



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Prognóza 3D tisku se zaměřením na průmysl

3D printing forecast with a focus on industry

## **STUDIJNÍ PROGRAM**

Projektové řízení inovací

## **VEDOUcí PRÁCE**

doc. RNDr. Štědroň Bohumír CSc.

BAKALA

DALIBOR

**2022**

## I. Personal and study details

Student's name: **Bakala Dalibor** Personal ID number: **466230**  
Faculty / Institute: **Masaryk Institute of Advanced Studies**  
Department / Institute: **Institute of Economic Studies**  
Study program: **Innovation Project Management**

## II. Master's thesis details

Master's thesis title in English:

**3D printing forecast with a focus on industry**

Master's thesis title in Czech:

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

Guidelines:

Analysis of the 3D print segment including industry applications and forecast.  
Case study: the most successful firms in this segment (HP, Prusa Research) using electronic sources of informations.

Bibliography / sources:

Štědroň B.a kol.: Prognostické metody a jich aplikace, C.H.BECK, Praha 2012  
Štědroň b. a kol.: Prognostika, C.H.BECK Praha2019  
Štědroň B. a kol.: Právo a umělá inteligence, A .Čeněk, Praha2020

Name and workplace of master's thesis supervisor:

**doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

Name and workplace of second master's thesis supervisor or consultant:

Date of master's thesis assignment: **05.01.2022** Deadline for master's thesis submission: **19.08.2022**

Assignment valid until: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc.  
Supervisor's signature

\_\_\_\_\_  
Mgr. František Hřebík, Ph.D.  
Head of department's signature

\_\_\_\_\_  
prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.  
Dean's signature

## III. Assignment receipt

The student acknowledges that the master's thesis is an individual work. The student must produce his thesis without the assistance of others, with the exception of provided consultations. Within the master's thesis, the author must state the names of consultants and include a list of references.

\_\_\_\_\_  
Date of assignment receipt

\_\_\_\_\_  
Student's signature



Bakala, Dalibor. Prognóza 3D tisku. Praha: ČVUT 2022. 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 vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval 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: 17. 08. 2022

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc. RNDr. Bohumíru Štědroňovi, CSc. za vedení a konzultaci diplomové práce.

# **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá analýzou a prognózou použití 3D tisku v průmyslu. V první kapitole je čtenář seznámen se základními informacemi o 3D tisku a aditivních výrobních metodách. Druhá kapitola obsahuje analýzu dnešního využití 3D tisku v průmyslu. Ve třetí kapitole jsou prognózy budoucího vývoje pro tři nejvíce ovlivněné průmysly. Čtvrtá kapitola se zabývá ekonomickou analýzou a následnou prognózou velikosti trhu 3D tisku. Pátá kapitola obsahuje zmapování nejvýznamnějších společností na trhu, vybrání tří těchto firem, vytvoření jejich finanční analýzy a následné finanční prognózy. Šestou kapitolou je závěr práce.

## **Klíčová slova**

3D tisk, analýza, prognóza, průmysl, aditivní výroba

# **Abstract**

The master's thesis consists of the analysis and forecast of 3D printing use cases in industries. The first chapter informs the reader about the basics of 3D printing and additive manufacturing. The second chapter contains an analysis of its use cases in industry as of today. The third chapter contains forecasts of future developments in the three most affected industries. The fourth chapter deals with the economic analysis and forecast of the 3D printing market size. The fifth chapter contains mapping of the most important companies in this market, selection of three of these companies, creation of their financial analysis and their subsequent financial forecasts. The sixth chapter contains the conclusion of the thesis.

## **Key words**

3D printing, analysis, forecast, industry, additive manufacturing



# Obsah

Úvod .....	4
1. Základní informace o 3D tisku .....	6
1.1 Co je to 3D tisk? .....	6
1.2 Druhy 3D tisku .....	6
1.2.1 Extruzivní technologie .....	6
1.2.2 Prášková technologie .....	8
1.2.3 Technologie laminace .....	10
1.2.4 Technologie fotopolymerizace .....	11
1.3 Historie 3D tisku .....	14
1.4 3D tisk v ČR .....	15
2. Analýza využití technologie 3D tisku .....	17
2.1 Aerospace .....	17
2.2 Automotive .....	18
2.3 Zdravotnictví .....	18
2.4 Stavebnictví .....	19
2.5 Umění a móda .....	21
2.6 Potraviny .....	22
2.7 Nová využití při pandemii COVID-19 .....	23
3. Prognózy technologického vývoje 3D tisku .....	25

3.1	Aerospace.....	25
3.2	Automotive .....	27
3.3	Zdravotnictví.....	28
4.	Ekonomická analýza a prognóza velikosti trhu 3D tisku.....	31
4.1	Ekonomická analýza velikosti trhu 3D tisku .....	31
4.2	Prognóza velikosti trhu 3D tisku .....	32
5.	Ekonomická analýza a prognóza společností na trhu 3D tisku.....	33
5.1	Nejvýznamnější společnosti na trhu.....	33
5.1.1	Prusa Research a.s. ....	33
5.1.2	Stratasys, Ltd. ....	34
5.1.3	Makerbot Industries, LLC .....	34
5.1.4	3D Systems, Inc. ....	34
5.1.5	Proto Labs, Inc.....	35
5.1.6	Materialise .....	35
5.1.7	The ExOne Company, LLC.....	35
5.2	Ekonomická analýza vybraných společností .....	36
5.2.1	Prusa Research .....	36
5.2.2	Materialize .....	41
5.2.3	ExOne .....	46
5.3	Srovnání finančních ukazatelů vybraných společností.....	51

5.4	Prognóza vybraných společností .....	57
5.4.1	Prusa Research a.s. ....	57
5.4.2	Materialize .....	59
5.4.3	The ExOne Co. ....	61
5.4.4	Závěr prognóz vybraných společností.....	63
6.	Závěr.....	64
	Seznam použité literatury .....	66
	Seznam obrázků .....	69

# Úvod

Prvním cílem této práce je provedení analýz 3D tisku z pohledu ekonomického, a z pohledu technologického vývoje a použití. Druhým cílem je použití těchto analýz na vytvoření technologických prognóz pro tři velká průmyslová odvětví, která 3D tisk nejvíce ovlivní. Dalším cílem je vytvoření ekonomických prognóz velikosti trhu 3D tisku, a vytvoření finančních prognóz nejvýznamnějších společností na tomto trhu.

V první kapitole je vysvětleno, jak technologie 3D tisku funguje, a jaké jsou její základní druhy a jejich principy. Kapitola také obsahuje krátkou historii této technologie a informace o úspěších tuzemských firem na světovém trhu 3D tisku.

Druhá kapitola obsahuje analýzu průmyslového využití 3D tisku v dnešní době. Tato analýza se zaměřuje na průmysly, ve kterých 3D tisk buďto snížil cenu některých výrobních procesů, nebo umožnil tvorbu nových produktů, které nebylo možné v minulosti vyrobit pomocí standardních metod. Poslední podkapitola obsahuje analýzu nových využití, které vznikly jako reakce na pandemii COVID-19.

Ve třetí kapitole jsou prognózy technologického vývoje a použití pro tři velká průmyslová odvětví, která 3D tisk nejvíce ovlivní, a to aerospace, automotive, a zdravotnictví. Prognózy jsou založeny na informacích z již probíhajících experimentů a poukazují na pravděpodobný vývoj v budoucnosti.

Čtvrtá kapitola se zabývá ekonomickou analýzou a následnou prognózou velikosti 3D trhu pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS). Obsahuje také informace o problematice odhadu velikosti trhu, a vymezuje jednotlivá odvětví trhu 3D tisku která jsou v odhadu obsažena.

Nejvíce obsáhlá je kapitola pátá. Její první část se zabývá mapováním nejvýznamnějších společností na trhu 3D tisku a získáním informací o jejich vzniku, nabídce produktů, a zaměřením na technologie a průmysl. Kapitola dále pokračuje vybráním tří společností, které tvoří dobrý průřez trhem 3D tisku dle jejich zaměření, a jejich následnou ekonomickou analýzou a srovnáním. Po analýze je proveden výpočet finančních prognóz vybraných společností do roku 2025 pomocí ETS, a kapitola je ukončena závěrem z výsledků výpočtů.

Šestá kapitola obsahuje závěr celé práce.

# **TEORETICKÁ ČÁST**

# 1. Základní informace o 3D tisku

Tato kapitola předá čtenáři důležité informace o 3D tisku. V první části vysvětlí, co to 3D tisk je a jaké jsou jeho druhy. V dalších částech je čtenář informován o historii aditivní výroby a o úspěchu českých firem na světovém trhu 3D tisku.

## 1.1 Co je to 3D tisk?

3D tisk je termín označující skupinu aditivních výrobních procesů které pracují ve všech 3 dimenzích. Tyto procesy jsou automatizovány počítačem a nejčastěji vycházejí z 3D modelu, který byl předpřipraven v CAD softwaru. V dnešní době se k 3D tisku hojně používá plast, existují ale i tiskárny schopné výroby například keramických či kovových součástek.

Aditivní výrobní proces na rozdíl od subtraktivních výrobních procesů materiál přidává a mluvilo se o něm už v roce 1950. Až donedávna byl vhodný pouze na experimentální výrobu prototypů a vůbec nebyl považován jako vhodný pro velkovýrobu.

S vývojem technologií, snížením cen součástek a zvyšujícím se požadavkem na výrobky se složitou geometrií se 3D tisk v některých případech stává adekvátní metodou pro hlavní výrobu.

## 1.2 Druhy 3D tisku

V této podkapitole jsou zmíněny nejčastěji používané typy 3D tiskáren, které zároveň pokrývají základní principy různých druhů 3D tisku. Typů 3D tisku existuje velké množství, a proto tato práce neobsahuje všechny, ale snaží se alespoň o dobrý průřez těmito technologiemi.

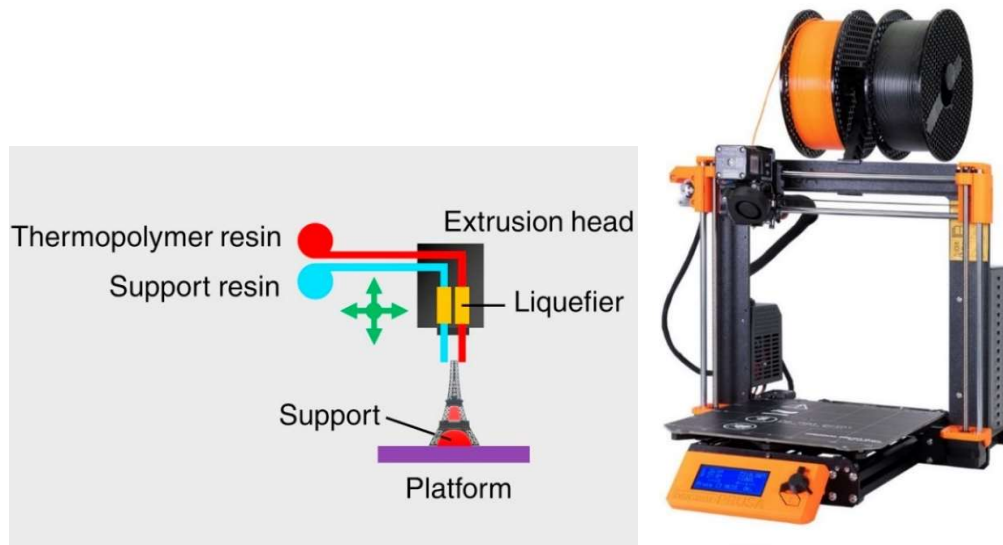
### 1.2.1 Extrusivní technologie

Do extrusivní technologií 3D tisku patří takové metody, které využívají extruzi tiskového materiálu pro tvorbu jednotlivých vrstev, a to za pomoci tiskové trysky. Pro tisk používají pevný, nebo viskoelastický materiál.

#### 1.2.1.1 FDM (Fused deposition modeling)

Nejrozšířenější metodou 3D tisku jsou takzvané FDM tiskárny. Tento proces využívá termoplastu (plast, který se při vyšších teplotách stane tvárným, až kapalným), který prochází zahřátou „tiskovou hlavou“, a po vrstvách se nanáší a překrývá s předchozími vrstvami. Díky vysokým teplotám se termoplast spojí

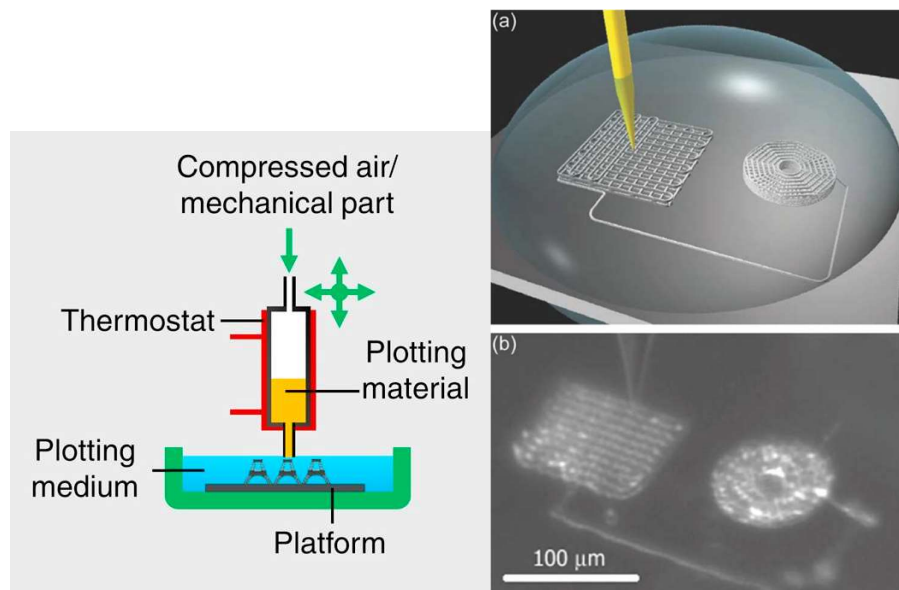
s předchozí vrstvou a vznikne jednotný výrobek. Příklad FDM tiskárny české výroby a schéma její funkce můžeme vidět na obrázku níže.



Obrázek 1 Schéma FDM tiskárny (Low, 2017), FDM 3D tiskárna Prusa mk3s (Prusa Research, 2022)

### 1.2.1.2 DWA (Direct write assembly)

Metoda DWA je velmi podobná technologii FDM. Obě metody využívají trysky, které nanášejí novou vrstvu materiálu na vrstvu předešlou a obě vrstvy se spojí. Liší se však v mechanismech, kterými se tohoto jevu dosáhne. Metoda DWA nevyužívá vysokých teplot pro roztavení tisknutého materiálu, ale viskoelastického materiálu, který má tendenci se spojit s předchozí vrstvou.



Obrázek 2 Schéma DWA tiskárny (Low, 2017), DWA mikro tisk v médiu vody a alkoholu (Lewis, 2004)

Dobrý příklad využití metody DWA je tisk velmi malých částí. Díky nižší závislosti na teplotě mohou mít trysky velmi malý průměr, třeba jen několik mikrometrů, a při použití vhodného média pro tisk, které zamezí nechtěným pohybům tištěného materiálu před zatvřením, je možné s těmito tryskami vyrobit velmi malé a přesné objekty.

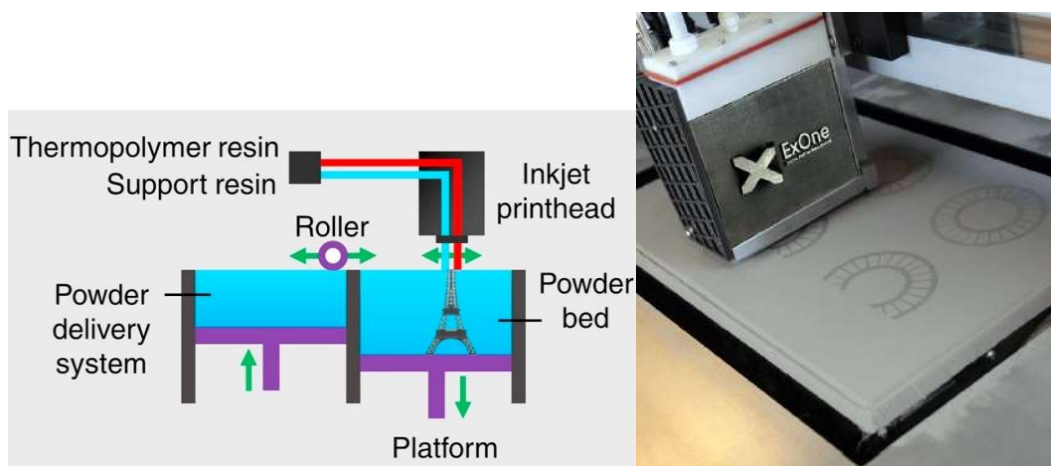
## 1.2.2 Prášková technologie

Práškové technologie využívají pevného tiskového materiálu, a to ve formě prášku, který při tisku spojí. Práškové tiskárny nanášejí prášek po vrstvách po celé pracovní ploše, a tak mohou být velmi rychlé a nepotřebují odlišný podpůrný materiál, jelikož každá nová vrstva stojí na celé vrstvě předchozí. Slabinou je však například tisk uzavřených dutých součástí, které nelze touto technologií vyrobit, jelikož by uvnitř dutiny zůstal všechen nespojený prášek využíváný k podpoře nových vrstev.

### 1.2.2.1 Binder Jet

Binder Jet technologie se většinou skládá z dvou kroků, a to tiskem samotným, a následným vytvrzováním/zhušťováním. Ve speciálních případech se může druhý krok vynechat, a to například při tisku forem z písku.

Tisk probíhá postupným nanášením vrstev (např. kovového, keramického, nebo plastového) prášku, na který se v místech tisku aplikuje tmel, který drží částičky tiskového materiálu u sebe. Tento proces je oproti ostatním 3D tiskovým technologiím velmi rychlý.



Obrázek 3 Schéma Binder Jet tiskárny (Low, 2017), probíhající Binder Jet tisk (Dartec, 2020)

Pro vytvrzení materiálu se využívá zahřátí vytisknutého výrobku v peci, což způsobí roztavení práškového materiálu, který se spojí a součástka tak získá větší pevnost. Tohoto procesu se využívá například u kovů, a takto vyrobené díly jsou téměř nerozpoznatelné od výrobků technologie práškové metalurgie.



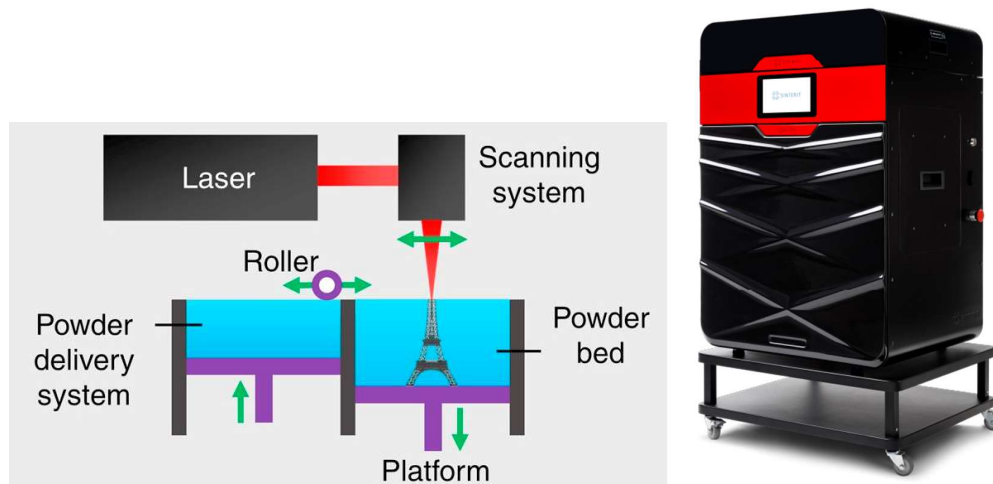
Speciálním případem vytvrzení je také zhušťování, kterého se může využít například při tisku z kovu. Při tisku se použije nerezová ocel, ze které se v jednotlivých vrstvách vyrobí velmi jemná síť, a vytisknutá součástka je poté vložena do pece společně s kusem bronzu a zahřáta na vysokou teplotu. V peci se bronz roztaví a infiltuje volné meziprostory ve vytištěné ocelové síti. Díky tomu se volné meziprostory zaplní, vznikne spojení bronzu a oceli, a celá součástka dosáhne vyšší hustoty a pevnosti. (Mostafaei, 2021)

### 1.2.2.2 SLS (Selective laser sintering)

SLS 3D tisk se využívá pro výrobu součástek z kovu. Základním principem SLS je nanášení tenké vrstvy prášku (například kovu nebo plastu), a jeho navařování ve specifických místech pomocí vysoce výkonného laseru.

Tento proces je schopný vyrábět například silné kovové součástky s vysokou komplexitou, každá součástka má ale poměrně vysokou výrobní cenu, a tak se často využívá jako kusová výroba v případech, kdy je potřeba součástky optimalizovat vůči stresům a udržet jejich hmotnost na minimu (aerospace, závodní auta), nebo jejich komplexita přesahuje možnosti standardní subtraktivní výroby (aerospace, medicína).

Jelikož se většinou jedná o kritické součástky, na kterých stojí funkce celého systému, je SLS teprve v začátcích a testovacích fázích ve většině z těchto průmyslů. Níže můžeme na obrázku vidět schéma principu funkce SLS tisku.



Obrázek 4 Schéma SLS tiskárny (Low, 2017), SLS tiskárna Sinterit Lisa PRO (Sinterit, 2022)

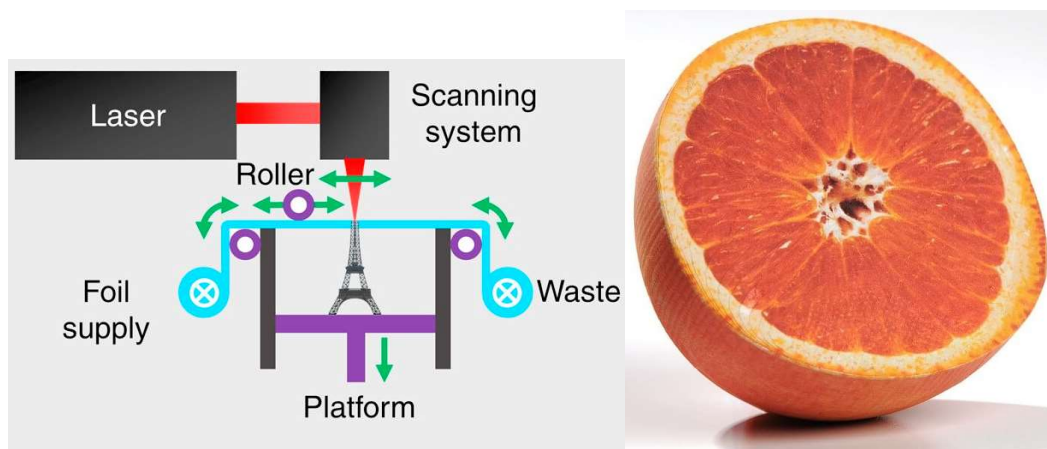
## 1.2.3 Technologie laminace

3D tisk laminací je specifický použitím pevných materiálů ve tvaru tenkých listů pro výrobu svých vrstev, které k sobě tiskárna následně laminuje.

### 1.2.3.1 LOM (Laminated object manufacturing)

LOM proces funguje na bázi laminace vyříznutých tenkých listů (např. papíru, kovu, plastu, nebo vosku). Tyto listy fungují jako jednotlivé vrstvy 3D tisku, a tvar těchto listů bývá vyříznutý pomocí nože nebo laseru. K samotné laminaci dochází různými způsoby, mezi které patří lepení, pájení, nebo tavení. Moderní LOM tiskárny využívají automatického dávkovače materiálu, který je skladován na roli.

Mezi výhody metody LOM patří její velmi nízká cena, a to jak tiskárny samotné, tak jejího provozu. Další výhodou může být barevný tisk, kterého se dosáhne pomocí 2D barevného tisku na materiál, který se poté využije při LOM 3D tisku. V dnešní době se technologie LOM v průmyslu nikterak značně nevyužívá, a její použití je omezeno převážně na výrobu modelů prototypů, umělecké projekty, a domácí výrobu objektů se specifickými tvary.

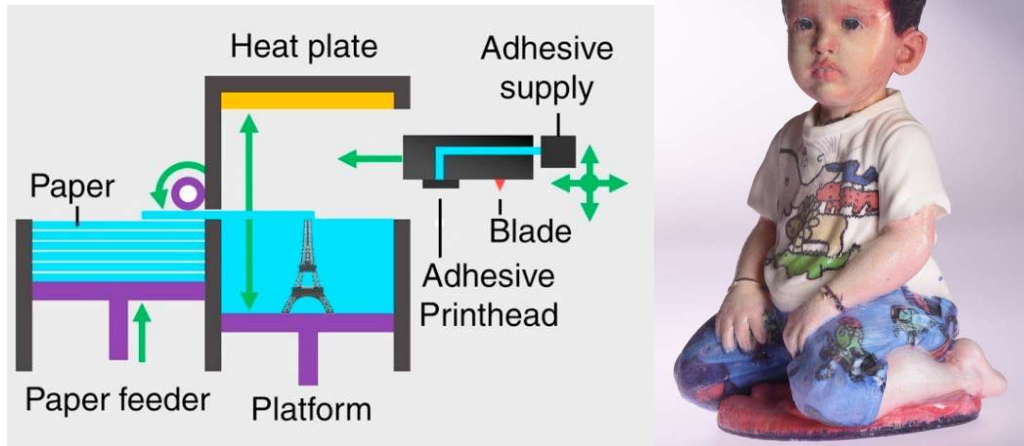


Obrázek 5 Schéma LOM tiskárny (Low, 2017), výrobek barevné papírové LOM tiskárny (Sculpteo, 2022)

### 1.2.3.2 SDL (Selective deposition lamination)

Technologie SDL je velmi podobná metodě LOM, a liší se ale hlavně ve způsobu spojení jednotlivých vrstev. Zatímco u metody LOM se spojí vrstva po celé tiskové ploše, u technologie SDL se vrstvy spojí pouze v místě samotného výrobku, a tak je metoda SDL efektivnější ve spotřebě spojovacího materiálu. Moderní SDL tiskárny využívají převážně listů papíru a dovolují majiteli použití standardního kancelářského papíru, například formátu A4. Metoda SDL si zachovala i možnost barevného tisku, a její využití zůstává stejné jako u metody

LOM, její tiskárny jsou však vhodnější pro domácí využití díky dostupnosti materiálu a jeho nižší spotřebě.



Obrázek 6 Schéma SDL tiskárny (Low, 2017), výrobu barevné papírové SDL tiskárny (Additive-X, 2016)

## 1.2.4 Technologie fotopolymerizace

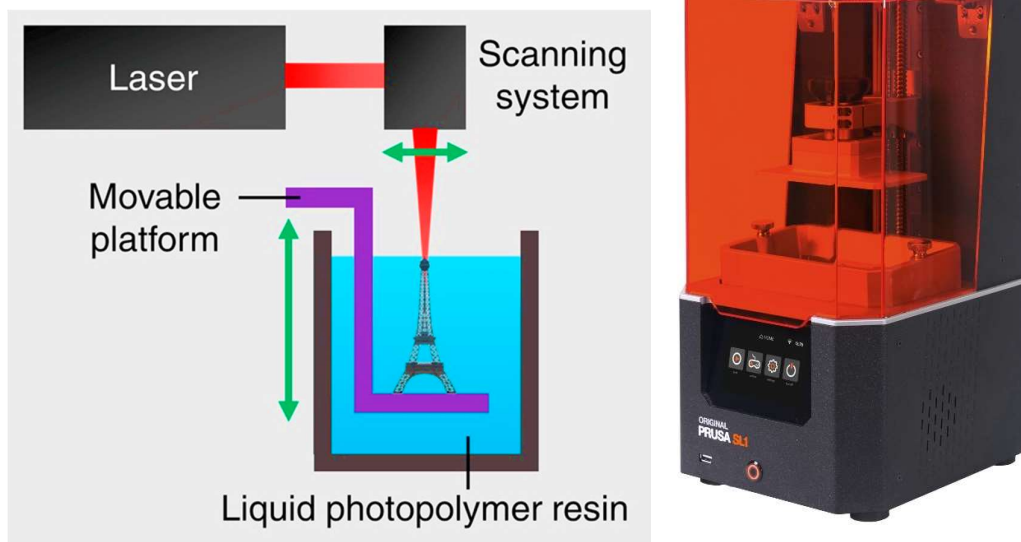
Technologie fotopolymerizace využívají vytvrzování tekutého materiálu (resinu) světlem pro tisk.

### 1.2.4.1 SLA (Stereolithography)

SLA tisk je jedna z nejstarších metod 3D tisku a v prvních letech byla také nejrozšířenější. Tiskárna pracuje po vrstvách, které postupně vytvrzuje, a stačí jí pouze jedna pohyblivá osa, která se vzdaluje od světelného zdroje s každou novou vrstvou. Jako světelný zdroj se používá buďto UV lampa svítící skrze LCD displej vrstvu, nebo laser se skenovací optikou.

Tato metoda se pohybuje ve stejné cenové kategorii jako FDM, a je populární jak v domácnostech, tak v průmyslu. Oproti FDM je SLA schopná dosáhnout větších detailů, za cenu nižší pevnosti výrobků. Pevnost a přesnost tisku ovlivňuje také zatvrzení resinu, které většinou není kompletní ihned po tisku, a je potřeba výrobek nechat dotvrdnout na UV světle. Toho se může docílit pomocí speciální vytvrzovací UV komory, nebo přímého slunečního světla. Technologie SLA také nepodporuje tisk více barev v jednom výrobku, je tedy omezena na vybarvení součástky po tisku.

SLA tisk je vhodný pro výrobu nezatěžovaných dílů s požadavkem na vysokou přesnost, například modelů staveb s vysokým rozlišením. Schéma funkce a příklad levné stolní SLA tiskárny lze vidět na obrázku níže.

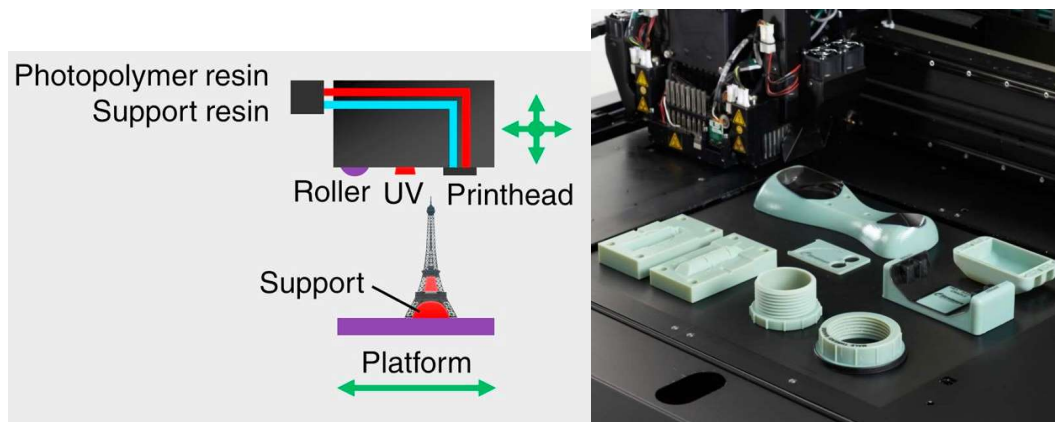


Obrázek 7 Schéma SLA tiskárny (Low, 2017), SLA 3D tiskárna Prusa SL1 (Prusa Research, 2022)

### 1.2.4.2 Material Jet

Material Jet technologie pracuje na velmi podobné bázi jako inkoustové tiskárny, pouze ve 3D. Hlava tiskárny obsahuje mikroskopické trysky, které ve vysoké rychlosti nanášejí kapičky materiálu na danou vrstvu 3D tisku, a UV světlo, které vrstvu zatvrdne. Material Jet je jedna z nejrychlejších a nejspolehlivějších metod 3D tisku, to se ale projevuje i na její ceně, a její využití je převážně v profesionálním prostředí.

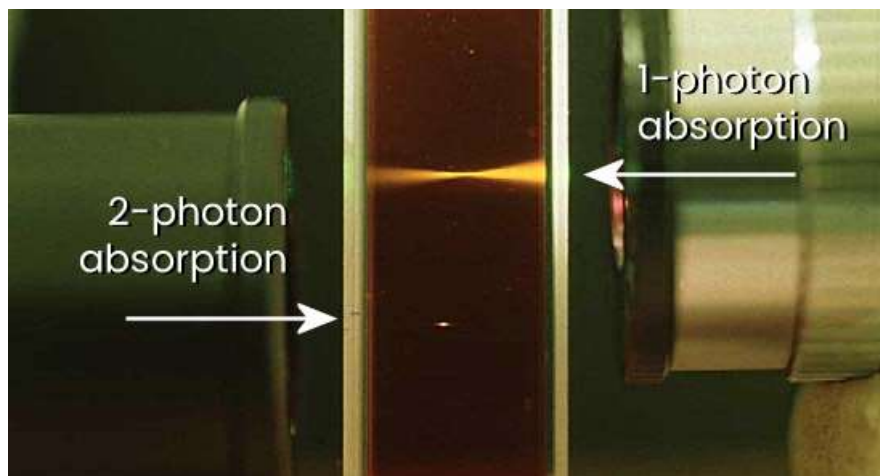
Material Jet má mnoho pozitiv, tisk je rychlý, výrobek je silný, a při použití trysek s různými materiály lze dosáhnout průsvitného, nebo barevného tisku s tisíci barvami díky kombinaci několika pigmentů.



Obrázek 8 Schéma Material Jet tiskárny (Low, 2017), příklad Material Jet tisku (Beamlar, 2021)

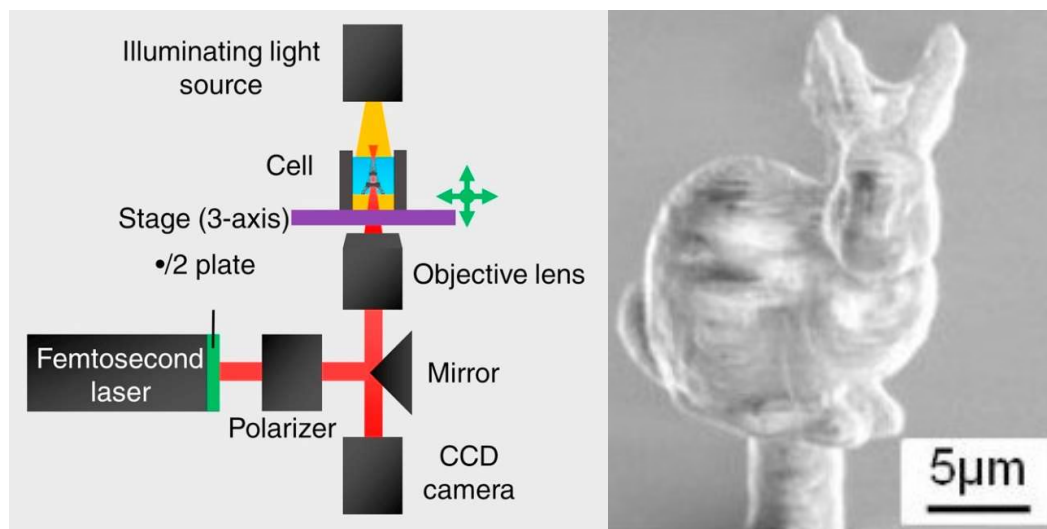
### 1.2.4.3 TPP (Two-photon polymerization)

Metoda TPP je rozdílná od ostatních fotopolymerizačních technologií tím, že pro vytvrzení resinu musí jeho molekula absorbovat dva fotony místo jednoho, a proto musí být intenzita paprsku mnohem větší. Tohoto principu se využívá pro možnost tisku ve 3D pouhým pohybem zaostřeného paprsku světla ve všech třech osách. Při TPP totiž vytvrdne resin pouze v bodě zaostření, a okolní kužely paprsku resin nikterak neovlivní. Princip tohoto vytvrzování si lze lépe představit při pohledu na obrázek níže.



Obrázek 9 Rozdíl mezi OPP a TPP (Microlight 3D, 2022)

Metoda TPP je vhodná pro tisk nanoskopických součástek, a hojně se využívá v pro výrobu optických, elektronických a biomedicínských zařízení, která vyžadují mikroskopickou přesnost a velikost. Tisk samotný využívá výkonných pulzních laserů, a může dosahovat přesnosti až 100 nm. (Zhou, 2015)

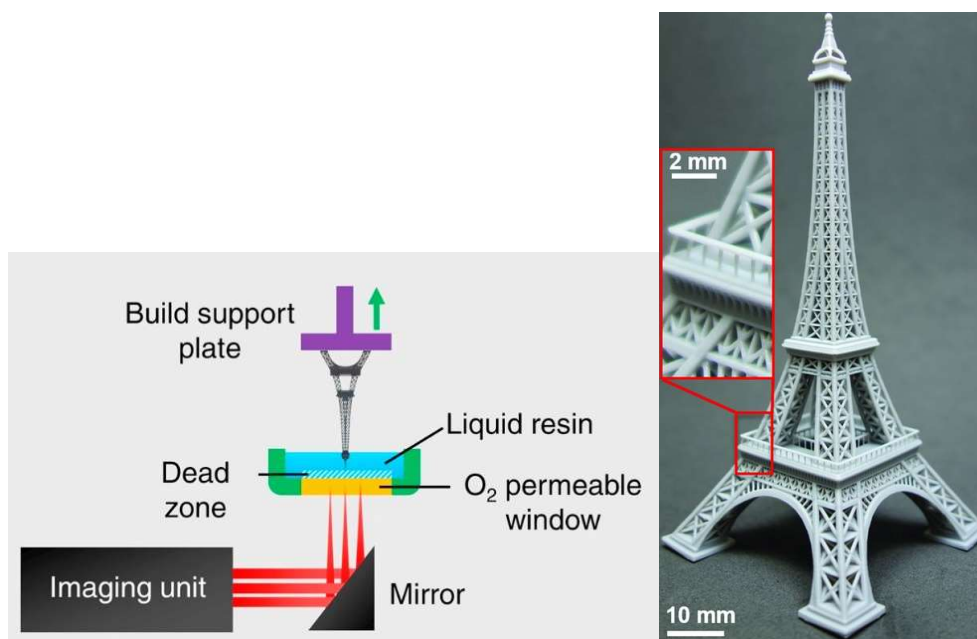


Obrázek 10 Schéma TPP tiskárny (Low, 2017), příklad TPP tisku (3D Printing Industry, 2013)

#### 1.2.4.4 CLIP (Continuous liquid interface production)

Technologie CLIP je velmi podobná metodě SLA, s jedním velkým rozdílem, a to ve tvorbě vrstev výrobku. Zatímco SLA, a téměř všechny ostatní metody 3D tisku, rozřeže 3D model výrobku na vrstvy se stejnou výškou, a poté postupně tyto vrstvy vyrábí, CLIP využívá kontinuálního tisku, při kterém vrstvy defacto neexistují. CLIP osvětluje resin nepřetržitě, a zároveň kontinuálně zvedá svojí tiskovou bázi s výrobkem. Resin tak stejně jako u SLA zatvrzuje mezi výrobkem a okýnkem, v případě CLIP se však resin nikdy nepřilepí k okénku, a to díky speciální vrstvě která okénkem propouští kyslík.

Metoda CLIP je díky tomuto principu mnohonásobně rychlejší než SLA a produkuje mnohem hladší povrch ve vertikální ose tisku. CLIP má bohužel i několik nevýhod, jednou z nich je nutnost speciálních resinů, které zajistí bezproblémový tisk. 3D tisk pomocí CLIP není velmi rozšířený, jelikož jde o proprietární technologii společnosti Carbon3D, která vlastní její patent. (Balli, 2018)



Obrázek 11 Schéma CLIP tiskárny (Low, 2017), příklad CLIP tisku (Tumbleston, 2015)

### 1.3 Historie 3D tisku

O aditivních výrobních procesech se mluvilo už v roce 1950, první patent však přišel až v roce 1986, kdy Chuck Hull nechal patentovat SLA technologii 3D tisku. Před koncem 90. let Hull založil firmu 3D Systems, která začala vyrábět první SLA 3D tiskárny pod názvem SLA-1. Tato tiskárna byla využívána pouze vybranými zákazníky a široká veřejnost si mohla koupit až upravený model pod názvem

SLA-250. Do roku 1996 společnost prodala kolem 600 3D tiskáren. (Hoffman, 2020)

V druhé polovině 90. let se začaly na trhu objevovat konkurenční tiskárny, mezi kterými už byli i technologie FDM a SLS. Dalších 10 let zažil trh 3D tisku postupný, ale pomalý růst, kdy se hlavně vytvářeli nové metody tisku.

V roce 2009 vypršel patent na FDM tisk, který se velmi rychle stal nejpoužívanější metodou a na trh vstoupilo mnoho nových 3D tiskáren. V příštích 10ti letech se 3D tisk stává čím dál tím dostupnější, cena tiskáren klesá, přesnost, dostupnost, kvalita tisku a rychlost roste.

V přítomnosti proniká 3D tisk do všech technických odvětví jako rychlý způsob výroby prototypů. V některých specifických případech se stává i hlavní metodou výroby.

## 1.4 3D tisk v ČR

Česká republika je domovem druhého největšího výrobce 3D tiskáren na světě. Firmu Prusa Research založil v roce 2012 Josef Průša. Bez žádných externích investorů uvedl na trh tiskárnu Prusa i3, kterou rozesílal do celého světa po několika kusech týdně. Tiskárna se díky svému kvalitnímu návrhu a konstrukci stala velmi populární a objednávky se začali násobit každým měsícem. V současnosti nabízí Prusa několik modelů 3D tiskáren, zaměstnává přes 600 lidí a produkuje krom jiného přes 9000 tiskáren měsíčně. Firma vyrostla o 17118 % za poslední 4 roky a jedná se v současnosti o nejrychleji rostoucí firmu nejen v ČR. (Prusa Research, 2022)



Obrázek 12 Josef Průša v budově Prusa Research (Prusa Research, 2022)

# **PRAKTICKÁ ČÁST**



## 2. Analýza využití technologie 3D tisku

Tato kapitola se zabývá využitím 3D tisku již v dnešní době. Jednotlivé podkapitoly jsou rozděleny podle průmyslových odvětví, ve kterých je 3D tisk nyní součástí výrobních procesů. Poslední podkapitola hovoří o nových použití 3D tisku v pandemii COVID-19.

### 2.1 Aerospace

Aerospace je jedním z prvních průmyslů, který začal s 3D tiskem experimentovat, a to už od konce devadesátých let minulého století. 3D tisk se v tomto odvětví hojně využívá při designu nových součástek. 3D tisk snižuje čas potřebný na výrobu prototypů, a tím zvyšuje možný počet iterací součástky a snižuje délku návrhu a testování.

Díky svým vlastnostem však 3D tisk nezůstal pouze ve fázi prototypování. Vytištěné kovové díly pomocí technologie SLS mohou dosáhnout stejné pevnosti jako součástky obráběné, ale díky možnosti vysoké komplexity geometrie při výrobě mohou být díly výrazně lehčí. Hmotnost je v Aerospace průmyslu velmi důležitá, jelikož díky jejímu snížení mohou letadla a rakety přepravit větší náklad anebo snížit spotřebu paliva.

V leteckém průmyslu se tak začíná využívat vytištěných dílu, a to hlavně v interiéru letadel. Najdou se ale i vytištěné součástky hydraulického potrubí, které mají velmi komplexní tvary a bylo by nepraktické je vyrobit jiným způsobem. Poměrně novinkou je použití nosiče vyrobeného na 3D tiskárně, který je součástí trupu sériově vyrobeného letadla. Tohoto milníku dosáhla společnost Airbus v roce 2017, kdy nosič poprvé nainstalovala do svého letadla modelu Airbus A350 XWB. (Inovar Communications, 2017)



Obrázek 13 Rozdíl mezi obráběným nosičem (nahore) a tištěným nosičem (dole) (Kellner, 2017)

## 2.2 Automotive

V Automotive průmyslu se 3D tisku využívá převážně ve fázi prototypování, v posledních letech se ale objevily i nové využití této technologie.

Druhým nejčastějším použitím v sériové produkci je tisk specializovaných přípravků, které se používají například k přesnému ustavení obrobku, nebo k polohování dvou lepených částí. Přípravky mají často složité tvary a na jednu výrobní linku stačí několik kusů, jde tedy o ideální využití 3D tisku, při kterém se dosáhne i nižší ceny výrobků oproti ostatním technologiím.

Kromě již zavedených použití 3D tisku dochází v automotive průmyslu také k mnoha experimentům. Automobilky testují výrobu komplexních kovových funkčních částí auta pomocí 3D tisku z titanu, například brzdového třmene. Díky tomuto procesu jsou součástky mnohem lehčí, nereznou, a mohou být i odolnější, jejich výroba však v dnešní době trvá velmi dlouho a je více nákladná než jiné metody, proto dosud nejsou používány v produkci a zůstávají ve fázi experimentů.



Obrázek 14 Experimentální tištěný brzdový třmen (Bionic Production, 2022)

## 2.3 Zdravotnictví

Zdravotní průmysl je jeden z nejlepších kandidátů pro rozšířené použití 3D tisku. Mnoho zdravotnických úkonů a pomůcek musí být přizpůsobených tělu a situaci pacienta a doposud používané technologie bývají často dražší než využití 3D tisku.

Již přes deset let se používá 3D tisk k výrobě implantátů tvarovaných specificky pro daného pacienta. Příkladem může být použití tištěných lebečních destiček, které následují tvar zbytku lebky pacienta, a jejich obrys umožňuje přesné usazení do místa poranění. Díky předešlému skenu hlavy pacienta, ze které

vychází design destičky, se tak zrychlí celá operace a tvar destičky se nemusí upravovat ručně. I dnes ale dochází k inovacím ve výrobě těchto implantátů, novinkami jsou například změny v geometrii povrchů implantátů, které podporují srůst s kostí pacienta. (Hendrixson, 2020)

Novinkou v tištěných implantátech jsou zubní korunky. Ty mohou být vyráběny z různých materiálů, v dnešní době však převažuje keramika. Výhodou tištěných zubních korunek je hlavně dramaticky snížený výrobní čas. Zatímco standardní metody výroby trvají s dopravou často přes týden, díky 3D tisku může být korunka vyrobena do několika desítek minut. Místo několika návštěv zubní ordinace v rozmezí týdnů se celý proces stihne za jednu návštěvu. Při tomto novém procesu se nejdříve pacientův chrup nafotí nebo naskenuje, a výsledky jsou vloženy do doprovodného softwaru, který automaticky vytvaruje 3D model nové korunky, a ten se může ihned zadat k tisku. Celý proces tak zabere pouze jednu několikahodinovou návštěvu. (CEREC, 2022)

Podobně jako v automotive průmyslu, i ve zdravotnictví se začalo využívat 3D tisku k výrobě přípravků pro polohování. Tyto přípravky pomáhají doktorům s pozicováním svých nástrojů na tělech pacientů, příkladem může být úchyt vrtáků ve správné poloze při vrtání do čelistní kosti, za pomoci předem vytištěného přípravku, který lze vidět na obrázku níže. (Oliveira, 2021)



Obrázek 15 Tištěný přípravek pro vrtání do čelistní kosti (CT Dent, 2022)

## 2.4 Stavebnictví

Stavebnictví má dvě hlavní využití pro 3D tisk. Prvním z nich je výroba zmenšeného modelů navrhnutých staveb, které pomáhají designérům a zákazníkům představit si výsledek stavby. Kromě představitivosti se také

mohou na modelu lépe projevít designové chyby, které nejsou zřejmě viditelné na monitoru osobního počítače.

Druhým využitím je stavba budov samotná, ke které již několik let dochází i za pomoci technologie 3D tisku. V dnešní době ještě není 3D tisk budov častou záležitostí, každým rokem však přibývá nových pokusných a experimentálních staveb. Ve většině případů jde o stavby z extrudovaného betonu, který je ve vrstvách nanášen a vytvrzován, podobně jako tomu je u metody FDM s plastem. V čem se stavby liší jsou tiskárny samotné. Některé využívají velkých robotických ramen, jiné se pohybují pomocí kolejnic, které se nejdříve musí sestavit okolo celé tištěné budovy.



*Obrázek 16 Probíhající tisk budovy (Sweet, 2020)*

Tisk budov má mnoho pozitiv, konstrukce trvá poměrně krátký čas, v některých případech dokonce pouze 24 hodin. Ke stavbě se nevyužívá lidské síly, minimalizuje se tedy možnost zranění nebo úmrtí při nehodě na stavbě a snižují se náklady na platy dělníků. Budovy mohou mít mnohem komplexnější tvary, které jsou často esteticky přívětivější, nebo lépe zapadají do zbytku krajiny.

Přítomných je ale i několik negativ, díky kterým se 3D tisku budov nevyužívá více. Hlavním z nich je maximální velikost budovy. Většina experimentálních tištěných budov je relativně malého rozměru, většinou jednopatrových, s malým počtem místností, jelikož velikost budovy je přímo závislá buďto na velikosti 3D tiskárny samotné, anebo na její schopnosti pohybovat se po stavbě. Konstrukce velkých tiskáren se rychle stane neekonomická, a doposud není ani levný a spolehlivý způsob, jak s tiskárnou autonomně pohybovat po celé stavbě, a to včetně pater budovy.

Dalším faktorem ovlivňujícím velikost, a hlavně výšku budovy, je síla materiálu. Beton je velmi silným materiálem v kompresi, avšak velmi slabým v napětí, a pro

vysoké budovy je potřeba stavební materiál silný v obou případech. Při standardních metodách stavby betonových budov se využívá kovové armatury, které se zanesou do betonu při jeho nalévání do forem, a tím beton vyztuží. U aditivní výroby budov je však nemožné zanést armatury do betonu uprostřed tisku, a jedinou obdobnou možností je využití dodatečně předpínacích kabelů. Tyto kabely se mohou do stavby vložit po jejím vytištění, a jejich upevněním a utažením mnohonásobně zvýšit sílu stavby ve směru napnutí. Další možností je přidání skleněných vláken do mixu betonu, výsledný materiál bude silnější v napětí, tato metoda je však méně efektivní než použití předpínacích kabelů. (Sarwar, 2022)

## 2.5 Umění a móda

V umění pomáhá 3D tisk přenést nápady a kreativitu umělců do reálného světa. Díky možnosti tisku komplexních geometrií tak vznikají nová díla s tvary, které v minulosti nebylo možno vyrobit tradičními metodami. Další výhodou je možnost jednoduché replikace. Umělec tak může využít mnoha stejných kusů k naplnění jeho představy, nebo své umění jednoduše prodávat. Od soch, přes lustry, až po nábytek, 3D tisk si našel v umění své uplatnění.

V módě se podobně jako v umění využívá hlavně komplexních tištěných tvarů, vznikají tak například esteticky zajímavé šperky nebo jiné doplňky. 3D tisk se ale také značně uchytil při výrobě bot, a to znovu díky komplexitě geometrií. Adidas tak vydal v roce 2021 první boty, ve kterých byl mezipodešev vyroben na 3D tiskárně, a tak byly boty lehčí a pružnější. Díky další vlastnosti 3D tisku, a to jednoduchosti úpravy rozměrů výrobku, mohou společnosti jako je Nike a Adidas vyrábět boty na zakázku. Tyto boty jsou vyrobeny přesně podle míry nohou zákazníka, a padnou tedy lépe než sériově vyráběné boty. (Hambleton, 2021)

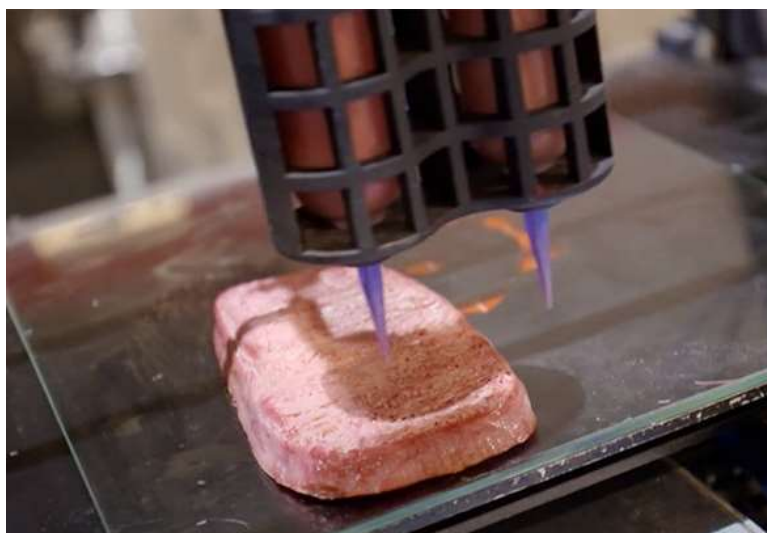


Obrázek 17 Boty Adidas s tištěným mezipodešvím (Hambleton, 2021)

## 2.6 Potraviny

Potravinářský průmysl v dnešní době využívá 3D tisku převážně k úpravě tvaru jídla. Nejčastěji upravovanými potravinami jsou pečiva, dezerty, a jiné pochutiny vyráběné z těsta, například sušenky nebo palačinky. Změnou tvaru jídla lze dosáhnout nejen zlepšení jeho vnější estetiky, ale i změny jeho vnitřní textury, a úpravy množství použitého těsta, které nelze zvenjšku odhadnout. Tyto techniky se sice nevyužívají ve velkém, existuje ale již několik komerčně vyráběných 3D tiskáren specializovaných pro tisk jídla, a dokonce i restaurace, ve kterých se servírují pouze tištěná jídla. (Parupelli, 2019)

Na trhu potravin se také experimentuje s tiskem masa a masových napodobenin. Syntetická výroba masa a výroba masových náhražek by v budoucnu mohla ušetřit nejen peníze, ale i životy zvířat ze kterých maso pochází. Mnoho společností tedy o tento cíl usiluje, ale naráží na problém s napodobením textury a konzistence reálného masa. Zde je vhodné použití 3D tisku. Jedním příkladem je použití společnosti MeaTech 3D Ltd, která v roce 2021 vytiskla největší steak na světě z kultivovaných zvířecích buněk. Tyto buňky byly v malém množství odebrány z živých krav, a poté kultivovány v laboratorním prostředí. Pomocí tohoto procesu mohli vědci steak vytisknout z mnohonásobně většího množství buněk, než které odebraly. Díky 3D tisku lze také ovlivnit strukturu a texturu masa, a při použití odlišných buněk pro svalové tkáně a tuk lze například dosáhnout perfektního mramorování masa, a tak synteticky zvýšit kvalitu masa a ovlivnit jeho chuť. (Dadhania, 2021)



Obrázek 18 Proces tisknutí masa z dvou různých materiálů (Cottingham, 2021)

## 2.7 Nová využití při pandemii COVID-19

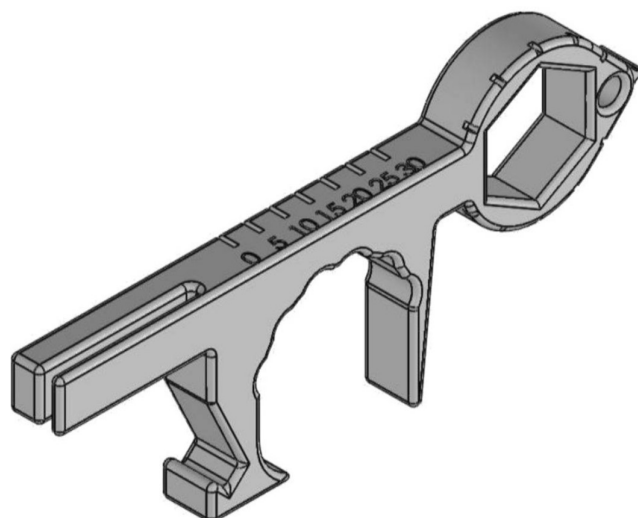
Na začátku pandemie COVID-19 došlo k velkému světovému šoku výroby a logistiky, a mnohonásobně se zvýšila poptávka po zdravotních ochranných pomůckách a některých speciálních zdravotních přístrojů. Tím došlo k závažnému nedostatku těchto pomůcek a přístrojů, který vedl ke zvýšení případů nálezů a úmrtí.

3D tisk měl značnou roli ve vyplnění tohoto vaku, a po celém světě začali profesionálové, ale i amatéři, přispívat sdílením svých designů ochranných pomůcek, a jejich následnou výrobou. Značně tak pokryli například pohledávku po obličejových štítech, které chrání otvory obličeje uživatele před vstupem infikovaných částic, například letících kapek při kýchnutí infikované osoby. Tyto štíty se ve většině designů skládali z několika tištěných dílů, do kterých byla vložena tenká plastová deska.



Obrázek 19 Složený tištěný obličejový štít od Prusa Research (Prusa Research, 2022)

Další designy pomáhaly s utěsněním masek a respirátorů na obličej uživatele, nebo zvyšovali komfort jejich dlouhodobého nošení. Vzniklo i mnoho tištěných výrobků pro minimalizaci dotyku rukou s potenciálně infikovanými povrchy, a to například klíčenky s tvary, které dovolovaly bezkontaktně otočit klikou, zmáčknout tlačítko výtahu, nebo uchopit předmět, a zároveň byly jednoduše dezinfikovatelné. Příklad jednoho z těchto designů lze vidět na obrázku níže.



Obrázek 20 Design multifunkční bezkontaktní klíčenky (Kamble, 2021)

Posledním značným příspěvek 3D tisku byla výroba náhradních součástek pro zdravotní přístroje. Při pandemii došlo k nedostatku ventilů pro plicní ventilátor, a muselo tak dojít k vyřazení přístrojů z provozu. Díky 3D tisku se mohla razantně zvýšit výroba těchto spotřebních součástek. Příkladem může být italská společnost, která byla schopna za pouhých 24 hodin vyrobit 100 těchto ventilů pro nemocnici, která již spotřebovala své zásoby. (Kleinman, 2020)



Obrázek 21 Tištěné ventily pro plicní ventilátory (Kleinman, 2020)



# 3. Prognózy technologického vývoje 3D tisku

V této části jsou uvedeny prognózy pro tři vybraná velká průmyslová odvětví, která se výrazně změní díky použití a rozšíření technologie 3D tisku. Prognózy jsou založeny na informacích z již probíhajících experimentů a poukazují na pravděpodobný vývoj v budoucnosti.

## 3.1 Aerospace

3D tisk bude mít v aerospace průmyslu dvě velká využití. Prvním z nich bude výroba složitých a specializovaných součástí, a to například u raketových motorů. Jelikož se raketové motory nevyrábí ve velkém množství, jejich složitost je vysoká, a mají velký počet odlišných součástek, 3D tisk se v budoucnu prosadí jako hlavní výrobní metoda pro velkou část těchto motorů. Již v dnešní době se experimentuje s raketovými motory obsahujícími součástky vyrobené 3D tiskem, a to většinou metodou SLS.

Tyto díly jsou mnohonásobně levnější na výrobu díky faktu, že se nemusí předem vyrobit specializované formy a nářadí, které se dále může využít pouze k výrobě jedné specifické součástky. Jakmile se upraví i design celého motoru s předpokladem 3D tisku, může se celý motor odlehčit díky schopnosti výroby složitějších tvarů, které odolávají silám efektivněji, a to s nižší hmotností.



Obrázek 22 Test raketového motoru s tištěnými součástkami (NASA, 2020)

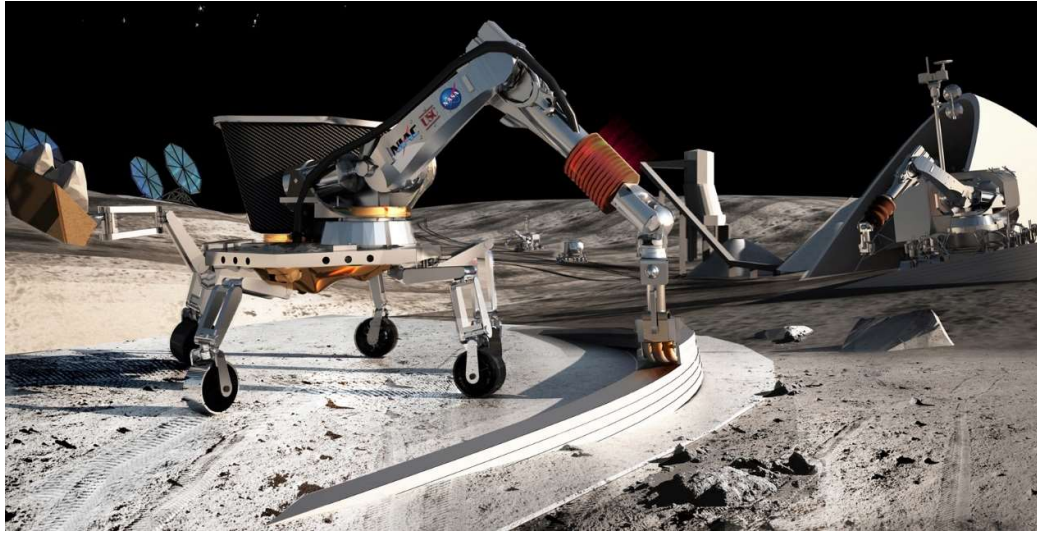
S novými designy bude možné opravit motor i mimo planetu Zemi, a to bez nutnosti velké kolonie s dostupnou výrobní halou. Při komplikacích bude tak možné vyrobit nový díl např. na ISS, nebo na povrchu Měsíce či Marsu. Navíc může být SLS 3D tiskárna použita na výrobu mnoha dalších dílů, a není specializována pouze na raketové motory, stane se tak základní výbavou na dlouhodobé mise mimo planetu Zemi.

Druhým využitím technologie 3D tisku v aerospace průmyslu bude stavba usedlostí na planetách a měsících. Jedním z hlavních problémů dlouhodobého pobytu na Měsíci a Marsu je právě výstavba budov. Mimoszemské budovy musí být schopny odolávat počasí jiných planet, jiné gravitaci než na Zemi, potenciálním impaktům meteoritů, nepropouštět kosmické záření, a být bezpečné po několika letech provozu. Tato kritéria velmi omezují výběr materiálů, a ty které zbyly, mají jedno společné. Všechny jsou příliš objemné a těžké na to, aby se dopravili na místo stavby v dostatečném množství pomocí rakety.

Pro výstavbu obytných struktur bude tedy zapotřebí využít materiálů dostupných na povrchu planety nebo měsíce, kde má stavba probíhat. Aby se toto uskutečnilo, musí vzniknout nový typ 3D tisku. V dnešní době se experimentuje s obdobou technologie FDM. Místo plastu se používá speciální mix cementu, který se může nanášet pomocí trysky na předchozí již nanesenou vrstvu. Pro pohyb trysky se ale stále používají obdobné CNC stroje, pouze ve větším měřítku. Tyto CNC se však nemohou pohybovat ve větším prostoru, než je jejich velikost, pro stavbu velkých struktur by se tak musely dopravit velmi velké stroje, a zde znovu narážíme na vysokou cenu dopravy pomocí raket.

Pro pohyb trysky po povrchu planety nebo měsíce budeme tedy potřebovat jinou technologii. Jednou z nich je takzvaný robotický roj (robot swarm/hive). Na místo stavby se dopraví pouze několik automatizovaných robotů. Tito roboti se mohou sami pohybovat pomocí kol nebo pásů, sami se nabíjejí z integrovaných solárních panelů, všichni mezi sebou komunikují a mohou zastávat různé funkce. Díky modularitě se více robotů může složit do většího stroje, a to při nutnosti větší síly, například při kopání a dopravě materiálů na výstavbu. Tito autonomní roboti k sobě mohou také připojit různé nástroje, a tak přepínat mezi svými funkcemi.

Hlavní výhodou robotického roje je v tom, že stavba nevyžaduje přítomnost lidí, lze tak robotický roj vyslat dlouho před lidskou posádkou a připravit všechnu potřebnou infrastrukturu. Robotický roj také není omezen velikostí stavby, a jejich velikost a design se může měnit například podle množství nalezeného stavebního materiálu. Další výhodou je, že při překlenutí minimálního počtu nutných robotů pro stavbu lze proces zrychlit přidáním dalších robotů, stavba tak může trvat rok, nebo pouze několik týdnů. Poslední výhodou je, že díky modularitě může robotický roj být využit i po stavbě, a to pouhou záměnou připojených nástrojů.

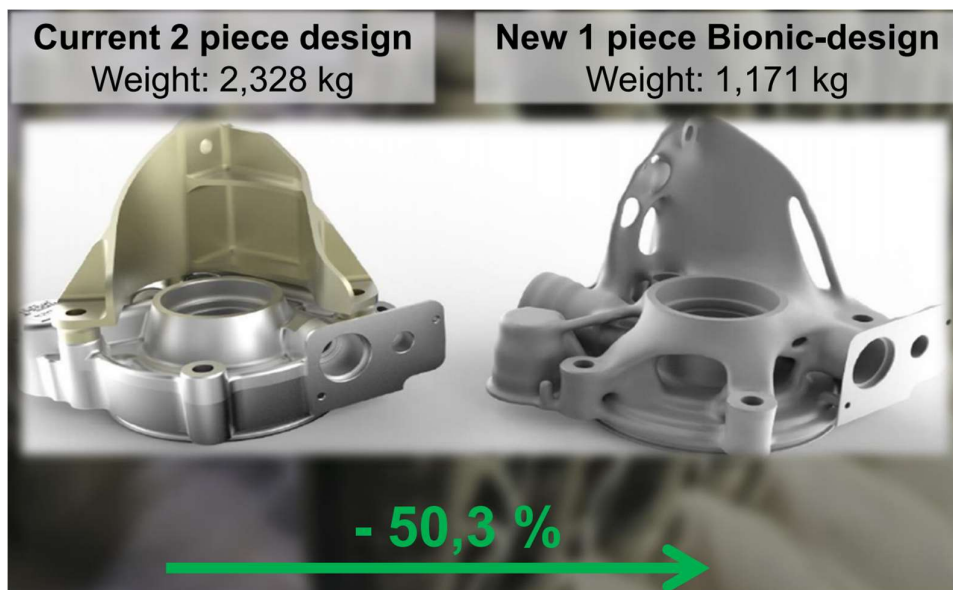


Obrázek 23 Robotický roj při tisku budou na povrchu Měsíce (NASA, 2020)

## 3.2 Automotive

Automotive průmysl vyrábí oproti Aerospace ve velkém, proto je zde dnes 3D tisku využíváno převážně v procesu designu vozidla. 3D tisk umožňuje díky své rychlosti přípravy nového výrobku mnohem více iterací jednotlivých designů součástek. To zvyšuje kvalitu designu, a snižuje potřebný čas na návrh nového auta.

V příštích letech můžeme ale očekávat i nové aplikace 3D tisku v Automotive. U aut s menším počtem vyrobených kusů, například superauta, se bude využívat 3D tisku k odlehčení jednotlivých součástek.



Obrázek 24 Příklad odlehčení držáku diferenciálu pomocí 3D tisku (Ofenheimer, 2018)

Zároveň tím 3D tisk zajistí dostupnost náhradních dílů po celém světě pro tyto součástky. Pokud se tedy v superautu rozbije tištěná část, po příjezdu do servisu se pouze zadá potřebný design do tiskárny, a nový díl bude do několika hodin připraven pro výměnu. Omezí se tím i nutnost skladování náhradních dílů, jejich dovážení a spojených logistických problémů.

3D tisk náhradních dílů však nezůstane u součástek, které byly od začátku k tisku určeny. V případě veteránů, pro které je každým rokem těžší získat náhradní díly, budou díly pře designovány pro 3D tisk, a tak bude možné získat náhradní díly pro stará vozidla, které se již dlouho nevyrobí, a nejsou zákazníkům dostupná.

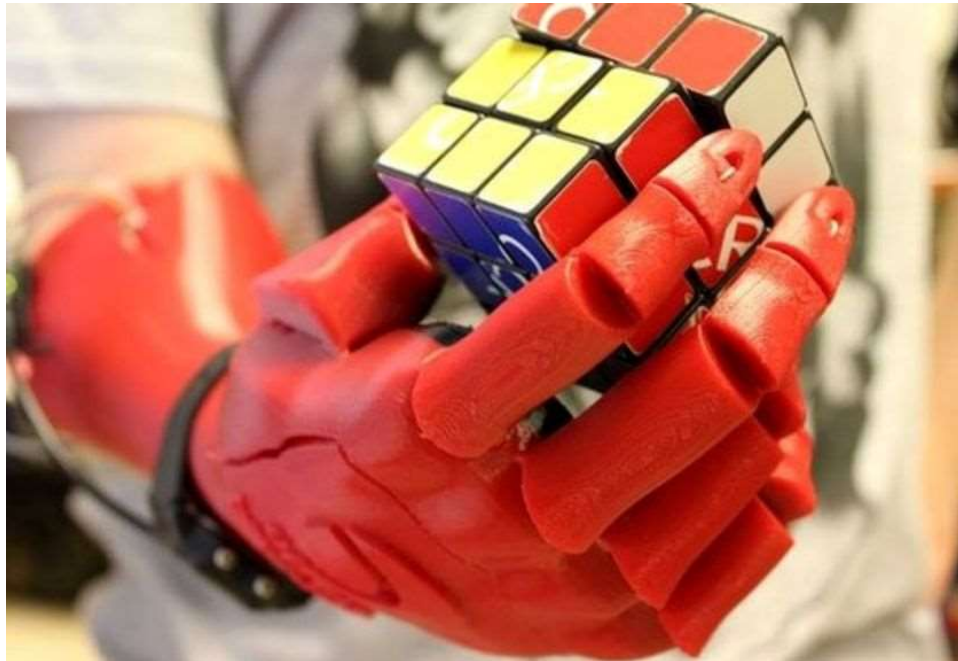
Poslední inovací 3D tisku v automotive průmyslu bude personalizace vozů. Za příplatek si tak bude možné upravit části vozu podle návrhu zákazníka, a například si klient objedná auto s částmi interiéru obsahujícími unikátní texturu navrženou zákazníkem, nebo text obsahující zákazníkovo jméno. S touto technologií již experimentuje BMW, a v budoucnu můžeme ale očekávat jak rozšíření do více automobilek a modelů, tak i personalizaci tvarů interiéru, například volantu přizpůsobeného na ruce zákazníka.

### 3.3 Zdravotnictví

Již v dnešní době je 3D tisk součástí zdravotnického průmyslu. Používá se převážně stejně jako v jiných odvětvích, a to při fázi designu a testování medicínských nástrojů a zařízení. V posledních letech se ale začal 3D tisk používat i v některých finálních výrobcích.

Jedním z nich jsou protézy. Při ztrátě končetiny se často nahrazuje právě protézou. Problémem ale je, že každý člověk je jinak velký, a ztratil danou končetinu v jiném místě. Krom jiných metod (otisk končetiny a výroba pomocí odlévání) se začalo využívat i 3D tisku. Po 3D oskenování například končetiny se může přechodka mezi protézou a končetinou vytisknout.

V budoucnu si budou moci lidé bez končetiny vyrobit celou specifickou protézu i doma. Oskenují svou končetinu, vyberou nebo navrhnu protézu, jejíž velikost se uzpůsobí velikosti a tvarům člověka, a protézu vytisknou na své domácí 3D tiskárně. Vznikne tak i možnost domácí výroby protéz specifických pro různé úkony (např. běhání, vaření, práce s PC). S protézami vyrobenými na domácí 3D tiskárně se již experimentuje, zatím je ale vždy zapotřebí odborníka, který vyrobí design vhodný pro každého jednotlivého zákazníka, protézu vytiskne a sestaví. Se zlepšováním 3D tiskové technologie a doprovodného software se tato možnost otevře pro každého.



*Obrázek 25 Protéza ruky vytisknutá na domácí 3D tiskárně (Tucker, 2015)*

V posledních letech se začal 3D tisk používat také na výrobu personalizovaných implantátů. V případech, kdy není možné použití standartního implantátu, anebo by jeho použití vyžadovalo větší zákroky a odebrání velkého množství původního materiálu (kosti nebo svalu), lze dnes namodelovat a vyrobit implantát který je přizpůsobený zranění pacienta.

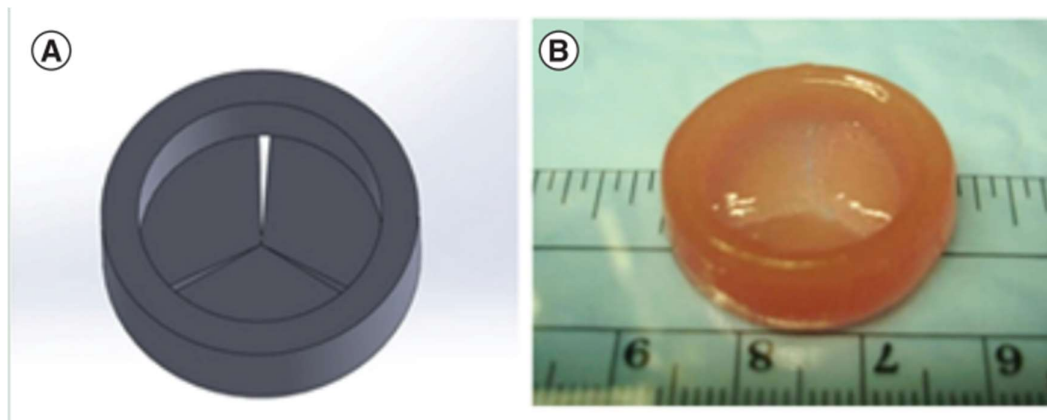
Se zlepšováním a snižováním ceny technologie 3D tisku budou tak v budoucnu téměř všechny implantáty na míru. Příkladem mohou být kyčelní implantáty, jejichž design bude automaticky upraven pacientovu tělu pomocí předchozího skenu, a bude tak dovolovat maximální pohyblivost při minimalizaci nutného odebrání původní kosti.

Posledním velkým využitím 3D tisku v medicíně bude tisk tkáně. Tento tisk je obdobou technologie FDM (a SLA), ale místo plastu používá takzvaný bioinkoust (bioink). Tento gel obsahuje buňky, které může lidské tělo přijmout jako svoje. Při aplikaci na zraněné místo, kde tělu chybí vlastní buňky, může bioinkoust urychlit léčbu, nebo i změnit její výsledek. Pokud by tělo nebylo schopné samo vrátit zraněné místo do původního stavu, nebo by při tvorbě nové tkáně vytvořilo chyby, lze tuto část zaměnit za tkáň vytisknutou bioinkoustem.

Tato metoda léčby je velmi experimentální a prozatím se testuje pouze použití na velmi malé poraněné plochy. Budoucnost nám přinese mnoho nových použití pro tuto technologii, bude například možné vytisknout celý orgán a poté ho nahradit v pacientově těle. Takto synteticky vyrobené orgány bude možno přizpůsobit každému pacientovi pro minimalizaci šance odmítnutí orgánu tělem, a výrazně poklesne čekací doba všech pacientů na specifický orgán.

Stejnou metodu bude možno použít i na opravu orgánů. Pokud dojde v orgánu k poškození nebo deformaci, půjde ovlivněná část opravit pomocí 3D tisku bioinkoustem. Jedním z problémů s touto metodou je nutnost operace, vyjmutí orgánu, a jeho následné navrácení po opravě. Vhodným řešením bude 3D tisk přímo v těle pacienta. S velmi malým chirurgickým zásahem se do těla pacienta zavede miniaturní 3D tisková hlava, která bude schopna opravit daný orgán přímo na místě. V případě opravy například žaludečních vředů, nebude potřeba chirurgického zásahu, a tisková hlava se zavede například přes jícn.

Před výrobou celých orgánů a rozsáhlejšího použití 3D tisku a bioinkoustu v medicíně nás zastavuje několik problémů. Jedním z nich je přesnost tisku. Dnešní bioink tiskárny nemají dostatečnou přesnost na to, aby perfektně imitovaly tkáň orgánů. Dalším je nepřítomnost vaskularizace (miniaturních cévek) v syntetické tkáni. Pokud je tedy vytištěná tkáň příliš velká, není schopna se dostatečně prokrvovat, a tím okysličovat. Tyto problémy jsou již studovány a v budoucnosti se objeví nové bioinkousty, ze kterých půjde tisknout celé orgány s dlouhou životností.



Obrázek 26 Vytisknutá srdeční chlopeč bioinkoustem (Hadisi, 2020)

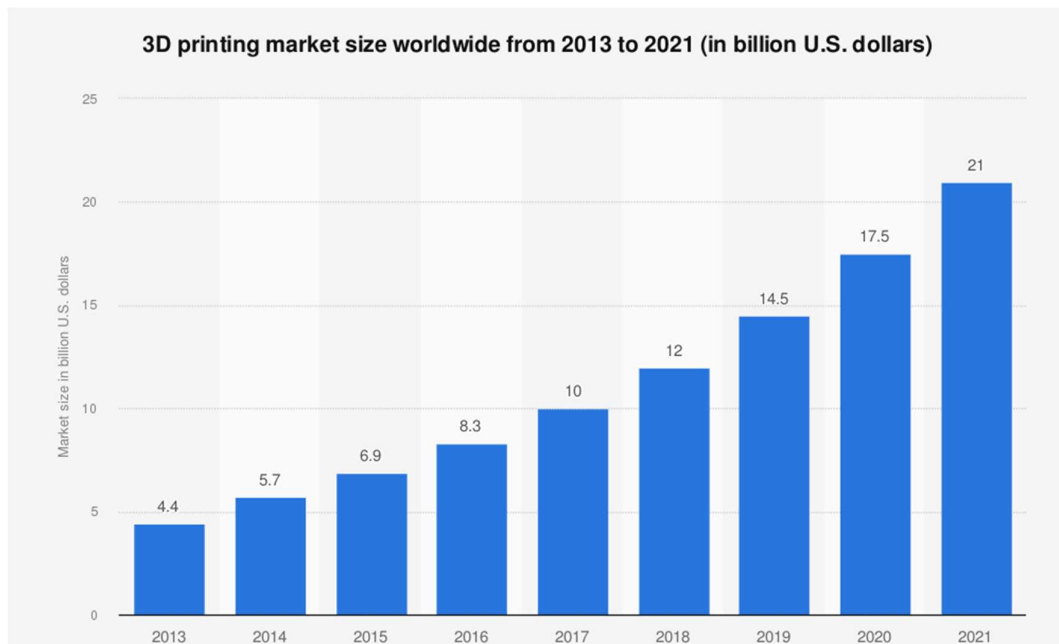
## 4. Ekonomická analýza a prognóza velikosti trhu 3D tisku

### 4.1 Ekonomická analýza velikosti trhu 3D tisku

Trh 3D tisku je velmi mladý a každým rokem významně roste, proto je těžké přesně odhadnout jeho velikost. Před odhady se také musí určit, co vše do tohoto trhu spadá, zda pouze trh 3D tiskáren, nebo i trh výrobních materiálů (například tiskové struny, resiny) a tiskových doplňků (například vytvrzovací komory pro SLA tiskárny).

Kvůli těmto komplikacím existuje více odhadů od různých společností, které se mohou lišit o několik set procent. Jednotlivé odhady se však převážně shodují v rychlosti růstu tohoto trhu. Tato kapitola obsahuje data od společností, které zahrnují jak trh výrobních materiálů, tak trh tiskových doplňků do svých odhadů.

V roce 2016 byla velikost trhu oceněna na 8,3 miliard USD. Za pouhé 4 roky vyrostl na více jak dvojnásobek, a to 17,5 miliard USD, navíc se předpokládá podobný růst v budoucnosti, jelikož se trh stále rozvíjí a až v současnosti se začíná 3D tisk rozšiřovat do jednotlivých odvětví. Vývoj trhu mezi roky 2013-2021 lze vidět na obrázku níže. (Grand View Research, 2022)



Obrázek 27 Historická velikost trhu 3D tisku (v miliardách USD) (Alsop, 2022)

V roce 2018 bylo zakoupeno 1,42 milionu 3D tiskáren. I přes velké rozšíření a zvýšení dostupnosti domácích 3D tiskáren bylo v roce 2019 77% prodaných

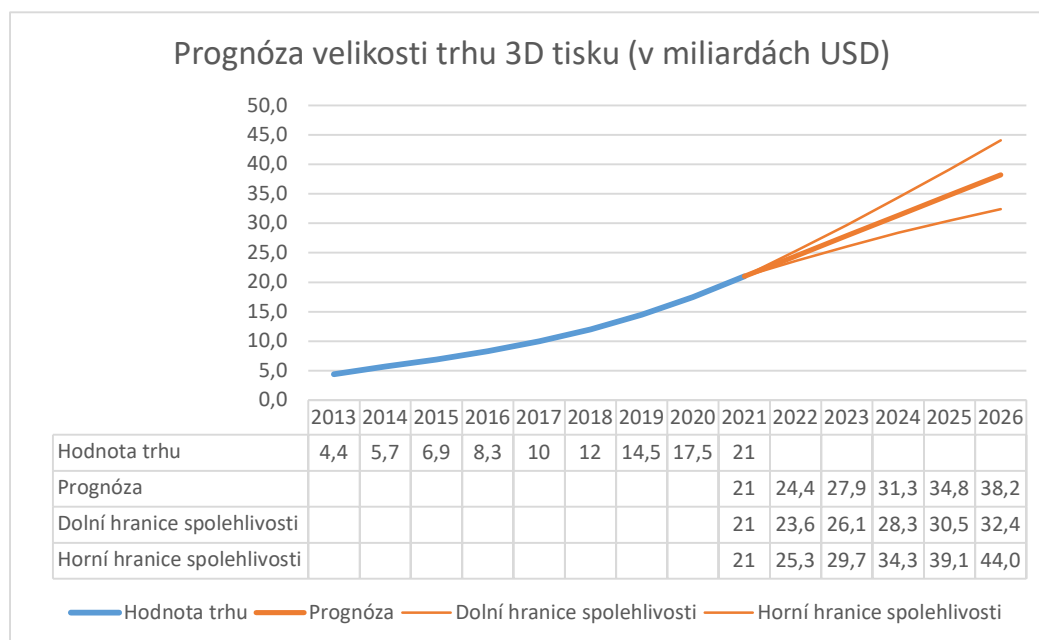
tiskáren industriálního typu. Z čísel je zřejmé, že 3D tisk není už pouze experimentální technika, ale velké množství firem ho začíná zařazovat do svých procesů, a to v naprosté převaze pro výrobu prototypů. (Grand View Research , 2022).

Na velikost trhu neměl závažný negativní dopad ani COVID-19, jelikož v letech 2020-2021 nebyla zaznamenána větší změna v meziročním růstu trhu, který se drží od roku 2014 kolem 20%. COVID-19 sice negativně ovlivnil například logistiku a výrobu 3D tiskáren, naopak ale díky práci z domova pozitivně ovlivnil poptávku a využití 3D tiskáren jak v profesionálním, tak domácím prostředí.

Z historických dat a znalosti současného stavu lze vyvodit, že velikost trhu 3D tisku bude v nejbližší době dále růst, alespoň do té doby, než plně pronikne do všech průmyslových odvětví.

## 4.2 Prognóza velikosti trhu 3D tisku

Prognóza velikosti trhu byla vypočítána pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95%, a existujících dat z let 2013-2021. Z vypočtených dat je zřejmé, že velikost trhu bude s vysokou určitostí nadále stoupat. Prognóza předpokládá meziroční růst o zhruba 13%, z dalších dostupných informací a vyhlídek trhu se ale lze přiklánět spíše k hodnotám horní hranice spolehlivosti, které se drží blíže dosavadnímu meziročnímu růstu 20%.



Obrázek 28 Prognóza velikosti trhu 3D tisku (v miliardách USD)



# 5. Ekonomická analýza a prognóza společností na trhu 3D tisku

## 5.1 Nejvýznamnější společnosti na trhu

Tato část se zabývá nejvýznamnějšími společnostmi na trhu 3D tisku, a to hlavně jejich historií, nabídkou produktů, a zaměřením na technologie a průmysl.

### 5.1.1 Prusa Research a.s.

Prusa Research je česká firma sídlící v Pražských Holešovicích založená Josefem Průšou v roce 2012. Společnost se zabývá prodejem 3D tiskáren a tiskových strun. Josef Průša odstartoval svou společnost, když začal prodávat součástky pro FDM 3D tiskárny a jeho design Prusa i3 se stal i díky open-source velmi populárním.

Nyní pracuje ve společnosti přes 600 zaměstnanců, kteří vyrobí a rozešlou přes 9000 tiskáren měsíčně. V roce 2019 se společnost umístila v žebříčku Deloitte 2018 Technology Fast 500 EMEA (Evropa, Afrika a Střední východ) na třetím místě s dosaženým růstem prodeje 17122 %. V roce 2019 se společnost Prusa Research s.r.o. rozdělila do čtyř akciových společností, a to na Prusa Development (vývoj 3D tiskáren), Prusa Polymers (výroba tiskových strun), Prusa Manufacturing (výroba 3D tiskáren), a Prusa Research (obchodní, marketingové a podpůrné aktivity).

Deloitte Technology Fast 500 EMEA 2018 results:

Ranking Based on EUR	Company	Country	Growth rate (EUR)
1.	Strossle International AB	Sweden	19,900%
2.	EMFA Yazılım Danışmanlık	Turkey	19,381%
3.	Prusa Research s.r.o.	Czech Republic	17,122%

Obrázek 29 Žebříček Deloitte 2018 Technology Fast 500 EMEA (Deloitte, 2019)

Průšovy tiskárny, z nichž je nejznámější Original Prusa i3, vyhrávají mnohá světová ocenění. V dubnu 2021 byl Josef Průša oceněn společností EY titulem podnikatel roku. Pro společnost je také velmi důležitá Open-source ideologie, a i nadále firma poskytuje volně ke stažení zdrojové kódy, návrhy tiskáren a tištěných spojů, a mnohé další. Nejnovějším produktem společnosti je tiskový materiál Prusament Resin určený pro tiskárny typu SLA. V budoucnu chce firma přinášet na trh další typy 3D tiskáren a upgradovat ty staré. Společnost se v současnosti zabývá vývojem 3D tiskárny a tiskové struny využitelné ve zdravotnictví. (Prusa Research, 2022)

### **5.1.2 Stratasys, Ltd.**

Stratasys je společnost založená roku 1989 Scottem Crump a jeho ženou Lisou Crump v Minnesotě. Tato společnost s kanceláři ve 13 zemích světa, spolupracuje se svými partnery především v aerospace a automotive průmyslu, ale také s menšími startupy v oblasti zdravotnictví. Dodává nejen 3D tiskárny a materiál, ale poskytuje i konzultační služby, software, a celkovou podporu v oblasti 3D tisku.

Stratasys zakládá na nejrozšířenějších technologiích 3D tisku, a to FDM a SLA. Vizionářským projektem byl v roce 2014 Urbee, prototyp prvního elektrického automobilu s tištěnou karoserií. Naposledy v roce 2021 společnost uvedla na trh novou verzi 3D tiskárny Origin One, a to po akvizici společnosti Origin provedené v roce 2020. Další aktualitou je nově vydaný software GrabCAD Print pro tiskárnu Stratasys H350. (Stratasys, 2022)

### **5.1.3 Makerbot Industries, LLC**

Společnost byla založena v roce 2009. Jako první vyrobila 3D tiskárnu Cupcake CNC, kterou v roce 2010 představila na Consumer Electronics Show. V roce 2013 proběhla akvizice od společnosti Stratasys, která se stala mateřskou společností Makerbot Industries. V roce 2014 společnost představila první stolní 3D tiskárnu připojenou na Wi-Fi. MakerBot také založil webovou platformu Thingiverse, která se stala největší online komunitou pro lidi zajímající se o 3D tisk. (Makerbot, 2022)

### **5.1.4 3D Systems, Inc.**

Společnost 3D Systems se sídlem v Rock Hill v Jižní Karolíně zahájila výrobu 3D tiskáren už v roce 1986. 3D Systems poskytuje široké portfolio hardwarových, softwarových, a materiálových řešení. Společnost rozděluje výrobu na průmysl a zdravotnictví. Do průmyslu spadá především aerospace a automotive, ale například i technologie pro výrobu šperků, polovodičů, nebo motorsport.

Společnost se pomocí 3D tisku snaží pro své zákazníky zlepšit výkonnost, maximalizovat výsledky a návratnost. Oproti například Prusa Research, 3D Systems využívá práva na patenty a modely s uzavřeným zdrojem. Společnost uplatňuje svou výrobu i při koronavirové krizi, kdy tiskne obličejové štíty a přesně padnoucí respirátory. (3D Systems, 2022)

### **5.1.5 Proto Labs, Inc.**

Proto Labs společnost založil v roce 1999 Larry Lukis, který chtěl zkrátit dobu výroby vstříkovaných plastových prototypových dílů. Tradiční proces vylepšil vývojem komplexního softwaru a mohl tak vyrobit díly za úměrně kratší čas. V následujícím desetiletí firma otevřela globální závody s CNC rychloobráběním v Evropě a Japonsku.

Zájem o 3D tisk Proto Labs zvýšila až v roce 2014, kdy spustila služby na průmyslové úrovni, a podpořila tak malosériovou výrobu. Společnost dnes vlastní výrobní závody v osmi zemích světa. Proto Labs nabízí výrobu prototypů a dílů na vyžádání z plastu, kovu a silikonové pryže. Součástí společnosti je i Protoworks, což je výzkumná a vývojová laboratoř hledající nové lepší výrobní procesy.

V říjnu 2019 Proto Labs spustili v Evropě polypropylenovou tiskovou výrobu, která umožňuje vyhotovit složitější prototypové návrhy z polypropylenu, a nejen jeho napodobeniny jako dřívě. Společnost se nadále rozšiřuje, což potvrzuje i dohoda o akvizici společnosti 3D Hubs oznámené v lednu 2021. (Proto Labs, 2022)

### **5.1.6 Materialise**

Materialise je společnost věnující se hlavně softwarovým řešením a službám 3D tisku, založená v roce 1990 v Belgii. Materialise uplatňuje 3D tisk v odvětví průmyslu automotive, aerospace, zdravotnictví, spotřebního zboží, ale i umění a designu. Materialise se snaží být průkopníkem na trhu s vývojem nových, inovativních řešení.

V roce 2020 Materialise uvedla na trh Mindware, což je poradenská služba pro 3D tisk. Tato služba nabízí přímý přístup ke konkrétním strategickým radám o použití 3D tisku. V reakci na pandemii COVID-19 společnost vyvíjí certifikované zdravotnické prostředky a poskytuje svým zaměstnancům a zákazníkům práci, kurzy, a komunikaci na dálku. (Materialise, 2022)

### **5.1.7 The ExOne Company, LLC**

ExOne je společnost založená v roce 1995, kdy byla vytvořena její první divize ProMetal pod obchodní jednotkou Extrude Hone. Následující rok Extrude Hone

získala licenci na komerční vývoj inkoustových 3D tiskových procesů vynalezených na Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Od roku 2002 do 2005 společnost uvedla na trh tři nové tiskové systémy. 3D tiskárnu R2 pro produkční a výzkumné projekty, X1-Lab zaměřenou na dentální společnosti a S-Print, což je písková tiskárna určená pro slévárenský trh. V roce 2005 zakladatel Extrude Hone prodal společnost pod Kennametal a zaměřil se s ExOne pouze na oblast 3D tisku.

Do roku 2019 společnost ExOne uvedla na trh více než tucet 3D tiskáren pro kov, písek, keramiku a kompozitní materiály. Přibližně polovina prodaných tiskáren se používá k tisku forem pro odlévání kovů. Druhá polovina je určena k přímému tisku kovů, keramiky a kompozitních dílů. Zákazníci společnosti používají 3D tisk především v aerospace a automotive průmyslu, ale lze ho najít i v energetice a obraně. (The ExOne Company, 2022)

## 5.2 Ekonomická analýza vybraných společností

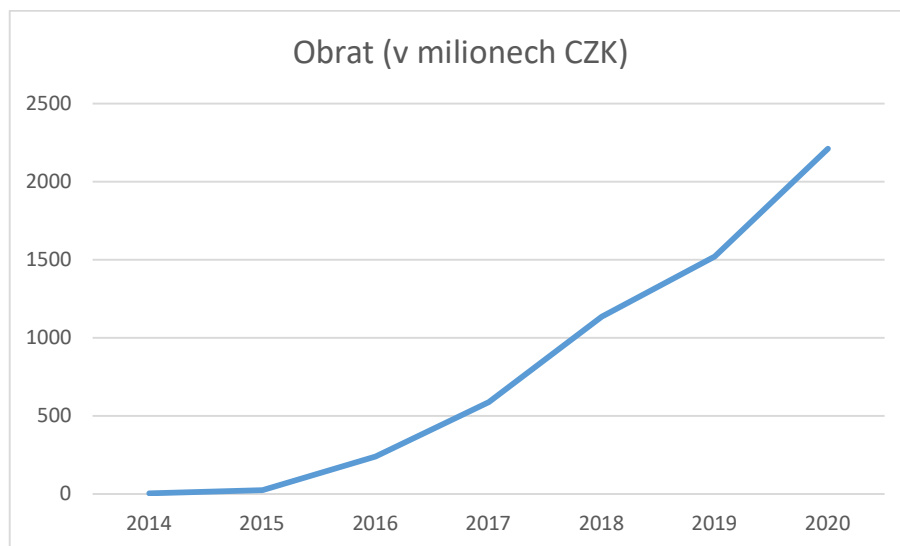
Pro bližší analýzu byly vybrány společnosti Prusa (Prusa Research a.s.), ExOne (The ExOne Company, LLC), a Materialize. Tyto společnosti byly vybrány díky svému silnému postavení na trhu, velkému budoucímu potenciálu, a díky svým odlišným zaměřením na technologie a zákazníka. Byl tak získán dobrý průřez trhem, kdy každá společnost také zastupuje své odvětví.

### 5.2.1 Prusa Research

Prusa Research je nejmladší z vybraných společností, což je značně poznat na jejích finančních ukazatelích. Oproti zbytku je ale jednou z nejrychleji rostoucí technologickou společností světa, a za pouhých 10 let své existence se vyšplhala na podobné hodnoty svých starších konkurentů.

Veřejně dostupná data zahrnují roky 2014-2020. Nutnou poznámkou je, že v roce 2019 došlo k rozdělení původní společnosti Prusa Research s.r.o. na Prusa Development a.s., Prusa Manufacturing a.s., Prusa Polymers a.s., a Prusa Research a.s., lze tedy očekávat dopad na finanční ukazatele se kterým je nutné počítat při analýze. Analýza obsahuje data z Prusa Research s.r.o. do roku 2019, a data z Prusa Research a.s. v dalších letech.

Obrat společnosti každým rokem roste, a téměř každý rok nabírá na tempu. Jedinou výjimkou je rok 2019, kdy nárůst obratu nepředčil předchozí roky, a to z důvodu rozdělení společnosti. Obrat dosahoval v roce 2020 přibližně 2,2 miliard CZK, s meziročním navýšením o 45%.



Obrázek 30 Prusa obrat (v milionech CZK)

Prusa je již dlouhodobě výdělečná společnost, což je zřejmé i z jejího čistého zisku. I přes to, že společnost značně investuje do rozvoje, výzkumu, a návrhu nových produktů, daří se jí udržet pozitivní čistý zisk, který již delší dobu stoupá, znovu s výjimkou roku 2019. V roce 2020 dosahoval čistý zisk společnosti 270 milionů CZK.



Obrázek 31 Prusa čistý zisk (v milionech CZK)

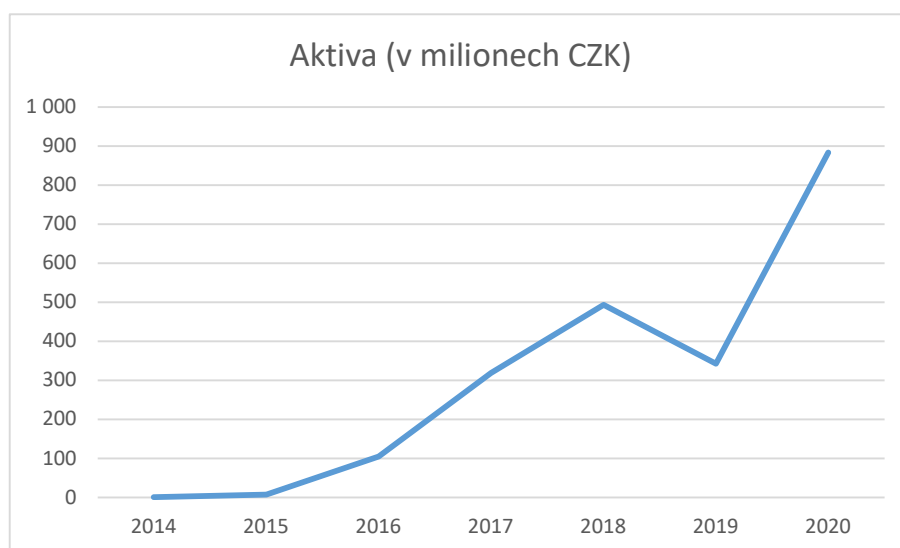
Výkonová spotřeba stoupá společně s jejím obratem, což lze očekávat, jelikož hlavní část příjmů pochází z prodeje 3D tiskáren. V roce 2020 dosahovala výkonová spotřeba 1,7 miliard CZK, což je zhruba 80% obratu společnosti.



Obrázek 32 Prusa výkonová spotřeba (v milionech CZK)

Aktiva společnosti dlouhodobě stoupají, kromě roku 2019, kdy došlo k rozdělení. Aktiva v roce 2020 dosahovaly téměř 884 milionů CZK, z toho naprostá většina jsou oběžná, a to kolem 96%. Z oběžných aktiv je téměř 54% ve formě peněžních prostředků na účtech společnosti, to je něco přes 454 milionů CZK.

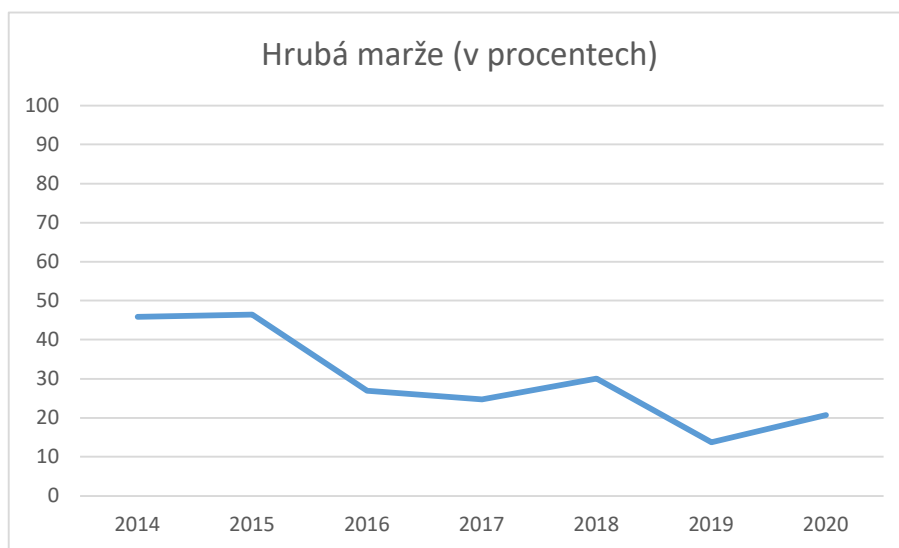
Společnost si udržuje značné rezervy, v peněžních prostředcích udržuje přes čtvrtinu hodnoty své roční výkonové spotřeby. Zde by sice mohl být prostor pro další investice do zrychlení vývoje, ale se současnou velmi vysokou rychlostí rozvoje společnosti by další investice nemusely znamenat větší rozdíl v růstu. Prusa preferuje vyšší bezpečnost a nižší rizikovost v případě neočekávaných výdajů, navíc volné prostředky znamenají rychlejší reakce na možné příležitosti, například nová technologie 3D tisku.



Obrázek 33 Prusa aktiva (v milionech CZK)

Mezi veřejně dostupnými informacemi není přesná marže jednotlivých produktů, je tedy potřeba počítat s hrubou marží vypočítanou pomocí obratu a výkonové spotřeby. Z vypočtených dat je zřejmé, že společnost svoji marži postupně snižuje, a to z původních 46% v roce 2014 na 21% v roce 2020. V roce 2019 dosahovala hrubá marže pouze 14%, což je hodnota, na kterou se nelze kvůli rozdělení společnosti spoléhat, ve skutečnosti se marže pohybovala výše, odhadem mezi 20-30%.

Prusa tiskárny jsou díky svému snižování hrubé marže cenově atraktivnější než jiné produkty, společnost tak prodá více tiskáren. Prusa nechce být luxusní značkou, ale snaží se být spojována s dobrou kvalitou a férovou cenou, její postupné snižování hrubé marže tedy dává smysl a značce prospívá.



Obrázek 34 Prusa hrubá marže (v procentech)

Obrat aktiv měří efektivnost využití aktiv společnosti za daný rok, a kde byla dostupná data, byl v této práci vypočítán s průměrnou hodnotou aktiv na začátku a na konci daného roku.

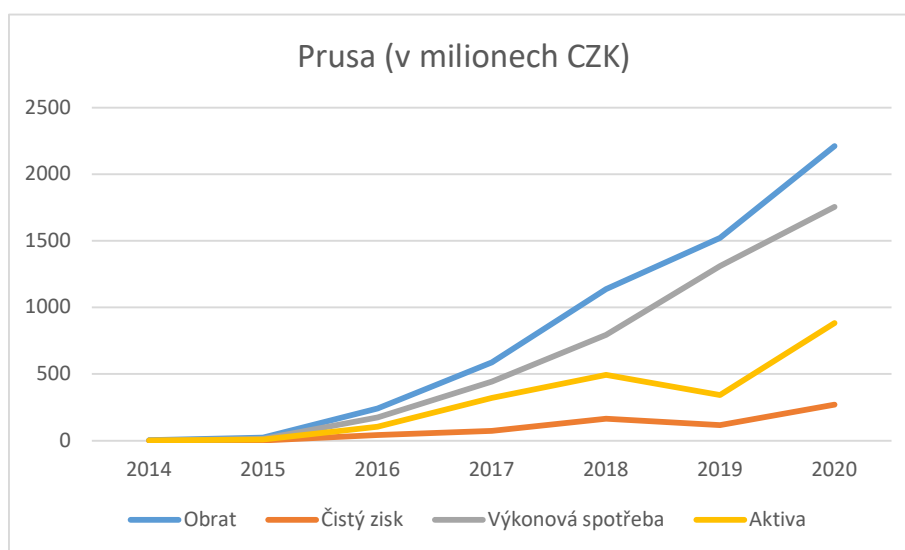
Obrat aktiv se ve společnosti Prusa pohybuje na poměrně vysoké hodnotě, a to v průměru kolem 3,5. Výjimkou byl rok 2015, kdy obrat aktiv dosahoval téměř 6, což je už opravdu vysoká hodnota pro výrobní společnost.

Tyto příznivé hodnoty jsou z části způsobené mládím společnosti, jelikož neměla dostatek času nastřádat stálá aktiva, ale rozhodně svědčí i o efektivnosti společnosti Prusa. Pokud se společnosti bude dařit udržovat tuto efektivitu výroby i v budoucnu, zajistí si tím nejen výdělečnost, ale i svižnou reakci na vývoj trhu a technologií.



Obrázek 35 Prusa obrat aktiv

Ze získaných dat je zřejmé že Prusa je zdravá firma na vzestupu, která je i přes svou mladost zisková. Společnost dobře investuje svoje prostředky, zachovává si velmi zdravou rezervu pro neočekávané situace, a snaží se vyjít zákazníkům vstříc cenou svých produktů. Prusa značně investuje do svého rozvoje a diverzifikuje své produktové portfolium o doplňky k 3D tisku, a to například o tiskové struny nebo resiny. Vybrané finanční ukazatele lze vidět na obrázku níže.



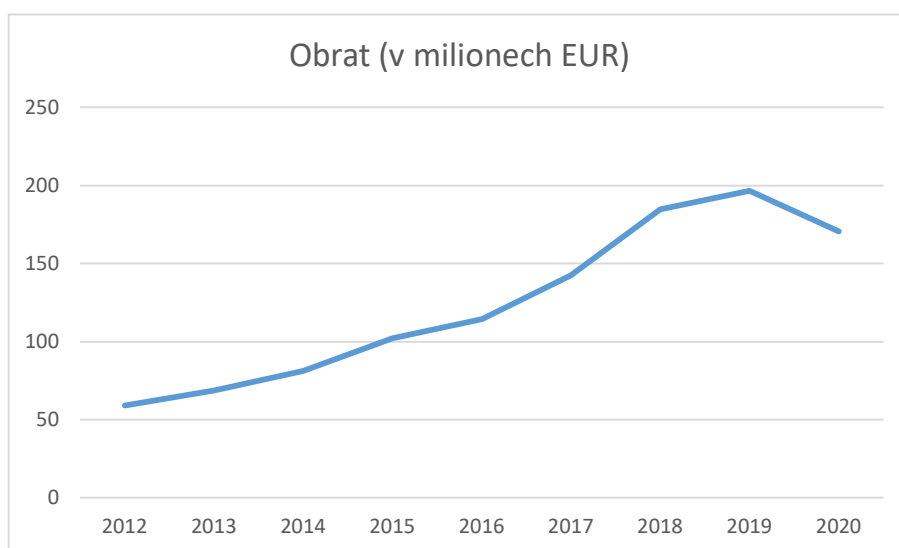
Obrázek 36 Prusa finanční ukazatele (v milionech CZK)



## 5.2.2 Materialize

Materialize je nejstarší z vybraných společností a na trhu 3D tisku je už od jeho začátků, ale i po více jak třiceti letech Materialize stále roste a firmě se daří. Oproti Prusa nebo ExOne se Materialize aktivně věnuje také poradenství a vývoji doprovodného softwaru, je s tím tedy počítat při finanční analýze. Společnost má veřejně dostupná data za roky 2012-2020.

Obrat společnosti se dlouhodobě zvyšuje, meziročně zhruba o 20%, a to až do roku 2019. V roce 2020 došlo k poklesu obratu o téměř 15% na 170 milionů EUR, a to z velké části také díky dopadu pandemie COVID-19. Nejúspěšnějším rokem tedy zůstává rok 2019, kdy došlo k obratu 196 milionů EUR.



Obrázek 37 Materialize obrat (v milionech EUR)

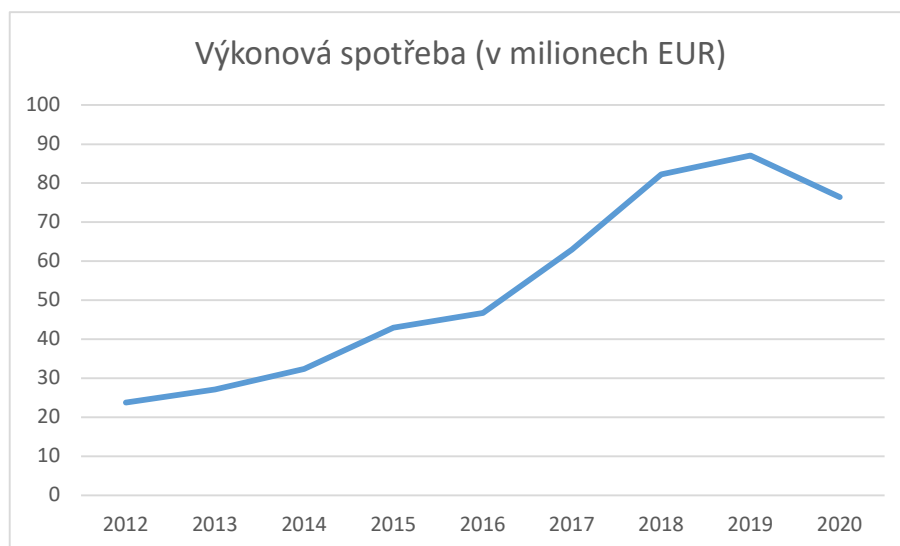
Čistý zisk společnosti se dlouhodobě pohybuje kolem nuly. Z nejvyššího čistého zisku 3,4 milionů EUR v roce 2013 se v příštích letech propadl až k čisté ztrátě 3 milionů EUR v roce 2016, a znovu stoupl na zisk 3 milionů v roce 2018. Velký propad můžeme také sledovat v roce 2020, kdy také díky nízkému obratu došlo k čistým ztrátám 7,2 milionů EUR.

Samotný čistý zisk není dobrým ukazatelem, podle kterého zle jednoznačně určit, zda je společnost zdravá nebo ne. V případě Materialize je velmi pravděpodobné, že společnost značně investuje do růstu, a preferuje budoucí zisky před okamžitými.



Obrázek 38 Materialize čistý zisk (v milionech EUR)

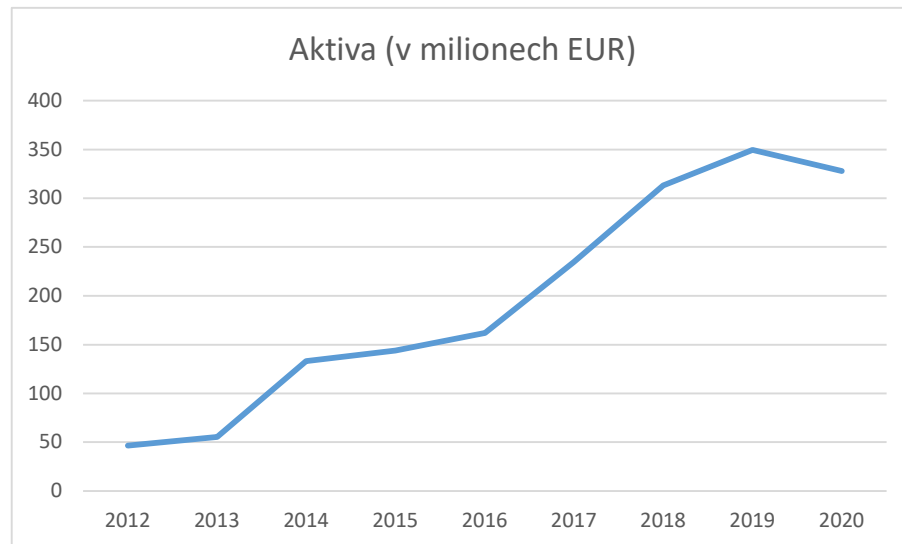
Výkonová spotřeba těsně kopíruje křivku obrátů, což lze očekávat, jelikož společnost neudržuje dlouhodobé zásoby a vyrábí převážně na zakázku. Stejně jako u obrátů, největší výkonová spotřeba byla v roce 2019, a to 87 milionů EUR.



Obrázek 39 Materialize výkonová spotřeba (v milionech EUR)

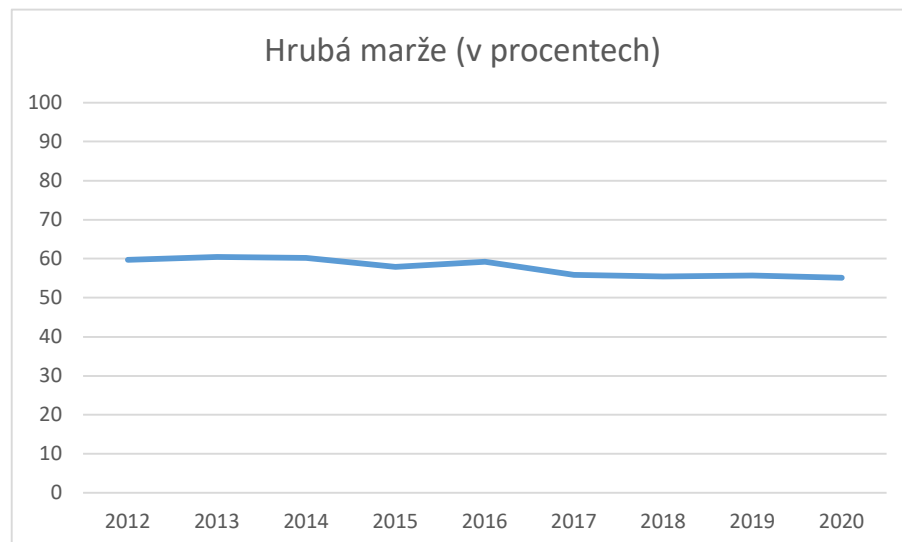
Společnosti téměř každým rokem nabývají i aktiva. Velkým skokem byl rok 2014, kdy Materialize vstoupila na burzu a poprvé veřejně nabídla své akcie (IPO). Aktiva jsou z velké části tvořena volně dostupnými penězi na účtech, ale také nemovitostmi a technologickým vybavením, do kterého Materialize každoročně investuje. V roce 2019 dosahovali aktiva maxima, a to téměř 350 milionů EUR, z toho 128 milionů EUR bylo tvořeno volnými prostředky na účtech společnosti.

Hodnota volných peněžních prostředků převažuje roční výkonovou spotřebu, je zde tedy velký potenciál pro větší investice. Společnost spoléhá na nízkou konkurenci a preferuje bezpečnou strategii, je tedy pravděpodobné že díky pandemii COVID-19 nezbankrotuje, stejného výsledku by ale dosáhla i s menší rezervou.



Obrázek 40 Materialize aktiva (v milionech EUR)

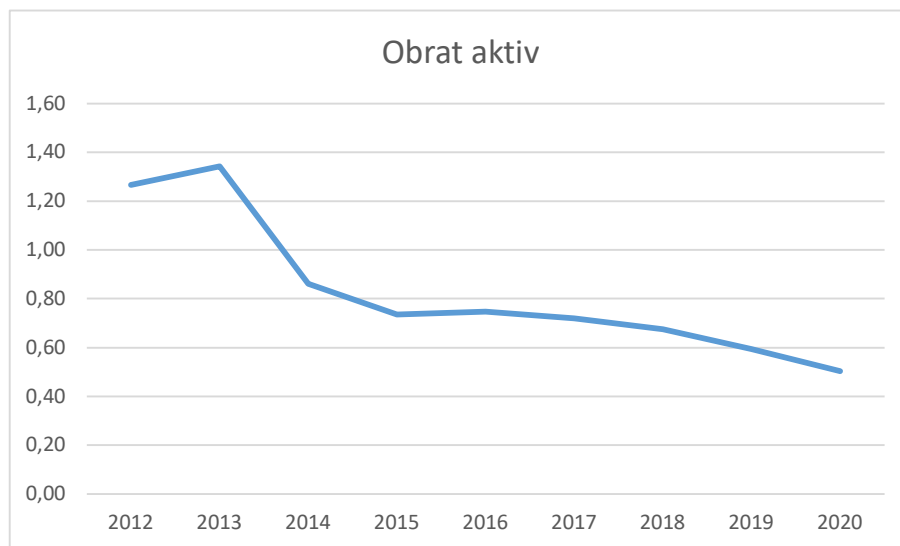
Hrubá marže není v případě společnosti Materialize spolehlivým ukazatelem. Společnost se nevěnuje pouze výrobě, ale z velké části také poradenství a jiným službám. Jediné, co zle z dat zjistit je fakt, že Materialize výrazně své marže nebo zaměření nemění, jelikož se hodnota hrubé marže dlouhodobě pohybuje kolem 58%, s velmi mírnou klesající tendencí.



Obrázek 41 Materialize hrubá marže (v procentech)

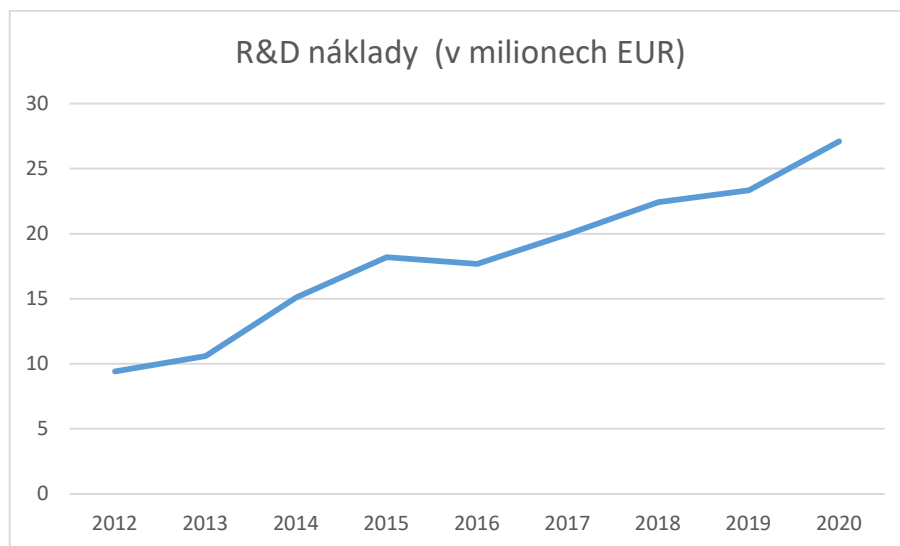
Obrat aktiv se u společnosti Materialize téměř každým rokem snižuje, a to od hodnoty přibližně 1,3 v letech 2012 a 2013 až k 0,5 v roce 2020. Tento klesající trend souhlasí s velkým příbytkem aktiv společnosti, kde Materialize také investovala do nových technologií a budov. Společnost se věnuje převážně zakázkové výrobě, vývoji softwaru a výzkumu, nelze tedy očekávat velmi vysoké hodnoty obratu aktiv, ale i přes to je 0,5 nižší hodnota.

Tento klesající trend ukazuje, že společnost v posledních letech ne hospodaří efektivně se svým kapitálem. Za pouhých 8 let se obrat aktiv dostal na méně než polovinu, a to na obecně nízkou hodnotu. I přes to, že je společnost zdravá, mohla by být mnohem efektivnější se svým kapitálem, a pokud tento trend bude pokračovat, Materialize by se mohla dostat v příštích letech do potíží.



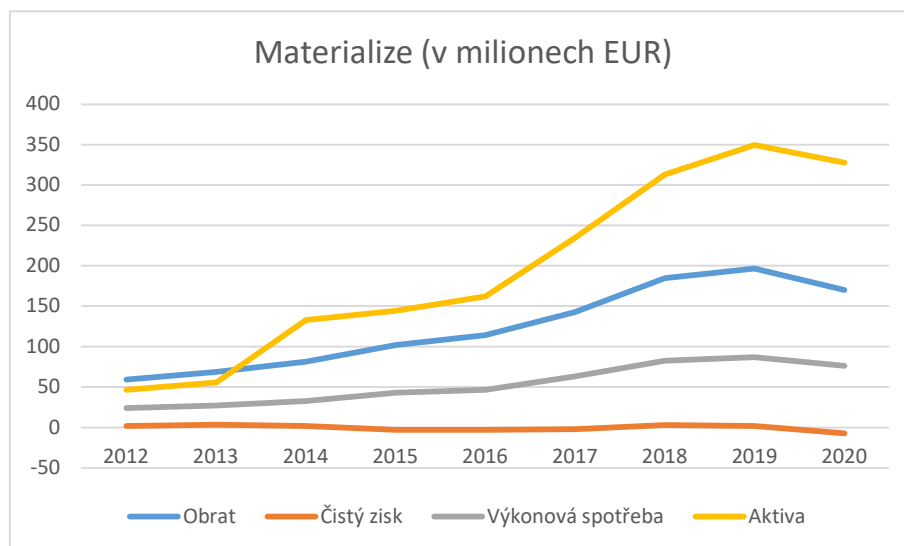
Obrázek 42 Materialize obrat aktiv

Náklady na výzkum a vývoj postupně stoupají, a to od roku 2012 z 9 milionů EUR, až na 27 milionů EUR v roce 2020. Tyto náklady se drží kolem 15% hodnoty ročního obratu. Společnost se tedy snaží o udržení kroku s kompeticí, a to i za cenu nízkého či negativního čistého zisku. Pokud by firma Materialize neinvestovala do výzkumu, byla by každý rok výdělečná, společnost ale preferuje investici do budoucnosti a upevnění jejího postavení na trhu.



Obrázek 43 Materialize R&D náklady (v milionech EUR)

Ze získaných finančních ukazatelů lze vyvodit relativní zdravot a úspěšnost společnosti Materialize, lze ale také vidět prostor pro zlepšení. Společnost značně investuje do výzkumu a vývoje, a to i na úkor ziskovosti, vsází tedy na budoucnost a na upevnění své pozice na trhu, i přes to by ale mohla se svými penězi pracovat efektivněji. Pokud se dlouhodobé investice do budoucnosti nezačnou v několika příštích letech ještě více vyplácet, mohla by se Materialize dostat do finančních potíží, v tuto chvíli se jedná pouze o potenciální ušlý zisk. Vybrané finanční ukazatele lze vidět na obrázku níže.



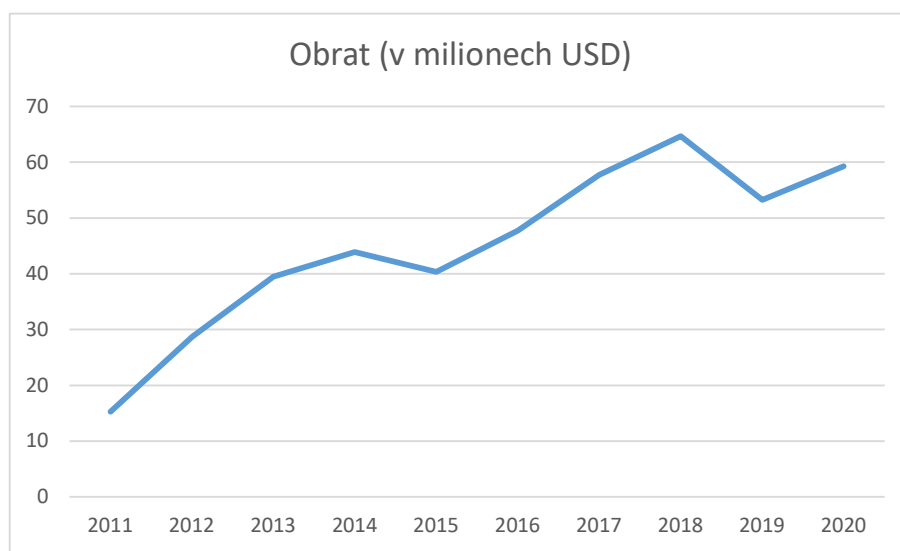
Obrázek 44 Materialize finanční ukazatele (v milionech EUR)

### 5.2.3 ExOne

Firma ExOne existuje již od roku 1995, na 3D tisk se zaměřuje ale až od roku 2005. Oproti zbytku vybraných společností se ExOne převážně věnuje vývoji a výrobě průmyslových 3D tiskáren na kov a keramiku, které fungují na bázi technologie Binder Jet.

V analýze jsou zahrnuta veřejně dostupná data za roky 2011-2020.

Obrat společnosti meziročně roste v průměru kolem 19 %, v posledních letech však tento růst zpomaluje. Za špatné roky lze považovat hlavně 2019 a 2020, kde ExOne také pocítila dopad pandemie COVID-19, pokles obratu v těchto letech však není kritický. V roce 2020 obrat dosahoval 59,2 milionů USD.



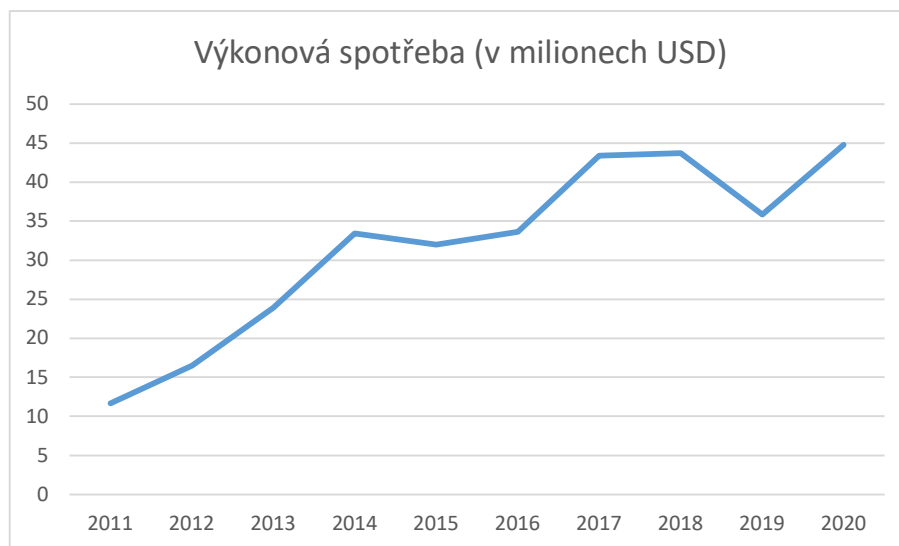
Obrázek 45 ExOne obrat (v milionech USD)

Společnost je dlouhodobě nezisková, a má každoroční ztráty v průměru kolem 15 milionů USD. Je možné že ExOne značně investuje do budoucnosti, a má velmi agresivní přístup ke zpevnění postavení na trhu, ale v tomto případě lze tyto hodnoty již považovat za negativum, jelikož společnosti nepřibývají aktiva, a ztráty každoročně překonávají i náklady na výzkum a vývoj. Dlouhodobě je tento trend neudržitelný.



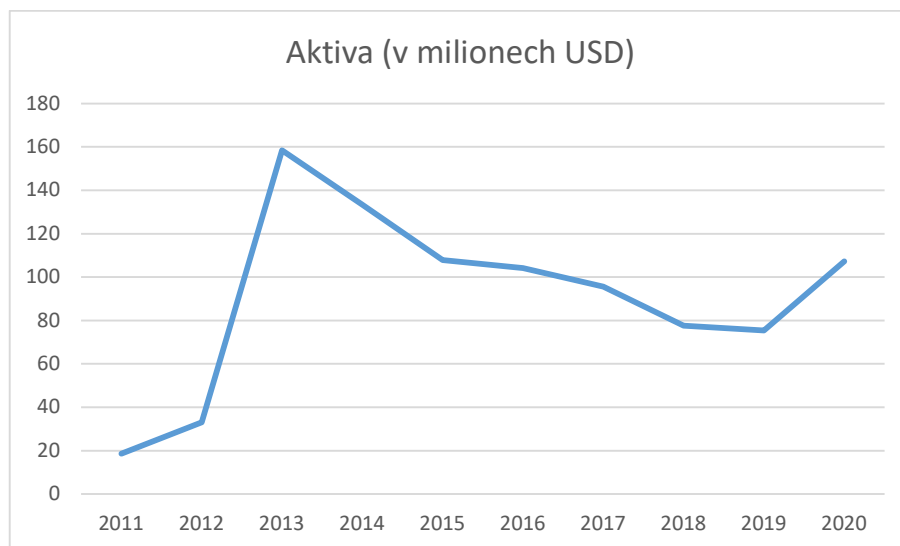
Obrázek 46 ExOne čistý zisk (v milionech USD)

Výkonová spotřeba stoupá poměrově s obraty a není na ní nic neobvyklého, jelikož se společnost zabývá výrobou. V roce 2020 dosahovala výkonová spotřeba 45 milionů USD.



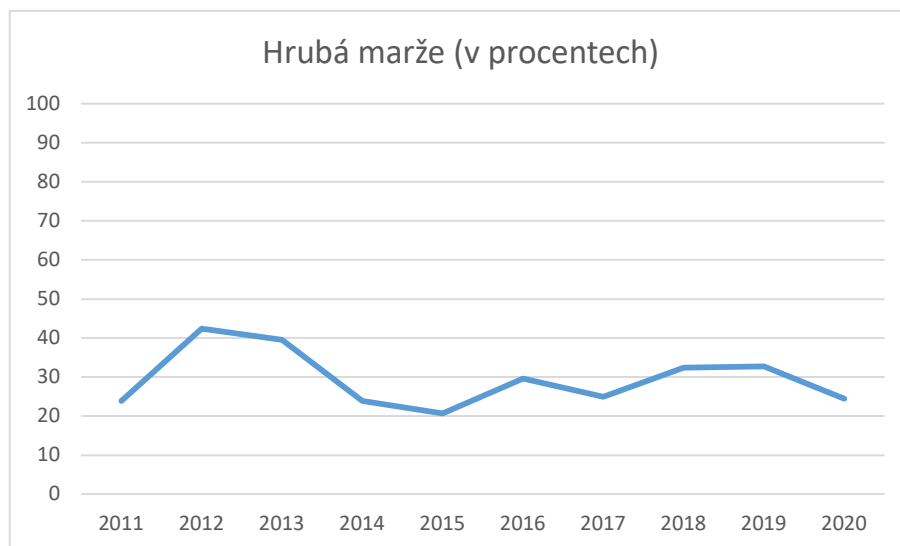
Obrázek 47 ExOne výkonová spotřeba (v milionech USD)

Aktiva společnosti postupně stoupají, velkou změnou však byl rok 2013, kdy společnost vstoupila na burzu a poprvé nabídla veřejně své akcie (IPO). Zde společnost získala velké množství volných prostředků, které v příštích letech investovala do vývoje, strojů a nových technologií. Z dat je zřejmý dlouhodobý pokles z 160 milionů USD v roce 2013, až na 75 milionů v roce 2019. Rok 2020 však přináší první nárůst aktiv po IPO, a to na 107 milionů USD.



Obrázek 48 ExOne aktiva (v milionech USD)

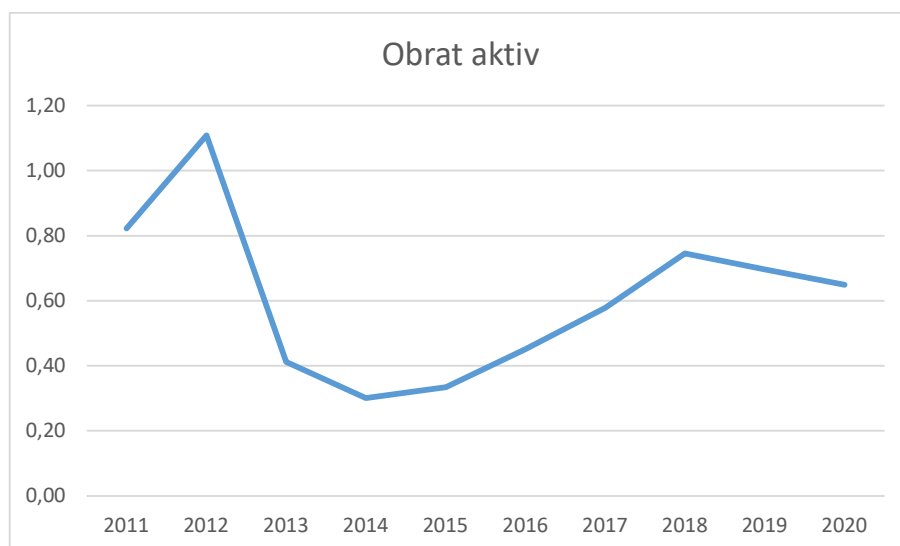
Hrubá marže společnosti se dlouhodobě pohybuje kolem 29%, a bude blízká skutečné marži jejich produktů, jelikož se společnost zabývá převážně návrhem a výrobou těchto strojů.



Obrázek 49 ExOne hrubá marže (v procentech)

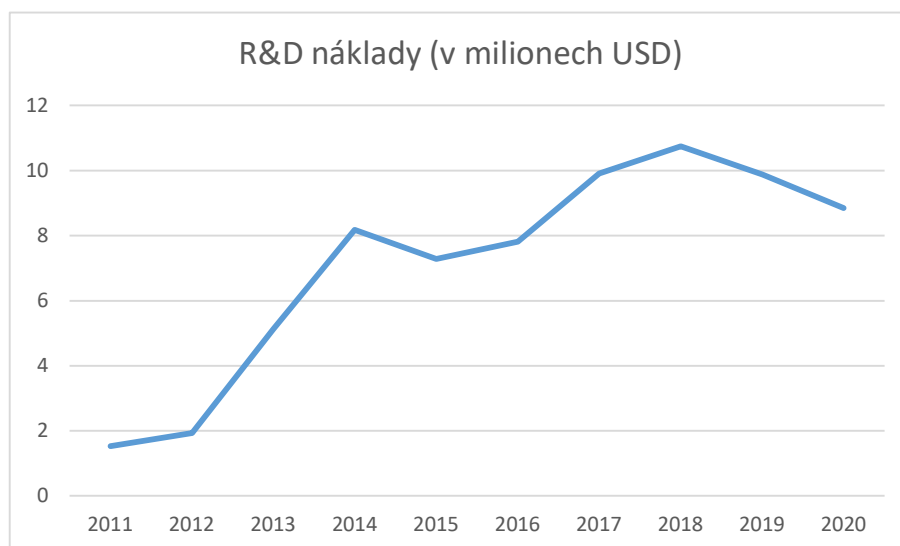
V letech 2011 a 2012 se obrat aktiv pohyboval kolem 0,95, což je adekvátní hodnota pro výrobní společnost. Hodnoty let 2013-2016 jsou již nízké, a to okolo 0,35, tyto hodnoty jsou však zkreslené realizací IPO v roce 2013, lze tedy předpokládat že situace společnosti není tak zlá, jak tento ukazatel uvádí. Roky 2017-2020 se pohybují kolem 0,65, a v posledních dvou letech nedošlo k dalšímu zlepšení. Tato hodnota je stále nízká pro výrobní společnost a vedení by se mělo snažit o efektivnější využití kapitálu.





Obrázek 50 ExOne obrat aktiv

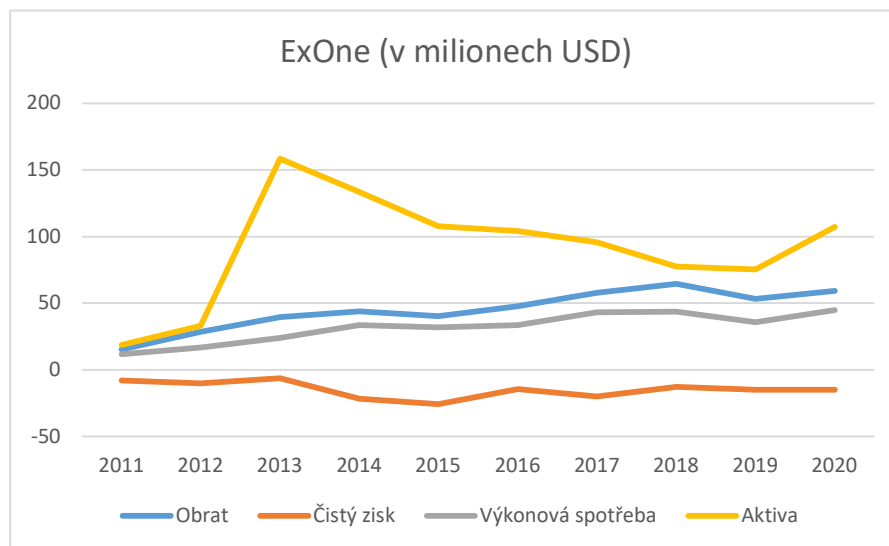
Náklady na výzkum a vývoj postupně stoupají i poměrově k obratu společnosti, a to z přibližně 9 % v letech 2011 a 2012, až na přibližně 17 % v posledních letech. Velkým skokem byl také rok 2014, kde je zjevné že ExOne použilo část volných prostředků získaných z IPO v roce 2013 na výzkum a vývoj. Hladina 17 % by měla být dostatečná na udržení kroku s konkurencí ve stejném oboru.



Obrázek 51 ExOne R&D náklady (v milionech USD)

Z finanční analýzy společnosti je vidět postupný, ale pomalý růst. Společnost je dlouhodobě nezisková a snaží se o investice do technologií a upevnění pozice na trhu. Tato taktika se může společnosti ExOne v budoucnu vyplatit, je však dlouhodobě neudržitelná. Jestliže společnost spotřebuje své prostředky z realizace IPO v roce 2013, a stále nebude zisková, může to být její konec. Na zvažování přichází zvýšení marží, nebo rozšíření do jiných odvětví a technologií

trhu 3D tisku, aby společnost nebyla závislá pouze na malé části trhu, na které operuje dnes. Vybrané finanční ukazatele lze vidět na obrázku níže.



Obrázek 52 ExOne finanční ukazatele (v milionech USD)

## 5.3 Srovnání finančních ukazatelů vybraných společností

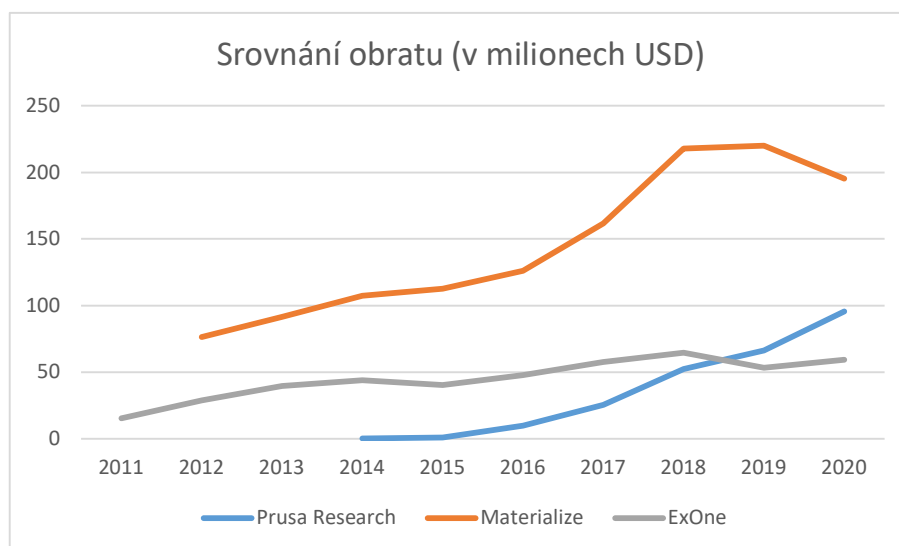
Při srovnání je potřeba počítat s různými zaměřenými společnostmi. Prusa Research se zaměřuje převážně na výzkum výrobu domácích a nízkorozpočtových 3D tiskáren. Materialize se zabývá vývojem doprovodného softwaru a poradenstvím pro 3D tisk. ExOne se zabývá výzkumem a výrobou industriálních 3D tiskáren na kov a keramiku, a výrobou prototypů na zakázku.

U srovnání je také potřeba brát v potaz několik událostí, a to s dopad pandemií COVID-19 v roce 2020, rozdělení společnosti Prusa Research s.r.o. v roce 2019, vstup na burzu (IPO) společnosti Materialize v roce 2014 a společnosti ExOne v roce 2013.

Pro srovnání finančních ukazatelů vybraných společností byly sjednoceny měny do USD, a to pomocí jednotného průměrného kurzu za celý každý rok, tím by měla být zajištěna dobrá porovnatelnost dat, která počítá s meziroční změnou kurzu.

Ze srovnání obrátů lze vidět velmi dobrý růst nejmladší společnosti Prusa Research, která v obrátu předstihla starší ExOne v roce 2019, a v roce 2020 dosahovala obrátu 95 milionů USD. To je ale stále pouze polovina obrátu nejstarší společnosti Materialize, která dosahovala v roce 2020 obrátu 195 milionů USD.

Prusa Research jako jediná s obrátu v posledních třech letech nestagnuje a stále roste, je tedy reálné, že v budoucích letech bude dosahovat vyššího obrátu než nejstarší Materialize.

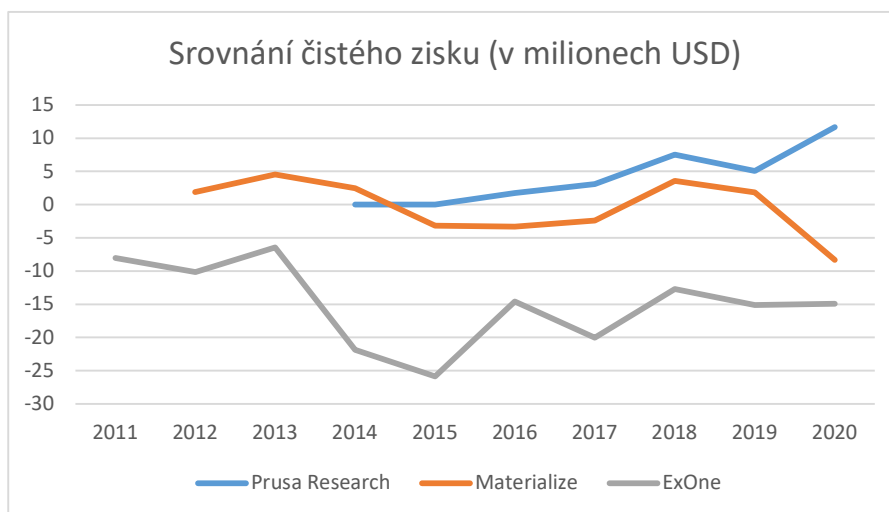


Obrázek 53 Srovnání obrátu (v milionech USD)

V čistém zisku lze vidět velké rozdíly mezi společnostmi. Prusa Research se dlouhodobě drží v plusových hodnotách, což značí zdravost společnosti. Čistý zisk se každoročně pohybuje kolem 10% celkového obrátu, a v roce 2020 dosahoval 11,5 milionu USD.

Materialize se drží blízko nuly, tuto hodnotu si udržuje díky každoročním investicím do aktiv které mění relativně k hodnotě celkového obrátu. Nulový čistý zisk může mít pozitivní efekty pro společnost, například nižší daňový základ.

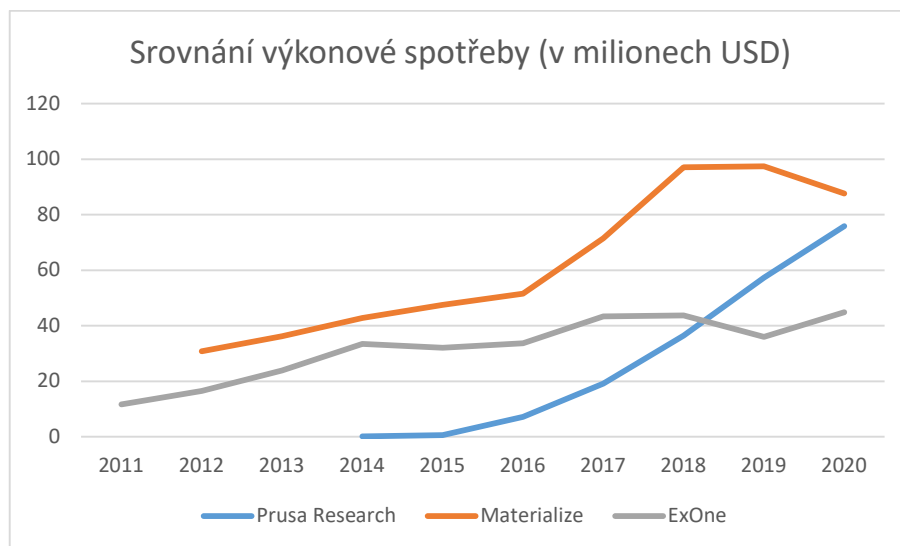
ExOne je již dlouhodobě v negativních hodnotách, to může znamenat velmi agresivní přístup ke zpevnění postavení na trhu, ale v případě ExOne lze tyto hodnoty považovat již za negativum, jelikož společnosti nepřibývají aktiva a ztráty každoročně překonávají i náklady na výzkum a vývoj. ExOne bude muset změnit svoji taktiku, aby se dostala do zdravého stavu. V roce 2020 dosahoval čistý zisk hodnoty -15 milionů USD. ExOne je tedy jediná z vybraných společností, u které její čistý zisk značí nezdravost.



Obrázek 54 Srovnání čistého zisku (v milionech USD)

Výkonová spotřeba si drží hodnotu relativně k obrátům, jedinou změnou je přiblížení se nákladů Prusa Research k nákladům společnosti Materialize, která se zabývá více službami než výrobou, její výkonová spotřeba je tedy nižší relativně k obrátu.

V roce 2020 dosahovala výkonová spotřeba 75 milionů USD pro Prusa Research, 87 milionů USD pro Materialize, a 44 milionů USD pro ExOne.

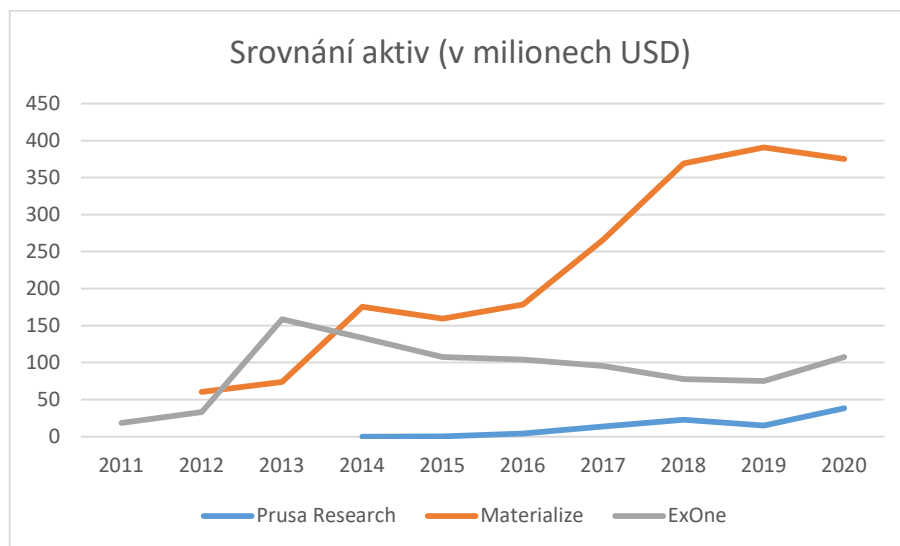


Obrázek 55 Srovnání výkonové spotřeby (v milionech USD)

Ve srovnání aktiv jsou mezi společnostmi velké rozdíly. Značně se zde projevuje mladost Prusa Research, která má velmi nízká aktiva, a v roce 2020 dosahovala pouze 38 milionů USD. Aktiva Prusa Research ale nejsou nízká pouze kvůli mladosti, ale i díky rozumným investicím do dlouhodobého majetku, a vysoké efektivitě využití aktiv.

Aktiva společnosti Materialize značně vzrostla v roce 2014, kdy poprvé vstoupila na burzu (IPO). V dalších letech její aktiva také rostly a v roce 2020 dosahovali 375 milionů USD, což je téměř desetinásobek společnosti Prusa Research. Materialize značně investuje do dlouhodobých aktiv a volných finančních rezerv, z části tomu tak je za účelem investic do budoucnosti a technologií. Důsledkem tohoto vysokého investování je také snížení čistého zisku.

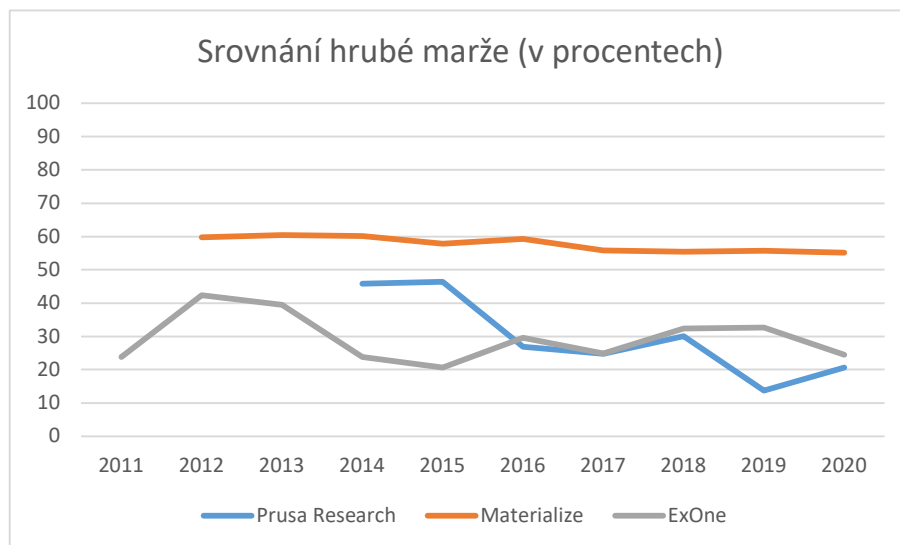
Společnost ExOne také zaznamenala velký růst aktiv z prvního vstupu na burzu (IPO), a to v roce 2013. Od té chvíle její aktiva mírně klesají, a do růstu se dostaly až v roce 2020, kdy dosahovaly 107 milionů USD, což je stále 3,5krát méně než Materialize.



Obrázek 56 Srovnání aktiv (v milionech USD)

U hrubé marže je značný rozdíl mezi společností Materialize a zbytkem. Díky svému hlavnímu zaměření na služby má Materialize v roce 2020 hrubou marži kolem 55 %, zatímco převážně výrobní společnost ExOne má hrubou marži kolem 24 %, a Prusa Research kolem 21 %.

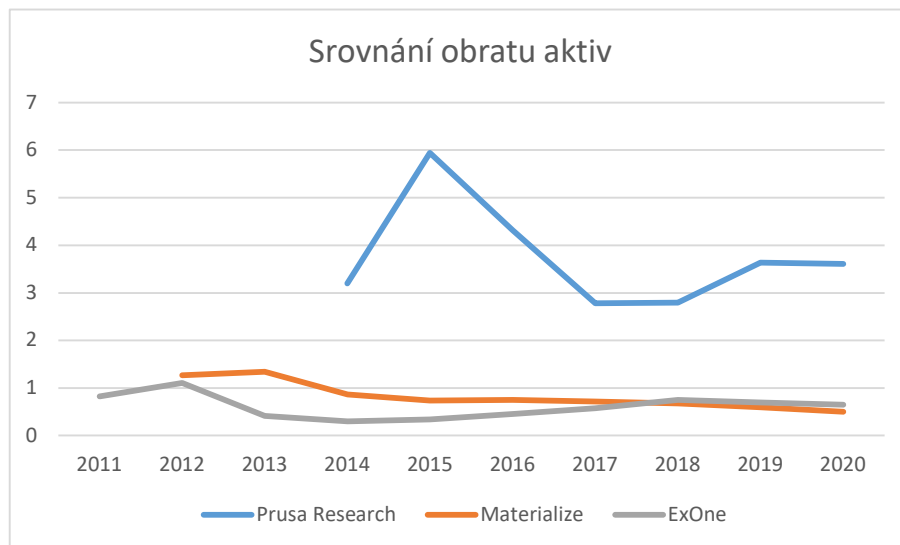
U společnosti Prusa Research dochází ke značnému poklesu hrubé marže, a to z původních 46 % v roce 2014 až na 21 % v roce 2020. U ExOne hodnota sice kolísá, nemá ale trend stoupat nebo klesat. U společnost Materialize dochází k velmi pomalému klesání, a to z původních 60 % v roce 2012 až na 55 % v roce 2020.



Obrázek 57 Srovnání hrubé marže (v procentech)

V obrátu aktiv lze pozorovat velký rozdíl mezi společnostmi Prusa Research a zbytkem. Její obrát aktiv dosahoval 3,6 v roce 2020, což je několikanásobná hodnota oproti ostatním společnostem. Výhodou pro Prusa Research je její mladost, nelze však přehlédnout její vysokou efektivnost hospodaření s aktivy oproti zbytku celého trhu 3D tisku, u kterého se průměr pohybuje blíž 1.

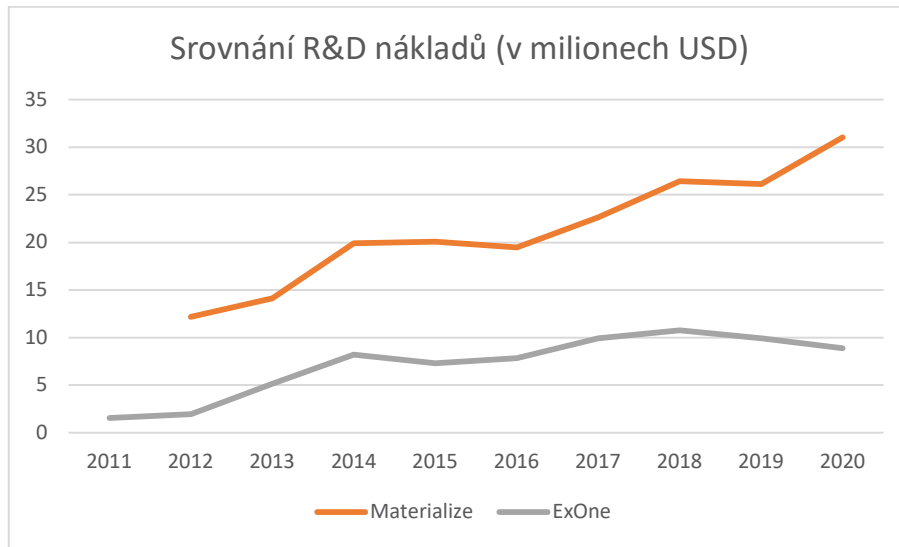
Společnost ExOne dosahovala v roce 2020 obrátu aktiv 0,65, a Materialize pouze 0,5. Pro obě společnosti je to nižší hodnota, než by bylo žádoucí, obzvláště pro ExOne, která se zabývá převážně výrobou a měla by se blížit 1.



Obrázek 58 Srovnání obrátu aktiv

Pro srovnání nákladů na výzkum a vývoj jsou dostupná data pouze od dvou společností, a to Materialize a ExOne. U Prusa Research pro tyto náklady nejsou veřejně dostupná data a v případě porovnání by šlo pouze o odhad. Ze srovnání je tedy vyřazena.

Společnost Materialize investuje oproti ExOne mnohem větší částky, a to 31 milionů USD v roce 2020, oproti 8,8 milionu USD u ExOne. Tento rozdíl zmizí, když se na investice podíváme jako na procento ročního obrátu, v tom případě jsou na tom obě společnosti velmi podobně, a ročně investují zhruba 15 % hodnoty svého obrátu do výzkumu a vývoje. Toto je poměrně vysoká hodnota, a je zde vidět, že trh 3D tisku je stále mladý a má velký potenciál pro vývoj nových technologií a procesů.



Obrázek 59 Srovnání R&D nákladů (v milionech USD)



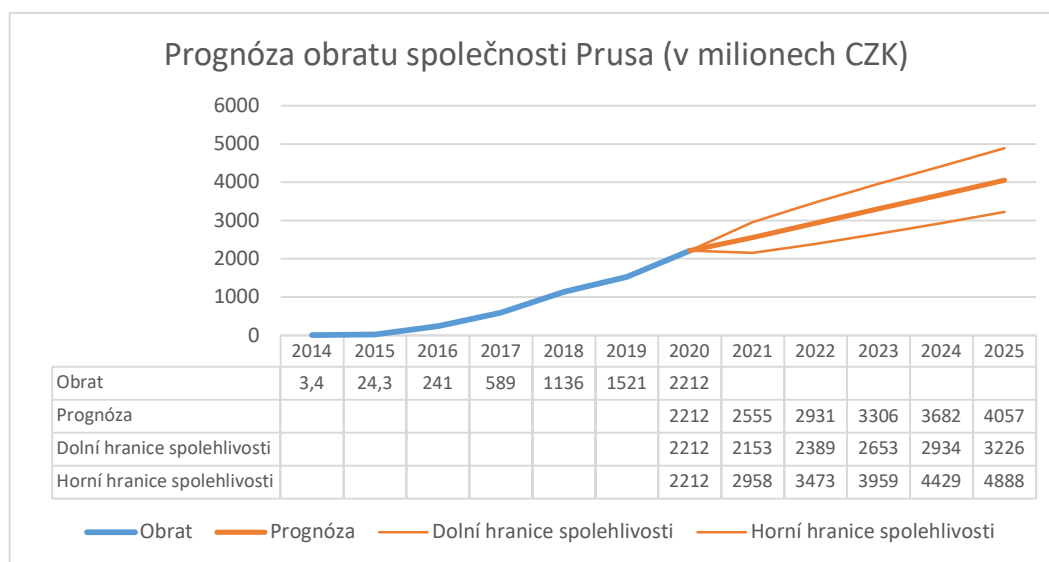
## 5.4 Prognóza vybraných společností

Pro prognózu budoucího vývoje vybraných společností byly vybrány dva důležité finanční ukazatele, a to obrat a hodnota aktiv. Pomocí prognózy těchto dvou ukazatelů lze částečně předpovědět budoucí zdraví společností. Prognózy byly vypočítány do roku 2025 pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95 %, a byla k nim využita veřejně dostupná data jednotlivých společností.

U prognóz je také potřeba počítat s několika událostmi, a to s rozdělením společnosti Prusa Research s.r.o. v roce 2019, vstupem na burzu (IPO) společnosti Materialize v roce 2014, a společnosti ExOne v roce 2013. Tyto události mohou změnit vstupní data prognóz, a tak ovlivnit její výsledky, ať už pozitivně, či negativně. Jelikož jde o události jednorázové, které se nebudou nebo nemohou opakovat, můžou tak ovlivnit přesnost prognózy, která se spoléhá na periodičnost dat, a tak vytvořit špatný obrázek o budoucím zdraví společnosti.

### 5.4.1 Prusa Research a.s.

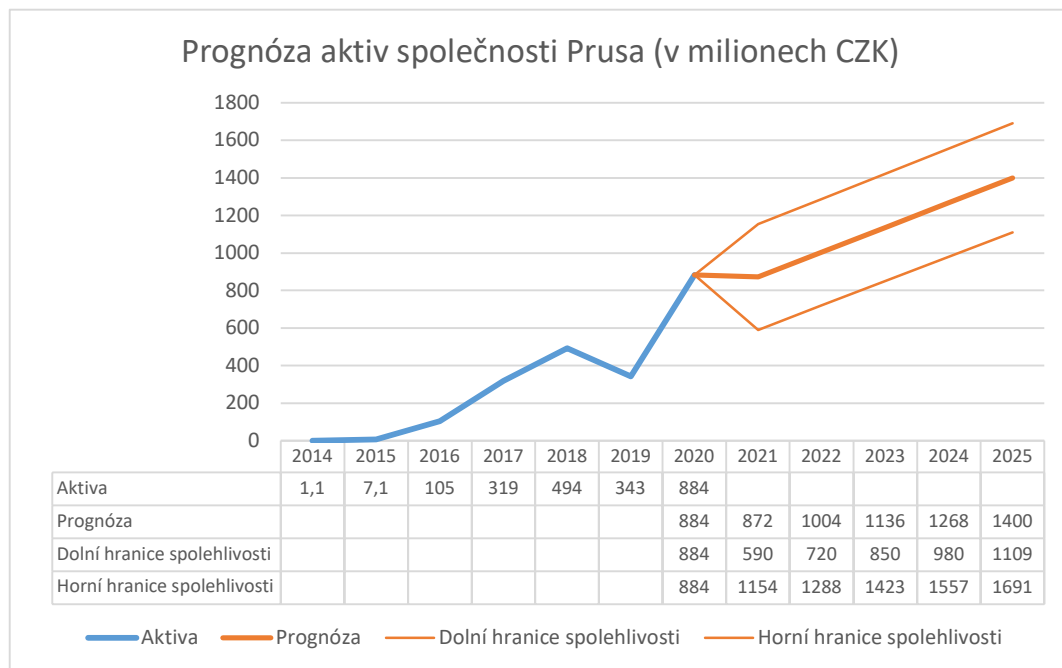
Z prognóz společnosti Prusa Research lze předpokládat úspěch společnosti i v budoucnu. Dle výpočtu má její obrat meziročně stoupat zhruba o 12 %, a to z hodnoty 2,2 miliard CZK v roce 2020 až na hodnotu 3,2 miliard CZK v roce 2025. Prognóza sice předpovídá pozitivní budoucnost společnosti, její výsledky jsou však poměrně konzervativní a neočekává stejný exponenciální růst, kterého Prusa Research dosahovala v minulosti. I v případě horní hranice spolehlivosti se předpokládá zvednutí obratu na pouhý 2,2násobek za příštích 5 let, oproti 91násobnému zvednutí obratu za předchozích 5 let.



Obrázek 60 Prognóza obratu společnosti Prusa (v milionech CZK)

Prognóza aktiv společnosti Prusa Research má podobnou vyhlídku jako prognóza obratu. V budoucnu se předpokládá navyšování aktiv, avšak mnohem nižším tempem, než tomu bylo doposud, a to meziročním navýšením zhruba o 12 %, místo 54 % mezi reprezentativními roky 2017 a 2018.

Nižší tempo hodnoty aktiv je v tomto případě zčásti způsobené rozdělením společnosti v roce 2019, a tím drastickým meziročním snížením aktiv mezi roky 2018 a 2019. Tento fakt ovlivnil vstupní data prognózy, která se tak stala více pesimistickou. Střední hodnota vypočtené prognózy dokonce předpokládá pokles aktiv i v roce 2021, který je však ve skutečnosti nepravděpodobný bez nové větší negativní události s těžkým dopadem na společnost Prusa Research v tomto roce. V případě této prognózy se tedy lze přiklánět k datům horní hranice spolehlivosti, a lze předpokládat i její překonání.

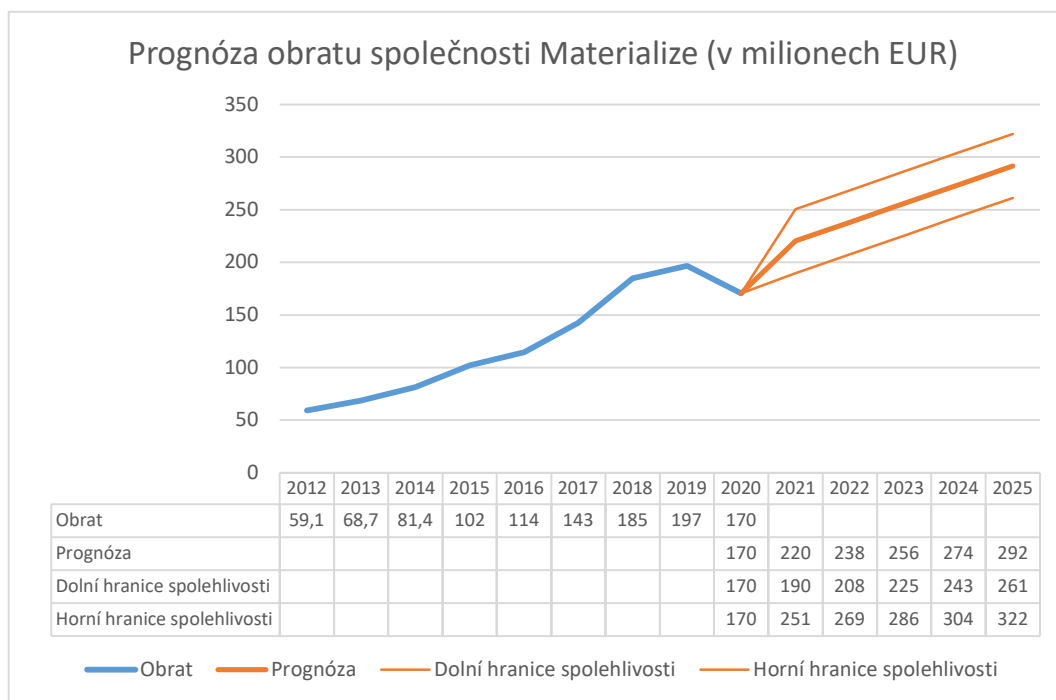


Obrázek 61 Prognóza aktiv společnosti Prusa (v milionech CZK)

## 5.4.2 Materialize

Prognóza obratu společnosti Materialize předpovídá i budoucí růst společnosti, a neočekává, že by pokles obratu v roce 2020 pokračoval i v dalších letech. Střední hodnota prognózy předpokládá v roce 2021 obrat 220 milionů EUR, což je vyšší hodnota než doposud nejvyšší obrat 197 milionů EUR v roce 2019, počítá se tedy s rychlým vzchopením z roku 2020. Další meziroční růst obratu se pohybuje kolem 7 %, a to až do hodnoty 292 milionů EUR v roce 2025.

Horní a dolní hranice spolehlivosti se od střední hodnoty prognózy odchyľuje málo, a to o zhruba 10 %, tento výpočet tedy počítá s poměrně jasnou budoucností. I přes tento fakt ale může matematický výpočet prognózy pracovat pouze s hodnotami předchozích let, a do svého odhadu nezohledňuje současný stav světové ekonomiky a další události, které budoucí obrat ovlivní. Proto bych byl skeptický v předpokladu takto rychlého zotavení z poklesu obratu v roce 2020, a budoucnost považoval za více nejasnou.

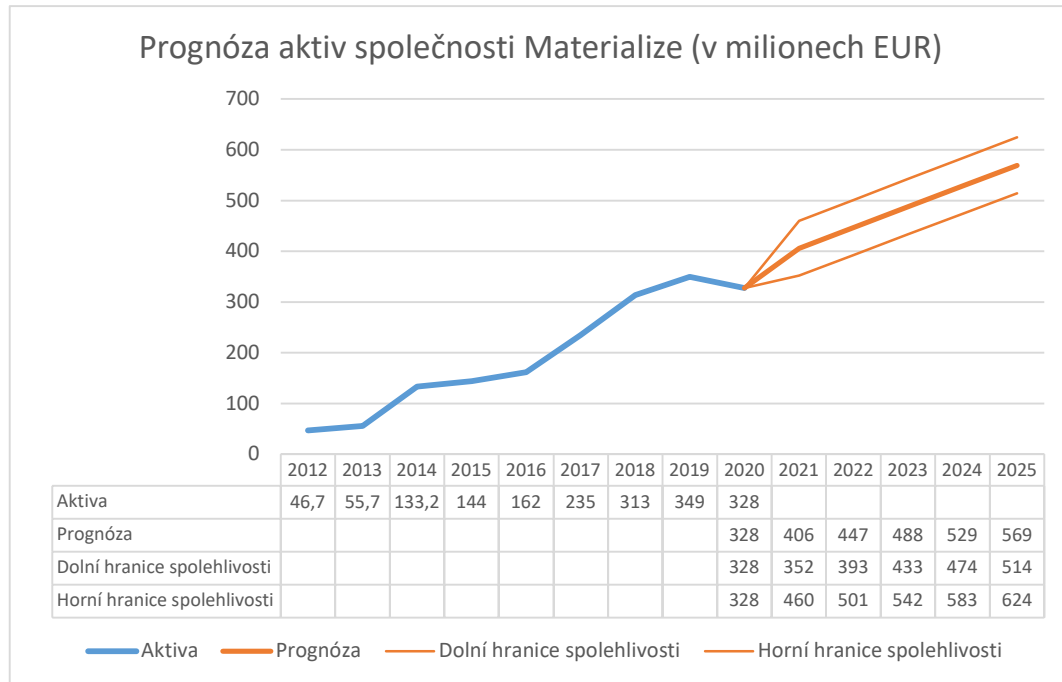


Obrázek 62 Prognóza obratu společnosti Materialize (v milionech EUR)

Prognóza aktiv vypadá velmi podobně jako prognóza obratu, a střední hodnota prognózy předpokládá další růst, a to ihned od roku 2021, kdy aktiva mají dosahovat 406 milionů EUR. V dalších letech se očekává meziroční nárůst o zhruba 8 %, a v roce 2025 má hodnota aktiv dosahovat 569 milionů EUR.

Prognózu společnosti Materialize ovlivňuje její IPO v roce 2014, které razantně navýšilo aktiva společnosti, a tak způsobilo větší pozitivitu výsledků prognózy. V tomto případě však jde pouze o malou změnu, jelikož aktiva společnosti

stoupala i po IPO, a uběhla od něj dlouhá doba, algoritmus ETS tedy přikládá datům z roku této události mnohem menší váhu. V případě této prognózy bych se přikláněl k dolní hranici spolehlivosti, a v roce 2021 předpokládal ještě nižší hodnoty než ve výsledcích výpočtu.

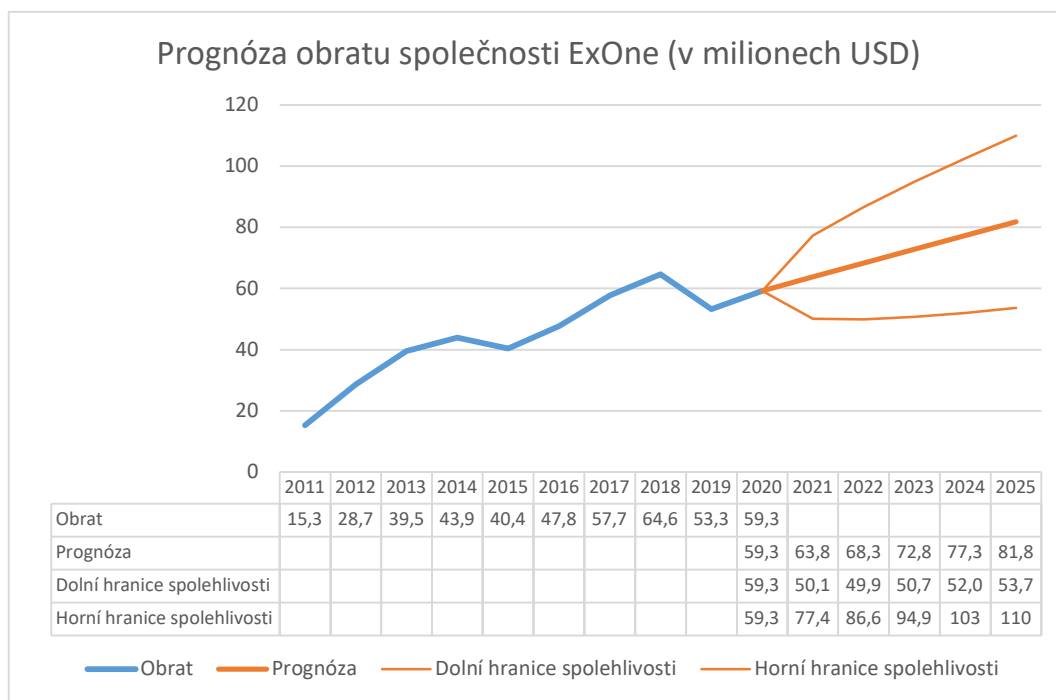


Obrázek 63 Prognóza aktiv společnosti Materialize (v milionech EUR)

### 5.4.3 The ExOne Co.

Prognóza obratu společnosti ExOne má velké odchylky hranic spolehlivostí od střední hodnoty prognózy, a to až 35 % v roce 2025, a tím pádem je budoucnost společnosti více nejasná. Střední hodnota předpokládá budoucí meziroční růst o přibližně 6 %, a to z hodnoty 59,3 milionů USD v roce 2020, až na 81,8 milionů USD v roce 2025, a horní hranice spolehlivosti odhaduje nárůst až na 110 milionů USD v roce 2025. Dolní hranice spolehlivosti však předpokládá počáteční pokles obratu až na 49,9 milionů USD v roce 2022, a velmi pomalý růst v příštích letech na 53,7 milionů USD v roce 2025.

Tato prognóza předpokládá velkou nejasnost v budoucnosti, ale i přes to počítá s pozitivní budoucností společnosti ExOne a předpovídá růst obrátů ve vzdálenější budoucnosti.



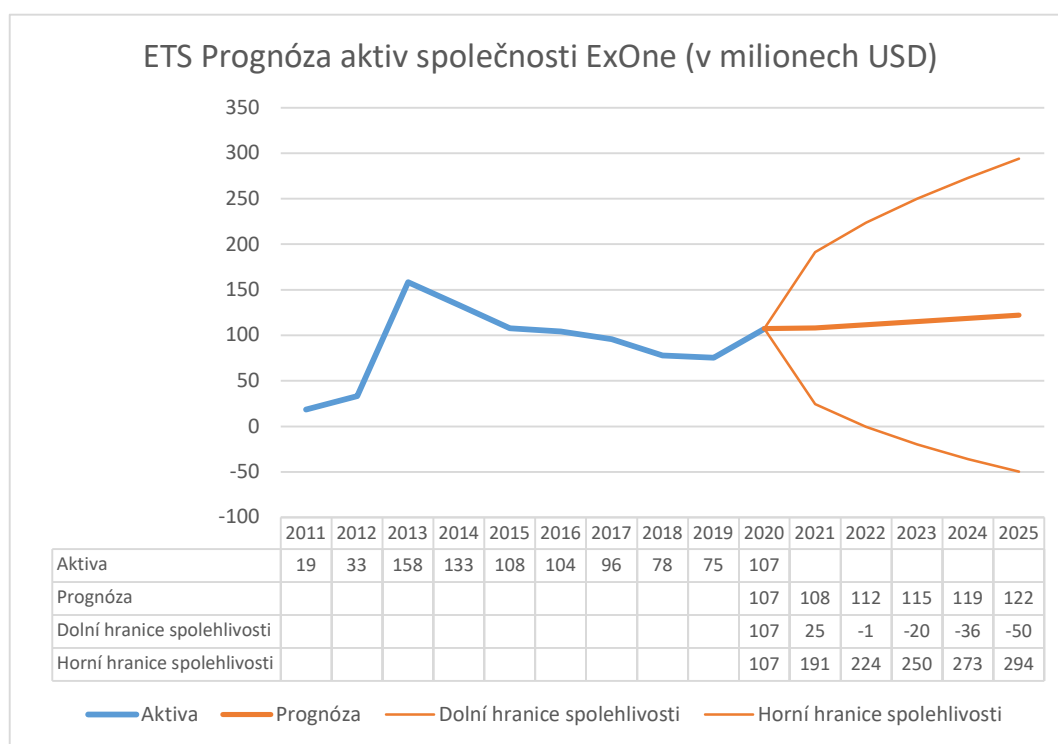
Obrázek 64 Prognóza obratu společnosti ExOne (v milionech USD)

Prognóza aktiv je více nejasná než prognóza obratu, a má velmi velké odchylky hranic spolehlivostí od střední hodnoty prognózy, a to až 140 % v roce 2025. Její střední hodnota předpokládá pomalý meziroční růst aktiv, okolo 3 % až na hodnotu 122 milionů USD v roce 2025. Její horní hranice spolehlivosti však předpokládá ztrojnásobení aktiv na 294 milionů USD v roce 2025, a její dolní hranice spolehlivosti předpokládá propad aktiv na nulu do roku 2022, což by znamenalo jistý bankrot společnosti.

Na tento výpočet prognózy má velký dopad IPO společnosti v roce 2013, která razantně navýšila její aktiva. Tato událost má dva následky, prvním z nich

zvýšení nejistoty algoritmu ETS, který zaznamenal náhlý růst hodnot v minulosti, a tak počítá s možností velkých změn hodnot i v budoucnu, a tím vzdálí horní a dolní hranice spolehlivosti od střední hodnoty. Druhým následkem je změna hospodaření společnosti s aktivy. ExOne může volit agresivní taktiku, a po určitý čas spotřebovat nadbytečná aktiva, například k vývoji nových technologií a upevnění postavení na trhu. Po spotřebování nadbytečných aktiv, a například vyřazení konkurence díky podhodnoceným cenám služeb a produktů, může společnost zastavit pokles aktiv a dostat se znovu do profitu. Prognóza tedy vidí pouze klesající hodnoty, a bude předpovídat i budoucí pokles. Tento pokles však může být taktikou společnosti a nelze se na něj plně spoléhat ve výpočtu.

V případě ExOne bych byl se přikláněl střední hodnotě prognózy, která očekává mírný růst aktiv v budoucnosti. Tuto prognózu podporuje fakt, že oproti zbytku vybraných společností je ExOne jediná, která v roce 2020 navýšila svoje aktiva, a oproti Materialize se navýšil i její obrat.



Obrázek 65 Prognóza aktiv společnosti ExOne (v milionech USD)

#### 5.4.4 Závěr prognóz vybraných společností

Prognózy obrátu společností byly vypočteny pomocí algoritmu exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95 %. Tento matematický model může zohlednit pouze data a informace z minulých let, a nemůže počítat s velkými světovými ekonomickými událostmi, jako je například pandemie COVID-19. Z tohoto důvodu se nelze stoprocentně spoléhat na vypočtené hodnoty, a interval spolehlivosti 95 % by v reálném světě neobstál, obzvláště jelikož při výpočtu byla dostupná data pouze do konce roku 2020, kdy jednotlivé společnosti pocítily pouze začátek dopadu COVID-19. I přes tento fakt nejsou vypočtená data nepoužitelná, je pouze potřeba počítat s jejich větší nepřesností, a dávat je do kontextu s aktuálními a minulými událostmi.

Dle výsledků prognózy by měla společnost Prusa Research zaznamenat zhruba 12 % růst obrátů v příštích letech, a u Materialize a ExOne je růst kolem 6,5 %. Tyto hodnoty jsou v porovnání s minulostí velmi konzervativní, hlavně u společnosti Prusa Research, i tak ale prognóza předpokládá pozitivní vývoj všech vybraných společností.

Prognózy aktiv dopadly velmi podobně jako obrátů, a to v případě společnosti Prusa Research a Materialize, které by měly dosahovat budoucího meziročního růstu aktiv o 12 % a o 8% v uvedeném pořadí. Stejně jako u obrátů jsou tyto prognózy konzervativní hlavně u společnosti Prusa Research, která mezi lety 2017 a 2018 dosahovala meziročního navýšení aktiv o 54 %.

Prognóza aktiv společnosti ExOne očekává velmi nejasnou budoucnost, a výsledky výpočtu ETS algoritmu s intervalem spolehlivosti 95 % zahrnují jak ztrojnásobení aktiv společnosti mezi lety 2020 a 2025 na 294 milionů USD, tak bankrot společnosti už do roku 2022. Takto nejasné výsledky jsou zčásti způsobeny IPO společnosti v roce 2014, která masivně navýšila aktiva, a tak značně rozevřela hranice spolehlivosti algoritmu ETS. V tomto případě bych se přikláněl střední hodnotě prognózy, která předpokládá mírný růst okolo 3 % až na hodnotu 122 milionů USD v roce 2025. Tuto prognózu podporuje fakt, že oproti zbytku vybraných společností je ExOne jediná, která v roce 2020 navýšila svoje aktiva, a zvýšil se i její obrát, a to i přes dopad pandemie COVID-19.

## 6.Závěr

Již dnes můžeme vidět, že aditivní výroba má velký potenciál, který bude schopná v budoucnu naplnit. Technologie 3D tisku je stále relativně mladá, ale i přes to již dnes našla mnoho využití v různých odvětvích nejen průmyslu. Existuje mnoho typů 3D tisku, které jsou vhodné pro různá použití, materiály, a velikosti výrobku. Tyto typy lze rozdělit do čtyř kategorií na bázi funkce, a to na extruzivní, práškovou, laminace, a fotopolymerizace. V dnešní době jsou nejvíce rozšířené tiskárny extruzivní a fotopolymerizační, v profesionální sféře však lze nalézt i tiskárny práškové.

V současnosti se 3D tisk hojně využívá ve fázi designu a testování nových výrobků, kde snižuje čas mezi iteracemi a zrychluje proces návrhu. Použití však zde nekončí, a 3D tisk se dostává i do sériové produkce, a to jako například ve výrobě odlehčených kovových dílů do letadel, použití tištěných specializovaných přípravků k přesnému ustavení obrobku, nebo k výrobě zdravotních implantátů vytvarovaných specificky pro daného pacienta. 3D tiskárny jsou každým rokem levnější, a z průmyslového prostředí pronikají více i do domácností.

Trh 3D tisku každým rokem roste o zhruba 20 %, a jeho velikost byla v roce 2021 odhadována na 21 miliard USD. Růst lze pozorovat i v ekonomické analýze tří významných společností, a to Prusa Research, Materialize, a ExOne. Tyto společnosti tvoří dobrý průřez jednotlivých odvětví trhu 3D tisku. Prusa Research je česká firma, která je světovou špičkou v návrhu a výrobě 3D tiskáren nejen pro domácí použití, a její finanční ukazatele tento fakt podporují. V posledních letech zažila velmi rychlý růst, a její obrat ročně stoupal o přibližně 45 % až na 2,2 miliard CZK v roce 2020. Společnost Materialize se věnuje hlavně poradenství a vývoji doprovodného softwaru pro 3D tisk. Již dlouhodobě její obrat meziročně stoupá o 20 % až na 170 milionů EUR v roce 2020. ExOne je špičkou ve vývoji a výrobě průmyslových 3D tiskáren na kov a keramiku, a nabízí také výrobu tištěných prototypů na zakázku. Její obraty meziročně stoupají o 19 % až na 59,2 milionů USD v roce 2020. Všem vybraným firmám se až do přítomnosti daří a v posledních letech dále rostly.

Z vypočtených ekonomických prognóz lze očekávat, že trh 3D tisku bude dále růst, a s ním i vybrané společnosti, kterými se tato práce blíže zabývá. Velikost trhu bude dosahovat meziročního růstu mezi 10 % a 20 %. Obraty vybraných společností budou v nejbližších letech také meziročně stoupat, a to o 12 % v případě Prusa Research, o 7 % u Materialize, a o 6 % u ExOne. Aktiva společností mají v příštích letech také stoupat, a to o 12 % v případě společnosti Prusa Research, o 8 % u Materialize, a o 3 % u ExOne. Pro výpočet těchto prognóz byl zvolen a použit algoritmus exponenciálního vyrovnávání (ETS) s intervalem spolehlivosti 95 %.



V těchto matematických výpočtech však nemůže být zohledněna aktuální a budoucí situace světové ekonomiky a logistiky, která je z velké části ovlivněná například pandemií COVID-19. V případě trhu 3D tisku lze pozorovat jak negativní dopady, hlavně ze strany zhoršené logistiky a výrobní kapacity, tak i pozitivní dopady, a to zejména průnik 3D tisku do domácností a firem díky zvýšení práce z domova. Výsledkem je zvýšení nákladů na výrobu a přepravu 3D tiskáren, ale i zvýšení poptávky po 3D tiskárnách a příbuzných službách, a tak se pozitiva a negativa dopadu pandemie COVID-19 z velké části navzájem vynulují.

Prognózy technologického vývoje 3D tisku předpokládají, že v budoucnosti přinese 3D tisk možnost výroby specializovaných součástek s nižší hmotností a cenou pro mnoho odvětví, například aerospace a automotive. Zároveň umožní výrobu náhradních dílů bez nutnosti jejich skladování. 3D tisk bude také sloužit jako alternativní výrobní metoda na místech, kde není možné nebo je moc drahé zajistit metody jiné, například povrch Měsíce, Marsu nebo ISS. V medicíně bude možné po celém světě pomocí 3D tisku vyrobit personalizované protézy a implantáty, a to nejen v profesionálním prostředí. Stejně tak bude možné vytisknout celé orgány, díky čemuž klesnou čekací doby pacientů s potřebou transplantace. V případě menších poranění orgánů nebo tkáně bude možné opravit poranění přímo v těle pacienta.

3D tisk bude mít velký dopad na budoucnost lidstva.

# Seznam použité literatury

- 3D Printing Industry. (2013). *CREATING ELECTRODES VIA TWO-PHOTON POLYMERIZATION*. Načteno z <https://3dprintingindustry.com/>
- 3D Systems. (2022). Načteno z <https://www.3dsystems.com/>
- Additive-X. (2016). Načteno z <https://www.additive-x.com/>
- Alsop, T. (2022). *Global 3D printing market size forecast 2013-2021*.
- Balli, J. (2018). *Continuous Liquid Interface Production of 3D Objects: An Unconventional Technology and its Challenges and Opportunities*.
- Beamler. (2021). Načteno z <https://www.beamler.com/>
- Bionic Production. (2022). Načteno z <https://bionicproduction.com/>
- CEREC. (2022). *Full tooth restoration in just one visit*. Načteno z <https://www.medfordsmiles.com/detail/cerec-3d/>
- Cottingham, A. (2021). *Top 10 Companies in 3D Printed Food*. Načteno z <https://all3dp.com/1/3d-printed-food-top-companies/>
- CT Dent. (2022). *Surgical Guide*. Načteno z <https://ct-dent.co.uk/surgical-guide/>
- Dadhania, S. (2021). *3D Printing Meets Meat in the Largest Cultured Steak Ever Made*.
- Dartec. (2020). Načteno z <https://www.dartec.com.sa/>
- Deloitte. (2019). *Deloitte Fast 500 EMEA*.
- Grand View Research . (2022). *3D Printing Market Size, Share & Trends Analysis Report*.
- Hadisi, Z. (2020). 3D printing for the future of medicine. *Journal of 3D Printing in Medicine*.
- Hambleton, B. (2021). *Adidas launches newest version of the first-ever 3D-printed midsole*. Načteno z <https://runningmagazine.ca/sections/gear/adidas-launches-newest-version-of-the-firs-ever-3d-printed-midsole/>
- Hendrixson, S. (2020). 4 Ways 3D Printing Is Changing Medical Implants.
- Hoffman, T. (2020). *3D Printing: What You Need to Know*. Načteno z <https://www.pcmag.com/news/3d-printing-what-you-need-to-know>
- Inovar Communications. (2017). Airbus and Arconic install first metal AM part on series production commercial aircraft. *METAL AM*.
- Kamble, P. (2021). COVID Key: A Multifunctional Device to Avoid Touch. *Indian National Academy of Engineering*, stránky 819-838.

- Kellner, T. (2017). *3D-Printed 'Bionic' Parts Could Revolutionize Aerospace Design*. Načteno z <https://www.ge.com/news/reports/3d-printed-bionic-parts-revolutionize-aerospace-design>
- Kleinman, Z. (2020). *Coronavirus: 3D printers save hospital with valves*. Načteno z <https://www.bbc.com/news/technology-51911070>
- Lewis, J. A. (červenec 2004). Direct writing in three dimensions. *Materials Today*, stránky 32-39.
- Low, Z.-X. (únor 2017). Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. *Journal of Membrane Science*, stránky 596-613.
- Makerbot. (2022). Načteno z <https://www.makerbot.com/>
- Materialise. (2022). Načteno z <https://www.materialise.com/>
- Microlight 3D. (2022). Načteno z <https://www.microlight3d.com/>
- Mostafaei, A. (červen 2021). Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science*.
- NASA. (2020). *3D Printed Rocket Engine Parts Survive 23 Hot-Fire Tests*. Načteno z <https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/releases/2020/3d-printed-rocket-engine-parts-survive-23-hot-fire-tests.html>
- NASA. (2020). *ISRU-Based Robotic Construction Technologies for Lunar and Martian Infrastructures*. Načteno z [https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2012\\_phasel1\\_fellows\\_khoshnevis.html](https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2012_phasel1_fellows_khoshnevis.html)
- Ofenheimer, A. (2018). *3D-metal printing in the automotive industry*.
- Oliveira, D. A. (2021). *A Workflow with No Limit*.
- Parupelli, S. K. (srpen 2019). Comprehensive Review of Additive Manufacturing. *American Journal of Applied Sciences*, stránky 244-272.
- Proto Labs. (2022). Načteno z <https://www.protolabs.co.uk/>
- Prusa Research. (2022). Načteno z <https://www.prusa3d.cz/>
- Sarwar, M. H. (2022). *Do 3D Printed Houses Use Rebar?* Načteno z <https://3dprintschooling.com/do-3d-printed-houses-use-rebar/>
- Scopigno, R. (2015). *Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage*.
- Sculpteo. (2022). Načteno z <https://www.sculpteo.com/>
- Sinterit. (2022). Načteno z <https://sinterit.com/>
- Stratasys. (2022). Načteno z <https://www.stratasys.com/>

- Sweet, R. (2020). *Germany prints its first house as Peri claims technique is market ready.* Načteno z <https://www.globalconstructionreview.com/germany-prints-its-first-house-peri-claims-techniq/>
- Tan, C. (2017). Selective laser melting of high-performance pure tungsten. *Science and Technology of Advanced Materials*, stránky 370-380.
- The ExOne Company. (2022). Načteno z <https://www.exone.com/>
- Tucker, E. (2015). *3D-printed robotic hand wins 2015 UK James Dyson Award.* Načteno z <https://www.dezeen.com/2015/08/25/3d-printed-robotic-hand-wins-2015-uk-james-dyson-award/>
- Tumbleston, J. R. (2015). *Continuous liquid interface production of 3D objects.*
- Zhou, X. (květen 2015). A review on the processing accuracy of two-photon polymerization. *AIP Advances*.

# Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma FDM tiskárny (Low, 2017), FDM 3D tiskárna Prusa mk3s (Prusa Research, 2022).....	7
Obrázek 2 Schéma DWA tiskárny (Low, 2017), DWA mikro tisk v médiu vody a alkoholu (Lewis, 2004) .....	7
Obrázek 3 Schéma Binder Jet tiskárny (Low, 2017), probíhající Binder Jet tisk (Dartec, 2020).....	8
Obrázek 4 Schéma SLS tiskárny (Low, 2017), SLS tiskárna Sinterit Lisa PRO (Sinterit, 2022).....	9
Obrázek 5 Schéma LOM tiskárny (Low, 2017), výrobek barevné papírové LOM tiskárny (Sculpteo, 2022).....	10
Obrázek 6 Schéma SDL tiskárny (Low, 2017), výrobku barevné papírové SDL tiskárny (Additive-X, 2016).....	11
Obrázek 7 Schéma SLA tiskárny (Low, 2017), SLA 3D tiskárna Prusa SL1 (Prusa Research, 2022).....	12
Obrázek 8 Schéma Material Jet tiskárny (Low, 2017), příklad Material Jet tisku (Beamler, 2021) .....	12
Obrázek 9 Rozdíl mezi OPP a TPP (Microlight 3D, 2022).....	13
Obrázek 10 Schéma TPP tiskárny (Low, 2017), příklad TPP tisku (3D Printing Industry, 2013).....	13
Obrázek 11 Schéma CLIP tiskárny (Low, 2017), příklad CLIP tisku (Tumbleston, 2015).....	14
Obrázek 12 Josef Průša v budově Prusa Research (Prusa Research, 2022).....	15
Obrázek 13 Rozdíl mezi obráběným nosičem (nahore) a tištěným nosičem (dole) (Kellner, 2017) .....	17
Obrázek 14 Experimentální tištěný brzdový třmen (Bionic Production, 2022)..	18
Obrázek 15 Tištěný přípravek pro vrtání do čelistní kosti (CT Dent, 2022) .....	19
Obrázek 16 Probíhající tisk budovy (Sweet, 2020).....	20
Obrázek 17 Boty Adidas s tištěným mezipodešvím (Hambleton, 2021).....	21
Obrázek 18 Proces tisknutí masa z dvou různých materiálů (Cottingham, 2021) .....	22
Obrázek 19 Složený tištěný obličejový štít od Prusa Research (Prusa Research, 2022).....	23
Obrázek 20 Design multifunkční bezkontaktní klíčenky (Kamble, 2021).....	24

Obrázek 21 Tištěné ventily pro plicní ventilátory (Kleinman, 2020).....	24
Obrázek 22 Test raketového motoru s tištěnými součástkami (NASA, 2020) ....	25
Obrázek 23 Robotický roj při tisku budou na povrchu Měsíce (NASA, 2020).....	27
Obrázek 24 Příklad odlehčení držáku diferenciálu pomocí 3D tisku (Ofenheimer, 2018).....	27
Obrázek 25 Protéza ruky vytisknutá na domácí 3D tiskárně (Tucker, 2015) .....	29
Obrázek 26 Vytisknutá srdeční chlopeň bioinkoustem (Hadisi, 2020).....	30
Obrázek 27 Historická velikost trhu 3D tisku (v miliardách USD) (Alsop, 2022).	31
Obrázek 28 Prognóza velikosti trhu 3D tisku (v miliardách USD).....	32
Obrázek 29 Žebříček Deloitte 2018 Technology Fast 500 EMEA (Deloitte, 2019) .....	33
Obrázek 30 Prusa obrat (v milionech CZK).....	37
Obrázek 31 Prusa čistý zisk (v milionech CZK) .....	37
Obrázek 32 Prusa výkonová spotřeba (v milionech CZK).....	38
Obrázek 33 Prusa aktiva (v milionech CZK) .....	38
Obrázek 34 Prusa hrubá marže (v procentech) .....	39
Obrázek 35 Prusa obrat aktiv .....	40
Obrázek 36 Prusa finanční ukazatele (v milionech CZK).....	40
Obrázek 37 Materialize obrat (v milionech EUR) .....	41
Obrázek 38 Materialize čistý zisk (v milionech EUR) .....	42
Obrázek 39 Materialize výkonová spotřeba (v milionech EUR).....	42
Obrázek 40 Materialize aktiva (v milionech EUR) .....	43
Obrázek 41 Materialize hrubá marže (v procentech) .....	43
Obrázek 42 Materialize obrat aktiv .....	44
Obrázek 43 Materialize R&D náklady (v milionech EUR).....	45
Obrázek 44 Materialize finanční ukazatele (v milionech EUR) .....	45
Obrázek 45 ExOne obrat (v milionech USD).....	46
Obrázek 46 ExOne čistý zisk (v milionech USD).....	47
Obrázek 47 ExOne výkonová spotřeba (v milionech USD).....	47
Obrázek 48 ExOne aktiva (v milionech USD).....	48
Obrázek 49 ExOne hrubá marže (v procentech) .....	48

Obrázek 50 ExOne obrat aktiv .....	49
Obrázek 51 ExOne R&D náklady (v milionech USD) .....	49
Obrázek 52 ExOne finanční ukazatele (v milionech USD).....	50
Obrázek 53 Srovnání obratu (v milionech USD).....	51
Obrázek 54 Srovnání čistého zisku (v milionech USD).....	52
Obrázek 55 Srovnání výkonové spotřeby (v milionech USD) .....	53
Obrázek 56 Srovnání aktiv (v milionech USD) .....	54
Obrázek 57 Srovnání hrubé marže (v procentech).....	54
Obrázek 58 Srovnání obratu aktiv.....	55
Obrázek 59 Srovnání R&D nákladů (v milionech USD) .....	56
Obrázek 60 Prognóza obratu společnosti Prusa (v milionech CZK).....	57
Obrázek 61 Prognóza aktiv společnosti Prusa (v milionech CZK).....	58
Obrázek 62 Prognóza obratu společnosti Materialize (v milionech EUR).....	59
Obrázek 63 Prognóza aktiv společnosti Materialize (v milionech EUR).....	60
Obrázek 64 Prognóza obratu společnosti ExOne (v milionech USD) .....	61
Obrázek 65 Prognóza aktiv společnosti ExOne (v milionech USD).....	62

# Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této diplomové práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Dalibor Bakala

V Praze dne: 17. 08. 2022

Podpis:

Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis