat funkčnost přímo do dílu. Výsledky zahrnují kratší dobu uvedení na trh a širokou škálu příležitostí pro optimalizaci produktu.

## **3.2 Průmysl**

### **Strojírenství**

Aditivní výroba najde uplatnění i v průmyslové výrobě. Zde může sloužit k tvorbě nástrojové techniky, prototypování nebo konečné produkci výrobků. V následujících řádcích budou uvedeny možné příklady užití. Logickým příjemcem technologie aditivní výroby je automobilový průmysl. V současné době automobilový průmysl využívá aditivní výroby primárně k tvorbě nástrojů a prototypů. Někteří světoví výrobci ovšem nechtějí zůstat pouze u prototypování a posouvají využití aditivní výroby na novou úroveň. Společnost Mercedes-Benz využívá aditivní výroby k produkci náhradních dílů na old-timerové vozy, u nichž produkce náhradních dílů již skončila. Další německá automobilka BMW, která mimo jiné masivně investovala do firem produkcujících 3D tiskárny (Desktop Metal, Carbon), aktuálně využívá výhod aditivní výroby pro masovou customizaci komponent svých automobilů. Do budoucna počítá s aditivní výrobou také pro tvorbu lehčích a odolnějších konstrukcí svých vozidel. Pozadu nezůstává ani koncern Volkswagen, který během roku 2018 otevřel centrum pro tvorbu nástrojů a prototypů a během tří let očekává představení technologie pro konečnou produkci součástí automobilů.

### **Letectví**

Pro letecký průmysl přináší aditivní výroba možnosti nových lehčích strukturálních konstrukcí nebo výrobu tvarově složitějších komponent. Jedním z příkladů je výroba motorů společností GE Aviation, která díky aditivní výrobě docílila snížení počtu částí leteckého motoru z 845 na 11. Tato změna znamená snížení spotřeby paliva až o 20 %, odlehčení konstrukce, navýšení výkonu a také zrychlení celého výrobního procesu. Další příklad můžeme najít u firmy SpaceX, která vyrábí motory SuperDraco pro svou kosmickou loď Dragon 2 pomocí aditivního výrobního procesu. SpaceX uvádí, že díky těmto motorům bude možno s kosmickou lodí bezpečně přistát a také ji znovu použít, čímž dojde k razantnímu snížení nákladů. Jiné firmy také využívají tisku k výrobě pevného raketového paliva či palivových nádrží, které dokážou zvýšit účinnost spalovacího procesu rakety.

Podle všeho už za pár let nebudou výpravy za hranici naší atmosféry jen v rukou obřích technologických gigantů. V posledních pár letech se vyrojila více než stovka malých dílen



a laboratoří, které chtějí k vesmírným letům využít chytré technologie a srazit cenu za cestu na oběžnou dráhu na zlomek té současné. Jeden z nejzajímavějších projektů vyvíjí kalifornská laboratoř Relativity Space.



3D tiskárna Stargate zabere celou místnost • Relativity Space

Obrázek 32: Průmyslová 3D tiskárna.

### Stavebnictví

Využití pro stavebnictví spočívá ve více možných rovinách. Stolní tiskárny mohou sloužit architektům a designerům k tvorbě studijních vizualizačních pomůcek, zatímco velké tiskárny mohou přímo tvořit příbytky nebo jejich části. Tvorba vizualizačních pomůcek nebo konečných architektonických modelů je sama o sobě složitá práce. Díky 3D tisku mohou architekti vytvářet složitější tvary a být svobodnější, co se týče časové náročnosti samotné tvorby fyzického modelu. Vytvarovaný model může architekt předat rovnou k tisku a nemusí jeho jednotlivé části složitě opracovávat a lepit dohromady, případně tuto práci outsourceovat. Toto řešení je jistě velmi lákavé pro studenty architektury, ale také pro architektonická studia. Obě skupiny mohou ušetřit značné množství času a peněz. Stavba domů pomocí 3D tisku může znít jako příliš vzdálené sci-fi, nicméně už dnes se objevují firmy (ICON, WINSUN3D, COBOD), které nabízejí konstrukci domů pomocí 3D tisku. Domy mohou být postaveny přímo na požadovaném místě pomocí velké tiskárny, která připomíná jeřáb z lodních překladišť. Požadovanou směs materiálu, většinou betonové směsi, nanáší tisková hlava na zpevněnou platformu. Zvolená vnitřní struktura obvodových zdí přináší možnost lepších izolačních vlastností domu (Hager et al. 2016). Další možnost je tisk částí domu v továrnách u výrobců. Tyto části by byly následně přepraveny na místo určení a složeny do požadovaného tvaru. Takto vytvořené domy mohou časem nabídnout dostupné bydlení i pro méně majetné či pomoci při krizových situacích způsobených přírodními katastrofami. V případě, kdy bude tiskárna schopna pracovat autonomně, se náklady vyšplhají pouze do výše využitého materiálu, opotřebení tiskárny a nákladů na její přepravu a montáž, případně na přepravu a montáž tištěných částí domu.

Tisknutí domů je nyní na celosvětovém vzestupu. V posledních pěti letech se objevily jak vytištěné budovy, tak plány pro využití 3D tisku v dobývání vesmíru nebo při přípravě

příbytků vědeckých expedic v nehostinných končinách. Vizionáři se soustředí na plnou automatizaci – na stavbu přijedou pouze roboti, kteří bez lidského zásahu postaví budovu a lidé ji pak propojí se sítěmi a začnou ji využívat.



Obrázek 33: Vytisknutý na 3D tiskárně domek, Mexiko.

### **Vzdělávání**

Ve vzdělávání může 3D tisk najít uplatnění při tvorbě vizuálních pomůcek, například k účelům výuky matematiky, geografie, architektury, umění, chemie nebo anatomie. Případně samotné projektování a tvorba digitálního modelu obohacuje studenta o nové zkušenosti a může mu pomoci v budoucnosti najít uplatnění. 3D tisk umožní studentům učit se více témat najednou. Radiofrekvenční identifikační čipy se používají k ochraně a identifikaci zboží běžně. Aditivní výroba přidává možnost zlepšení ochrany skrze zasazení RFID čipů přímo do tištěných součástí v průběhu tisku a znemožní či sníží tak možnost jejich paděláním či odcizením (3Ders 2016). Stejně tak nové metody tisku umožní vytisknout identifikátory přímo uvnitř struktury vznikajícího objektu.

### **Elektronika**

Aditivní výroba v elektronice zastává svou roli již dnes, do budoucna ovšem může nabídnout mnohem více. S rozvojem výzkumu super materiálů, jako je například grafen nebo stanen, může díky aditivní výrobě dojít k nové energetické revoluci, kdy takto tištěné bateriové články budou dosahovat mnohonásobně větších kapacit při menších rozměrech, případně při zachování stávajících velikostí. Ukládání energie bude díky tomu jednodušší a zároveň šetrnější. Přestože je proces získávání grafenu stále velice drahý, jeho cena každým rokem díky velkému potenciálu klesá. Vývoj se ovšem nezastaví pouze u baterií, ale bude postupovat napříč celým spektrem elektronického průmyslu. V blízké budoucnosti se proto můžeme dočkat efektivnějších solárních panelů nebo nové generace polovodičů sloužících účelům výpočetní techniky

### **Zbraně**

V roce 2012 aktivistická skupina z USA Defense Distributed na svých stránkách uveřejňuje plány a materiály k domácímu vytisknutí zbraně v 3D tiskárně. Tento krok však nevyvolal

žádné pozdvižení, protože se nejednalo o klasickou „palebnou“ zbraň, ale šlo pouze o zbraň plastovou, která byla schopna vystřelit jen jeden plastový projektil. Skupina pokračuje ve své činnosti dále a vyvíjí plány na zásobník a náboje ke zbrani AR-15 a náboje ke zbrani AK-47 (stále plastové). Karta se však obrací 5. května 2013, kdy se na stránkách této organizace objevuje plán k vytištění jedno-projektilové pistole „The Liberator“. Tato zbraň je totiž schopna vystřelit náboj .380 ACP8, který se normálně používá ve zbraních s ráží 9 mm. Již 9. května stejného roku je tato skupina kontaktována Ministerstvem zahraničí Spojených států amerických s požadavkem ohledně stažení těchto plánů. Tvrzení bylo takové, že skupina tímto porušovala ústavu. Skupina okamžitě vyhověla, v tu dobu se už ale plány nacházely na mnoha internetových stránkách a fórech.

V roce 2013 texaská společnost Solid Concepts demonstruje vytištěnou kovovou verzi pistole M1911 pomocí průmyslové 3D tiskárny.

Většinu souborů si lidé stáhli v USA, ale také ve Španělsku, Brazílii, Německu a Velké Británii. Soubory převzal také server pro sdílení dat Pirate Bay, kde se pistole stala nejoblíbenějším souborem v kategorii 3D tisků.

Podrobněji se toto téma probíralo v bodě 1.4.2. Nevýhody 3D tisku.

### Hračky na 3D tisk

**3D pera** jsou zjednodušenou formou 3D tiskárny, kdy se do jednoho konce vkládá náplň, tzv. filament, a druhým koncem vytváříte trojrozměrné objekty. Protože náplň na vzduchu velmi rychle tuhne, můžete modelovat také do výšky. 3D pero je multifunkční kreativní nástroj, který lze využít pro mnoho činností. Nyní existují i bezpečné s teplotou tavení jenom 40 stupňů což je činí zcela bezpečné i pro nejmenší děti.

Existují i další druhy hraček na 3D tisk.



Obrázek 34: 3D pero v akci.

### 3D tisk ve sportu

Efektivní aditivní výroba v **motosportu**.

Známa automobilová značka spojila své síly s UnionTech a společně začali pracovat na výrobě součástek pro automobil Toyota GT86. Díky aditivní výrobě bylo pro toto závodní auto vytvořeno hned několik unikátních dílů.

Podařilo se vytvořit elegantní závodní auto, ve kterém sice není mnoho prostoru, ale to není u závodních aut nic překvapivého. Důraz byl kladen i na samotnou výkonnost automobilu, zejména potom v souvislosti s chlazením brzd.

3D tisk představoval ideální řešení pro výrobu součástek se specifickými parametry.

Příkladem součástky vyrobené na 3D tiskárně UnionTech je zásobník na vodu, který byl vyroben z materiálu Somos NeXt a lze si ho prohlédnout i na přiložené fotografii.

Kevin Czinger je expertem na 3D tisk, a proto vyvinul **sportovní automobil**, který se bude tisknout pomocí nejmodernějších technologií. Nový hypersport se jmenuje Czinger 21C, je extrémně lehký, tím pádem i rychlý

Dohromady bude auto vážit kolem 1250 kilogramů. Czingerovi leží snížení váhy na srdci, jak převedl ve svém posledním výtvaru, prototypu sportáku Divergent Blade, který měl rám desetkrát lehčí než klasické auto. Dokonce byl tak kompaktní, že ho šlo složit do batohu. Lehká kostra se projeví v první řadě na výkonu a toho je tady dostatek. Nové žihadlo 21C bude pohánět hybridní motor o výkonu 1250 koní a z nulky na stovku zrychlí za 1,9 vteřiny.



Obrázek 35: Czinger 21C z 3D tiskárny: Do auta vážícího pouhých 1250 kilogramů se vejdou dva lidé za sebou (Czinger)

### 3D tisk sportovní obuvi

Společnost Nike oznámila další milník, který v budoucnu zásadně ovlivní výrobu sportovní obuvi. Inženýři sportovního giganta se pochlubili zbrusu novým materiálem. Ten nese komerční označení Flyprint a je tištěn za pomoci 3D tiskáren. Netkaná textilie je nanášena ve vrstvách do podoby jednotlivých svršků boty. Výsledkem je vysoce pevný materiál, který je možné snadno přizpůsobit nejrůznějším podmínkám a také jednotlivým běžcům.

Mezi další výhody materiálu Flyprint patří vysoká prodyšnost a eliminace třecího odporu. Profesionální běžce pak potěší lehkost a odolnost vůči absorbování vody.

Nike dále počítá, že pokud se Flyprint osvědčí v širším spektru, začne s implementací technologie do ostatních modelových řad své obuvi. Kromě zmíněných výhod může Flyprint znamenat zásadní zlevnění výroby. K tomu ovšem bude nutné najít optimální řešení pro nové výrobní závody.

3D tisk je považován za jednu z nejdůležitějších technologií blízké budoucnosti. V zákulisí mnoha oborů se 3D tiskárny jeví jako nástroj se zajímavým potenciálem. Kromě zmíněného

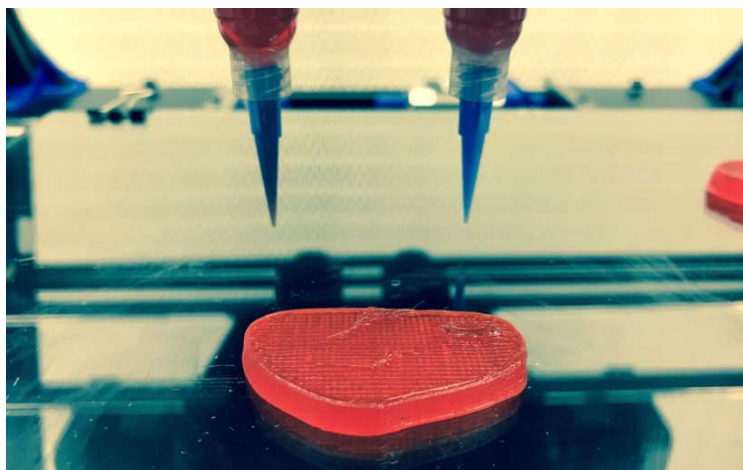
obuvnictví se očekává, že jednoho dne nebude problém si vytisknout náhradní orgán či sportovní zboží téměř libovolného charakteru.



Obrázek 36: Sportovní boty Under Armour Architech vyrobené i s pomocí 3D tisku (foto: Under Armour)

### 3D tisk pro přípravu pokrmů

3D tiskárny pro tisk potravin postupně získávají prostor v kavárnách a restauracích. I když je to pravděpodobně jedna z nejhrubších technologií 3D tisku, je v ní také potenciál. Potravinářské 3D tiskárny jsou obzvláště zajímavé pro schopnost připravovat jídlo pro astronauty. Nicméně je však stále poněkud zvláštní. Dobrým příkladem může být španělský startup Novameat, který experimentuje s tiskem rostlinného masa. Vizually „chutněji“ se ovšem jeví steaky, které se tisknou v Izraeli pod hlavičkou firmy Redefine Meat.



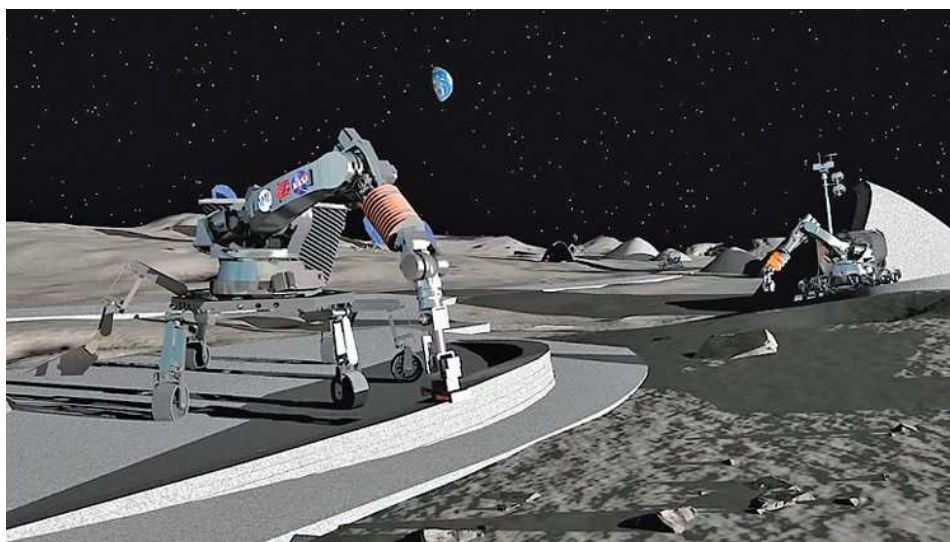
Obrázek 37: 3D Ukázka přípravy steaku na 3D tiskárně

Stejně jako řada jiných výrobců i Redefine Meat se snaží světu ukázat, že je maso možné produkovat bez porážek zvířat a zatěžování přírodního prostředí výrobně-chemickými procesy. To je jeden cíl. Aby ale startup zasáhl i běžnou veřejnost, nikoli pouze zarputilé fanoušky novodobých přístupů, potřebuje svůj produkt vytvářet s co nejpřesnější podobou k tradičnímu hovězímu steaku.



## Vesmír

Díky aditivní výrobě se využívají tištěné součástky jako části dopravních lodí nebo části pohonných systémů. Tyto součástky mají požadované vlastnosti jako dříve využívané materiály, jsou však o desítky procent lehčí. Díky těmto vlastnostem se samotná cena výroby i dopravy sníží. Díky odlehčené konstrukci bude moci dopravní systém vynést na oběžnou dráhu větší množství materiálů. Zřejmým přínosem 3D tisku je, že potřebné součástky či nástroje by si mohli v budoucnu tisknout astronauti, aniž by museli čekat na pravidelné dodávky ze Země (Freedman 2017). Americký úřad pro letectví a kosmonautiku počítá s využitím aditivní výroby při meziplanetárních letech. Několikátým rokem pořádá soutěž o peněžní ceny, jejímž účelem je vybrat nejlepší návrh tištěného obydlí pro průzkum hlubokého vesmíru, konkrétně pro tisk obydlí pro misi na Mars.



Obrázek 38: Příklad projektu Stavby základny na Měsíci.

## 4. Trendy 3D tisku

Inženýři nyní víc pracují na těsném propojení umělé inteligence a 3D tisku. V souvislosti s umělou inteligencí často hovoříme také o strojovém učení, neuronových sítích či automatizaci. Hlavní ideou pro uplatnění těchto technologií v oblasti 3D tisku je schopnost strojů samostatně řešit problémy bez nutnosti zásahu lidské obsluhy, případně jen s jejich naprosto minimem, a to na základě velkého množství dostupných dat a předchozí „zkušenosti“. V případě 3D tisku je takto možné nejenom zvýšit produkční výkon zařízení, ale také snížit nároky na materiál redukcí rizika vzniku chybových výtisků. Dalším pozitivním dopadem je také celkové zvýšení automatizace a autonomie výroby. Propojením 3D tisku s AI a ML technologiemi se tak dnes zabývá stále více firem, startupů i výzkumných projektů a integrují je jak do samotných zařízení, tak do souvisejících (softwarových) služeb. U řady 3D tiskových zařízení, programů či služeb se tak s prvky umělé inteligence a strojového učení setkáváme již nyní, ale prozatím jde spíše o průkopnické iniciativy. Prostor do budoucna pro další rozšiřování zůstává obrovský. (DCD Publishing)

Například společnost BCN3D přišla na trh s novou technologií 3D tisku VLM. VLM™ (Viscous Lithography Manufacturing) je patentovaný průlomový proces 3D tisku založený na litografii, který laminuje / nanáší tenké vrstvy vysoce viskózních pryskyřic (50x viskóznějších než standardní pryskyřice na trhu) na průsvitnou přenosovou fólii a umožňuje tak vyrábět extrémně rychle díly vynikající kvalitě a vlastností dostupným a škálovatelným způsobem. Tato dosud nevídaná technologie byla odvozena s ohledem na vizi společnosti BCN3D o zajištění maximální autonomie výroby, kdy všichni výrobci mohou mít plnou kontrolu nad každou fází svých výrobních procesů aditivní výroby (AM).

Pro vylepšení požadovaných tepelných a mechanických vlastností lze nyní do pryskyřice přidávat zcela nové sady přísad a modifikátorů. VLM využívá pryskyřice dosahující 3x větší odolnosti vůči nárazu pro tuhé materiály a o 200 % vyšší pevnosti v tahu ve srovnání s obvyklými pryskyřicemi se standardním složením.

Technologie VLM™, která byla vyvinuta s cílem poskytnout průmyslu výrobní autonomii, je první technologií AM, která současně splňuje tři hlavní pilíře, jimiž jsou vynikající provedení a vlastnosti výrobků (part performance), vysoká výrobní kapacita (production capacity) a dostupný bezproblémový provoz (accessibility).

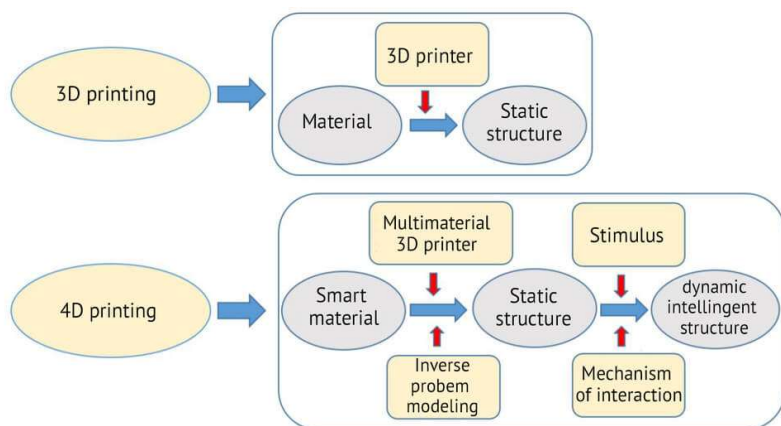
Také se hodně pracuje na univerzálnosti tiskáren. Společnost Seiko Epson vyvinula průmyslovou 3D tiskárnu, která dokáže využívat běžně dostupné materiály třetích stran k výrobě pevných a přesných průmyslových dílů různých velikostí a funkcí.

3D tiskárny s těmito vlastnostmi najdou široké možnosti uplatnění, včetně výroby dílů pro finální produkty, a umožní uživatelům hromadně přizpůsobovat zboží na míru, čímž podpoří malosériovou výrobu. Nová 3D tiskárna vyvinutá společností Epson využívá jedinečnou metodu extrudování materiálu, která využívá ploché trysky, používá se v přesných vstřikovacích strojích společnosti Epson. Tato metoda umožňuje použití tiskárny s řadou běžných materiálů třetích stran, jako jsou pryskyřice nebo kovové pelety, které jsou obecně dostupné za nižší cenu než jiné materiály, ekologicky šetrné pelety z biomasy a materiály PEEK, které jsou vysoce odolné proti teplu. (Epson)

Hubs, divize společnosti Protolabs, vydala 4. května 2022 report 3D Printing Trend Report 2022, který zdůrazňuje změny trhu a technologií v odvětví 3D tisku. Zpráva tvrdí, že prototypování již nedefinuje použití 3D tisku při prototypování a výrobě dílů pro konečné použití, nyní hodně rozsáhlé aplikace představují budoucnost této technologie.

Zatímco 3D tisk je dnes již běžnou záležitostí, o 4D tisku se zatím příliš nehovoří, i když se vůbec nejedná o nějakou utopii. Pojem 4D tisk se označuje zhotovení 3D produktu, který je možné později měnit. Analogií mohou být dětmi oblíbení „Transformers“, kteří také dokážou měnit své 3D proporce. Technologie 4D tisku využívá běžné komerční 3D tiskárny. Čtvrtou dimenzi však do něj vnáší materiály se specifickými vlastnostmi, např. hydrogely nebo polymery s tvarovou pamětí, inteligentní materiály, které lze „programovat“ na změnu tvaru v průběhu času nebo v závislosti na podmínkách. 4D tisk — takové označení odnože 3D tisku se už nějakou dobu objevuje v oblasti výzkumu. Myslí se při tom 3D výroba dílu, který se sám může v čase přetvářet v reakci na vliv tzv. čtvrté dimenze, jako je teplota, světlo, magnetismus, vlhkost, záření nebo jiné vlivy prostředí. Rozdíl od klasické 3D technologie spočívá vlastně jenom v materiálu použitém pro tisk. Zatímco běžný produkt 3D tisku svůj tvar nemění, materiál pro 4D tisk je přednastaven pro určité změny, které

nastanou v čase působením určitého jevu. Výhodou 4D tisku je navíc, že při komprimování sekundární podoby pro 3D tisk umožňuje vytisknout i objekty větší než tiskárna.

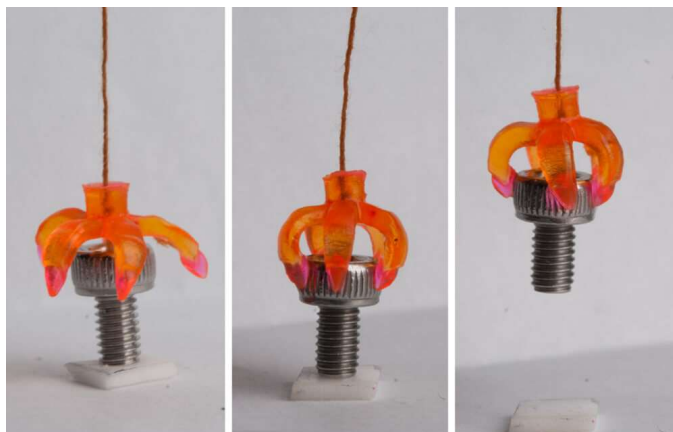


Obrázek 39: Rozdíly mezi 3D tiskem a 4D tiskem (F. Momeni a kol. / *Materials and Design* 122 (2017) 42–79).

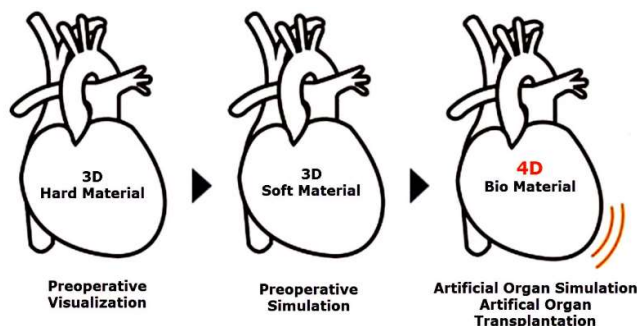
Základy technologie 4D tisku „položili“ v MIT (Massachusetts Institute of Technology). Dnes její vývoj pokračuje i v takových institucích, jako jsou Wyss Research Institute for Biomedical Research při Harvard University, ETH Curych, California Institute of Technology a dalších. V australské University of Wollongong např. vyvinuli první 4D tištěný vodní ventil, který se uzavře při průchodu horké vody a roztáhne, jakmile teplota klesne. Zajímavou cestou jdou v Institutu Maxe Plancka, kde probíhá i samotný výzkum smart materiálů. Hledají tu i způsob, jak využít technologii 4D tisku v oblasti bezpečnosti silničního provozu, konkrétně ke změnám vlastností karosérie při nárazu: změknutí při srážce s člověkem, a naopak zpevnění při nárazu do stromu. Nakolik jde o utopii, ponechme nyní stranou, reálnějším výsledkem tohoto institutu je, že už pracuje na konceptu 4D výroby karosérie BMW Next 100, u něhož by mělo za jízdy docházet k tvarovým změnám vnějšího pláště podle potřeby změn v proudění vzduchu.

Technologie 4D tisku je zatím ještě ve stádiu vývoje, přestože mnoho nápadů na využití už existuje. Je to dáno tím, že rozhodujícím faktorem pro zavádění takových výrobků jsou testy schopné prokázat dlouhodobou odolnost. Přesto už na takové výrobky netrpělivě čeká nejen řada průmyslových odvětví, ale i medicína (4D tisk může např. výrazně usnadnit způsob vkládání tělních implantátů). A pokud už jsme se dostali ke zdravotnictví, tak absolutní novinkou, kterou uvítají pacienti s nemocnými klouby, je z DWI Leibniz Institute for Interactive Materials v Cáchách nahrazení 4D tiskovou technikou poškozené chrupavkové tkáně.





Obrázek 40: Chapadlo s 4D tiskem uchopí předmět, když je teplota optimální (Zdroj <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/>)



Obrázek 41: Trendy 3D (bio)tisku a 4D (bio)tisku spočívají ve vývoji progresivních materiálů s multifyzikálními vlastnostmi a biokompatibilitou. (Zdroj: VŠB-TU Ostrava)

## 5. Prognostika, prognóza a prognostické metody

I když spory o povahu prognostiky jakožto disciplíny na pomezí vědy a intuice, respektive oboru jen s obtížně vymežitelným předmětem, stále trvají, praxe potvrzuje, že si své místo na slunci již vydobyla. Politici, úředníci, obchodníci i podnikatelé se o ni stále více zajímají. Je tomu tak především proto, že prognostika uplatňuje postupy a metody, které jsou schopny jim nabídnout zajímavé a užitečné informace. (Martin Potůček, Manuál prognostických metod)

Prognostika přináší představy, domněnky, modely o budoucnosti (může se jednat, ke stejnému problému, o více prognóz alternativ budoucího vývoje). Pokud takové hypotézy o budoucnosti vznikly racionálními postupy, konkrétní metodou, pak hovoříme o prognóze. Prognóza je systematicky odvozená a co do spolehlivosti ohodnocená výpověď o budoucím stavu skutečnosti, která má nastat za určitých podmínek a zpravidla v určitém čase. Je

obvykle tvořena souborem alternativních možností budoucnosti a variantních cest k nim vedoucích. Oproti prosté předpovědi se k ní nutně dospělo aplikací prognostických metod, na základě řízené činnosti, s využitím vědeckých poznatků.

Prognostika disponuje celou řadou specifických metod zkoumajících budoucnost. Základními metodami predikce jsou předpovědi kvalitativní a kvantitativní. Z množství metod kvalitativních lze zvýraznit metodu Delfského panelu a z kvantitativních pak extrapolační metodu s využitím časových řad. Základní typy predikce podle předpokladové části jsou předpovědi pasivní, aktivní, a normativní. (Vědecký časopis Univerzita Obrany, 2003, Prognostické metody a jejich využití v resortu MO, Burita, Ladislav, CSc)

**V této diplomové práci byly použity následující metody:**

1. Procesuální metoda – matematická extrapolace historických dat – výpočet budoucích trendů. Většina algoritmů při určení vhodného tvaru křivky nejdříve na základě historických dat specifikuje obecný tvar křivky, který je následně upřesněn tak, aby co nejvěrněji odpovídal daným datům. Výběr vhodného tvaru křivky je často obtížný a zásadním způsobem ovlivňuje výslednou extrapolaci.

2. Univerzální metoda výzkumu veřejného mínění.

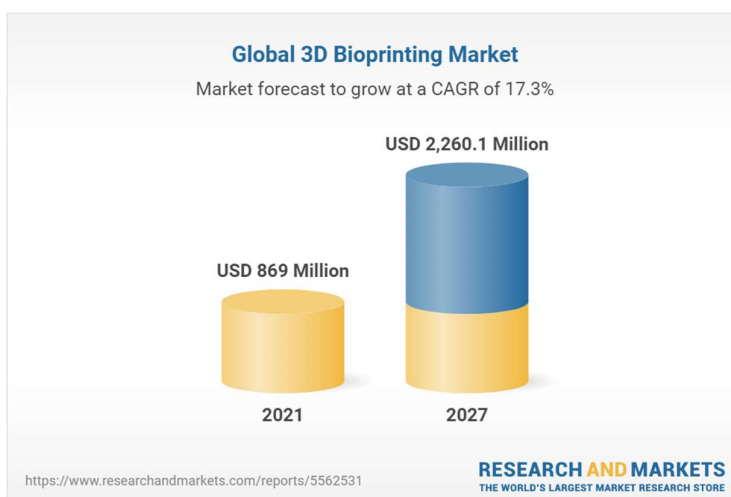
Výzkum veřejného mínění jsou většinou výzkumná dotazníková šetření zaměřena na širokou veřejnost. Respondenti jsou vybíráni náhodně, případně pomocí předem stanovených kvót a výsledkem výzkumu je statisticky zpracovaný přehled názoru veřejnosti k danému problému. Tyto výzkumy jsou velmi užitečné pro zjišťování postojů a preferencí veřejnosti. (Martin Potůček, Manuál prognostických metod)

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 6. Trh bioaditivní výroby a prognóza jeho vývoje z veřejných zdrojů

Pro analýzu trhu byly použité reporty dostupné veřejnosti, odborné články a další speciální webové stránky, které jsou zaměřené na obor 3D tisku v medicíně a lékařství.

Společnost ResearchAndMarkets v roce 2022 vydala report „3D Bioprinting Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022–2027“, dle kterého globální trh 3D biotisku dosáhl v roce 2021 hodnoty 869,0 milionů USD. Do budoucna vydavatel očekává, že do roku 2027 dosáhne trh 2 260,1 milionů USD, přičemž v letech 2022–2027 bude vykazovat CAGR 16,85 %. S ohledem na nejistoty covid-19 se neustále sleduje a vyhodnocuje přímý i nepřímý vliv pandemie na různá odvětví konečného užití. Tyto poznatky jsou součástí zprávy jako hlavní přispěvatel na trh.



Obrázek 42: Objem globálního trhu biotisku. (<https://www.researchandmarkets.com/reports/5562531/3d-bioprinting-market-global-industry-trends>)

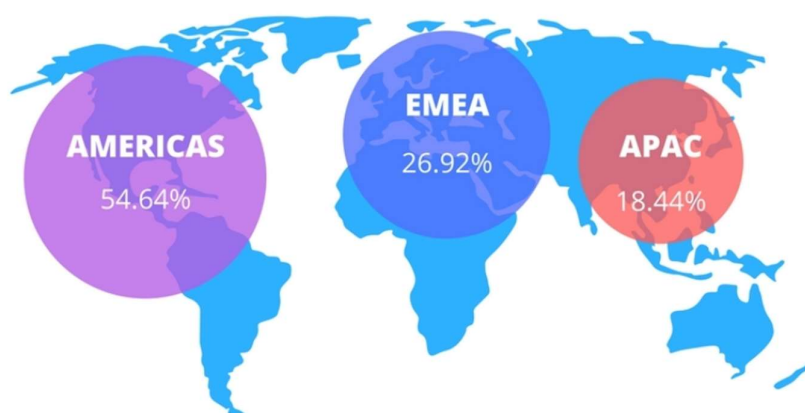
Rostoucí prevalence chronických respiračních a kardiovaskulárních poruch (CVD) po celém světě je jedním z klíčových faktorů, které řídí růst trhu. Rostoucí požadavek na regenerační léky, protinádorová léčiva a řešení kmenových buněk navíc poskytuje tah na růst trhu. 3D biotisk je široce používán pro modelování jater a vývoj různých kostních, tkáňových a lékařských implantátů. Také k růstu trhu přispívá zvyšující se povědomí mas o minimalizaci testování na zvířatech. Výrobci kosmetiky používají bio-tištěné vlasové folikuly a kožní štěpy ke klinickému testování produktů na lidských tkáních.

Kromě toho různé technologické pokroky, jako je vývoj Organ-on-a-chip (Organ-on-a-chip (OOC) je vícekanálová 3D mikrofluidní buněčná kultura, integrovaný obvod (čip), který simuluje aktivity, mechaniku a fyziologickou odezvu celého orgánu nebo orgánového systému. Tvoří předmět významného biomedicínského inženýrského výzkumu, přesněji bio-MEMS), působí jako další faktory indukující růst. Tyto inovativní bio-tištěné struktury umožňují 3D in-vitro analýzu tělesných funkcí a výrobu umělých orgánů a tkání pro regenerativní medicínu a tkáňové inženýrství. Očekává se, že další faktory, včetně rozsáhlých aktivit

v oblasti výzkumu a vývoje v oblasti biotechnologie, spolu s rostoucím zaváděním technologie magnetické levitace pro screening toxicity a tisk vaskulárních svalů, povedou trh k růstu.

Klíčoví hráči na tomto trhu jsou 3D Systems Inc., Cellink, Aspect Biosystems Ltd., Cyfuse Biomedical K.K., EnvisionTEC GmbH (Desktop Metal Inc.), GeSiM - Gesellschaft für Silizium- Mikrosysteme mbH, Materialise, Organovo Holdings Inc., Coll Plants, Poietis, RegenHU a Stratasys Ltd.

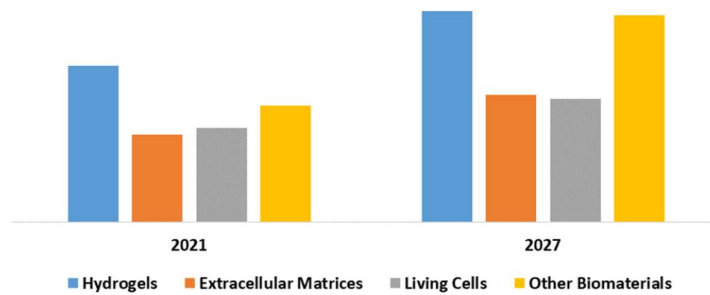
Největší podíl na trhu má Severní Amerika – skoro 55 %, Evropa drží skoro 27 % objemu trhu, asijsko-pacifický region vlastní něco málo přes 18 %.



Obrázek 43: Podíl kontinentů na celkovém objemu trhu.  
(<https://www.businesswire.com/news/home/20170516006074/en/Global-3D-Bioprinting-Market-to-Grow-at-a-CAGR-of-Over-25-Through-2021-Says-Technavio>)

Co se týká materiálu, který se očekává, že nejvíc bude použit v biotisku do roku 2027, největší růst dle obrázku níže se očekává u „jiných“ biomateriálů. Očividně se přepokládá, že vědci stále pracují na vývoji nových a nových materiálů, takže již za několik let bude medicína disponovat dalšími druhy inovativních surovin a materiálů, které dokážou víc než ty současně dostupné. Použití hydrogelu se umístilo na druhém místě, extracelulární matrix (ECM) či mezibuněčná hmota (je to materiál ukládající se v mezibuněčných prostorech) je na třetím místě a nejméně poroste trh použití živých buněk.

Global 3D Bioprinting Market,  
by Material Type, 2021 vs 2027 (US\$ Bn)



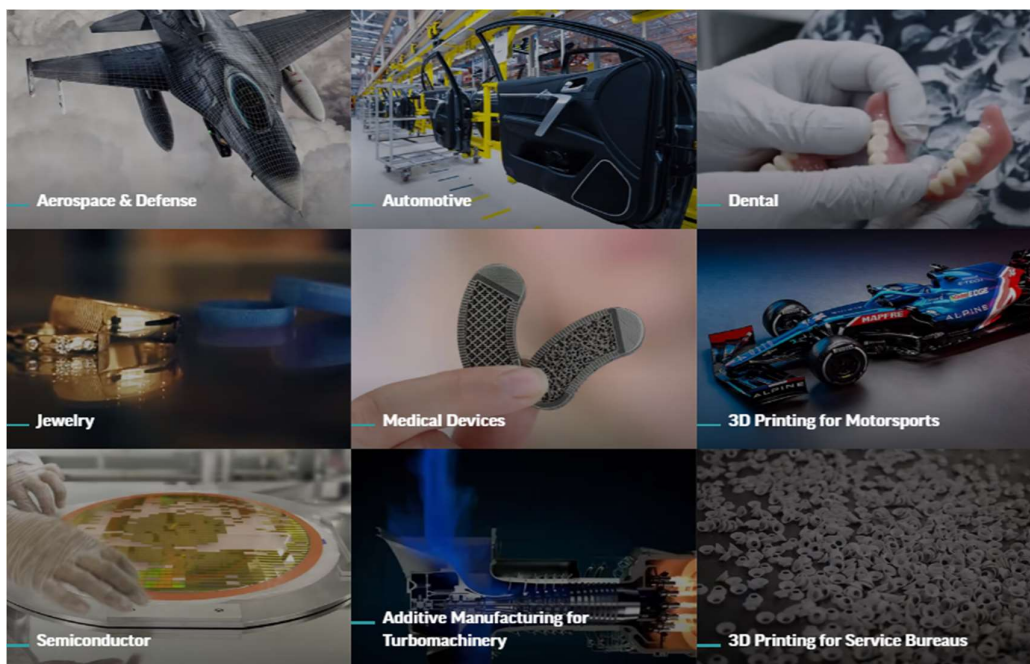
Obrázek 44: Předpoklad použití biomateriálu v roce 2027 oproti roku 2021. (<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-3d-bioprinting-market/3271/>)

## 7. Světoví hráči na trhu 3D biotisku

### 3D Systems

Společnost 3D Systems je na trhu od roku 1986 a od té doby je vedoucí inovací v oblasti aditivní výroby. Široké portfolio hardwarových, softwarových a materiálůvých řešení sahá od plastů až po kovy a bioinkoust a to vše je podporováno specializovanými inženýrskými znalostmi v oboru Applications Innovation Group. Při řešení nejobtížnějších výzev v oblasti designu a výroby používají konzultační přístup zaměřený na aplikace. Kombinace nabízených řešení, odborných znalostí a inovací pomáhá klientům společnosti vzdorovat konvenčním výrobním omezením a maximalizovat hodnotu aditivní výroby.

Společnost 3D Systems se sídlem v Rock Hill v Jižní Karolíně, USA, s kancelářemi, výrobními závody a zákaznickými inovačními centry po celém světě má odborné znalosti a zdroje pro rozvoj průmyslových odvětví.



Obrázek 45: 3D Systems je lídrem v představených oblastech (3D Systems)

Společnost 3D Systems vyrábí technologii pro stereolitografii (SLA), selektivní laserové sinterování (SLS), barevný tryskový tisk (CJP), tavné depoziční modelování (FDM), multijetový tisk (MJP) a přímý tisk kovů (DMP).

V roce 2021 se rozhodla společnost rozšířit investice v odvětví bioprintingu, aby komercializovala cílené aplikace a urychlila dlouhodobý ziskový růst ve zdravotnictví, díky čemuž mohla zaměřit své vývojové úsilí na regenerativní medicínu a biotisková řešení. Toto rozhodnutí bylo řízeno obrovským pokrokem dosaženým ve spolupráci s United Therapeutics Corporation a její dceřinou společností Lung Biotechnology PBC zaměřenou na výrobu a transplantace orgánů při vývoji 3D tiskových systémů pro lešení pro pevné orgány. Díky využití této práce a úspěchům s dalšími partnery má 3D Systems v úmyslu investovat, dále vyvíjet a komercializovat řešení pro různé aplikační příležitosti v regenerativní medicíně, včetně vývoje aplikací nepevných orgánů vyžadujících biologicky udržitelnou vaskulaturu.

### Cellink

Cellink je součástí švýcarské korporace BICO, přední světové biokonvergenční společnosti, která využívá synergie svých předních společností v oblasti strojírenství, robotiky, umělé inteligence, pokročilé genomiky a biotisku k vytvoření budoucnosti zdraví. V roce 2016 vypustila na trh vůbec první univerzální bioinkoust, čím demokratizovala náklady na vstup pro výzkumné pracovníky z celého světa a sehrála hlavní roli při přeměně tehdy nastupujícího oboru 3D biotisku na prosperující průmysl s hodnotou 1 miliardy dolarů, kterým je dnes.

Výrobky společnosti, tj. bioinkousty, biotiskárny, software, jsou používány předními akademiky a výzkumnými a vývojovými laboratořemi, čímž umožnily zásadní průlom v široké škále aplikací od 3D buněčné kultivace přes tkáňové inženýrství až po vývoj léků.

CELLINK se věnuje posunu biologické výroby lidských orgánů a tkání na další úroveň v souladu s vizí BICO využít biokonvergenci ve vědách o živé přírodě a vytvořit budoucnost zdraví. Společnost si představuje budoucnost, která zajistí dostupnost transplantace biotištěných orgánů, kultivované lidské tkáně nahrazující testování na zvířatech, kde každý pacient může získat personalizovanou medicínu, vývoj léků je rychlejší a levnější, snadno dostupná diagnostika zabraňuje pandemiím.

V březnu 2022 CELLINK představila BIO CELLX revoluční technologii, která automatizuje operace 3D buněčných kultur pomocí předem validovaných protokolů. BIO CELLX rozšiřuje působivé portfolio biotisku CELLINK tím, že kombinuje osvědčené technologie, jako je patentovaná Clean Chamber, s novými přístupy pro vysoce přesné dávkování, automatické plnění trysek a snadné míchání hydrogelů a buněk za účelem vytvoření systému pro opakovatelné a vysoce výkonné generování modelů.

### Materialise

Od samotného počátku v roce 1990 bylo cílem společnosti nalézt nová využití mimořádného potenciálu, který nabízí 3D tisk. Od té doby se společnost Materialise soustředí na nabízení řady softwarových řešení a konstruktérských a 3D tiskových služeb, které společně tvoří páteř celého odvětví. Otevřené a flexibilní platformy společnosti Materialise umožňují hráčům v odvětví zdravotnictví, automobilového a leteckého průmyslu, umění a designu a spotřebitelského zboží tvořit inovativní aplikace pro 3D tisk, díky kterým je svět lepším a zdravějším místem. S hlavním sídlem v Belgii a pobočkami po celém světě vytvořila společnost největší skupinu softwarových vývojářů v odvětví a jednu z největších továren na 3D tisk na světě. V České republice se pobočka společnosti, výrobní fabrika, nachází v Ústí nad Labem.

Je jedním z lídrů v oblasti stereolitografie, laserového sinterování, FDM, 3D tisku kovu, multi Jet Fusion, PolyJet, vakuového lití, softwarových řešení a stále se pracuje na vývoji nových materiálů vhodných pro 3D tisk. Divize Materialise Medical byla průkopníkem v mnoha důležitých využitích 3D tisku ve zdravotnictví a umožňuje výzkumníkům, konstruktérům a klinickým pracovníkům přinést revoluci do inovativní péče o pacienty, která pomáhá zlepšit i zachránit životy.



Obrázek 46: Hlavní oblasti působení společnosti Materialise (<https://www.materialise.com/cs/medical>)



### **Prusa Research**

V roce 2012 společnost vznikla jako rodinný podnik bez žádných velkých investic. Časem se design Prusa i3 stal jednou z nejpobulárnějších konstrukcí pro FDM 3D tiskárny a objevuje se v mnoha úpravách po celém světě, protože je mimo jiné stále open-source.

Momentálně v Prusa Research pracuje přes 700 lidí a měsíčně prodá přes 9000 tiskáren do celého světa přímo z firmy v Praze. Dle reportu Deloitte v roce 2018 se stala nejrychleji rostoucí technologickou firmou ve střední Evropě s růstem 17118 % za poslední čtyři roky a obsadila první místo v kategorii Deloitte BIG 5 s tempem růstu 4527 %.

Nehledě na to, že česká společnost Prusa Research zatím nepracuje v oblasti biotisku, v roce 2020 v reakci na akutní nedostatek ochranných pomůcek pro zdravotnický personál v současné pandemické situaci, rychle začala vyvíjet a masově tisknout ochranné 3D tištěné obličejové štíty pro zdravotníky a profesionály.

3D tiskárny společnosti Original Prusa i3 vyhrávají ocenění po celém světě, ale stále jsou open-source a velká část jejich dílů je stále tištěná na dalších 3D tiskárnách, proto také mají přímo v budově „Farmu“, obří místnost, kde více než 600 tiskáren tiskne díly na další stroje. Společnost plánuje i nadále vyrábět 3D tiskárny a také prohlubovat ekosystém kolem tiskáren – rozvoj modelové, znalostní a uživatelské databáze, kurzy tisku, pravidelný přísun kvalitního obsahu. Do budoucna chtějí výrazně posílit přítomnost ve firemním a vzdělávacím segmentu trhu doma i v zahraničí. V přípravě jsou různé zákaznické a partnerské programy – jeden z nich, Prusa pro školy, již úspěšně běží a momentálně je do něj zapojeno přes 1 000 škol v Česku, což je velký úspěch. Produktově chystají vlastní automatickou tiskovou farmu – momentálně probíhají první schůzky s potenciálními zákazníky. Spolu s farmou je ve vývoji také software pro vzdálený 3D tisk nebo monitoring – betaverzi k testování už teď lze nalézt na jejich webu.

Prusa měl v roce 2020 tržby přes dvě miliardy korun se ziskem po zdanění přes 270 milionů korun. Josef Průša a Ondřej Průša ve firmě drží podíl po 42,5 procentech, Michal Průša má 15 procent.

V roce 2022 společnost roste, štěpí se a přijímá do své Prusa rodiny nové hráče. Prusa Research kupila amerického prodejce v tomto oboru Printed Solid. Obchod přišel krátce poté, co se spojili soupeři Průši a výrobci 3D tiskáren Ultimaker a MakerBot. S plánovaným rozšířením provozu a počtu zaměstnanců v roce 2022 mohou zákazníci očekávat, že bude nabízeno více produktů Original Prusa nejen pro podnikové, vládní a vzdělávací zákazníky, ale také přímý prodej, podporu a školení pro spotřebitele. Do 4. čtvrtletí roku 2022 získá společnost Printed Solid další skladovací prostory, provozní prostory a zaměstnance.

### **Organovo**

Společnost Organovo byla založena v roce 2007 a specializuje se na 3D bioprint, přičemž interně vyvinula tiskárnu NovoGen Bioprinter, která umožňuje automatizovanou výrobu mnohobuněčných tkání. Její modely, které jsou považovány za jednu z nejhodnotnějších společností v oboru, mají řadu aplikací ve zdravotnictví a významně přispívají k vývoji tkáňových modelů a terapeutických implantátů.

Od začátku roku 2018 do srpna 2019 byla společnost zaměřena na vývoj jaterních tkání in vivo k léčbě konečného stádia onemocnění jater a vybrané skupiny život ohrožujících

osiřelých onemocnění, pro které existují omezené možnosti léčby kromě transplantace orgánů.

V srpnu 2019, po přísném posouzení in vivo programu pro léčbu jaterních tkání, společnost dospěla k závěru, že výsledky nejsou tak dobré, jak se očekávalo. Z toho důvodu pozastavila společnost v roce 2021 vývoj hlavního programu a všech dalších souvisejících činností v oblasti vývoje jaterních tkání.

Nyní ve skupině probíhají fúze a štěpení, společnost řeší své strategické cíle a financování.

### **Stratasys**

Zakladatel společnosti Stratasys, Ltd. vynalezl jednu z prvních technologií 3D tisku před více než 30 lety (v roce 1989) a od té doby je společnost lídrem v oboru tím, že mění složité problémy v jednoduchá řešení. Stratasys, Ltd. je americko-izraelský výrobce 3D tiskáren, softwaru a materiálů pro výrobu polymerních aditiv a také 3D tištěných dílů na zakázku. Inženýři používají systémy Stratasys k modelování složitých geometrií v široké škále polymerních materiálů, a to včetně ABS, polyfenylsulfonu (PPSF), polykarbonátu (PC) a polyetherimidu a Nylonu 12. Mezi klienty Stratasys v automobilovém průmyslu, jejichž hodnota dosahuje 1,68 miliardy USD, patří například Honda, Volvo a Ford. Technologie společnosti Stratasys, která spolupracuje s předními hráči v leteckém, automobilovém, technologickém a lékařském průmyslu, umožňují těmto společnostem udržet si náskok díky vyšší rychlosti práce a snížení nákladů. Týmy, které mají pobočky ve 13 zemích, se věnují uvádění nápadů do života prostřednictvím nových výrobních možností a neustálých inovací.

### **Rokit**

Rokit je jihokorejský výrobce 3D tiskáren vstoupil na trh biotisku po grantu 3 miliony dolarů od vlády v roce 2015. Od té doby vyvíjí působivou 3D biotiskárnu Rokit Invivo. Je to víceúčelová hybridní biotiskárna s extruderem a dávkovačem kapalin. Podle společnosti Rokit může Invivo tisknout na množství materiálů včetně PLGA, PCL, PLLA, kolagenu, alginátu a hedvábného fibroinu. Do budoucna plánuje společnost vyrábět biosyntetickou kůži.

### **Poietis**

Francouzská společnost Poietis poskytuje průmyslovým hráčům a výzkumníkům jedinečnou platformu pro navrhování a výrobu bio tištěných produktů pro regenerativní medicínu. Vyvíjí a vyrábí lidské tkáně na zakázku pomocí 4D biotisku pro farmaceutické a kosmetické aplikace a také pro regenerativní medicínu. Mají výzkumné partnerství s francouzským kosmetickým gigantom L'Oreal. Jeho vlajkovou lodí je Poieskin, model lidské kůže složený z dermálních a epidermálních vrstev. Komerčně dostupná 3D biotisková kůže může být přizpůsobena potřebám farmaceutických nebo kosmetických laboratoří.

### **CollPlant**

CollPlant je izraelská společnost zabývající se regenerační a estetickou medicínou vyvíjející inovativní technologie a produkty pro regeneraci tkání a výrobu orgánů. Jejich revoluční rostlinná technologie je jedinou komerčně životaschopnou technologií pro masovou produkci rekombinantního lidského kolagenu typu I (rhCollagen), který je identický s kolagenem produkovaným lidským tělem. Díky tomu je vyvinutý rhCollagen ideálním stavebním kamenem pro regenerativní medicínu. S využitím jedinečných vlastností rhCollagen a biomateriálového know-how vyvíjí řadu produktů zaměřených na 3D biotisk tkání a orgánů a lékařskou estetiku. Posláním společnosti CollPlant je dodávat průlomové produkty pro regenerativní medicínu, které pacientům nabízejí optimální možnosti léčby.

Na začátku roku 2021 uzavřel CollPlant smlouvu o vývoji a globální komercializaci dermálních výplní a výplní měkkých tkání se společností Allergan, společností AbbVie, globálním lídrem na trhu dermálních výplní. Později v roce 2021 CollPlant uzavřel strategickou dohodu o společném vývoji se společností 3D Systems na 3D biotiskovou regenerační matici měkkých tkání pro použití při rekonstrukčních postupech prsu v kombinaci s implantátem.

## 8. Ekonomická analýza vybraných společností

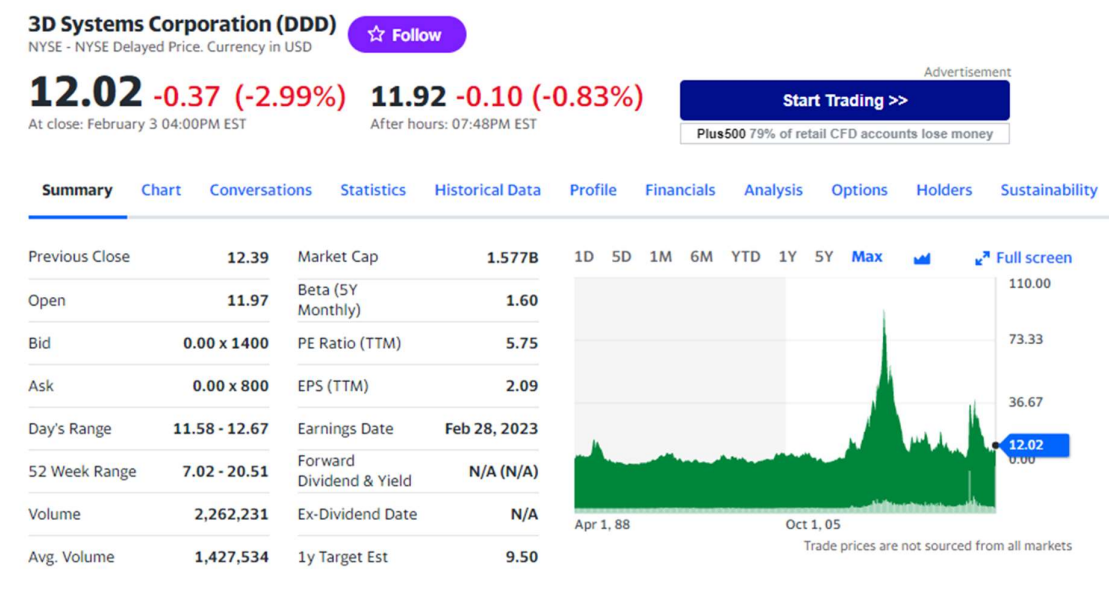
Zdrojem finančních dat byly výroční zprávy zpracovávány do formuláře 10-K a další elektronické zdroje informace jako například webové stránky <https://www.macrotrends.net/> a <https://finance.yahoo.com>.

### 3D Systems Corporation



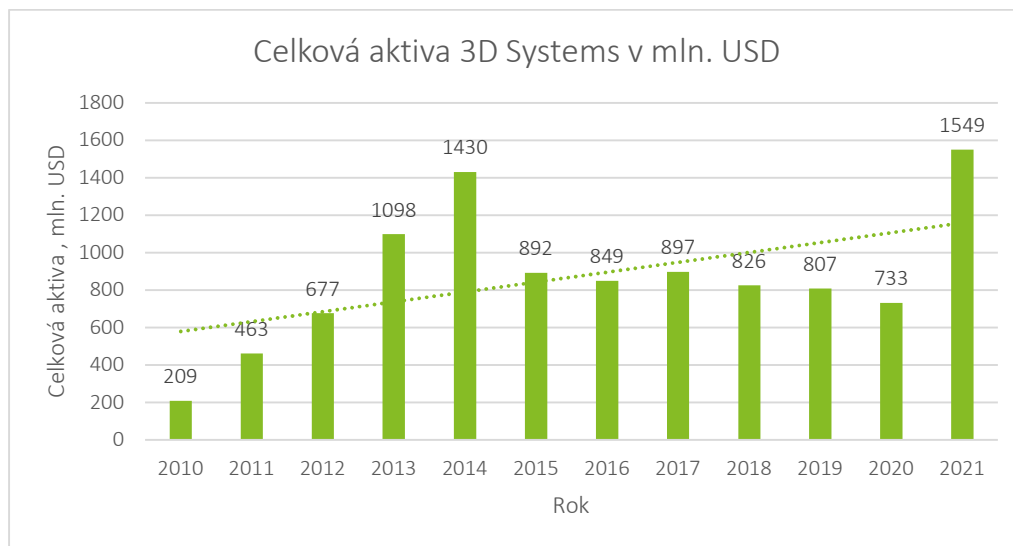
Obchodní jméno: 3D Systems Corporation  
 Sídlo firmy: 333 Three D Systems Circle Rock Hill, SC 29730, USA  
 Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)  
 Počet zaměstnanců: 1 721

Předmětem podnikání společnosti jsou technologická řešení v oblasti 3D tisku a biotisku.



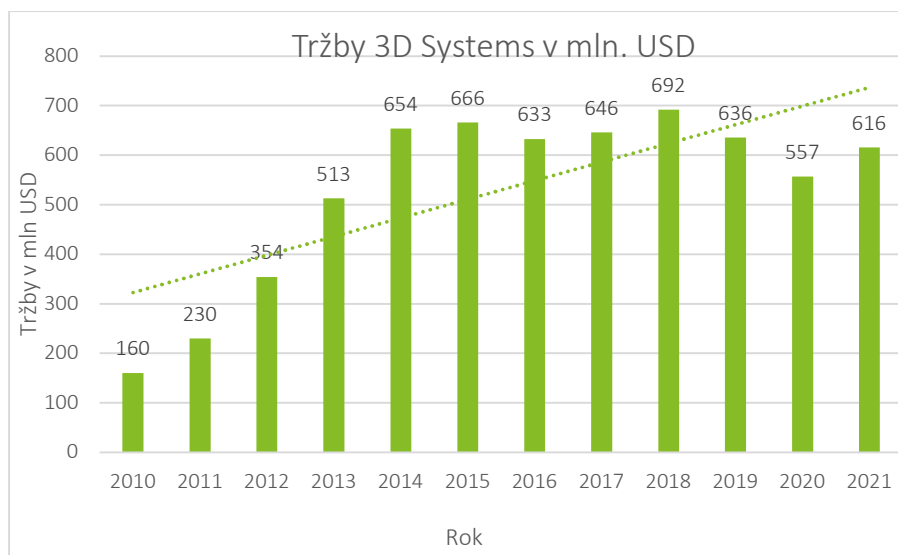
Obrázek 47: Souhrnné aktuální informace stavu 3D Systems na burze. (<https://finance.yahoo.com>)

Na obrázku výše lze vidět tendenci vývoje ceny za akcie v čase. V roce 2014 a 2021 cena akcií vzrostla, poté se ale rychle se vrátila ke svému „normálu“ a nyní má mírnou tendenci k růstu.



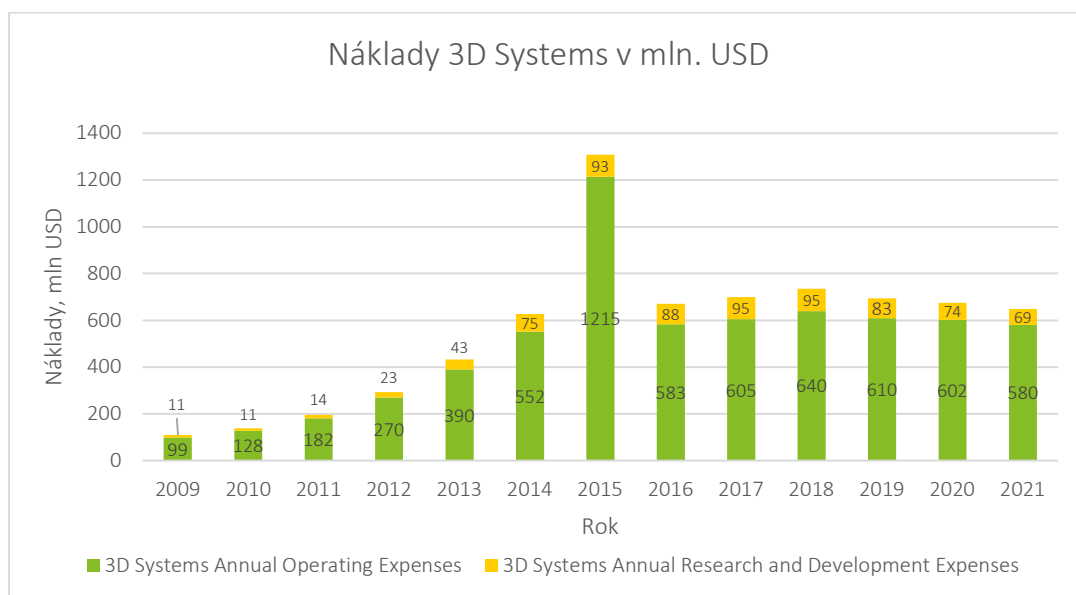
Obrázek 48: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Celková aktiva společnosti zaznamenávala rapidní růst až do roku 2015, kdy došlo ke skokovému snížení o víc než 37 %. Pak následovalo 6 let mírného poklesu, ale v roce 2021 nastal rapidní skok vzhůru, růst aktiv činil více než o 200 %.



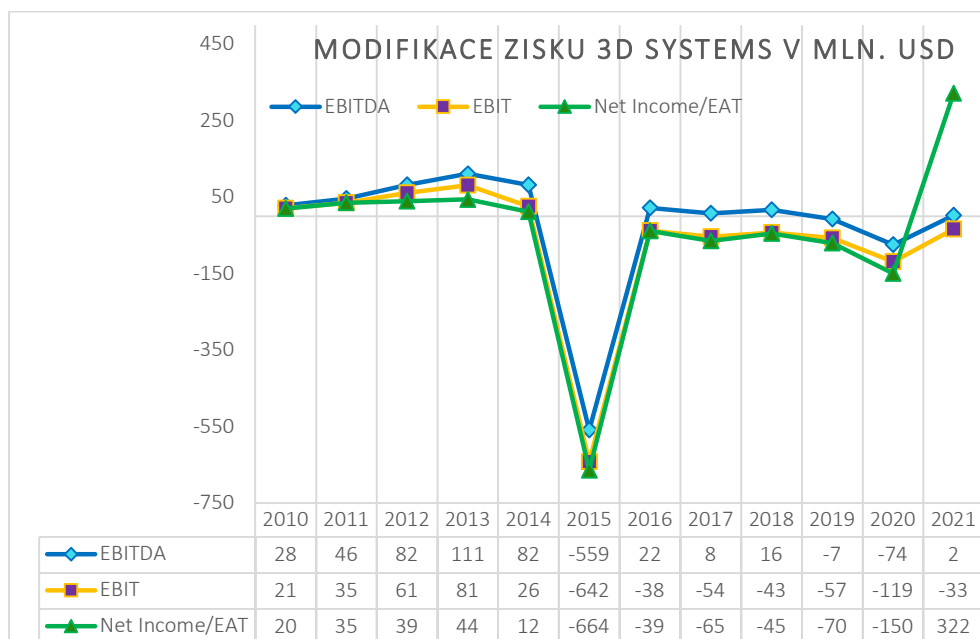
Obrázek 49: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Tržby společnosti 3D Systems do roku 2015 měly rostoucí trend. V roce 2016 a 2017 byl vykázán mírný pokles, dále mírný růst. V posledním vykázaném období za rok 2021 společnost znovu prokazuje narůst objemu tržeb oproti roku 2020, a to téměř o 11 %.



Obrázek 50: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Celkové náklady společnosti měly rychle rostoucí tendenci se skokovým výkyvem v roce 2015, kdy došlo k nárůstu o více než 100 %. V roce 2016 nastal rapidní pokles a od roku 2017 byla úroveň nákladu prokázána více méně na stejné úrovni s tendencí ke snížení. V roce 2021 lze vidět mírný pokles. Během sledovaného období společnost hodně investuje do výzkumu a vývoje a drží přibližně stejný poměr nákladů na VaV mezi cca 11 % a cca 13 %.



Obrázek 51: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Ziskovou byla společnost do roku 2014, kdy v následujícím období došlo ke změně na trhu. V roce 2021 přišel velký zvrat a společnost vykázala poměrně velký zisk ve výši 322 mln. USD.

## Materialise NV



Obchodní jméno: Materialise NV

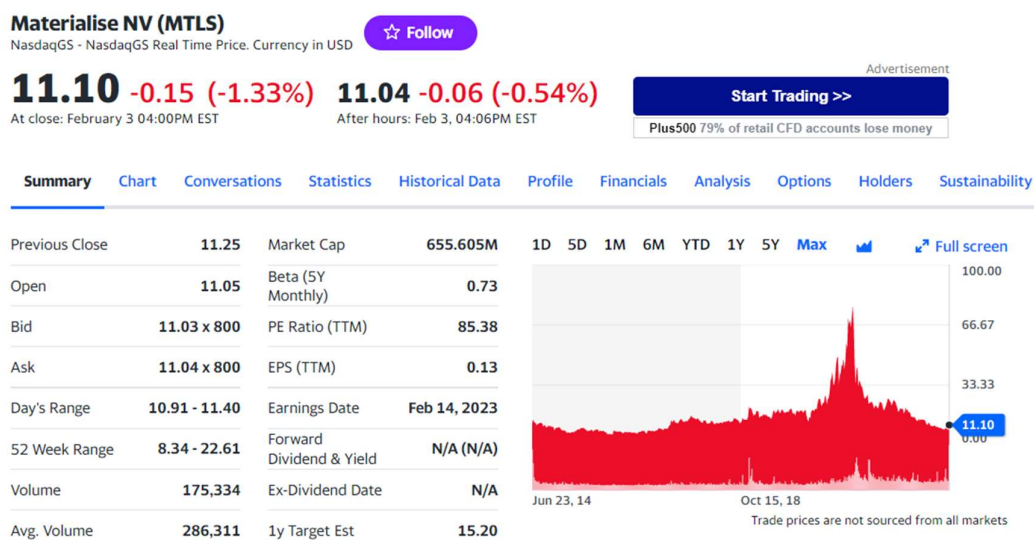
Sídlo firmy: Technologielaan 15 Leuven 3001, Belgium

Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)

Počet zaměstnanců: 2 332

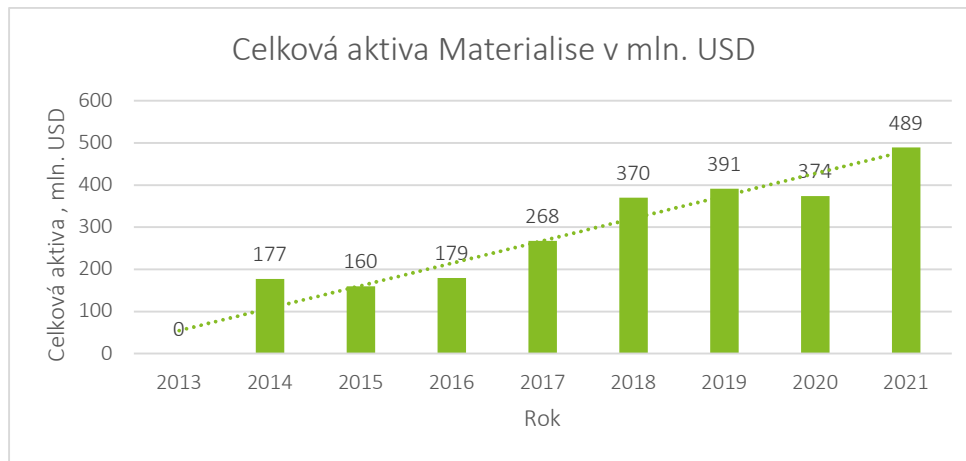
Předmětem podnikání společnosti je aditivní výroba, medicínský software a služby 3D tisku.

Materialise působí na trhu již od roku 1990, ale veřejně obchodovanou společností se stala 25. června 2014, aby umožnila rozšíření svých služeb a vývoj softwaru. Ve stejném roce společnost získala společnost OrthoView, vedoucí společnost na trhu ortopedického digitálního softwaru pro předoperační plánování. Právě proto finanční ukazatele jsou nám dostupné jenom od roku 2013.



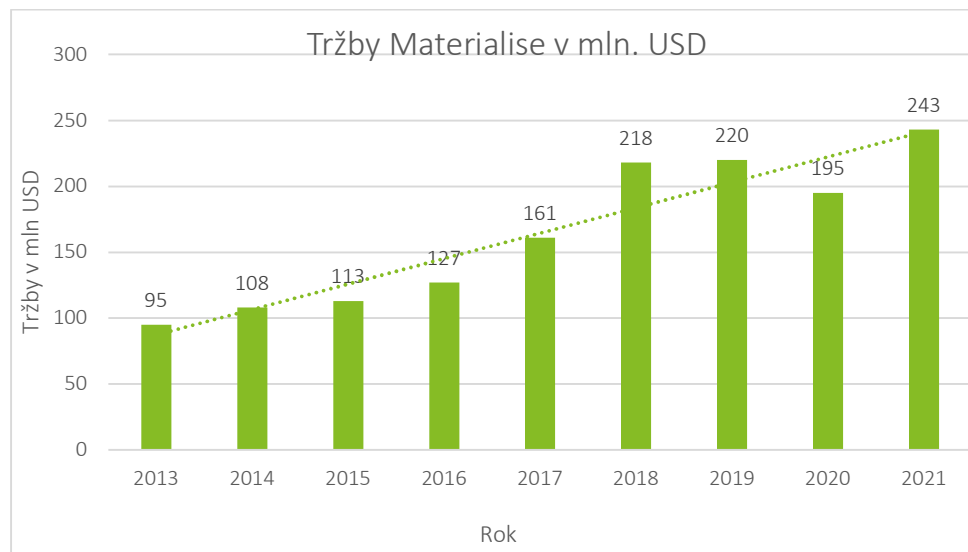
Obrázek 52: Souhrnné aktuální informace stavu Materialise NV na burze. (<https://finance.yahoo.com>.)

Na obrázku výše lze vidět tendenci vývoje ceny za akcie v čase. V roce 2021 cena akcií vzrostla, poté se ale rychle se vrátila ke svému „normálu“ a teď mají spíše klesající tendenci.



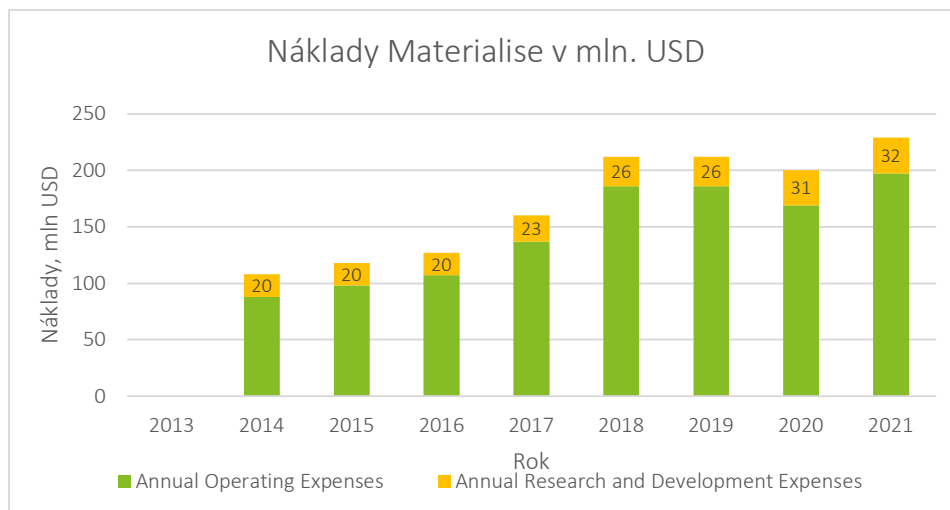
Obrázek 53: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Aktiva společnosti Materialise NV měla během sledovaného období konstantní růstovou tendenci do roku 2019. Poté nastal mírný pokles v roce 2020 a v roce 2021 vidíme znovu růst aktiv.



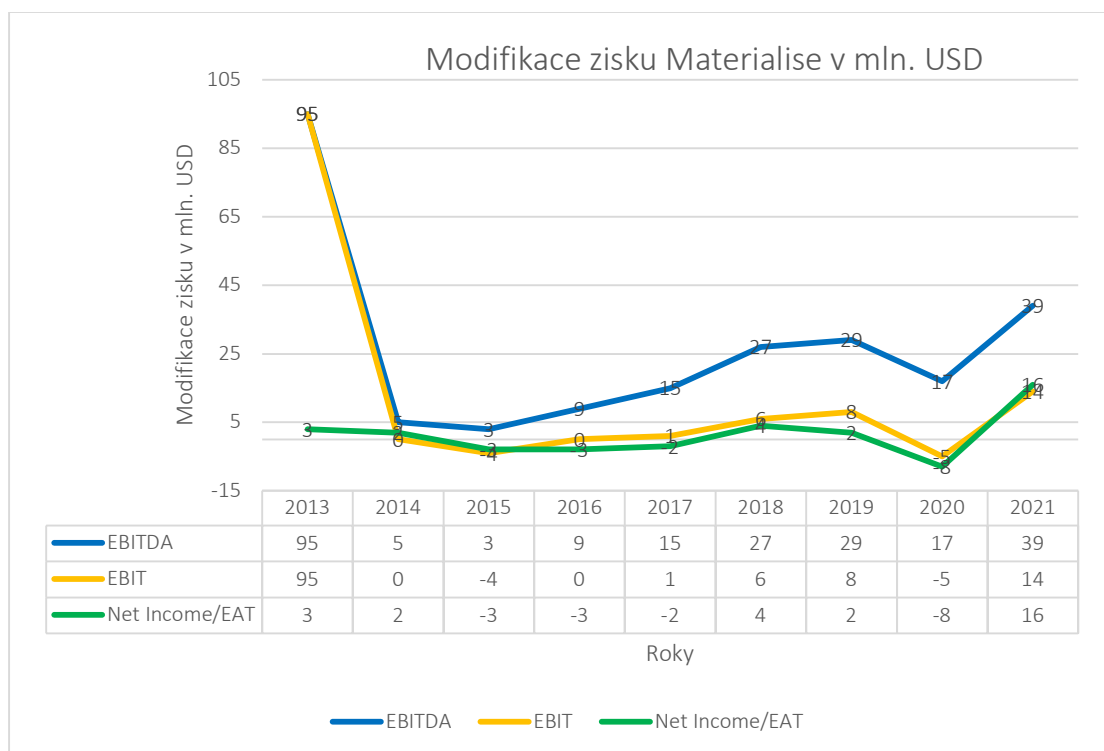
Obrázek 54: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Tržby společnosti, stejně jako aktiva, vykazovaly konstantní růst taktéž do roku 2019. Následoval mírný pokles v roce 2020 a od roku 2021 znovu růst.



Obrázek 55: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Náklady měly během sledovaného období růstovou tendenci. V roce 2018 a 2019 byly náklady na stejné úrovni. V roce 2020 byl menší pokles nákladů, ale v roce 2021 byl znovu vykázán mírný růst. Přitom náklady na výzkum a vývoj postupně permanentně rostou.



Obrázek 56: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Čistý zisk společnosti se dlouhodobě pohybuje kolem nuly. Během sledovaného období společnost měla buď menší ztrátu, nebo menší zisk, čísla se stále pohybovala do desítky



mln. USD buď ztráty, nebo zisku. V roce 2021 společnost vykázala zisk 16 mln. USD, což je nejlepším výsledkem za celé sledované období.

Ze získaných finančních ukazatelů lze vyvodit relativní zdravotnost a úspěšnost společnosti Materialize. Společnost značně investuje do výzkumu a vývoje, myslí tedy na budoucnost a na upevnění své pozice na trhu.

## Stratasys Ltd.



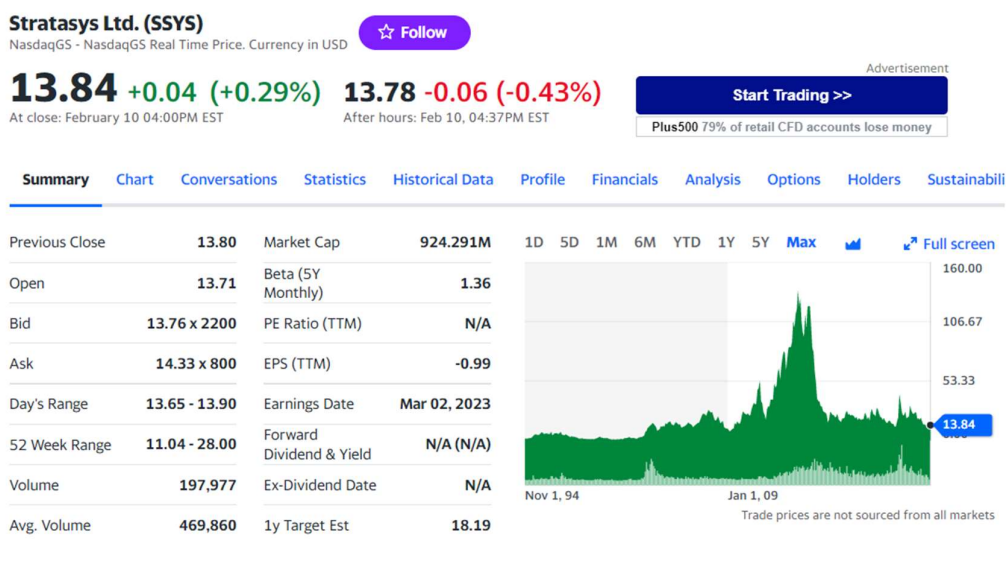
Obchodní jméno: Stratasys Ltd.

Sídlo firmy: 7665 Commerce Way Eden Prairie, MN 55344, USA

Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)

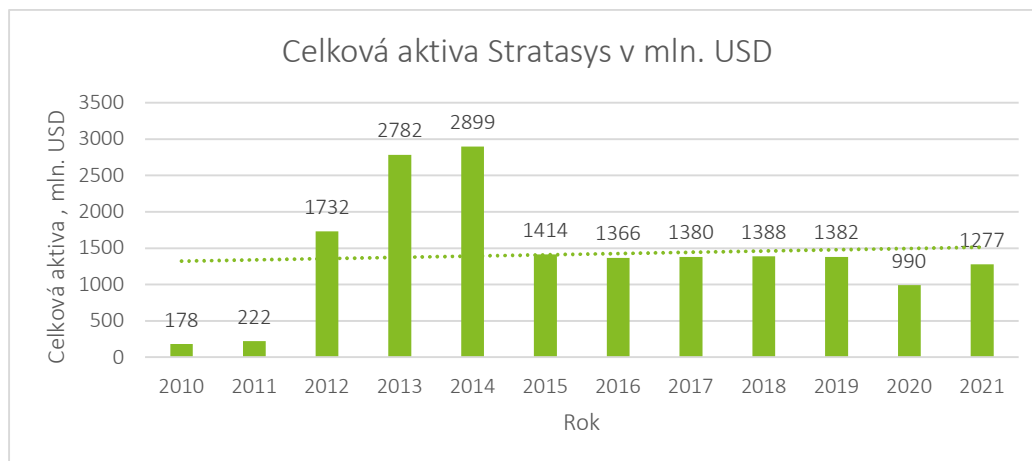
Počet zaměstnanců: 2 039

Předmětem podnikání společnosti je výroba 3D tiskáren, software a materiálů pro 3D tiskárny.



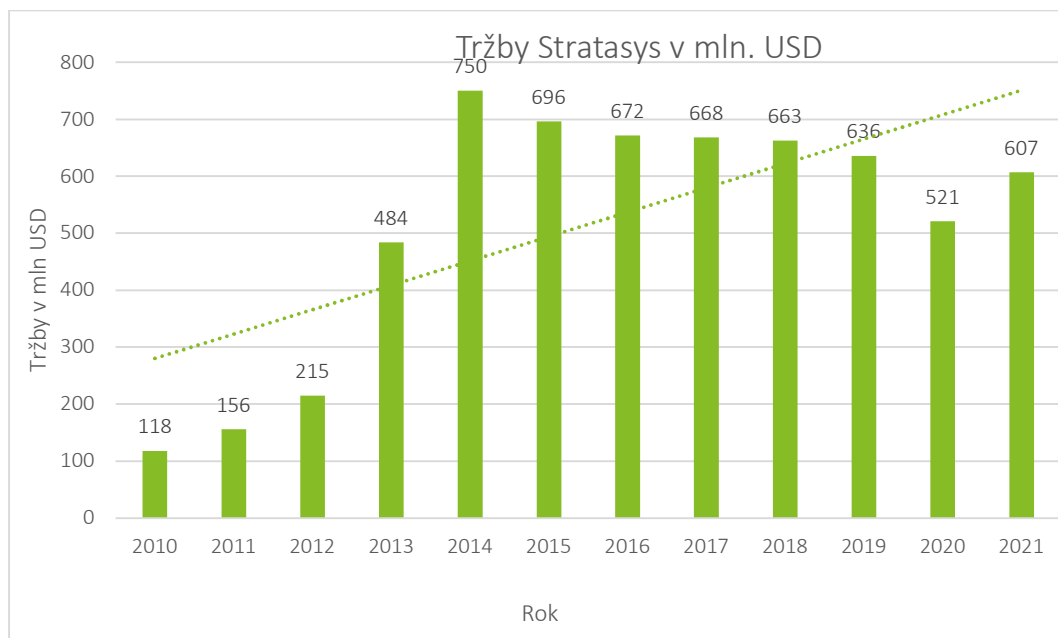
Obrázek 57: Souhrnné aktuální informace stavu Stratasys na burze. (<https://finance.yahoo.com>)

Na obrázku lze vidět tendenci vývoje ceny za akcie v čase. Nejlepších výsledků společnost dosáhla v roce 2014–2015. Poté následoval rapidní pokles. V roce 2021 a 2022 cena akcií mírně rostla, nyní mají akcie spíš mírně rostoucí tendenci.



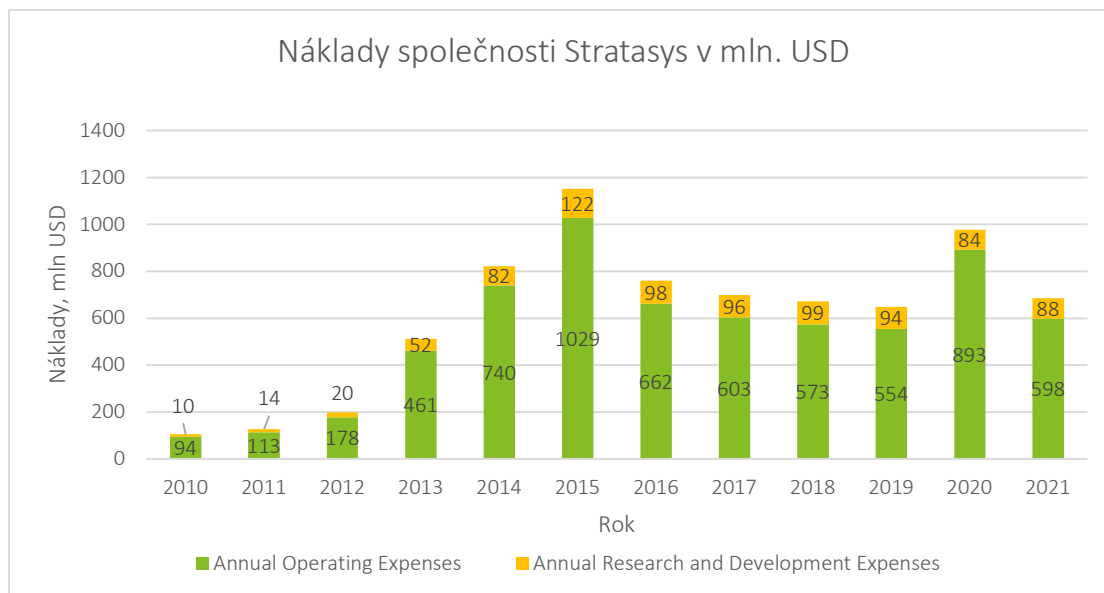
Obrázek 58: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Celková aktiva společnosti měla až skokovou rostoucí tendenci do roku 2014 včetně. V následujících obdobích došlo k výraznému poklesu, ale od té doby se aktiva stále drží na skoro stejné úrovni s výjimkou roku 2020, kdy společnost znovu vykázala pokles aktiv skoro o třetinu, ale v roce 2021 dosáhla stěží úrovně sledovaných období.



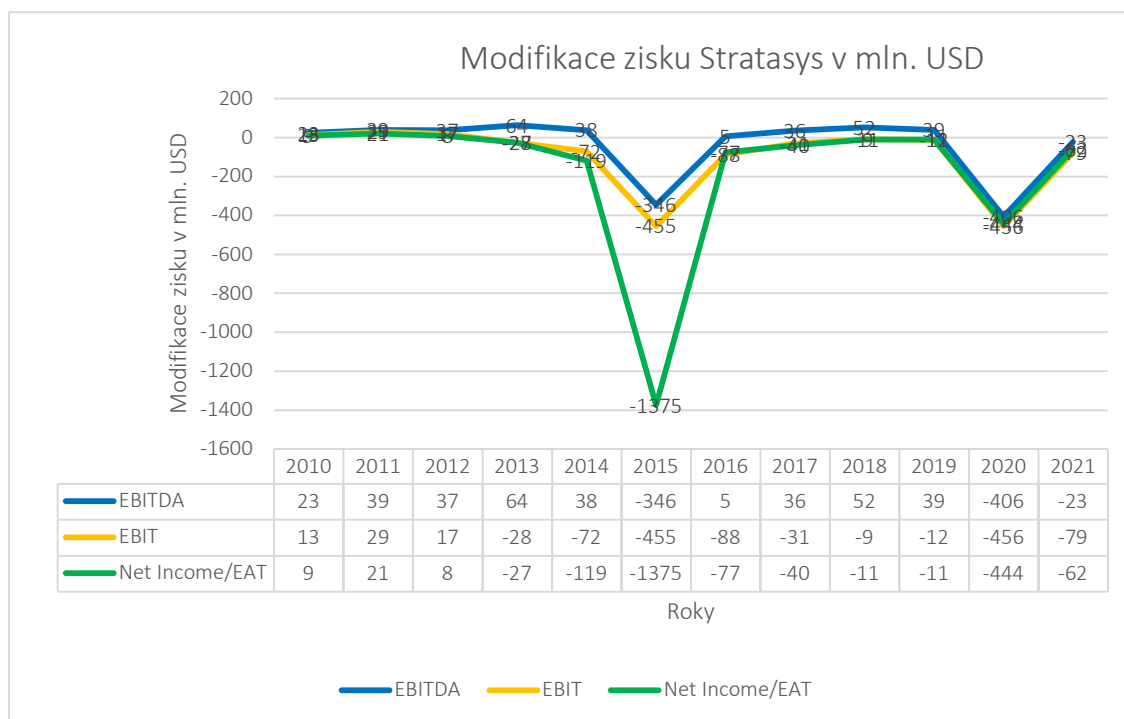
Obrázek 59: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Tržby společnosti ve sledovaném období vykazovaly růst do roku 2014. Od tohoto roku dále vykazovala společnost každoroční pokles tržeb. V roce 2020 zaznamenala společnost větší pokles tržeb, ale v roce 2021 znovu mírný růst.



Obrázek 60: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Náklady společnosti Stratasys rostly rychle do roku 2015. V roce 2016 společnost vykázala rapidní pokles a v roce 2020 znovu značný růst. Rok 2021 společnost ukončila dalším poklesem nákladů do úrovně předchozích období. Podíl nákladů na výzkum a vývoj na celkových nákladech měla firma ve sledovaném období na střední úrovni kolem 13 %.



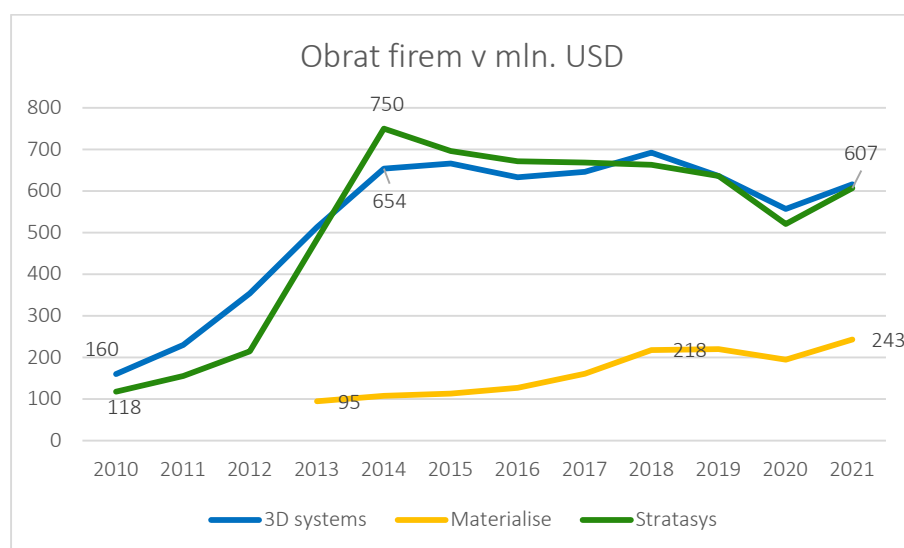
Obrázek 61: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Firma Stratasys byla ziskovou během prvních tří let sledovaného období od roku 2010 do roku 2012. Následně od roku 2013 vykazovala ztrátu, kterou postupně snižovala,

ale v roce 2020 znovu vykázala společnost velkou ztrátu ve výši 444 mln. USD, kterou v roce 2021 snížila na 62 mln. USD.

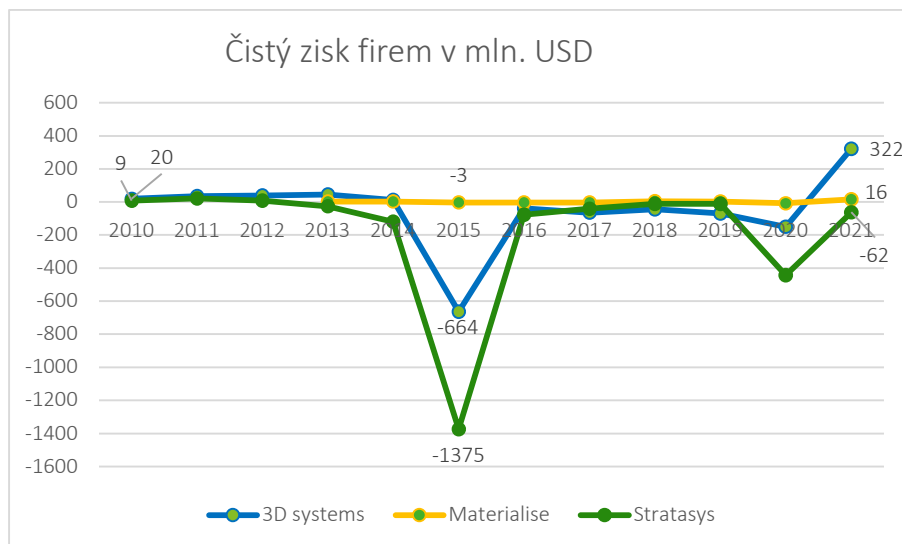
## Porovnání společností

Při srovnání je potřeba počítat s různými zaměřenými společnostmi. 3D Systems má široké portfolio hardwarových, softwarových a materiálových řešení, v roce 2021 společnost začala hodně investovat do bioprintingu a reprodukcí řešení. Stratasys je výrobcem 3D tiskáren, softwaru a materiálů pro výrobu polymerních aditiv a také 3D tištěných dílů na zakázku. Materialise se zabývá vývojem doprovodného softwaru a poradenstvím a je nejmladší veřejnou společností z přestavených tří.



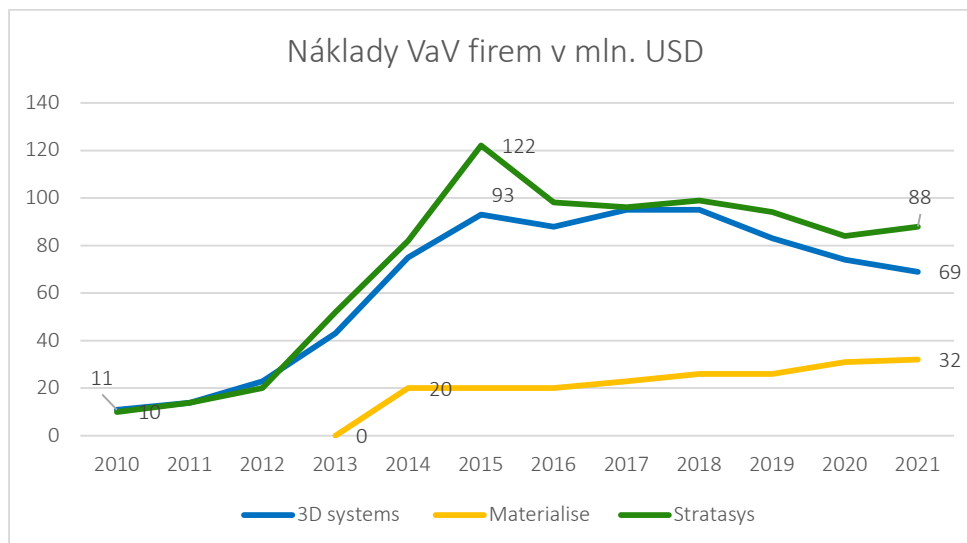
Obrázek 62: POROVNÁNÍ OBRATU FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Při vzájemném porovnání sledovaných společností vidíme, že křivky tržeb společností 3D Systems a Stratasys soupeří po celou dobu sledování, kdy nejdříve jedna společnost má tržby o něco větší než druhá a další období se to prostřídá. V roce 2021 dokonce skončily společnosti ve stejném bodě 607 mln. USD. Třetí sledovaná společnost Materialise po celou dobu vykazuje mírný růst obratu, ale ke konci roku 2021 je její obrat nižší 2,5 krát oproti 3D Systems a Stratasys.



Obrázek 63: POROVNÁNÍ ČISTÉHO ZISKU FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

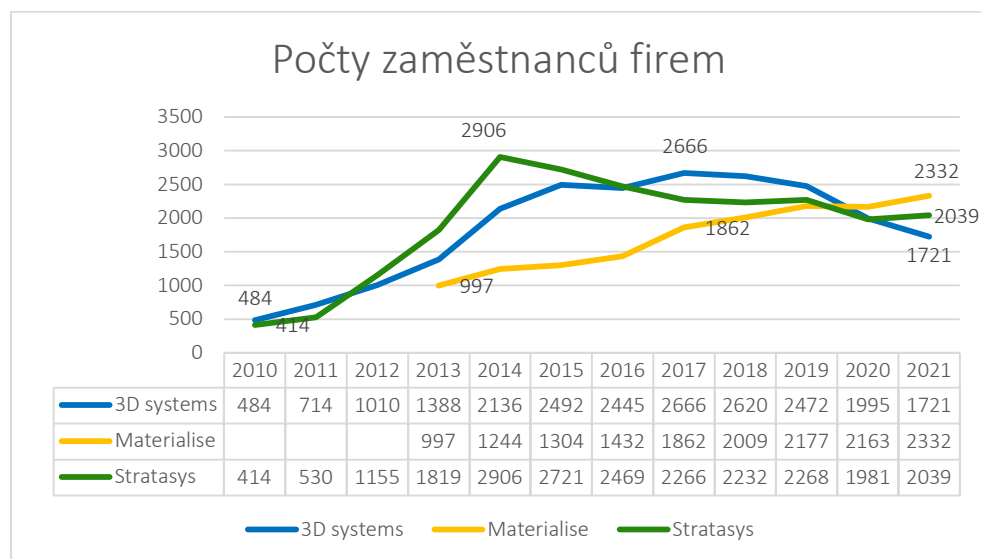
Vzájemné porovnání čistého zisku společností nám ukazuje, že znovu zde můžeme vidět soutěž dvou stejných společností z předchozího grafu, a to 3D Systems a Stratasys. Křivky zisku se hodně podobají po celou dobu až na to, že ztráta společnosti 3D Systems proti soupeři Stratasys v roce 2015 byla víc než dvakrát větší než u „soupeře“ a v roce 2021 společnost 3D Systems vykázala čistý zisk ve výši 322 mln. USD, zatímco společnost Stratasys vykazuje ztrátu ve výši 62 mln. USD. Materialise se nemůže pochválit většími částkami, stále křivka se drží kolem 0, ale právě proto společnost vypadá stabilnější a pozitivněji, navíc v roce 2021 vykázala zisk největší za vše sledována období – 16 mln. USD. Nejziskovější z trojice porovnávaných společností byla společnost 3D Systems.



Obrázek 64: POROVNÁNÍ VYNALOŽENÝCH NÁKLADŮ NA VaV (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Sledované společnosti investovaly do výzkumu a vývoje významné částky. U všech tří společností měly tyto náklady růstovou tendenci do roku 2015. V následujících obdobích došlo k poklesu vynaložených nákladů u společnosti Stratasys a 3D Systems, ale Materialise

nicméně mírně zvyšovala náklady na VaV. V roce 2021 u Společnosti 3S Systems pokračuje tendence snížení nakladů na VaV, dvě další společnosti ale investování zvyšují.



Obrázek 65: POROVNÁNÍ POČTŮ ZAMĚSTNANCŮ FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Při vzájemném porovnání počtů zaměstnanců sledovaných společností můžeme překvapivě zjistit, že se počty zaměstnanců u nejmladší a nejmenší společnosti Materialise po celou dobu sledování stále zvyšují a ke konci v roce 2021 má zaměstnanců víc než giganti 3D Systems a Stratasys. Očividně poslední dvě provádí preventivní opatření a krátí počty svých zaměstnanců, když Materialise naopak nabírá, z čehož můžeme vyhodnotit, že nejstabilnější ze všech společností vychází společnost Materialise.

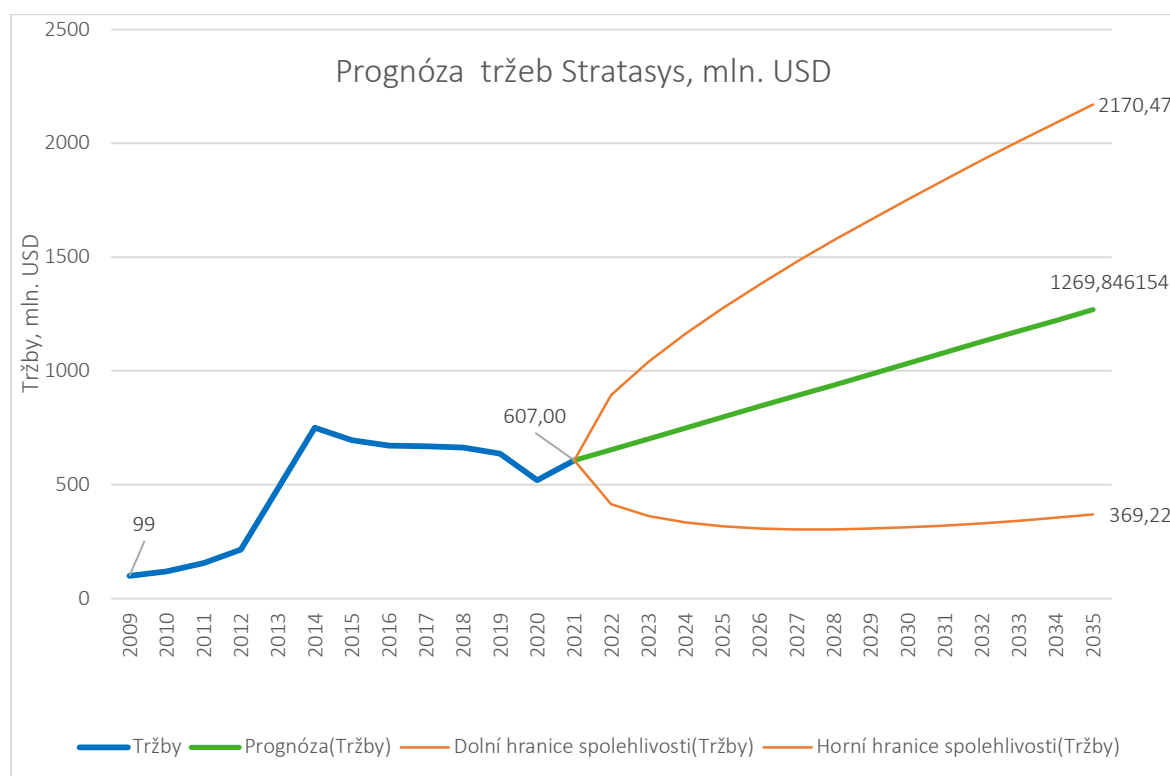
## Prognóza vybraných společností

Pro prognózu možného budoucího vývoje vybraných společností byly vybrány dva důležité finanční ukazatele, a to objem tržeb a hodnota aktiv. Pomocí prognózy těchto dvou ukazatelů lze částečně předpovědět budoucí vývoj společností. Prognózy byly vypočítány do roku 2035 pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95 % a byla k nim využita veřejně dostupná data finančních ukazatelů jednotlivých společností.

U vypočtených prognóz je také potřeba počítat, že do výpočtu nebudou zapojeny události technologických, politických, sociálních, ekonomických a dalších změn, které by mohly ovlivnit finální výsledek. Metoda je založena na předpokladu, že síly, které působily v minulosti, budou působit i nadále. Ze své podstaty neumožní vzít při prognózování do úvahy budoucí události, které mohou ovlivnit vývoj sledovaného trendu.

- **Prognóza vývoje společnosti Stratasys**

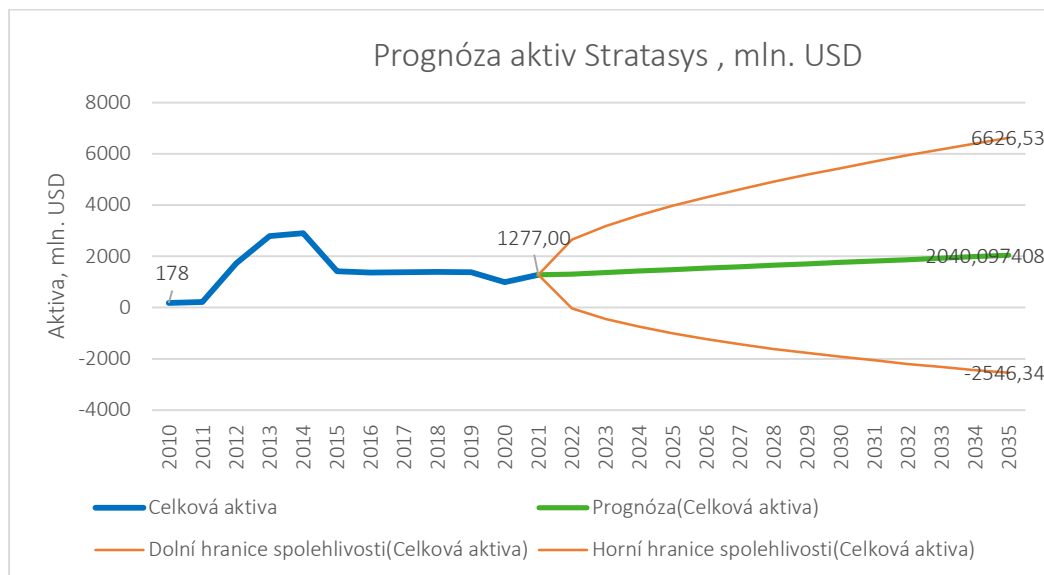
Prognóza obrátu společnosti Stratasys předpokládá budoucí růst společnosti, i když dle prognózy dolní hranice se očekává, že pokles objemu tržeb bude pokračovat do roku 2028 a od roku 2029 pak začne mírně růst. Střední hodnota prognózy předpokládá v roce 2035 obrát 1269 milionů USD a meziroční růst obrátu se pohybuje kolem 5 %. Horní a dolní hranice spolehlivosti od střední hodnoty prognózy má obrovské odchylky, a to 71 % horní a více než 300 % dolní, což svědčí o velké nejistotě vývoje. Prognóza aktiv tedy předpokládá nejasnou budoucnost společnosti, ale i přes to počítá s pozitivním vývojem společnosti ve vzdálenější budoucnosti.



Obrázek 66: PROGNOZA OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATATYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Prognóza aktiv společnosti Stratasys je více nezřetelná než prognóza obrátu, také má příliš velké odchylky hranic od střední hodnoty prognózy, a to více než 300 % v roce 2035 od horní hranice a více než 200 % od nižší hranice, která již od roku 2022 předpokládá záporné hodnoty. Její střední hodnota ale předpovídá od roku 2022 pomalý meziroční růst aktiv o více než 3 % ročně až na hodnotu 2040 milionů USD v roce 2035. Její horní hranice spolehlivosti však předpokládá více než ztrojnásobení aktiv na 6626 milionů USD v roce 2035 a její dolní hranice spolehlivosti předpokládá stabilní klesání v záporných hranicích hodnot, což by znamenalo jistý bankrot společnosti.

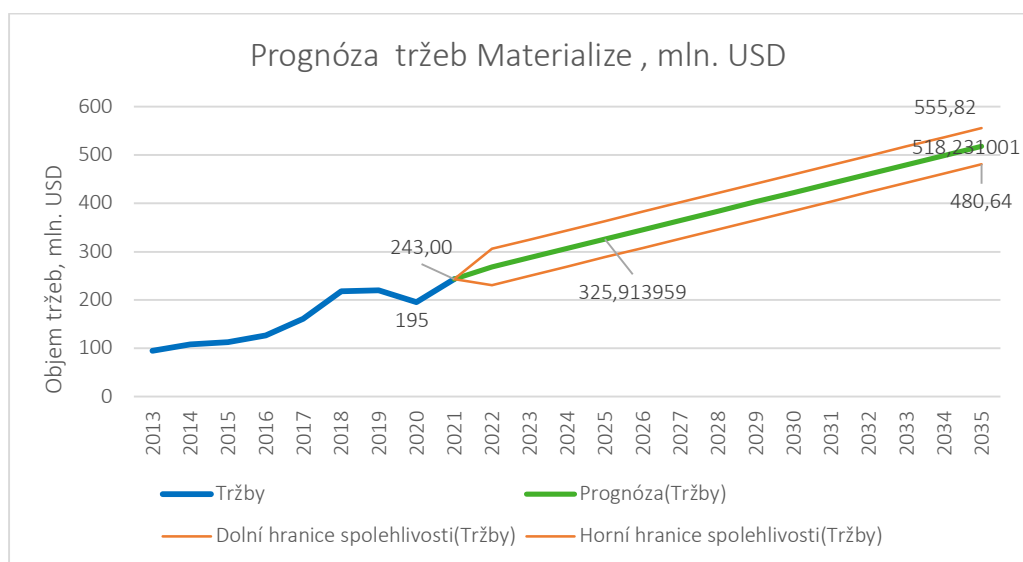
V případě Stratasys bych se spíše přiklápěla ke střední hodnotě prognózy, která očekává pomalý růst aktiv v budoucnosti a předpokládá pozitivní vývoj společnosti.



Obrázek 67: PROGNOZA VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI STRATATYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## Prognóza vývoje společnosti Materialise

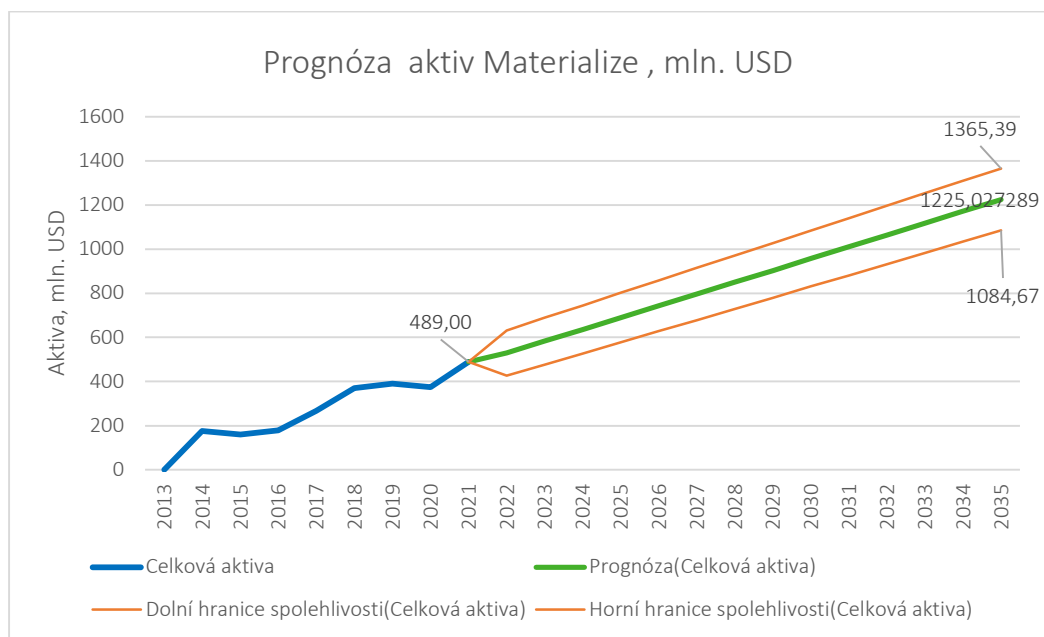
Prognóza obrátu společnosti Materialise předpovídá budoucí růst společnosti. Dle prognózy se neočekává, že by pokles objemu tržeb v roce 2020 pokračoval i v dalších letech. Střední hodnota prognózy předpokládá v roce 2035 obrát 518 milionů USD, což je vyšší hodnota než doposud nejvyšší obrát 243 milionů USD. Další meziroční růst obrátu se pohybuje kolem 7 %. Horní a dolní hranice spolehlivosti se od střední hodnoty prognózy odchyľuje o něco málo, zhruba o 7 %, tento výpočet tedy počítá s poměrně jasnou pozitivní budoucností.



Obrázek 68: OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)



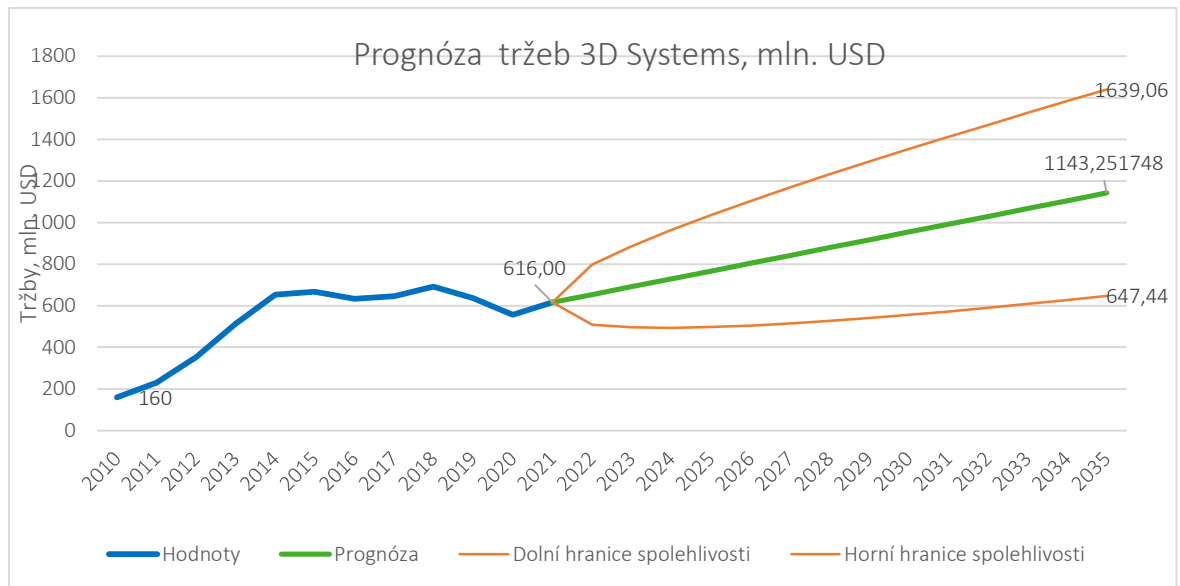
Prognóza aktiv vypadá velmi podobně jako prognóza objemu tržeb a střední hodnota prognózy předpokládá další růst, přičemž meziroční růst aktiv se pohybuje kolem 7 %. V roce 2035 kdy aktiva mají dosahovat 1225 mln. USD. Horní a dolní hranice spolehlivosti se od střední hodnoty prognózy odchyloje o něco více než tržby, zhruba o 11 % horní hranice a o 13% dolní hranice. Tento výpočet konstatuje celkem jasnou pozitivní budoucnost společnosti.



Obrázek 69: VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

### Prognóza vývoje společnosti 3D Systems

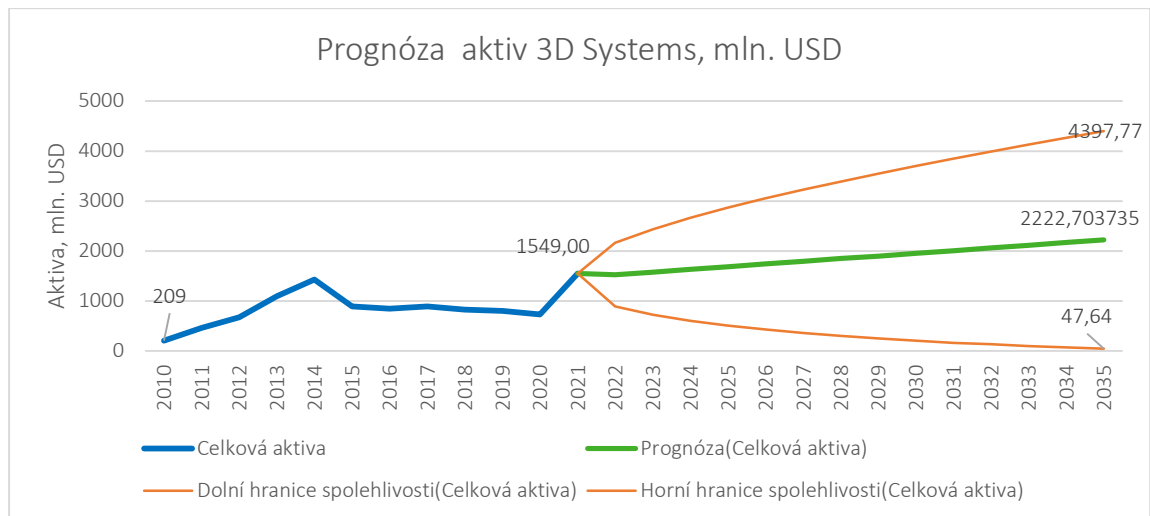
Prognóza obratu společnosti 3D Systems předpovídá budoucí růst společnosti, i když dle prognózy dolní hranice se očekává, že pokles objemu tržeb bude mírně pokračovat do roku 2024 a od roku 2025 pak začne mírný růst. Střední hodnota prognózy předpokládá v roce 2035 obrat 1143 milionů USD a meziroční růst obratu se pohybuje kolem 4,5 %. Horní a dolní hranice spolehlivosti od střední hodnoty prognózy má velké odchylky, a to 43 % horní a 57 % dolní. Prognóza aktiv tedy předpokládá nejasnou budoucnost společnosti, ale i přes to počítá s pozitivním vývojem společnosti ve vzdálenější budoucnosti.



Obrázek 70: PROGNOZA OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Prognóza aktiv je více nejasná než prognóza obrátu, také má hodně velké odchylky hranic od střední hodnoty prognózy, a to až 200 % v roce 2035 od horní hranice a 47krát od dolní hranice. Její střední hodnota předpokládá v roce 2022 pokles hodnoty aktiv o 2 % a od roku 2023 pomalý meziroční růst aktiv, okolo 3 % až na hodnotu 2222 milionů USD v roce 2035. Její horní hranice spolehlivosti však předpokládá ztrojnásobení aktiv na 4297 milionů USD v roce 2035 a její dolní hranice spolehlivosti předpokládá stabilní klesání na hodnotu 47 mln. USD v roce 2035.

V případě 3D Systems bych se spíše přikláníla k střední hodnotě prognózy, která očekává mírný růst aktiv v budoucnosti a předpokládá pozitivní zdravý vývoj společnosti.



Obrázek 71: PROGNOZA VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## Závěr prognóz vybraných společností

Prognózy tržeb a aktiv společností byly vypočteny pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95 %. Tento matematický model, jak již bylo řečeno v úvodu, může zohlednit pouze data a informace z minulých let, a tak nemůže počítat s velkými světovými událostmi, jako je například pandemie covid-19 nebo válka na Ukrajině. Z tohoto důvodu se nelze stoprocentně spoléhat na vypočtené hodnoty. Nelze ale také říct, že data jsou nepoužitelná, je pouze potřeba počítat s jejich některou nepřesností, a dávat je do kontextu s aktuálními událostmi.

Dle výsledků prognózy by měla společnost Materialise zaznamenat stabilní růst tržeb a aktiv v příštích letech, a to i v dolních hranicích spolehlivosti. Hodnoty společností 3D Systems a Stratatys, nehledě na to, že jejich finanční ukazatele vypadaly skoro jako bliženci, v prognóze se zachovali výrazně odlišně. Společnost Stratatys má větší riziko negativního vývoje. Prognóza predikuje možný propad v tržbách a pokles aktiv do záporných hodnot s rizikem bankrotu, ale dle středních hodnot můžeme očekávat mírný stabilní ekonomický růst. Prognóza pro společnost 3D Systems vypadá pozitivněji i v dolních hranicích spolehlivosti oproti prognóze společnosti Stratatys. Při nejhorším scénáři by aktiva společnosti postupně klesala, ale pokud by taková tendence přetrvávala déle než několik po sobě jdoucích období, management společnosti by měl zasáhnout a situaci napravit. Jinak dle středních hodnot prognózy by měla společnost mírně růst.

## 9. Anketa na sociálních sítích

Pro účely zjištění prognózy vývoje technologie 3D tisku byla vypracována anketa a umístěna na sociálních sítích LinkedIn, kde se spíše pohybují profesionálové v určitém oboru, a Facebook kvůli většímu počtu uživatelů. Anketa byla vypracovaná v anglickém jazyce pro větší dosah účastníků a do tabulky zde jsem vložila otázky již přeložené do jazyka českého. Cílem ankety bylo zjistit, do jaké míry jsou respondenti seznámeni s technologií 3D tisku, a také sesbírat názory a odhady vývoje této technologie v roce 2025 a v roce 2040 její příležitosti, potenciál a možné hrozby.

Celkový počet respondentů byl 37. Odpovědi byly ve třech jazycích a pro účely této diplomové práce se překládaly mnou osobně do slova. Styl autoru ponechán.

Anketu tvořilo celkem třináct otázek, pět uzavřených a osm otevřených.

Číslo otázky	Otázka
1	Váš věk?
2	Jaké je Vaše vzdělání?
3	Pracujete ve vědecké oblasti?
4	Víte, co je technologie 3D tisku?
5	Víte o využití 3D tisku v lékařství/veterinářství?

6	Víte, že 3D tisk je dnes ve zdravotnictví naprosto běžnou věcí?
7	Setkal jste se někdy ve své práci/životě s 3D technologií?
8	Pokud je vaše odpověď na otázku 7 „Ano“, o co přesně se jednalo?
9	Které oblasti zdravotnictví mají největší potenciál pro 3D tisk? Vyberte prosím maximálně čtyři. (zubní lékařství, pediatrie, oftalmologie, ortopedie, veterinární medicína, jiné (uvést))
10	Zkuste si představit, jak bude lidstvo využívat 3D technologii v medicíně v roce 2025? Pokuste se popsat co nejpřesněji.
11	Zkuste se podívat dál do budoucnosti a předpovědět, jak bude lidstvo využívat 3D technologii v medicíně v roce 2040. Pokuste se předvídat a popsat co nejpřesněji.
12	Jaké šance a potenciál 3D tisku v medicíně vidíte?
13	Jaké jsou podle Vás největší hrozby spojené s používáním technologií 3D tisku?

Tabulka 1 Otázky ankety

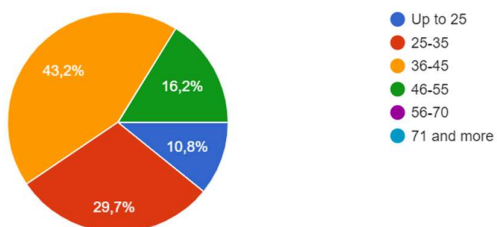
Níže se podíváme na výsledky. Vyhodnocení odpovědí na otázky či skupiny otázek bude hned po uvedení odpovědí.

## Vyhodnocení odpovědí

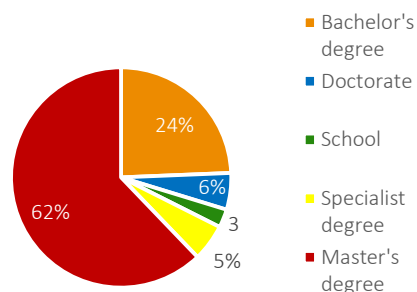
### 1.-3.Otázky. Profil respondentů.

1.Otázka. Většinu respondentů tvořili lidé ve věku 35–45 let, což činí téměř 2/3 všech zúčastněných.

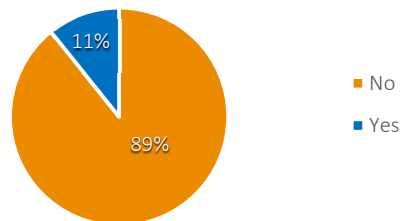
2.Otázka. Zde většinu, tj. 92 % respondentů, tvoří skupina s vysokoškolským vzděláním, z toho 4 osoby (11 %) pracují v oblasti vědy – Otázka č. 3.



Obrázek 72: Věková struktura respondentů



Obrázek 73: Struktura úrovně vzdělání



Obrázek 74: Počet vědeckých pracovníků mezi respondenty (O: Pracujete ve vědecké oblasti?).

#### 4.–6. otázka. Existence 3D technologií a její využití.

##### 4. Otázka: Víte, co je technologie 3D tisku?

Na obrázku 66 vidíme, že většina zúčastněných ví, nebo aspoň slyšela, že technologie 3D tisku existuje, pouze jenom 3 lidé odpověděli, že tento pojem neznají. Věková kategorie přitom v každém případě byla jiná, takže nelze říct, že tento faktor záleží na věku respondenta.

##### 5. Otázka: Víte o využití 3D tisku v lékařství/veterinářství?

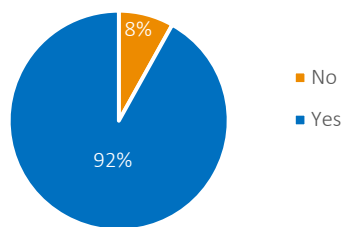
Zde už bylo více lidí, kteří netušili, že zkoumanou technologií lze použít i v oblasti medicíny obecně. V každé věkové kategorii byli 4 respondenti, kteří odpověděli „Ne“. Pouze v nejmladší kategorii do 25 let jedna osoba, která označila variantu „Ne“. Můžeme to vyhodnotit tak, že mladí lidé se více zajímají o technologii a novinky ohledně zdraví.

##### 6. Otázka: Víte, že 3D tisk je dnes ve zdravotnictví naprosto běžnou věcí?

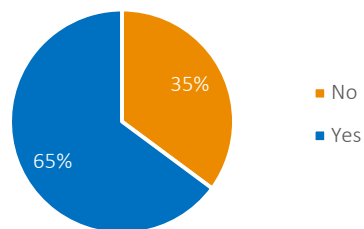
Zde bylo více označených odpovědi „Ne“ a také se dostali do této kategorie odpovědi typu:

- Víím, že se používá, ale měl jsem ji spíše jako zatím nerozšířenou technologii.
- Nemyslím si, že je to dnes běžné, jen se to nějak používá a mělo by se používat více v budoucnu.
- S tímto tvrzením nesouhlasím. Pokud je mi známo, tato technologie je zatím experimentální a její použitelnost je zatím velmi omezená. I když první výsledky jsou velmi slibné.

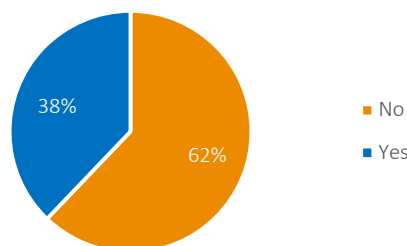
Nejvíce negativních odpovědi bylo ve věkové kategorii 36–45 let, a to celkem 12, nejméně v kategorii do 25 let, tj. 3, v kategorii 25–35 let takových odpovědí bylo 8. Což nám znovu ukazuje, že věk ovlivňuje zájem a znalosti lidí o zkoumané problematice.



Obrázek 75: Informovanost respondentů o existenci 3D tisku



Obrázek 76: Informovanost respondentů o využití 3D technologií ve zdravotnictví

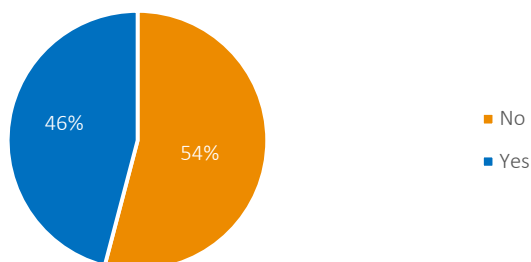


Obrázek 77: Informovanost respondentů o běžném použití 3D tisku ve zdravotnictví již dnes.  
(O: Víte, že 3D tisk je dnes ve zdravotnictví naprosto běžnou věcí?)

## 7. Otázka: Setkal/a jste se někdy ve své práci/životě s 3D technologií?

Podle ankety vychází, že méně než polovina respondentů se osobně setkala s 3D tiskem. Z toho většina (11 lidí) ve věku 36–45 let, 5 lidí ve věku 25–35 let a 1 respondent ve věku do 25 let. Takže zatím k reálnému využití technologií dochází spíše u lidí středního věku než u těch mladších.

7



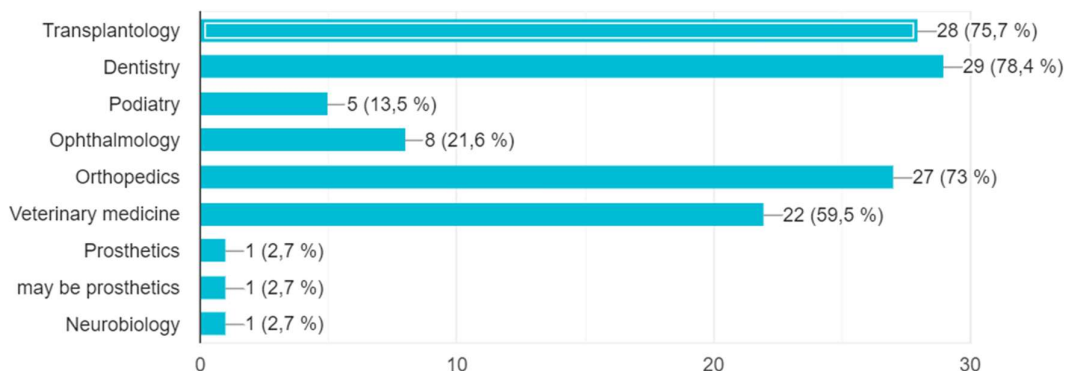
Obrázek 78: Osobní zkušenost s 3D tiskem mezi respondenty.

## 8. Otázka: Pokud je Vaše odpověď na otázku č. 7. „Ano“, o co se přesně jednalo?

Odpovědi na otázku byly následující (některé odpovědi byly seskupeny do jednoho řádku s jinými odpověďmi):

- 3D hračky.
- Tisk drobných součástí v rámci domácího tisku k dekoracím, strojům, lampám, dveřím, díly k hračkám.
- Díly pro motory letadel.
- Plastové zboží na zakázku.
- Zubní korunky.
- Lidské kosti a klouby.
- V rámci každodenní práce, děláme 3D prototypy bezdrátových reproduktorů s následným tiskem na 3D tiskárně.
- Můj tým je zodpovědný za 4 3D tiskárny na našem pracovišti po technické stránce.
- Potisk ALU a plastových vzorků dílů.
- V kancelářské laboratoři máme 3D tiskárnu, ale osobně jsem ji nikdy nepoužíval. Vím, že tam byly vytištěny nějaké roušky v době pandemie pro CZ kliniky.
- Zpracování zpráv firmě zabývající se 3D tiskárnami.

## 9. Otázka: Které oblasti zdravotnictví mají největší potenciál pro 3D tisk? Vyberte maximálně čtyři varianty. Varianty: transplantologie, zubní lékařství, podiatrie, oftalmologie, ortopedie, veterinární medicína, jiné (uvedte).



Obrázek 79: Výsledek odpovědí na otázku č.9. Které oblasti zdravotnictví mají největší potenciál pro 3D tisk

Nejvíce bodů získaly varianty:

- Zubařství
- Transplantologie
- Ortopedie
- Veterinářství

Nejméně bodu získaly varianty:

- Oftalmologie

- Podiatrie
- Protetika
- Neurobiologie

Odpovědi z anket na poslední čtyři otázky jsem seřadila do čtyř tabulek, zvlášť pro každou otázku.

Ty odpovědi, které se vyskytovaly nejčastěji, se dostaly do kategorie „Nejvíce pravděpodobný scénář“. Odpovědi, které byly ojedinělé, se dostaly do kategorie „Méně pravděpodobný scénář“. Zbytek byl zařazen do kategorie „Pravděpodobný scénář“.

**10. Otázka: Zkuste si představit, jak bude lidstvo využívat 3D technologii v medicíně v roce 2025.**

Nejvíce pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stejně jako teď, ale budou nižší náklady a čekací doba pro uživatele.</li> <li>- V transplantologii a nějakém lékařském vybavení.</li> <li>- Pro výrobu ortopedických pomůcek, lehčí a levnější protetiku.</li> <li>- Některé společnosti a instituce použijí tuto technologii k výrobě zboží, které potřebují.</li> <li>- Ortopedie, protetické končetiny zvířat a výroba dílů protéz.</li> <li>- Protože rok 2025 není tak daleko, bude to rozhodně o něco více než nyní. Může být také obecně dostupnější.</li> <li>- Pravděpodobně v transplantologii a nějakém lékařském vybavení.</li> <li>- Jsou to pouhé tři roky. Neočekávám žádnou rozsáhlou implementaci 3D v medicíně v roce 2025.</li> </ul>
Pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bude dostupnější a běžnější jeho použití v transplantologii a ortopedii a starší lidé si budou moci prodloužit své aktivní roky náhradou kloubů a kostí.</li> <li>-3D části kostry budou již téměř rutinou. Pro ostatní oblasti je nutné vyvinout nové materiály.</li> <li>-Experimentální chirurgie pro povrchovou transplantaci těla (kožní defekty), chybějící končetiny, není široce dostupná, pouze ve výzkumných zařízeních.</li> <li>-Pro tisk tvrdých tkání – protézy, klouby, kosti.</li> <li>- Na internetu jsou dohledatelná témata na rok až tři, na základě úspěchu či neúspěchu aktuálního vývoje projektů na grantech. Zbytek je často obchodní tajemství. IT a BMT jsou spolu velmi silně svázány, zejména pokud jde o budoucí vývoj, modelování a před-povídání výsledků. Mozky vědců však pracují zcela jiným způsobem a rozdávají úžasné nápady bez počítače“.</li> </ul>
Méně pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bude používaný všude možně.</li> <li>-Běžně v domácnostech.</li> <li>-Náhradní orgány obecně (klouby, promáčkliny atd.).</li> <li>-Bude to jako daily rutine si vytisknout potřebnou věc na míru.</li> <li>-Asi se budou tisknout na 3D tiskárnách náhradní části těla – prsty, ruce, ale vnitřní orgány asi ne.</li> </ul>

Tabulka 2 Odpovědi na otázku č.10



**Zde bych chtěla zvýraznit následující názor respondenta, který se zrovna vědou zabývá:**

Na internetu jsou dohledatelná témata na rok až tři, na základě úspěchu či neúspěchu aktuálního vývoje projektů na grantech. Zbytek je často obchodní tajemství. IT a BMT jsou spolu velmi silně svázány, zejména pokud jde o budoucí vývoj, modelování a předpovídání výsledků. Mozky vědců však pracují zcela jiným způsobem a rozdávají úžasné nápady bez počítače“.

Osobně si také myslím, že my máme možnost vidět jen malou část toho, co se odehrává v zákulisí zkoumané problematiky.

**11. Otázka: Zkuste se podívat dál do budoucnosti a předpovědět, jak bude lidstvo využívat 3D technologii v medicíně v roce 2040. Pokuste se předvídat a popsat co nejpřesněji.**

Nejvíce pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"><li>-Možná náhradní klouby apod., zubní protézy.</li><li>-Dodatečná funkcionalita 3D tiskáren.</li><li>-Asi více než nyní. Jestli jsou náklady i čas na vyrobení lepší.</li><li>-Stejně jako v roce 2025, ale na pokročilejší úrovni.</li><li>-Bůhví. První experimenty s 3D tiskem v medicíně začaly před méně než 20 lety. 2022–2040 je stejný časový rámec na to, abychom jej dále rozvinuli a zpřístupnili veřejnosti, nebo vynalezli alternativní metody pro řešení stejných nebo podobných problémů.</li><li>-3D technologie umožňuje tisk uzavřených pracovních mechanismů, které mohou sloužit jako možnost tisku celých orgánů.</li><li>-Možná tisk kostí.</li><li>-Těžko říct, vidíme, jaký vývoj jsme za posledních 15 let podnikli. ----</li><li>-Doufám, že 3D a Bionic budou již integrovány do lékařských postupů.</li></ul>
Pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tkáňové inženýrství, transplantologie.</li><li>-Tato technologie do roku 2040 výrazně promění zdravotnictví.</li><li>-Stavební kování, tisk orgánů pro transplantace.</li><li>-Tisk měkkých tkání – svaly, orgány (spíše ty mechanické jako srdce, žaludek apod. namísto těch které produkují nějaké hormony nebo jiné buňky – reprodukční orgány), kůže.</li><li>-Úroveň technologie dosáhne schopnosti vyrábět lidské orgány.</li><li>-Myslím, že v roce 2040 by mohlo dojít k určitým zlepšením přesnosti a možná například použití jiného materiálu.</li><li>-Začne používat 3D tisk jako podpůrnou matici pro kmenové buňky pro pěstování a později transplantaci většiny lidských orgánů se stejnou DNA jako příjemce.</li></ul>
Méně pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"><li>-Každodenní a na úrovni uživatele domácnosti.</li><li>-Všude. K výměně většiny orgánů.</li><li>-Tisk všech druhů tělesných orgánů.</li><li>-Bude vytištěna spousta protéz a částí těla.</li><li>-Téměř každá domácnost bude mít 3D tiskárnu, která si vytiskne vše, co potřebuje.</li><li>-Může nahradit chirurgy.</li></ul>

Tabulka 3 Odpovědi na otázku č.11

Jako shrnutí tohoto tématu bych zde také ráda zvlášť uvedla názor respondenta, který pracuje v oblasti vědy, a to jako odborný názor, i když je to volnější vyjádření pro účely ankety.

„Biomedicínské technologie jako samostatná oblast byla vyčleněna asi před 25 lety. V systémech prediktivní analytiky a strojového učení, které se implementují (také mnou) poslední roky, všechny výpočty jsou založeny, zjednodušeně řečeno, na statistice 10x let, aby se předpověděla budoucnost v X čase. Poté se používají různé statistické a prediktivní operátory, které v závislosti na vnitřním algoritmu mohou přinést výsledek zcela odlišný od toho prvního statistického. Proto můj názor: je nemožné alespoň nějaké predikce budoucnosti 3D tisku vycházejícího z IT prognostických technologií. Podle skrovných informací, které mám, na základě toho, co nyní umí 3D tisk dnes, se na úrovni pokusů vyrábí náhradní díly na orgány s nižší životností než originální orgán. S povrchovými orgány je situace mnohem lepší. Jaká je naděje, že to neudělají o moc hůř než originál. Nedílnou součástí toho je již nyní těsná spolupráce s hlubokou integrací tištěného materiálu s různými senzory a softwarem. Tohle je budoucnost. Ale zítra se může probudit jiný génius a říct, že tisk není nejlepší nápad, pojďme poskládat molekuly do tkání pomocí ionizace a získat hotové orgány pomocí klonování ... Kdoví.“

## 12. Otázka: Jaké šance a potenciál 3D tisku v medicíně vidíte?

Nejvíce pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Transplantologie.</li> <li>-Rychlost a urgentní pomoc (bez čekání na potřebné části těla).</li> <li>-Protetika, chirurgické nástroje.</li> <li>-Nevím, pouze vidím možnost využití ve výrobě náhrad, protéz.</li> <li>-Nevím, možná hlavně ve veterině.</li> <li>-Používá se nyní, bude se používat v budoucnu s využitím pokročilých materiálů a technologií.</li> <li>-Budoucí použití je omezeno dostupností materiálů určených pro 3D tisk a bude potřebovat těsnější spolupráci s vědou na materiály.</li> </ul>
Pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Má velký potenciál na zlepšování chirurgických technik, modelů a transplantací.</li> <li>-Při menším počtu zdravotnického personálu je možné plnit různé složité lékařské požadavky.</li> <li>-Zmenšení velikosti a přesnosti 3D tisku, což bude mít příznivější vliv na tisk přesnějších a menších produktů a mechanismů.</li> <li>- 3D tisk má velký potenciál stát se nejúčinnější metodou ve zdravotnictví.</li> <li>-Nejsem specialista a vůbec se v této oblasti nevyznám, ale zní mi až příliš fantasticky, že uměle tištěné díly lze použít uvnitř živého organismu. Nedokážu si představit, jaký materiál lze v tomto případě použít pro tisk. Mohlo by to však vyřešit spoustu problémů, včetně morálních problémů spojených s transplantologií orgánů od jiných lidí.</li> </ul>
Méně pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Přijde se na metodu, jak léčit fatální nemoci pomocí 3D tisku. Zubní, implantáty, výroba léků, biotisk.</li> <li>- Možnost nahradit větší část lidských orgánů které budou na míru konkrétnímu pacientovi a budou k dispozici v krátkém časovém okně.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velká pomoc pro oběti katastrof a řešení problémů se zdravotním postižením.</li> <li>- Odhalení nových materiálů pro 3D tisk, které budou tělem přijaté bez odmítnutí.</li> <li>- Vysoká efektivita u unikátních dílů ve srovnání se „standardními“ technologiemi. Možnost 3D tisku tam, kde není možné vyrobít/použít jiné prostředky či metodu.</li> <li>- Možnost vytvořit náhradní části těla na míru za nízkou cenu.</li> </ul>
--	---

Tabulka 4 Odpovědi na otázku č. 12

Většina respondentů se shodla v tom, že největší potenciál má transplantologie a všechny okolní tomu obory a také protetika.

**13. Otázka: Jaké jsou podle vás největší hrozby či překážky spojené s používáním technologií 3D tisku?**

Nejvíce pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Odmítnutí 3D tištěných orgánů tělem.</li> <li>- Náklady na materiály, omezený výběr materiálů a technologická omezení.</li> <li>- Hrozby přechodného období.</li> <li>- Nemáme s touto technologií zatím moc zkušeností – výsledky budou viditelné až za několik let, na kolik je tato technologie funkční. Tudíž nevíme, v čem se projeví klady a v čem zápory.</li> <li>- Může být použit materiál méně kvalitní a jeho použití může pacientům způsobit řadu problémů.</li> <li>- Možná etické.</li> <li>- Podle mého názoru to není spolehlivé.</li> <li>- Používání škodlivých a nebezpečných materiálů.</li> <li>- Opět další plast.</li> <li>- Dostupnost náhrady orgánů, nebo dokonce částí těla povede ke zbytečným operacím v plastické chirurgii</li> </ul>
Pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>- V této fázi to prostě nevzbuzuje důvěru.</li> <li>- Nízký standard kvality.</li> <li>- Únik citlivých informací – víme, co a pro koho tiskneme, čímž víme, jaké má zdravotní problémy.</li> <li>- Rizikem může být i samotná efektivita 3D tiskáren ve zdravotnictví, bude-li lidstvo spoléhat na zázračnou technologii, která vše v těle nahradí, o to méně se lidé mohou starat o své zdraví.</li> <li>- Pravděpodobně se firmy místo budování něčeho užitečného zaměří na to, co přináší okamžité bohatství.</li> <li>- 3D tisk sexuálních hraček/panenek plně nahrazujících partnera. Nebo by neurobiologové vybudovali bio-umele inteligenci ohrožující lidstvo.</li> <li>- Lidé se mohou vzdát zdravého životního stylu, protože budou počítat s rychlou a bezproblémovou výměnou orgánu, jehož zdroje docházejí.</li> <li>- Pravděpodobně nějaké ohrožení soukromí.</li> </ul>
Méně pravděpodobný scénář	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kyborgizace lidí.</li> <li>- Možná se člověk za stovky let stane strojem a dojde k povstání strojů.</li> </ul>

	-Především sociální a etické zájmy – lidé se potenciálně stávají kyborgy. -Sice tato technologie umožní řešení, ale pravý orgán to nenahradí. Budou tu nepřirození lidé a zvířata.
--	---

*Tabulka 5 Odpovědi na otázku č. 13*

Jako hlavní hrozby a překážky zazněla neexistence zatím vhodného materiálu pro výrobu umělých orgánů; obavy, že lidské tělo nedokáže přijmout náhradní umělý orgán, a pokud dokáže, hrozí, že místo lidí nakonec budeme mít samé kyborgy místo obvyčejného lidského tvora, což může hodně ovlivnit společnost do nerozpoznání.

Po zpracování všech odpovědí ankety jsem narazila na myšlenky a fakty, o kterých jsem dosud nepřemyslela vůbec ohledně technologie 3D tisku, včetně těch záporných. Musíme být opravdu opatrní a rozumní při vývoji a zavedení nových technologií do našeho života.

## Závěr

Existuje široká a pestrá škála výhod 3D tisku. Mnoho průmyslových odvětví začíná začleňovat 3D tisk do svých procesů ve snaze využít technologii různými způsoby. Jedná se o technologii, která se v posledních letech výrazně rozrostla a bude i nadále růst, protože neustále zdokonaluje to, co nabízí. Když zvažíme všechny výhody 3D tisku, je zřejmé, že se brzy stane technologií, která překoná tradiční metody. Je to jen otázka času. Obzvláště v dnešní nestabilní době, kdy ekonomika mnohých států zažívá obrovské změny, mění se logistický řetězec.

Právě schopnost tisknout složité tvary a do sebe zapadající díly bez nutnosti jakékoliv montáže dělá 3D tisk tak jedinečným i v medicíně. Je možné vytvořit malé složité tvary s velmi nízkými náklady a v krátkém čase. Schopnost navrhovat a vyrábět předměty různých tvarů bez potřeby speciálních nástrojů poskytuje podnikům vyšší úroveň flexibility, pokud jde o výrobu, a pomáhá snižovat náklady. Síla 3D tisku spočívá v tom, že podporuje inovace a je ideální pro přizpůsobení na vyžádání.

Pořád ale je zde velký prostor na zdokonalování technologií. Kolega v práci, Ing. Mykola Lozinskyi (ještě při studiu na univerzitě se podílel na vývoji modelu endoprotézy páteře pro 3D tiskárny, existuje k tomu patent), který se mnou konzultoval při psaní diplomové práce a nyní denně pracuje s technologií 3D tisku, označil za nejtěžší úkol například při výrobě individuálních protéz provést to, aby náhradní část těla mohla dokonale plnit aspoň nejzákladnější funkce chybějící části těla. Bionické protézy dnes mají jen několik funkcí, navíc jsou velmi složité na sžití a v neposlední řadě i hodně drahé. Chce to do budoucna vynaložit mnohem víc úsilí pro ideální propojení umělé inteligence a 3D tisku pro komfort uživatelů.

Dle zjištěných prognóz společnost Materialise jako jediná společnost má jednoznačně pozitivní potenciál do budoucna a měla by zaznamenat stabilní růst tržeb a aktiv v příštích několika letech, a to i v dolních hranicích spolehlivosti. Hodnoty společností 3D Systems a Stratatys, nehledě na to, že jejich finanční ukazatele vypadaly skoro stejně, v prognóze se zachovali výrazně odlišně. Společnost Stratatys má větší riziko negativního vývoje. Prognóza predikuje možný razantní propad v tržbách a pokles aktiv až do záporných hodnot s rizikem bankrotu, ale dle středních hodnot můžeme očekávat mírný stabilní ekonomický růst. Prognóza pro společnost 3D Systems vypadá pozitivněji a to i v dolních hranicích spolehlivosti oproti prognóze společnosti Stratatys. Při nejhorším scénáři by aktiva společnosti postupně klesala, ale pokud by taková tendence přetrvávala déle než několik po sobě jdoucích období, management společnosti by měl zasáhnout a situaci napravit. Jinak dle středních hodnot prognózy by měla společnost mírně růst. Každá z vybraných společností pokračuje v investicích do VaV, to znamená, že za nejsou dobu jako výsledek můžeme očekávat nové způsoby využití 3D tisku, nebo vynález nových materiálů, které posunou technologii ještě víc dopředu a ještě víc rozšíří hranice využití.

3D tisk nabízí významný příslib v oblasti zdravotní péče, zejména díky své schopnosti vyrábět vysoce přizpůsobené produkty v místě potřeby a tím oslovuje víc zájemců u široké veřejnosti. Studie ukázala, že lidé ji vnímají pozitivně a s velkým očekáváním když jde o

možnost si vylepšit kvalitu života. Ale pořád je tam v určité míře nejistota, někde pánuje i nedůvěra a také i etické obavy.

Vzhledem k tomu, že 3D tisk je přijímán v širším měřítku, chce to zajistit odpovídající regulační dohled, který se má rychle přizpůsobovat, aby držel krok a zajistil, aby výhody této technologie převážili potenciální rizika.

Dříve jsem osobně znala o existenci 3D technologii jen málo informací, vnímala jsem ji jako nástroj pro průmyslové společnosti, ale rozhodne jsem netušila, jak velký to je trh a jaké možnosti nám tato technologie přináší hlavně v medicíně. Právě to byl důvod výběru tématu diplomové práce.

3D tisk je rychle rostoucí odvětví s velkým potenciálem do budoucna. Prognózy vývoje této technologie jak v průmyslu, tak i v medicíně jsou hodně pozitivní a slibují rychlý růst trhu, zdokonalování již existujících technologií. Společnosti nyní značně investují do výzkumu a vývoje proto lze očekávat, že tyto pozitivní prognózy se s velkou pravděpodobností naplní.

Cílem této diplomové práce bylo provést prognózu vývoje technologie 3D tisku se zaměřením na zdravotnictví. Pro prognózy jsem využila metody matematické extrapolace historických dat a univerzální metodu výzkumu veřejného mínění. Domnívám se, že cíle práce byly naplněny.

# Zdroje

Wallach Kloski, Liza, Začínáme s 3D tiskem, 2017 Orig.: Getting started with 3D printing ISBN 978-80-251-4876-1

POTŮČEK, Martin, ed. Manuál prognostických metod. Praha: Sociologické nakladatelství (SLON), 2006. Studijní texty (Sociologické nakladatelství), sv. 37. ISBN 80-86429-55-5.

Bohumír Štědroň, Vladimír Kocour. - 1. vyd. - Praha : Sdělovací technika, 2014. - 102 s.: obr., tabulky, grafy, 1 fot.; 22 cm. ISBN 978-80-86645-24-7

Štědroň, Palíšková, Souček, Dvořák, Tilinger a kol., Vydání: C.H. Beck, 2019 Prognostika 978-80-7400-746-0

Bohumír Štědroň, Vladimír Kocour, Technologické prognózy a telekomunikace, 2014 978-80-86645-24-7

Stříteský, Ondřej. Spoluautoři: Josef Průša, Martin Bach, Základy 3D tisku s Josefem Průšou, První vydání, Praha 2019

BUŘITA, Ladislav. Prognostické metody a jejich využití v resortu MO. Obrana a strategie [online]. Teoretický časopis ústavu strategických studií, 2003, Dostupné z : [https://www.mocr.army.cz/mo/obrana\\_a\\_strategie/1-2003cz/burita.pdf](https://www.mocr.army.cz/mo/obrana_a_strategie/1-2003cz/burita.pdf)

Justin Haines, History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented? Apr 29, 2022 Dostupné z : <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing--when-was-3d-printing-invented/>

Shabnam.S.Lutafali 3D Printing LOCALIZED PRODUCTION IN GLOBALIZED WORLD, 2016. Online. Dostupné z : <https://www.linkedin.com/pulse/3d-printing-localized-production-globalized-world-lutafali->

Strokes, Blog of professional 3D, Online. Dostupné z: <http://3dstrokes.blogspot.com/>

Gungor-Ozkerim PS, Inci I, Zhang YS, Khademhosseini A, Dokmeci MR, Bioprinting for 3D Bioprinting: An Overview, Biomaterials Science, 2018; 6(5):915–46, <http://xlink.rsc.org/?DOI=C7BM00765E>

R Janusziewicz, [AR Johnson](#), D Kelly, [K Chen](#) Vedecký článek Continuous liquid interface production of 3D objects, 2015

Ben Cost , Man becomes world's first 3D-printed eyeball recipient, November 25, 2021, Dostupné z: <https://nypost.com/2021/11/25/man-becomes-worlds-first-3d-printed-eyeball-recipient/>

IFL Science 8. 6. 2022, Dostupné z: <https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298>

Gungor-Ozkerim PS, Inci I, Zhang YS, Khademhosseini A, Dokmeci MR, Bioprinting for 3D Bioprinting: An Overview, Biomaterials Science, 2018; 6(5):915–46, <http://xlink.rsc.org/?DOI=C7BM00765E>

EDGAR Search Results, Dostupné z: <https://www.sec.gov/cgi-bin/browse-edgar?action=getcompany&CIK=DDD&type=10-K&dateb=&owner=exclude&count=100>

Historie 3D tiskáren: od 19. století do 21. století Dostupné z: <https://www.3dpe.ir/3d-printer-history/>

Additive vs. Subtractive Manufacturing, Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/additive-manufacturing-vs-subtractive-manufacturing/>

Mallika Rangaiah 3D Printing Technology : Advantages and Disadvantages, May 27, 2021 Obecne. Dostupné z: <https://www.analyticssteps.com/blogs/3d-printing-technology-advantages-and-disadvantages>

Andrew E. Freedman Study: 3D printing can be hazardous to your health February 2, 2016 Dostupné z: <https://www.foxnews.com/tech/study-3d-printing-can-be-hazardous-to-your-health>

Dalibor Dostál, 3D tisk proniká do dalších oborů, firmy díky němu mohou řešit i nedostatky dílů 15.08.2022, Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/3d-tisk-pronika-do-dalsich-oboru-firmy-diky-nemu-mohou-resit-i-nedostatek-dilu/>

Bhuskute, H., Shende, P. & Prabhakar, B. 3D Printed Personalized Medicine for Cancer: Applications for Betterment of Diagnosis, Prognosis and Treatment. AAPS PharmSciTech 23, 8 (2022). <https://doi.org/10.1208/s12249-021-02153-0>

10 Predictions on the Future of 3D Printing [Expert Roundup], 21 August 2019 , Dostupné z: <https://amfg.ai/2019/08/21/10-predictions-on-the-future-of-3d-printing-expert-roundup/>

3D tiskárny mohou být pro člověka toxické, 17. únor 2021, 08:30, Autor: (PK) Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/3d-tiskarny-mohou-byt-pro-cloveka-toxicke\\_52407.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/3d-tiskarny-mohou-byt-pro-cloveka-toxicke_52407.html)

ING Group Economic & Financial Analysis ,3D printing's post-pandemic potential, 5 August 2021, Dostupné z: [https://think.ing.com/uploads/reports/3D\\_printing\\_report\\_final\\_050821\\_RL\\_OT\\_FINAL.pdf](https://think.ing.com/uploads/reports/3D_printing_report_final_050821_RL_OT_FINAL.pdf)

Katharina Krüsselmann PhD Candidate, Printed Danger? Reflections on the first conference on 3D printed firearms June 28, 2022, Dostupné z:



<https://www.leidensecurityandglobalaffairs.nl/articles/printed-danger-reflections-on-the-first-conference-on-3d-printed-firearms>

Caroline Freund, Alen Mulabdic, Michele Ruta, Report „Is 3D Printing a Threat to Global Trade?“ September 2019, Dostupné z: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32453/WPS9024.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

[4D Printing: All you need to know in 2023 Dostupné z: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/](https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/)

Printing insecurity: Tackling the threat of 3D printed guns in Europe 27 MAY 2022, Dostupné z: <https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/printing-insecurity-tackling-threat-of-3d-printed-guns-in-europe>

Epson, Epson vyvinul průmyslovou 3D tiskárnu, která dokáže využívat běžně dostupné materiály Dostupné z: <https://www.rmol.cz/novinky/epson-vyvinul-prumyslovou-3d-tiskarnu-ktera-dokaze-vyuzivat-bezne-dostupne-materialy>

Sarah Goehrke These 3D Printing Companies Have Raised Millions During The Pandemic Aug 25, 2020, Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/sarahgoehrke/2020/08/25/these-3-d-printing-companies-have-raised-millions-during-the-pandemic/?sh=29225621697e>

Expert Panel®Forbes Councils Member, 10 Exciting Applications Of 3D Printing That Could Revolutionize Industry And Society , Oct 4, 2021 , Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/10/04/10-exciting-applications-of-3d-printing-that-could-revolutionize-industry-and-society/?sh=435384d62628>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: 3D tisk kombinuje nejlepší vlastnosti všech historických varovných období. (Jeff Hansen, Honey Point 3D) .....	12
Obrázek 2: Nákres Dr. Hideo Kodama který znázorňuje, jak aditivní výroba funguje. (Zdroj <a href="https://www.sutori.com/en/story/3d-printing-history--jpPEbvs5oY2sna6Pr5vdduHk">https://www.sutori.com/en/story/3d-printing-history--jpPEbvs5oY2sna6Pr5vdduHk</a> ).....	14
Obrázek 3: Hlavní milníky vývoje 3D tisku ( <a href="https://www.3dpe.ir/3d-printer-history/">https://www.3dpe.ir/3d-printer-history/</a> ) .....	15
Obrázek 4: Hlavní výrobní metody ( <a href="https://www.regenhealthsolutions.info/2019/09/22/university-of-akron-thesis-student-3d-prints-ppf-structures-for-bone-regeneration-applications/">https://www.regenhealthsolutions.info/2019/09/22/university-of-akron-thesis-student-3d-prints-ppf-structures-for-bone-regeneration-applications/</a> ). .....	18
Obrázek 5: Schematické znázornění subtraktivní výrobní metody ( <a href="https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg">https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg</a> ) .....	18
Obrázek 6: Druhy formované výroby. ( <a href="https://meltcollective.com/project/tool-library/formative-fabrication">https://meltcollective.com/project/tool-library/formative-fabrication</a> ) .....	19
Obrázek 7: Proces výroby pomocí aditivní metody ( <a href="https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg">https://www.researchgate.net/profile/Michael-Berer/publication/342924601/figure/fig4/AS:913236731916290@1594744012746/Material-efficiencies-of-subtractive-and-additive-manufacturing-18.jpg</a> ) .....	20
Obrázek 8: Aplikace Tinkard (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 26) .....	21
Obrázek 9: Autodesk Fusion 360 (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 27).....	21
Obrázek 10: Kroky 3D tisku od 3D modelu po vytištění (Ondřej Stříteský, Základy 3D tisku, str. 24) .....	23
Obrázek 11: : Výhody technologie 3D tisku (Mallika Rangaiah <a href="https://www.analyticssteps.com/blogs/3d-printing-technology-advantages-and-disadvantages">https://www.analyticssteps.com/blogs/3d-printing-technology-advantages-and-disadvantages</a> ) .....	24
Obrázek 12: Plakát na konferenci Haagu. ( <a href="https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/printing-insecurity-tackling-threat-of-3d-printed-guns-in-europe">https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/printing-insecurity-tackling-threat-of-3d-printed-guns-in-europe</a> ).....	29
Obrázek 13: Druhy 3D tisku dle typu uživatelů pro rok 2020. (Statista, 2020).....	32
Obrázek 14: Druhy 3D tisku dle typu uživatelů pro rok 2021. (Statista, 2022).....	32
Obrázek 15: Nejpopulárnější typy tiskáren v roce 2021.....	33
Obrázek 16: Schematické znázornění procesu 3D biotisku (Zdroj <a href="https://www.nature.com/articles/srep24474">https://www.nature.com/articles/srep24474</a> ) .....	35
Obrázek 17: Příklad Bioinkoustu a práce s ním (Zdroj <a href="https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2022/03/INKREDIBLE-16P_Digital-3.pdf">https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2022/03/INKREDIBLE-16P_Digital-3.pdf</a> ) .....	36
Obrázek 18: Příklad výroby ucha pomocí metody 3D biotisku (Zdroj <a href="https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.12.014">https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.12.014</a> <a href="https://thebiologynotes.com/3d-bioprinting/">https://thebiologynotes.com/3d-bioprinting/</a> ). .....	36
Obrázek 19: Biotiskárna Cellink ( <a href="https://www.cellink.com/">https://www.cellink.com/</a> ) .....	37
Obrázek 20: 3D tisk ve zdravotnictví v roce 2022.....	39
Obrázek 21: Timeline vývoje 3D tisku ve zdravotnictví. ( <a href="https://www.3dnatives.com/en/infographic-3d-printing-medical-sector-200720225/#!">https://www.3dnatives.com/en/infographic-3d-printing-medical-sector-200720225/#!</a> ) .....	39

Obrázek 22: Pacient s přesazeným okem po úspěšné operaci ( <a href="https://nypost.com/2021/11/25/man-becomes-worlds-first-3d-printed-eyeball-recipient/">https://nypost.com/2021/11/25/man-becomes-worlds-first-3d-printed-eyeball-recipient/</a> ) .....	40
Obrázek 23: Bioimplantát ušního lalůčku (Profimedia, <a href="https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298">https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298</a> ) .....	41
Obrázek 24: Pacientka před operací (vlevo) a měsíc po ní (vpravo). Implantát časem dozraje do typického vzhledu ucha (Profimedia, <a href="https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298">https://nedd.tiscali.cz/prvni-clovek-dostal-ucho-s-vlastnimi-bunkami-vyrobene-3d-tiskem-536298</a> ) .....	41
Obrázek 25: : 3D tisk od hlavy do paty .....	42
Obrázek 26: Vytištěné srdce pro studijní účely .....	43
Obrázek 27: Vývoj 3D tisku v stomatologii (Zdroj report SmarTech Analysis) .....	44
Obrázek 28: Bioprinter a samosna bionáplast (Zdroj <a href="https://svetprumyslu.cz/2022/02/08/hojeni-ran-ve-vesmiru-a-na-zemi-pomoci-3d-tistene-biosadry/">https://svetprumyslu.cz/2022/02/08/hojeni-ran-ve-vesmiru-a-na-zemi-pomoci-3d-tistene-biosadry/</a> ) .....	45
Obrázek 29: Kočka s čtyřmi protézami. ....	46
Obrázek 30: 3D vytištěná vložka do bot individuální.....	47
Obrázek 31: Využití 3D tisku při léčbě proti rakovině. ( <a href="https://doi.org/10.1208/s12249-021-02153-0">https://doi.org/10.1208/s12249-021-02153-0</a> ).....	47
Obrázek 32: Průmyslová 3D tiskárna. ....	49
Obrázek 33: Vytištěný na 3D tiskárně domek, Mexiko.....	50
Obrázek 34: 3D pero v akci. ....	51
Obrázek 35: Czinger 21C z 3D tiskárny: Do auta vážícího pouhých 1250 kilogramů se vejdou dva lidé za sebou (Czinger) .....	52
Obrázek 36: Sportovní boty Under Armour Architech vyrobené i s pomocí 3D tisku (foto: Under Armour).....	53
Obrázek 37: 3D Ukázka přípravy steaku na 3D tiskárně .....	53
Obrázek 38: Příklad projektu Stavby základny na Měsíci. ....	54
Obrázek 39: Rozdíly mezi 3D tiskem a 4D tiskem (F. Momeni a kol. / Materials and Design 122 (2017) 42–79).....	56
Obrázek 40: Chapadlo s 4D tiskem uchopí předmět, když je teplota optimální (Zdroj <a href="https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/">https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/</a> ).....	57
Obrázek 41: Trendy 3D (bio)tisku a 4D (bio)tisku spočívají ve vývoji progresivních materiálů s multifyzikálními vlastnostmi a biokompatibilitou. (Zdroj: VŠB-TU Ostrava) .....	57
Obrázek 42: Objem globálního trhu biotisku. ( <a href="https://www.researchandmarkets.com/reports/5562531/3d-bioprinting-market-global-industry-trends">https://www.researchandmarkets.com/reports/5562531/3d-bioprinting-market-global-industry-trends</a> ).....	60
Obrázek 43: Podíl kontinentů na celkovém objemu trhu. ( <a href="https://www.businesswire.com/news/home/20170516006074/en/Global-3D-Bioprinting-Market-to-Grow-at-a-CAGR-of-Over-25-Through-2021-Says-Technavio">https://www.businesswire.com/news/home/20170516006074/en/Global-3D-Bioprinting-Market-to-Grow-at-a-CAGR-of-Over-25-Through-2021-Says-Technavio</a> ) .....	61
Obrázek 44: Předpoklad použití biomateriálu v roce 2027 oproti roku 2021. ( <a href="https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-3d-bioprinting-market/3271/">https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-3d-bioprinting-market/3271/</a> ).....	62
Obrázek 45: 3D Systems je lídrem v představených oblastech (3D Systems) .....	63
Obrázek 46: Hlavní oblasti působení společnosti Materialise ( <a href="https://www.materialise.com/cs/medical">https://www.materialise.com/cs/medical</a> ).....	64

Obrázek 47: Souhrnné aktuální informace stavu 3D Systems na burze. ( <a href="https://finance.yahoo.com">https://finance.yahoo.com</a> ) .....	67
Obrázek 48: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	68
Obrázek 49: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	68
Obrázek 50: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	69
Obrázek 51: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	69
Obrázek 52: Souhrnné aktuální informace stavu Materialise NV na burze. ( <a href="https://finance.yahoo.com">https://finance.yahoo.com</a> .) .....	70
Obrázek 53: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	71
Obrázek 54: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	71
Obrázek 55: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	72
Obrázek 56: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	72
Obrázek 57: Souhrnné aktuální informace stavu Stratasys na burze. ( <a href="https://finance.yahoo.com">https://finance.yahoo.com</a> ) .....	73
Obrázek 58: VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	74
Obrázek 59: VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	74
Obrázek 60: VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	75
Obrázek 61: VÝVOJ ZISKU SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	75
Obrázek 62: POROVNÁNÍ OBRATU FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	76
Obrázek 63: POROVNÁNÍ ČISTÉHO ZISKU FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	77
Obrázek 64: POROVNÁNÍ VYNALOŽENÝCH NÁKLADŮ NA VaV (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	77
Obrázek 65: POROVNÁNÍ POČTŮ ZAMĚSTNANCŮ FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	78
Obrázek 66: PROGNOZA OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATATYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	79
Obrázek 67: PROGNOZA VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI STRATATYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	80
Obrázek 68: OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	80
Obrázek 69: VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI MATERIALISE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	81
Obrázek 70: PROGNOZA OBJEMU TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	82
Obrázek 71: PROGNOZA VÝVOJE AKTIV SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	82
Obrázek 72: Věková struktura respondentů	Obrázek 73:
Struktura úrovně vzdělání .....	84
Obrázek 74: Počet vědeckých pracovníků mezi respondenty (O: Pracujete ve vědecké oblasti?).....	85
Obrázek 75: Informovanost respondentů o existenci 3D tisku	Obrázek 76:
Informovanost respondentů o využití 3D technologii.....	86
Obrázek 77: Informovanost respondentů o běžném použití 3D tisku ve zdravotnictví již dnes. .....	86
Obrázek 78: Osobní zkušenost s 3D tiskem mezi respondenty .....	86
Obrázek 79: Výsledek odpovědí na otázku č.9. Které oblasti zdravotnictví mají největší potenciál pro 3D tisk .....	87

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Otázky ankety .....	84
Tabulka 2 Odpovědi na otázku č.10 .....	88
Tabulka 3 Odpovědi na otázku č.11 .....	89
Tabulka 4 Odpovědi na otázku č. 12 .....	91
Tabulka 5 Odpovědi na otázku č. 13 .....	92

