



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Prognóza vývoje 3D tisku

Forecast of 3D printing

## **STUDIJNÍ PROGRAM**

Řízení rozvojových projektů

## **STUDIJNÍ OBOR**

Projektové řízení inovací v podniku

## **VEDOUcí PRÁCE**

Doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc.

HANÁČEK

DANIEL

**2019**

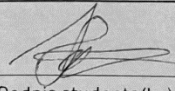
## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Hanáček	Jméno:	Daniel	Osobní číslo:	437797
Fakulta/ústav:	Masarykův ústav vyšších studií (MÚVS)				
Zadávající katedra/ústav:	Oddělení ekonomických studií				
Studijní program:	Řízení rozvojových projektů				
Studijní obor:	Projektové řízení inovací v podniku				

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Prognóza vývoje 3D tisku		
Název diplomové práce anglicky:	Forecast of 3D printing		
Pokyny pro vypracování:	<p><b>CÍL PRÁCE:</b> Cílem diplomové práce je zmapovat směřování 3D tisku a odpovědět na otázky současného i budoucího postavení aditivní výroby v průmyslových odvětvích.</p> <p><b>PŘÍNOS PRÁCE:</b> Přínosem práce je prognóza vývoje 3D tisku a důsledky implementace této technologie.</p> <p><b>OSNOVA:</b> (1) Úvod (2) 3D tisk (3) Druhy 3D tisku (4) Důsledky 3D tisku (5) Ekonomická analýza vybraných společností z odvětví 3D tisku (6) Žebříček firem podle obrátu a zisku (7) Prognóza vývoje (8) Závěry</p>		
Seznam doporučené literatury:	<p>(1) ŠTĚDRŮŇ, B.; KOCOUR, V. Technologické prognózy a telekomunikace. Praha, 2014</p> <p>(2) FREEDMAN, J. Future uses and possibilities of 3D printing. New York, 2017</p> <p>(3) GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. Additive manufacturing technologies. London, 2015</p> <p>(4) ŠTĚDRŮŇ, B.; Potůček M. a kol. Prognostické metody jejich aplikace. Praha, 2012</p>		
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:	doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc., ČVUT v Praze, Masarykův ústav vyšších studií		
Jméno a pracoviště konzultanta(ky) diplomové práce:			
Datum zadání diplomové práce:	13. 12. 2018	Termín odevzdání diplomové práce:	2. 5. 2019
Platnost zadání diplomové práce:	30. 9. 2020		
			
Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)	

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

HANÁČEK, Daniel. *Prognóza vývoje 3D tisku*. Praha: ČVUT 2019. 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 zpřístupnění 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: 24. 04. 2019

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc. RNDr. Bohumíru Štědroňovi, CSc. za cenný čas a důvěru. Rovněž děkuji za podporu při studiu a při vypracování této práce svým blízkým.

# Abstrakt

Diplomová práce se věnuje aktuálnímu tématu aditivní výroby (3D tisku). Nejprve v rámci teoretické části seznamuje čtenáře s pojmem 3D tisk. Popisuje vznik 3D modelu, následnou manipulaci s ním, než může být vytištěn, samotný tisk a poté vyjmutí tisku a post processing. Zabývá se také krátkou historií tohoto odvětví, která dospěla od vzniku prototypů v 90. letech 20. století, přes vytvoření open source platformy Reprap až k současné malovýrobě a praktickému využití 3D tištěných výrobků. Nabízí přehled základních metod (druhů) aditivní výroby, čímž vysvětluje později používané zkratky, a pomáhá čtenáři se zorientovat v jinak poměrně složitém systému. Práce také shrnuje nejen výhody, ale i nevýhody 3D tisku, jak při samotném procesu výroby, tak při jeho zavedení do praxe (legislativa, ekonomika, ekologie). Využití aditivní výroby kolem nás je poměrně široké, proto je mu věnována také část této diplomové práce. Za zmínku stojí uplatnění ve strojírenství (automobilový, letecký průmysl, kosmonautika), elektronika, zdravotnictví (protetika, stomatologie), stavebnictví (architektonické využití, tištěné domy), vzdělávání, umění. Praktická část práce se zabývá ekonomickou analýzou vybraných společností z odvětví 3D tisku. Mezi světové hráče na trhu můžeme zařadit firmy s dlouholetou tradicí, ale i poměrně krátce působící nováčky z různých koutů světa včetně ČR: 3D systems, Stratasys, Protolabs, EOS GmbH, Arcam AB, Destkop metal, Carbon, Ultimaker, Prusa research. První 3 výše zmíněné firmy jsou pak podrobněji popsány a zhodnoceny na základě dostupných vybraných finančních ukazatelů daných společností z období 2010 – 2018. Na tuto kapitulu poté navazuje prognóza vývoje trhu a zkoumaných společností. Ke konci práce se čtenář také může seznámit s povědomím o 3D tisku u studentů z Masarykova ústavu vyšších studií při ČVUT a s konkrétním využitím aditivní výroby v domácnosti (praktický příklad výroby stínidla lustru).

## Klíčová slova

Aditivní výroba, 3D tisk, prognóza, průmysl

# **Abstract**

This thesis describes booming topic of additive manufacturing. Theoretical part introduces concept of 3D printing to the reader. It describes creation of a 3D model, its subsequent manipulation before initial print, print it self and post processing. It also describes short history of this relatively new industry, which come from the emergence of rapid prototyping in 1990s through the creation of the open source platform RepRap to the current small-scale production and practical use of 3D printed products. It offers an overview of the basic methods (types) of additive manufacturing, explains basic shortcuts and helps reader to orientate in otherwise relatively complex system. The thesis summarizes both advantages and disadvantages of 3D printing particularly in the production process itself and in its introduction into practice (legislation, economics, ecology). The use of additive manufacturing is quite wide that's why there is substantial part devoted to this topic. The application of additive manufacturing in engineering (automotive, aerospace), electronics, healthcare (prosthetics, dentistry), construction (architecture, housing), education, art is worth mentioning. The practical part deals with the economic analysis of selected companies in the 3D printing industry. Among the world market influencers we can include both companies with a long tradition and newcomers from various parts of the world including Czechia: Such as 3D Systems, Stratasys, Protolabs, EOS GmbH, Arcam AB, Desktop metal, Carbon, Ultimaker, Prusa research. The first three previously mentioned companies are described in more detail and evaluated on the basis of the selected financial indicators during selected time period from 2010 to 2018. This chapter is followed by the market forecast and forecast of revenue of the companies under review. Last part of the thesis reader can get acquainted with the AM knowledge of CTU students and with the specific home use of Additive manufacturing (a practical example of chandelier shades).

## **Key words**

Additive manufacturing, 3D printing, forecast, industry



# Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>5</b>
<b>1 3D TISK.....</b>	<b>7</b>
1.1 Výrobní metody .....	8
1.1.1 Subtraktivní výroba.....	8
1.1.2 Formativní výroba .....	8
1.1.3 Aditivní výroba.....	9
1.2 Výrobní proces aditivní výroby.....	9
1.2.1 Vytvoření modelu .....	9
1.2.2 Manipulace s modelem.....	10
1.2.3 Tisk modelu.....	11
1.2.4 Vyjmutí tisku a post processing.....	11
1.3 Historie 3D tisku .....	12
1.3.1 Rapid prototyping .....	12
1.3.2 Reprap.....	12
1.3.3 Maker movement.....	12
1.3.4 Současnost.....	13
1.4 Výhody a nevýhody 3D tisku.....	14
1.4.1 Výhody .....	14
1.4.2 Nevýhody .....	15
<b>2 DRUHY 3D TISKU.....</b>	<b>16</b>
2.1 Proces založený na kapalně bázi .....	16
2.1.1 FDM.....	16
2.1.2 SLA .....	17
2.1.3 Polyjet .....	19
2.2 Proces založený na bázi pevné složky .....	20
2.2.1 LOM.....	20
2.3 Proces založený na bázi prášku.....	21
2.3.1 SLS .....	21
2.3.2 EBM.....	22
2.3.3 LENS.....	22

2.3.4	3DP .....	23
<b>3</b>	<b>DŮSLEDKY 3D TISKU .....</b>	<b>25</b>
3.1	Legislativní .....	25
3.1.1	Ohrožení duševního vlastnictví.....	26
3.1.2	Nezákonné ozbrojování .....	26
3.2	Ekonomické .....	27
3.2.1	Domácnosti.....	27
3.2.2	Průmyslové využití .....	27
3.2.3	Pracovní příležitosti .....	27
3.3	Ekologické .....	28
3.3.1	Recyklace .....	28
3.3.2	Lean a lokalizace výroby .....	28
3.4	UPLATNĚNÍ 3D TISKU .....	29
3.4.1	Strojírenství.....	29
3.4.2	Zdravotnictví.....	30
3.4.3	Stavebnictví.....	31
3.4.4	Další využití 3D tisku.....	31
3.5	Příležitosti.....	32
3.5.1	Vesmír .....	32
3.5.2	Zdravotnictví.....	33
3.5.3	Elektronika.....	33
<b>4</b>	<b>EKONOMICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH SPOLEČNOSTÍ Z ODVĚTVÍ 3D TISKU ..</b>	<b>36</b>
4.1	Analýza trhu aditivní výroby.....	36
4.1.1	Světoví hráči na trhu 3D tisku .....	37
4.2	3D systems.....	39
4.2.1	Portfólio .....	40
4.2.2	Vybrané finanční ukazatele společnosti.....	41
4.3	Stratasys .....	44
4.3.1	Portfólio .....	45
4.3.2	Vybrané finanční ukazatele společnosti.....	45
4.4	Protolabs.....	48
4.4.1	Portfólio .....	49

4.4.2	Vybrané finanční ukazatele společnosti.....	49
<b>5</b>	<b>Porovnání společností.....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>PROGNÓZA VÝVOJE.....</b>	<b>53</b>
6.1	Prognóza vývoje trhu.....	53
6.2	Prognóza vývoje zkoumaných společností.....	55
6.2.1	Prognóza vývoje společnosti 3D Systems.....	55
6.2.2	Prognóza vývoje společnosti Stratasys.....	57
6.2.3	Prognóza vývoje společnosti Protolabs.....	59
<b>7</b>	<b>ZÁVĚRY.....</b>	<b>61</b>
7.1	Vyhodnocení.....	61
7.2	Praktický příklad využití 3D tisku.....	62
7.2.1	Anketa mezi studenty.....	62
7.2.2	Příklad využití 3D tisku- Stínidlo lustru.....	63
	<b>Závěrečné zhodnocení.....</b>	<b>68</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>70</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>75</b>

# Úvod

Cílem této práce je zmapovat směřování 3D tisku a odpovědět na otázky současného i budoucího postavení aditivní výroby v průmyslových odvětvích.

3D tiskem se rozumí výrobní proces, při němž se nanášením jednotlivých vrstev vytváří trojrozměrný objekt. Pro tento proces se také využívá označení aditivní výroba. Aditivní výroba je opakem subtraktivní výroby, kde dochází k odběru materiálu za účelem vytvoření výsledného objektu. Dalším procesem výroby je formativní proces, který vytváří objekt působením tlaku v předem připravené formě.

Většina laické veřejnosti pojem 3D tisk již určitě někde zaslechla, ale ne vždy jsou si úplně jisti, co se za ním opravdu skrývá. Tato skutečnost se nedá nikomu vyčítat, neboť 3D tisk je neustále se rozvíjejícím oborem zasahujícím do velkého množství průmyslových odvětví.

Tato práce se zaměří na popsání této technologie, její možnosti a možný budoucí vývoj.

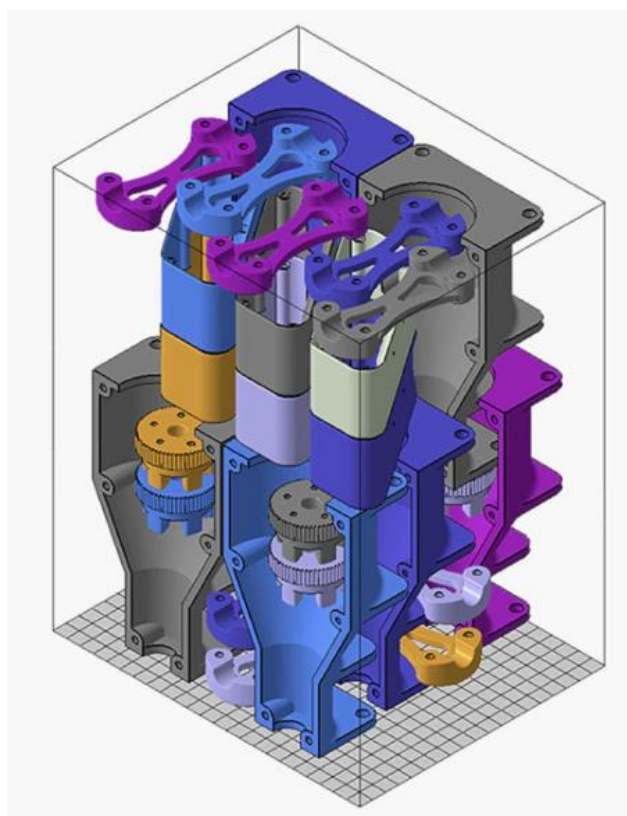
# **TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 3D TISK

Rapidní technologický pokrok vedl v posledních několika dekádách k dříve nepředstavitelným změnám. Miniaturizace a globální dostupnost informací pomocí internetu dala možnost vzniknout novým průmyslovým odvětvím a oborům. Nyní se svět nachází na pokraji další revoluce. S přechodem orientace průmyslu primárně na potřeby zákazníka dochází ke stále větším požadavkům na customizaci a rychlejší dostupnost hotových výrobků.

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

Takovéto lokalizované výroby již nebudou potřebovat globální přepravní aparát k dodání zboží od výrobce k zákazníkovi, čímž ušetří obrovská množství paliva, času, pracovní síly a dopravních prostředků (Lutafali 2017).



OBR. 1 PŘÍKLAD SOFTWARE VYUŽÍVANÉHO K OPTIMALIZACI VÝROBNÍHO PROCESU 3D TISKU (REDWOOD ET AL. 2017)

## 1.1 Výrobní metody

Průmyslové výrobní metody můžeme rozdělit na tři základní kategorie. Subtraktivní, formativní a aditivní.

Při tradiční výrobě pomocí subtraktivní metody, dochází k odběru materiálu z pevného bloku. Tuto metodu lze provést buď ručně, nebo automatizovaně. Nejdůležitějším prvkem subtraktivních metod, hlavně automatizovaných, je generovat tvary s vysokou přesností. Existují však další metody, z nichž jedna začíná svým objemem růst na úkor subtraktivních metod. Jedná se o aditivní výrobu často zvanou také 3D tisk (Springer, str. 218, 2017).

### 1.1.1 Subtraktivní výroba

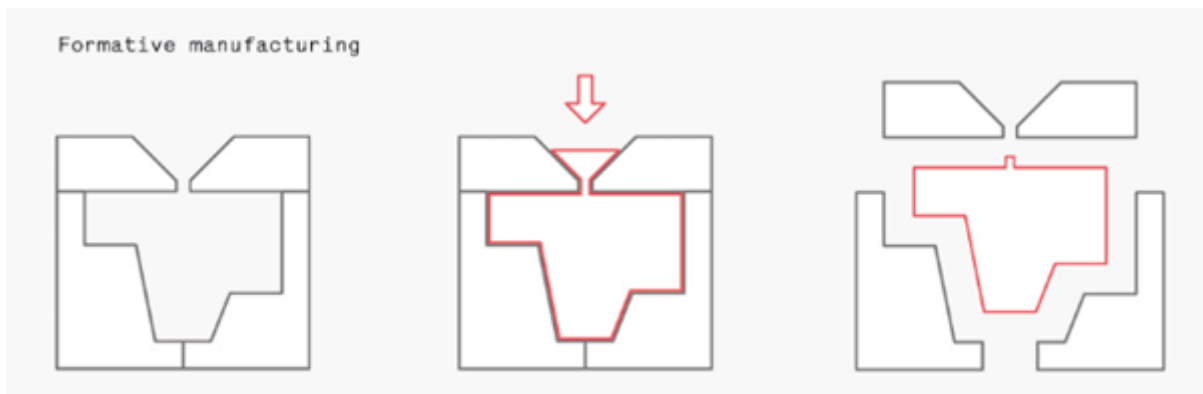
Je vhodným výrobním procesem pro součásti, které se vyrábějí ve středně velkých či malých objemech, většinou z kovových materiálů.



OBR. 2 SUBTRAKTIVNÍ VÝROBA (REDWOOD ET AL. 2017)

### 1.1.2 Formativní výroba

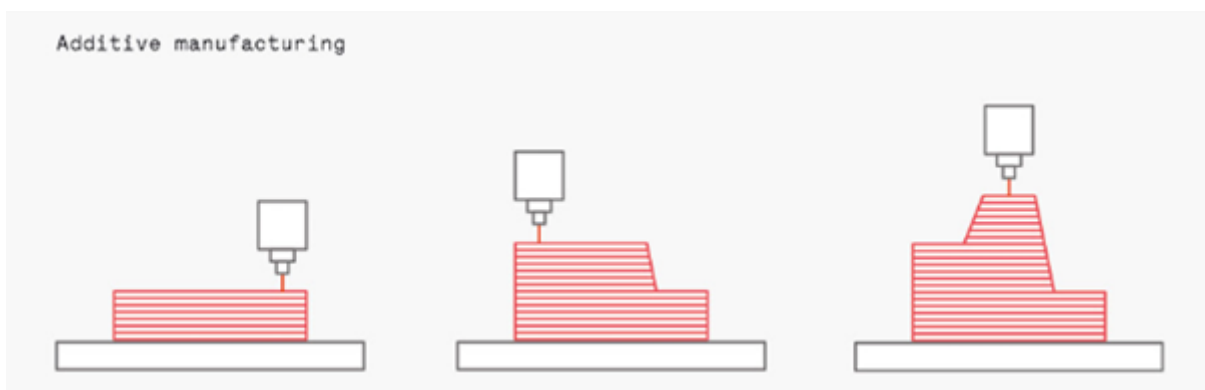
Vhodná pro vysoko objemové produkce stejných součástí. Počáteční investice jsou velmi vysoké z důvodu pořízení potřebných forem. Tato metoda je velice vhodná na vyprodukování velkého množství produktů s relativní nízkou jednotkovou cenou.



OBR. 3 FORMATIVNÍ VÝROBA (REDWOOD ET AL. 2017)

### 1.1.3 Aditivní výroba

Proces, při kterém se vytváří fyzický objekt podle digitální předlohy. Předlohou těchto objektů jsou návrhy vytvořené v grafických programech označovaných jako CAD (Computer Aided Design). Vytvořené soubory jsou následně virtuálně rozřezány na jednotlivé vrstvy a nahrány do 3D tiskárny.



OBR. 4 ADITIVNÍ VÝROBA (REDWOOD ET AL. 2017)

## 1.2 Výrobní proces aditivní výroby

Výrobní proces při použití aditivní metody se dá rozdělit na několik činností, každá z nich je neméně důležitou součástí celku.

### 1.2.1 Vytvoření modelu

Vytvoření modelu je prvním krokem v produkci požadovaného výrobku. K vytvoření digitální projekce se používá speciální software, který pomocí výpočetního výkonu počítače vytvoří model v digitální podobě. Souhrnný název pro tento software je Computer Aided Design (CAD). Modely se mohou vytvářet od začátku na prázdné



kreslící desce nebo vzniknou transformací již existujících objektů do digitální podoby, a to pomocí procesu fotogrammetrie.

K vytváření modelů je možné využít rozšířené reality, díky níž může uživatel model přenést do reálného prostředí. Okamžitá zpětná vazba v požadovaném prostředí, zprostředkovaná rozšířenou realitou, je vhodná k revizi modelů a dokáže uživateli ušetřit čas a aspoň jeden prototypový tisk.



OBR. 5 BRÝLE PRO ROZŠÍŘENOU REALITU MICROSOFT HOLOLENS (<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>)

## 1.2.2 Manipulace s modelem

Jakmile je model dokončen, převede jej uživatel do podporovaného formátu, který rozdělí model na jednotlivé polygony. V této fázi procesu uživatel zvažuje fyzickou velikost modelu a celkový počet polygonů, díky čemuž může volit kvalitu detailů modelu.

Dle zvolené metody tisku, většinou také ale dle zvolené tiskárny, potřebuje uživatel uzpůsobit také samotný proces tisku. Za tímto účelem využívá tzv. slicery, tedy programy rozdělující model na jednotlivé vrstvy pro potřeby tisku. V tomto speciálním programu požadovaný model převede uživatel do tzv. G-codu. G-code je soubor, který tiskárně říká, jak správně generovaný model vytisknout. Slicery také nabízí uživateli možnost volby orientace modelu v prostoru, generování podpor pro převisy modelu, možnosti výplně, ale také výšku jednotlivých vrstev tisku.

### **1.2.3 Tisk modelu**

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

V závislosti na zvolené metodě tisku mohou mít na proces vliv také šokové změny teplot. Proto je důležité zajistit při tisku stabilní prostředí. Z tohoto důvodu využívají profesionální tiskárny pro tisk uzavřenou komoru, ve které je jednodušší udržet vhodné klima pro tisk. Kutilové, kteří používají levnější řešení tisku, si případně mohou takovou komoru sestavit sami.

Po spuštění je tisk plně automatický, případně může být monitorován online pomocí vzdálené kamery nebo senzoriky. Tiskárny mohou také vzdáleně upozornit uživatele, že je potřeba doplnit filament nebo že je tisk dokončen.

### **1.2.4 Vyjmutí tisku a post processing**

Vyjmutí tisku se liší v závislosti na použité metodě. Vyjmutí a následné opracování je daleko náročnější u tisků z kovů nežli u ostatních metod. Souhrnně by se dal tento proces shrnout do několika částí. Odstranění přebytečného materiálu bránícího vyjmutí modelu, samotné vyjmutí tištěného modelu, odstranění podpor a následné dokončovací práce na modelu dle předem stanovených požadavků. Dokončovací práce mohou zahrnovat například broušení, leštění a lakování.

## 1.3 Historie 3D tisku

Vybrat přesný okamžik vzniku 3D tisku není jednoduché. Většina autorů však přisuzuje největší význam roku 1984.

3D tisk vznikl v roce 1984, kdy byla patentována první technologie 3D tisku, tzv. stereolitografie, Charlesem W. Hullem. Poprvé tak mohla být fyzicky vytištěna digitální 3D data. Tato technologie se označuje jako SLA a používá se dodnes (Průša, 2014).

Tento okamžik je významný právě proto, že dal vzniknout první firmě, která se zabývala primárně 3D tiskem, 3D Systems. Ta v roce 1987 přivedla na trh první komerční 3D tiskárnu SLA-1.

### 1.3.1 Rapid prototyping

První užití 3D tisku sloužilo k vytvoření prototypů. Hlavní důvody tvorby prototypů jsou nalezení chyb ve výrobní dokumentaci, ověření funkčnosti a vyrobitelnosti výrobku a také ověření vhodnosti pro sériovou výrobu.

S vytvořením technologií a firem zabývajících se 3D tiskem začal aditivní průmysl a poptávka po něm konstantně růst a zároveň byl přijímán s nebývalým nadšením. Společnosti z různých průmyslových odvětví spatřovaly v aditivním průmyslu lukrativní hodnotu a nebývalé možnosti a díky tomu dovolily tomuto trhu velmi rychle expandovat (Bandyopadhyay et al. 2016).

Důvody, proč využít 3D tisku k výrobě prototypů, jsou hlavně cenová dostupnost a rychlost vytvoření prototypu. První zařízení tohoto typu vytvářely prototypy primárně z polymerů. Takovéto součástky mají pouze omezené funkční možnosti.

### 1.3.2 Reprap

Velikým zlomem pro dostupnost 3D tisku masám bylo vytvoření open source platformy RepRap. Projekt vznikl v roce 2005 díky doktoru Adrianu Bowyerovi. Tiskárny RepRap se staly prvními stroji, které se mohly z části samy replikovat. Úlohou projektu je zpřístupnit 3D tisk široké veřejnosti. Open source v tomto případě znamená, že každý může upravovat stránky na oficiálním webu a využívat komunitní vědomosti ke svému užití. Tiskárny RepRap se staly nejrozšířenějšími tiskárnami mezi komunitou tzv. Makers. Na principu platformy RepRap, vznikly také úspěšné české tiskárny Průša i3.

### 1.3.3 Maker movement

Technopedia, internetový IT slovník, definuje Maker movement jako trend, kdy jedinci či skupiny jedinců vytváří a nabízí produkty spojené s počítačovým vybavením nebo produkty, které jsou přetvořeny či sestaveny za užití nepoužité, vyřazené nebo rozbité elektronické, plastové nebo jakékoliv jiné suroviny.

Maker movement tedy, česky volně přeloženo jako kutilové nebo tvořitelé, hledají, vyrábějí a sdílejí nápady a ideály jak mezi sebou, tak s veřejností. Věří ve svobodné šíření

nápadů. Nejčastěji skloňovaným slovem ve spojení s makery je kreativita. Makeři jsou zodpovědní za vytvoření velkého množství technologických produktů a technických řešení. Prudký rozvoj makerů spustil jednodušší přístup k obrovskému množství dříve nedostupných informací skrze internet a také větší dostupnost elektronických komponent. Se všemi zdroji, které jsou nyní k dispozici na internetu, může prakticky každý vytvořit jednoduchá zařízení, která jsou v některých případech široce využívána jinými uživateli. Většina takto tvořených zařízení je tzv. Open source, tedy každý k nim může přistupovat a vylepšovat je pomocí dostupných příruček a manuálů.

Maker movement je pro 3D tisk jak příjemcem, tak producentem technologie. Díky 3D tisku mohou makeři svobodněji a jednodušeji tvořit a díky makerům vznikají v 3D tisku nové možnosti. Vytvářejí produkty (3D tiskárny Průša), pomáhají zlepšovat stávající řešení (díky open source platformám) a přichází s novými nápady ze svých domovů, garáží.

Makeři jsou hybateli inovací a jejich smýšlení dobře shrnuje úryvek z knihy Maker movement manifesto (2014):

*„Tvořivost je zásadní pro to, co znamená být člověkem. Musíme tvořit, vyrábět a vyjadřovat sami sebe, abychom se cítili úplní. Na vytváření fyzických věcí je něco jedinečného. Věci, které vytvoříme jsou jako kousky nás samých a zdá se, že reprezentují části naší duše.“*

### **1.3.4 Současnost**

Využití technologií aditivní výroby se pomalu přesunulo od vytváření prototypů, potřebných k testování možných vlastností a funkčnosti budoucího výrobku, k vytváření nástrojů a forem pro vstřikování plastů a lití kovů až k výrobě dílů pro konečné použití. Přejchod aditivní výroby od rapid prototypingu k malosériové výrobě je ovšem stále probíhající proces.

Celková informovanost o průmyslové aditivní výrobě není dostatečná. Vysoké školy zatím nezareagovaly na přicházející potřebu průmyslu na absolventy se znalostí nejen technologií aditivní výroby, ale i se znalostí procesních a technologických parametrů, znalostí softwarových nástrojů, CAD modelování pro tvorbu strukturovaných dílů, simulačních nástrojů, jako je topologická optimalizace apod. (MPO 2017).

Tato skutečnost se ovšem vysokým školám nedá plně vyčítat. Státní aparát, tím pádem i státní školství, je velice rigidní organizace a změny tudíž přicházejí pomaleji. Na tuto skutečnost mohou jedinci reagovat v dnešní době tak, že si informace dohledají sami z jiných zdrojů. To ovšem neznamená, že by se školy o změnu neměly snažit. A to hlavně proto, že i jedinci, kteří dnes o aditivní výrobě nevědí, by ji mohli využívat a být pro ni přínosem.

## 1.4 Výhody a nevýhody 3D tisku

V dnešní době je nejběžnějším materiálem pro 3D tisk plast, ale k tisku se dají využít také kovové slitiny, keramika, dřevěné částice, sůl, cukr ale i například čokoláda. Rozsah předmětů, které mohou být vyrobeny 3D tiskárnami je velmi široký a neustále roste (prototypy, součástky, protetika, hračky, umění, potraviny, hudební nástroje, nábytek, oblečení). 3D tiskárny také mohou být využity k tisku dalších 3D tiskáren (Rayna et al., 2016).

Seznam výrobců 3D tiskáren neustále roste a každým rokem se nové firmy a jedinci snaží zaujmout širokou veřejnost jejich technickým řešením. I přes obrovský zájem a neustálý růst trhu s 3D tiskárnami nemá každý šanci na úspěch. Výjimkou může být například český výrobce Prusa research. Tyto firmy (ale také jim podobné) ovšem nemají lehký úkol. Se stále zlepšujícími se schopnostmi čínských producentů musejí spoléhat na kvalitu a podpůrné služby spojené s pořízením výrobku, jako je například telefonický a online servis ve více jazycích, okamžité nahrazení nefunkční komponenty a jiné.

S vidinou zisků vstupují do odvětví také nadnárodní koncerny, jako je General Electric nebo Hewlett-Packard. Díky rozvinuté infrastruktuře a dostupnosti finančních prostředků jsou tyto firmy schopny nabízet komplexní řešení pro produkční využití aditivní výroby.

### 1.4.1 Výhody

Široké zastoupení aditivní výroby jako hojně rozšířeného výrobního procesu má možnost přinést mnoho výhod pro všechny zúčastněné strany.

Tyto výrobní linky budoucnosti dosáhnou díky správné optimalizaci většího počtu vyprodukovaných výrobků v jednom tisku. Tohoto stavu bude dosaženo díky možnosti vměstnání několika objednávek do jednoho tisku. Díky tomu mohou poskytnout svou výrobní kapacitu více zákazníkům najednou (viz obr.1). S dalším vývojem se dá také očekávat snižování nároků na dokončovací práce, které jsou spojeny s dodatečným opracováním jednotlivých výrobků, především díky detailnějším tiskům.

Další výhodou, kterou aditivní výroba nabízí, je její lokálnost. Výrobní linky mohou produkovat zboží pro konečného odběratele v dané lokalitě bez nutnosti transportu zboží na velké vzdálenosti. Díky těmto změnám dojde k transformaci logistického řetězce. Dojde ke snížení nákladů na dopravu.

Aditivní výroba přináší možnosti okamžité inovace. Ty samé tiskárny, které v jednom okamžiku tisknou výrobek určitého druhu, se mohou s dalším tiskem bez dodatečných nákladů zaměřit na výrobek jiný nebo mírně pozměněný dle potřeby zákazníka.

Úspora materiálu – aditivní metoda používá k výrobě pouze surový materiál potřebný k vytvoření dílů a přebytky tohoto materiálu se dají využít v dalším tisku, zatímco u subtraktivní metody dochází k produkci odpadního materiálu, který se musí převážet k dalšímu zpracování a znovuvyužití. 3D tisk také nabízí možnost vytvoření

tvářů a detailů, které by u obrobků nebo u forem nebyly možné, proto je do budoucna možno také uspořit značné množství materiálu, a přitom vytvořit lehčí konstrukce při zachování potřebných specifikací výrobku.



OBR. 6 BRZDOVÝ TŘMEN VYROBEN Z TITANU POMOCÍ 3D TISKU (WWW.BUGATTI.COM 2018)

### 1.4.2 Nevýhody

Přestože nabízí aditivní výroba nesporné výhody oproti ostatním typům výroby, stále existují kritická omezení, která brání tomu, aby plně nahradila všechny ostatní výrobní metody.

V současném stavu nemá aditivní výroba možnost dosahovat velkoobjemové produkce ve stejném množství jako například formativní výroba. Nicméně tato omezení se týkají výroby tisícových sérií. Pro maloobjemovou výrobu je aditivní výroba validní, a i omezení z hlediska masové produkce by mohla být odstraněna za pomoci většího množství tiskáren.

Větší část dnes komerčně používaných tiskáren zatím pracuje pouze s polymery, jejichž užití je velice omezené. Zároveň vlastnosti materiálu jsou většinou horší než u polymerů vytvářených pomocí formativní výroby.

Dále síla jednotlivých částí konečného výrobku nemusí být souměrná důsledkem procesu, kdy je materiál nanášen vrstvu po vrstvě. Je-li k modelu špatně zvolené vrstvení, nemusí být výrobek vůbec využitelný.

Jako další možnou nevýhodu můžeme zmínit rozdílnost následných opakování tisku, kdy může dojít k odlišným vlastnostem stejného výrobku (modelu) vyrobeného na různých tiskárnách.

Aditivní výroba také může ohrožovat duševní vlastnictví. Kdy je velice jednoduché vytvořit sken součástky, která je chráněna autorským právem nebo patentem, a replikovat ji v podstatě bez omezení.

Dále digitální modely není možno zdanit, proto mohou někteří producenti místo dovážení součástek, které musí normálně procházet proclením, požádat pouze o digitální soubor a součásti produkovat na místě.

Jednou z nevýhod aditivní výroby může také být kybernetická bezpečnost. V momentě, kdy je celá produkční soustava propojena, stává se náchylnější na kybernetické útoky.

## **2 DRUHY 3D TISKU**

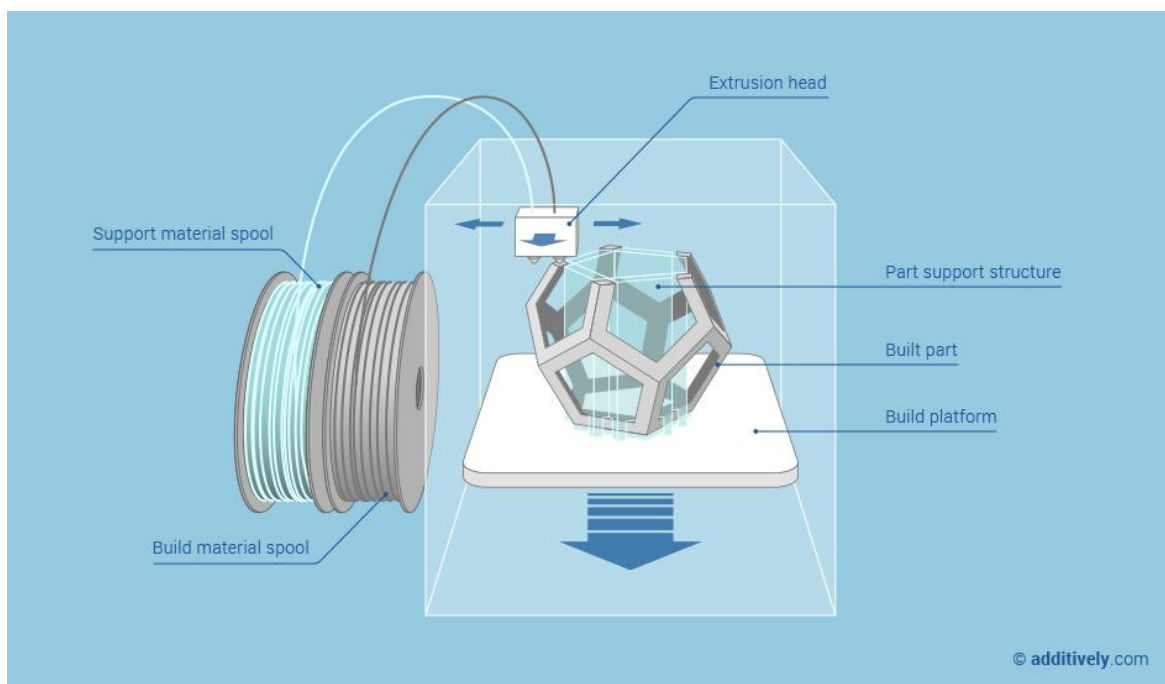
Současná literatura (Srivatsan, 2015) (Subhedar, 2018) dělí metody aditivní výroby na 3 hlavní proudy. Metoda aditivní výroby (AM) na kapalné bázi, na bázi pevné složky a na bázi prášku. Dělení podkategorií může být velice různorodé v závislosti na autorovi. Přestože jsou si některé metody 3D tisku velice podobné, jsou u nich využívány jiné názvy, neboť jsou součástí ochranné známky.

### **2.1 Proces založený na kapalné bázi**

Materiál využívaný v následujících procesech je v okamžiku nanášení na platformu v kapalném stavu. Jeho vytvrzení je docíleno skokovou změnou vlastností materiálu – a to změnou teploty, nebo působením koncentrovaného ultrafialového světelného zdroje.

#### **2.1.1 FDM**

Proces Fused Deposition Modeling využívá nanášení tenkých vrstev tekutého termoplastu z pohyblivého extrudéru na podložku. Materiál je nahřátý těsně nad bod tavení tak, aby po extruzi ihned tuhl a bylo možno na něj nanést další vrstvu. Tento proces má široké zastoupení, protože se většinou obejde bez dokončovacích prací a využívaný materiál může být recyklován.

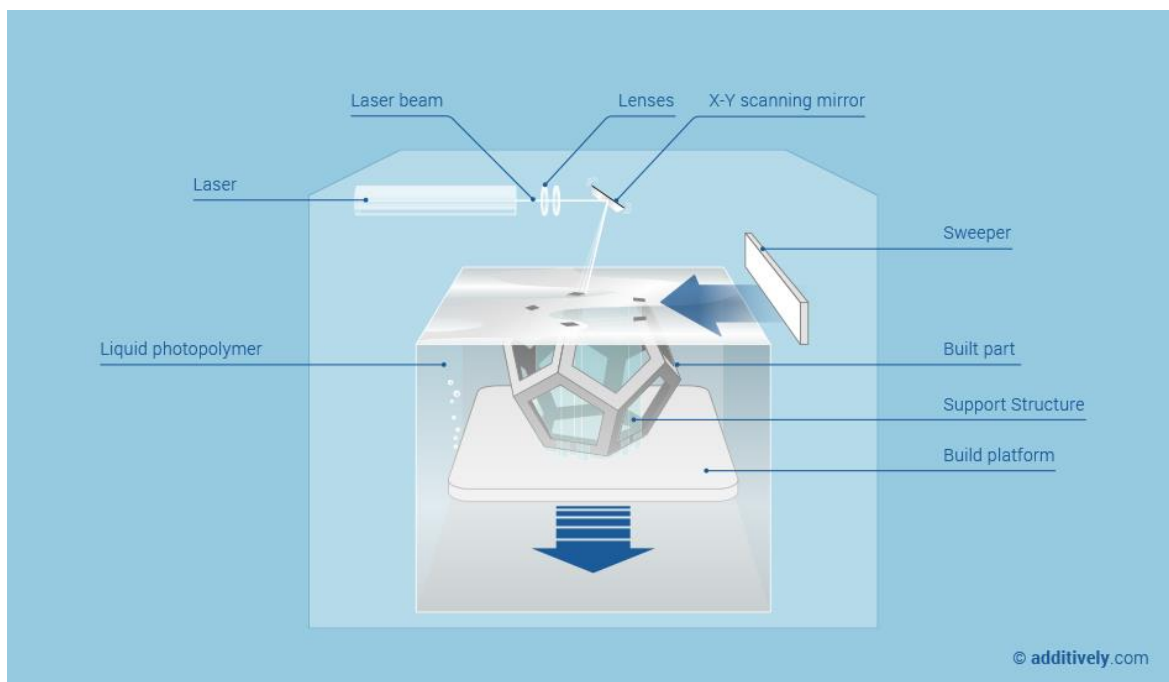


OBR. 7 INFOGRAFIKA FDM (ADDITIVELY AG 2018)

### 2.1.2 SLA

Stereolitografie byla prvním a nejrozšířenějším procesem rapid prototypingu. Tato metoda byla patentována v roce 1986 firmou 3D Systems Charlese Hulla. Tento proces na bázi kapaliny probíhá ve speciální nádrži, ve které je vytvrzován fotosenzitivní polymer. Ultrafialový laser při kontaktu s polymerem vytváří jednotlivé vrstvy požadovaných struktur na pohyblivé podložce. Při dokončení vrstvy se podložka posune a proces pokračuje vytvrzováním další vrstvy. Po dokončení procesu se přebytečná kapalina vypustí a je znovu využita při dalším tisku. S posunem v technologii se místo laseru stále častěji používají LCD displeje s vysokým rozlišením, které dovolí vytvářet vysoce detailní modely.

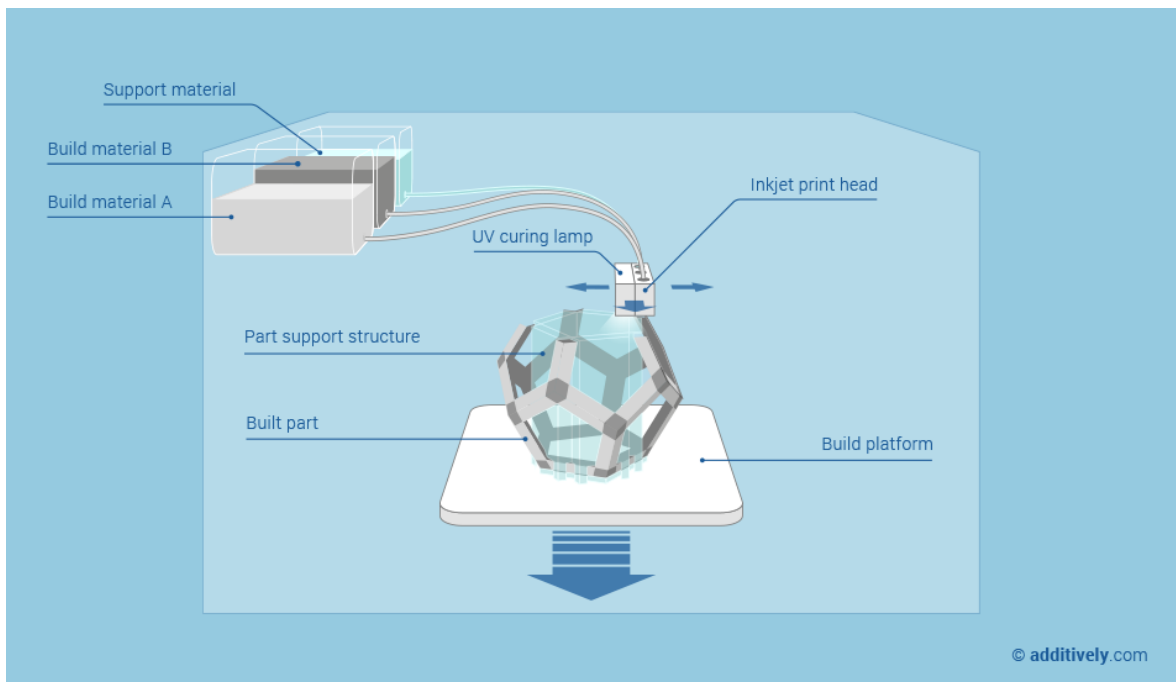




OBR. 8 INFOGRAFIKA SLA (ADDITIVELY AG 2018)

### 2.1.3 Polyjet

Technologie Polyjet čerpá z FDM i SLA. Pohyblivá extruderová hlava přejíždí nad podložkou, na kterou nanáší malé množství fotoreaktivního polymeru, který je ihned po nanesení nasvícen ultrafialovým světelným zdrojem světla. Podložka, na kterou se materiál nanáší, se s každou další vrstvou mírně sníží a tím umožní nanesení další vrstvy materiálu.

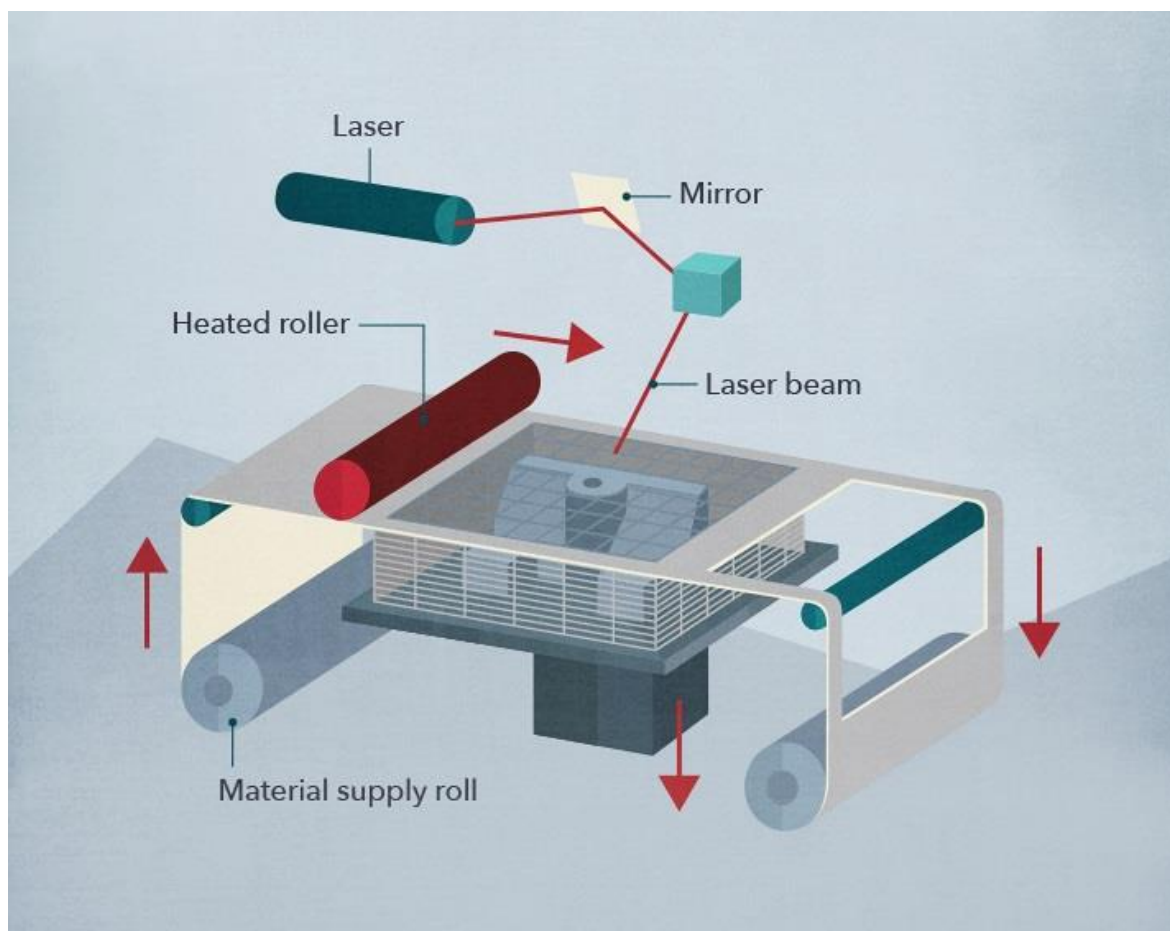


OBR. 9 INFOGRAFIKA POLYJET (ADDITIVELY AG 2018)

## 2.2 Proces založený na bázi pevné složky

### 2.2.1 LOM

Laminated Object Manufacturing je technika využívající materiály opatřené vrstvou pojiva. Pojivo může být na povrchu materiálu již před započítím procesu, nebo může být nanášeno těsně před ním. Toto pojivo pomáhá jednotlivým vrstvám, aby pevně držely u sebe. Tištěné součástky jsou vytvářeny nanášením jednotlivých vrstev plátů, přičemž jednotlivé tvary jsou vytvářeny laserovým řezáním. Tato metoda může využívat širokou paletu materiálů od papíru přes kov až ke kompozitům. Jedná se o relativně levnou metodu, která neprodukuje, na rozdíl od jiných metod, žádné toxické výpary.



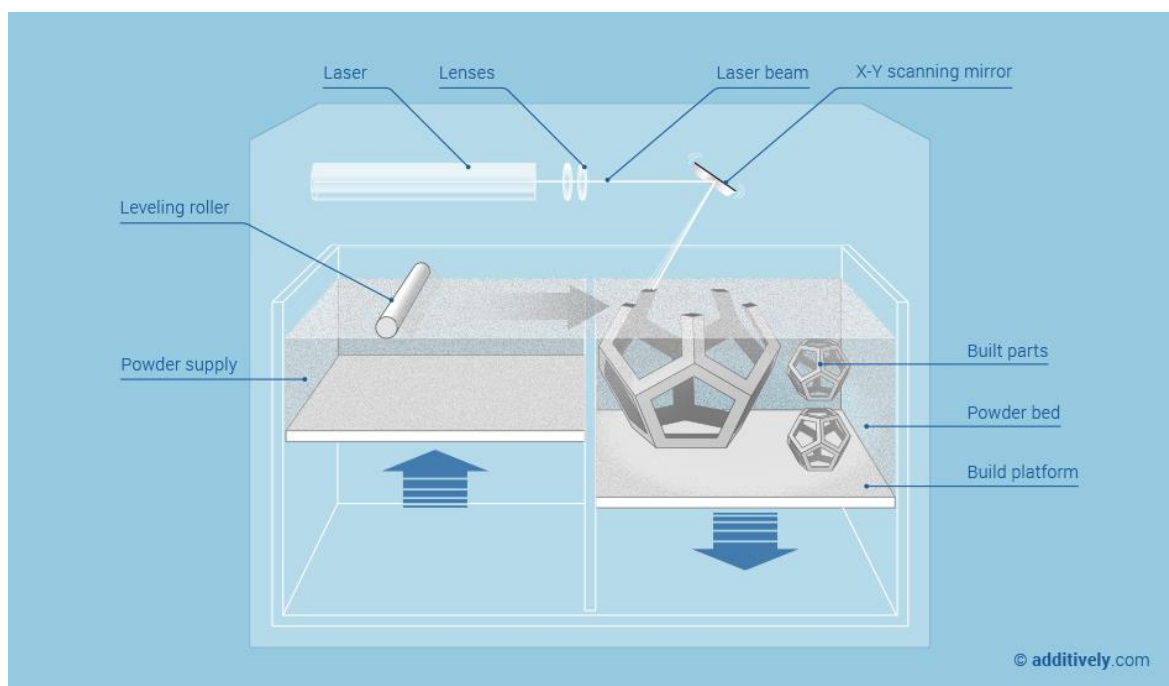
OBR. 10 INFOGRAFIKA LOM (SCANADMAKE)

## 2.3 Proces založený na bázi prášku

Při tomto procesu tiskárna rozprostře vrstvu prášku, která je pak následně spojena, buď tavením pomocí laserového paprsku, nebo nanesením určitého množství pojiva. Model vzniká postupným propojováním vrstev. Po každém cyklu spojení se platforma, na které model vzniká, posune a následně je nanášena další vrstva prášku a proces se opakuje.

### 2.3.1 SLS

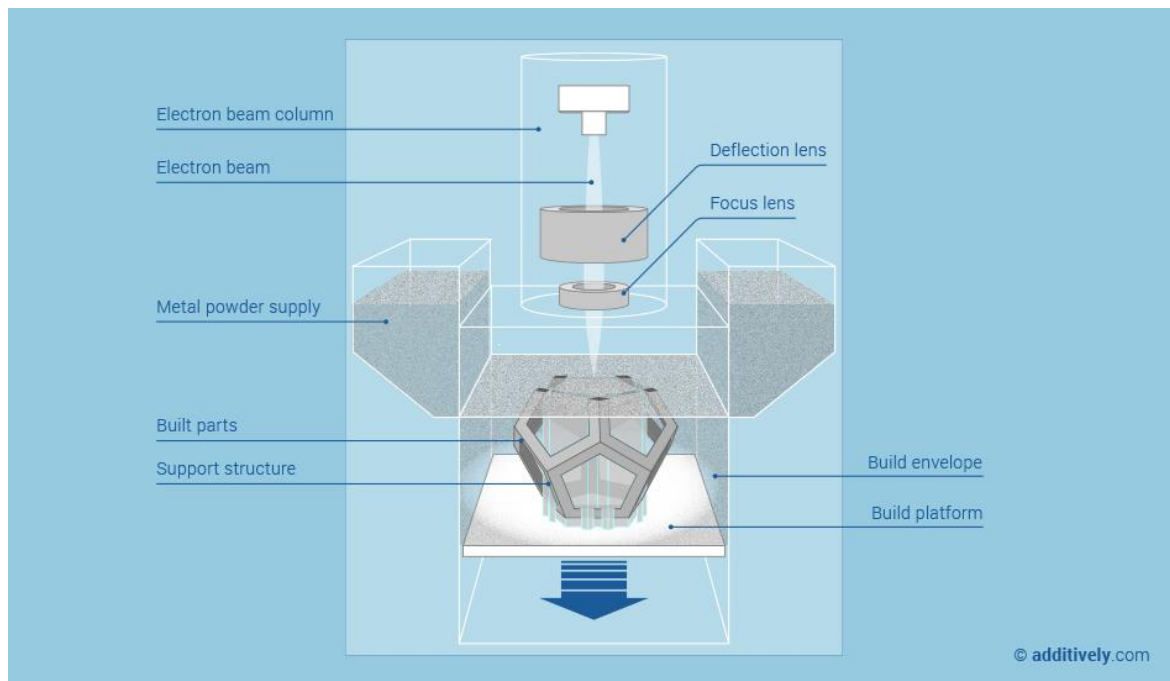
Selective Laser Sintering využívá vysoce výkonný laser ke slučování malých částic materiálů. Po spečení vrstvy se podložka sníží a válec nanese ze zásobníku další práškový materiál a proces spékání se opakuje. Nespečený prášek zůstává na svém místě a poskytuje podporu pro vytvářenou strukturu, proto tato metoda nepotřebuje generování přídatných podpor. Po dokončení tisku je práškový materiál recyklován. Tento proces nabízí možnost vytvářet složité tvary a součástky, které mohou být odolnější než součástky vytvořené stávajícími metodami. Využitelnými materiály u této metody jsou kov, keramika, polymer, sklo.



OBR. 11 INFOGRAFIKA SLS (ADDITIVELY AG 2018)

### 2.3.2 EBM

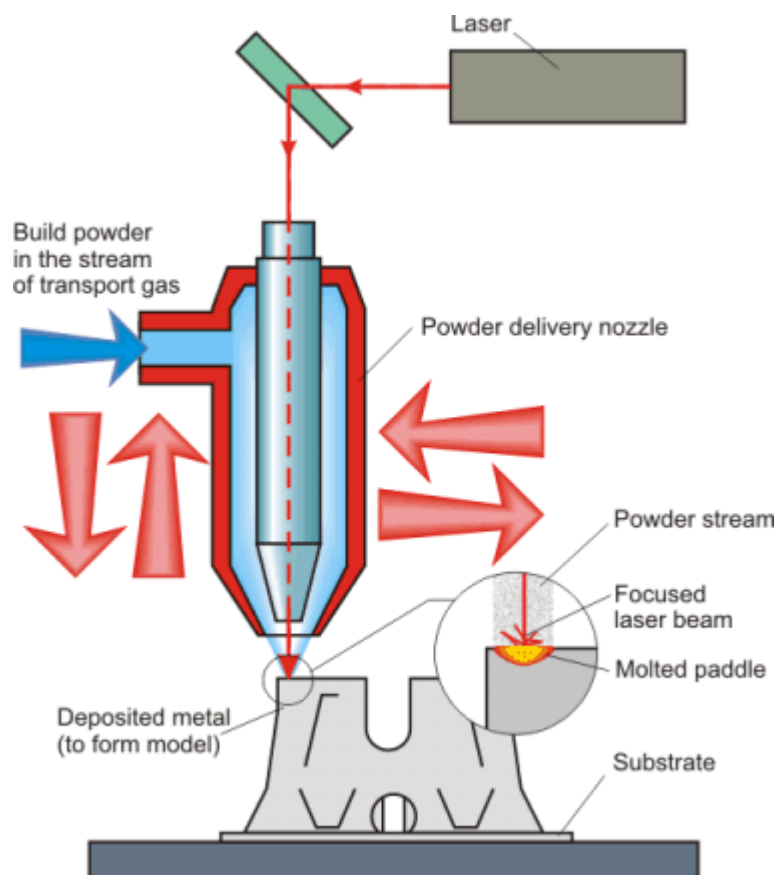
Electron Beam Melting je proces podobný SLS, ale naruší od něj je uskutečňován ve vakuové komoře, aby se zamezilo působení okolních vlivů, a místo laseru používá elektronový paprsek. Tato technologie byla původně navržena k využití ve vesmíru.



OBR. 12 INFOGRAFIKA EBM (ADDITIVELY AG 2018)

### 2.3.3 LENS

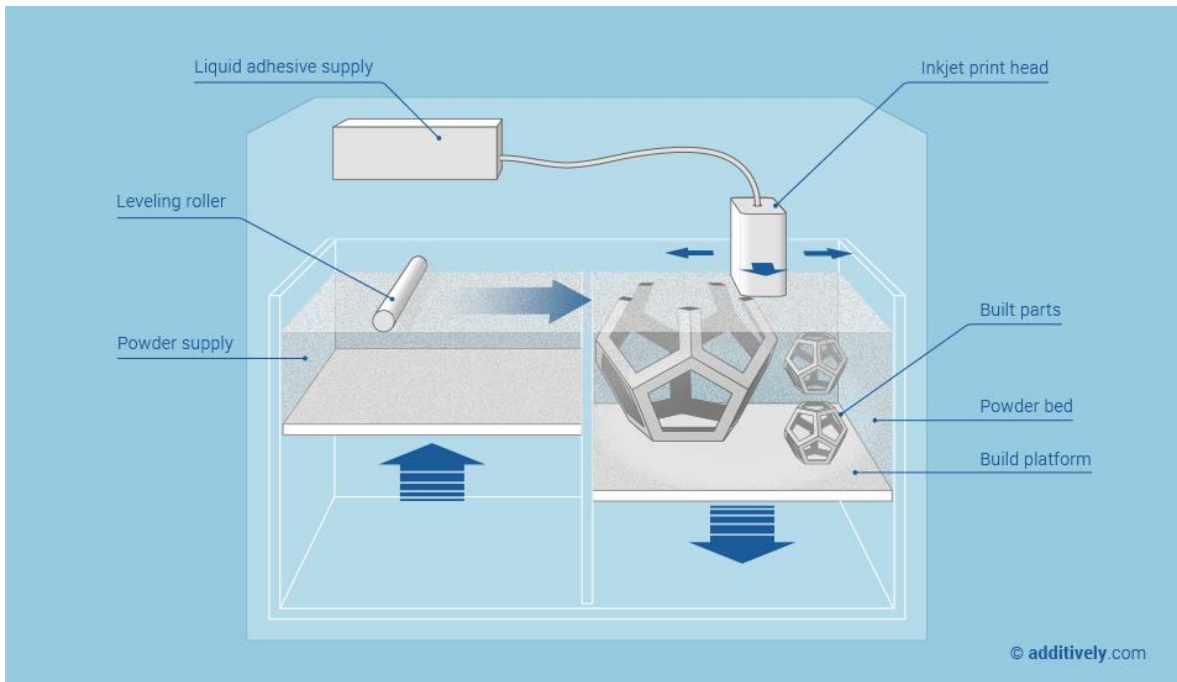
Metoda Laser Engineered Net Shaping vytváří součástky působením vysoce koncentrovaného laserového paprsku na zaváděcí desku za účelem vytvoření roztaženého pole, do kterého se následně přidává práškový kov, který postupně vytváří jednotlivé vrstvy modelu. Tato metoda byla původně vytvořena za účelem oprav existujících součástek a struktur. Následné opracování modelu je žádoucí. Model se musí fyzicky oddělit od zaváděcí desky. Tento proces není vhodný například pro často tepelně namáhané mechanické součástky z důvodu nerovnoměrného zahřívání a chlazení při výrobě součástky.



OBR. 13 INFOGRAFIKA LENS (UNI.EDU)

### 2.3.4 3DP

V 3DP je kapalné pojivo aplikováno na práškový materiál. Práškové částice se lepí vrstvu po vrstvě. Po dosažení požadovaného tvaru se přebytečný prášek odstraní a součástka může být dále zpracována. Tepelným vytvrzováním se u součástky dosáhne lepšího spojení jednotlivých vrstev. Tato metoda může být využita k výrobě součástek z polymerů, kovů, keramiky, ale také kompozitu.



OBR. 14 INFOGRAFIKA 3DP (ADDITIVELY AG 2018)

## 3 DŮSLEDKY 3D TISKU

Širší využití 3D tisku povede k transformaci výrobního procesu. Důsledkem bude, že 3D tisk bude pozičně usazen někde mezi hromadnou produkcí a lokálním farmářskými trhy (Lipson et al., 2013).

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

Dojde k přiblížení výroby ke konečnému zákazníkovi, proto bude výroba možná v jakémkoliv daném místě na vyžádání a v menších objemech. 3D tisk vytvoří prostředí, kde výroba bude pracovat bez nutnosti vytvářet zásoby výrobků. Campbell et al. (2011) uvádí příklad elektronických knih, které na rozdíl od knih papírových nemusí být tištěny, převáženy, ukládány. Klasické knihy často musí být, pokud nejsou prodány, fyzicky zničeny.

Jediná součást výroby, která bude potřebovat skladování, bude materiál potřebný k tisku modelů, v ideálním případě se budou využívat k tisku místní zdroje. Návrhy budou uloženy v digitální podobě a jejich distribuce bude probíhat pomocí internetu v řádu vteřin, jako je tomu ostatně již dnes. Tato možnost je také vhodná pro využití aditivní výroby ve vesmíru. Náklady na přepravu nástrojů ze Země jsou astronomické, ale bude-li na potřebné místo dopravena pouze tiskárna, která dokáže využívat místních zdrojů, všechny modely potřebného vybavení mohou být nahrány pomocí vzdáleného přenosu. Ušetří se nejen velké množství nejen peněz, ale také místa, které může být použito pro přepravu jiného vybavení. To ovšem neplatí pouze u vesmírných misí, ale například při vojenských operacích, kdy bude jednodušší si náhradní díly vytisknout na místě zásahu, než je dovážet. Podobné využití najde aditivní výroba také při humanitárních misích, kdy budou moci humanitární pracovníci tisknout operační nástroje, lidské orgány nebo i nová obydlí.

### 3.1 Legislativní

3D tisk otevírá nové obzory. Obvyklé výrobní postupy budou narušeny s rostoucím přístupem lidí k nástrojům, které jim dovolí navrhnout a vytvořit produkt dle jejich potřeb. Zákony zabývající se duševním vlastnictvím budou muset ustoupit, protože jejich vymáhání bude čím dál složitější (Lipson et al., 2013).

Požizovací ceny 3D tiskáren v posledních letech strmě klesají a na trhu se objevují stále nové technologie a společnosti nabízející svá řešení. Tento proces postupné



penetrace širokého spektra odvětví, ale také domácností, do budoucna umožní jednotlivcům a společnostem obstarat si produkty, které pro ně byly dříve nedostupné, a to už z důvodů vysokých pořizovacích nákladů nebo restrikce ze strany poskytovatele či státu. Široké využití 3D tisku proto bude pravděpodobně zpochybňovat zažité zákony a standardy a jistě s sebou přinese vlnu změn a pokusů o restrikci nebo omezení možností tisku. Je ovšem nutno podotknout, že s podobnými skutečnostmi se musí potýkat každá nová technologie bořící zažité standardy a stereotypy.

### **3.1.1 Ohrožení duševního vlastnictví**

Mezi nejpravděpodobnějšími důsledky 3D tisku na legislativu můžeme jmenovat ohrožení duševního vlastnictví. Přestože jsou tato práva chráněna více zákony a dílčími předpisy, vymáhání jejich ochrany je složitější než u jiného majetku (Ma 2018). Technická podstata aditivní výroby umožňuje vyrobit objekty téměř libovolných tvarů i bez vědomí entit, které mohou vlastnit práva na tyto objekty. Ochrana těchto práv by se ovšem měla primárně týkat využití pro komerční účely a vlastní obohacování a neměla by postihovat nadšence, kteří si v domácnosti tisknou kupříkladu akční figurky jejich oblíbených komiksových hrdinů.

### **3.1.2 Nezákonné ozbrojování**

Prvním kontroverzním příkladem, který spojoval aditivní výrobu a zbraně, se stal případ společnosti Defence Distributed vlastněné Cody Wilsonem. Wilson v roce 2013 otestoval tištěnou pistoli Liberator a následně soubory potřebné k jejímu vytištění vystavil ke stažení na stránkách společnosti. Tento krok strhl vlnu pozornosti. Liberator je jednoranná zbraň tištěná z plastu a její jedinou kovovou součástí je klasický hřebík, sloužící jako úderník, a samotná nábojnice. Americký kontrolní úřad DDTC zodpovědný za dohled nad zbraněmi na základě zákona o mezinárodní pašování a regulaci zbraní ze zjištěných důvodů vyzval společnost, aby soubory stáhla, což se následně stalo. Nicméně soubory během několika dní stáhly tisíce uživatelů (Koslow 2019). V roce 2013 se podařilo izraelským reportérům zbraň pronést do těsné blízkosti představitelů vlády, nutno podotknout, že bez úderníku a nábojnice. Dalším příkladem zneužití této technologie je tisk řezných a bodných zbraní, které při správně zvolené technologii nemusí být zachytitelné konvenčními skenovacími technikami a mohou tak být hrozbou pro bezpečnost. Takovéto příklady poukazují jak na silné, tak slabé stránky aditivní výroby. Konkrétně že praktické využití této technologie není nikterak omezeno, a zároveň že dohled nad tím, co uživatelé tisknou, je v současné době v podstatě nemožný. Především v poslední době se ukázalo, že pro páchání trestné či přímo teroristické činnosti ovšem existují jednodušší způsoby ozbrojování (převrtání ústí plynové pistole) nebo používání smrtelných prostředků (smrtelné zranění způsobené automobilem) než pomocí aditivní výroby.

## **3.2 Ekonomické**

Při využití jakékoliv nové technologie je vhodné zjistit její potenciál a ekonomické dopady jejího zavedení do praxe.

### **3.2.1 Domácnosti**

Pro domácnosti by mohla dostupnost 3D tisku znamenat snížení spotřebních výdajů na domácí potřeby a doplňky. Zároveň by mohlo dojít k rozvoji customer to customer trhu. Každý uživatel by si mohl tisknout individuálně navržené produkty jak pro vlastní potřebu, tak pro nabídku ostatním uživatelům. Došlo by ke zvýšení nabídky na online kreativních portálech a jiných prodejních platformách. Zároveň by došlo k navýšení poptávky po vstupních materiálech potřebných k tisku. V důsledku růstu poptávky po surovinách by nejspíš došlo ke zvýšení jejich ceny. Tato skutečnost by mohla mít za následek pokles růstu trhu 3D tisku, nebo by mohl trh částečně kompenzovat tuto situaci využíváním recyklovaného materiálu. S největší pravděpodobností by se poté objevily entity, které by situace využily a profitovaly by na recyklaci i jiných materiálů, které by se následně daly k tisku využít. Jistě dojde také k navýšení poptávky po individuálních návrzích řešení pro 3D tisk a to jak v ze strany domácností, tak ze strany soukromých společností.

### **3.2.2 Průmyslové využití**

Pro průmyslové využití širší zavedení 3D tisku přináší již dnes snížení nákladů na tvorbu prototypu a celkové zkrácení času od nápadu k realizaci hotového produktu. Při využití 3D tisku jako hlavního výrobního procesu pak mohou odpadnout náklady na skladování hotových produktů, protože nebude třeba tvořit zásobu produktů (Kubáč). V těchto firmách řízených inteligentními systémy nebo umělou inteligencí bude výrobní proces optimalizován tak, že dojde k vyřízení několika objednávek na požadované výrobky během jednoho tiskového cyklu. A zákazník díky živému sledování stavu své objednávky může zboží vyzvednout v přesný čas dokončení objednávky. Případně budou moci tiskárny nahradit konsignační sklady. Tiskárny tedy budou dálkově řízeny přímo u zákazníka. Plná automatizace celého tiskového procesu sníží náklady pravděpodobně ještě více, protože nebude zapotřebí další pracovní síly pro manipulaci s hotovými výrobky.

### **3.2.3 Pracovní příležitosti**

Širší využití aditivní výroby v praxi také dost pravděpodobně promění trh práce. Vzniknou nové pracovní pozice pro hardwarovou i softwarovou údržbu zařízení spojených s aditivní výrobou. Vzroste poptávka po programátorech a vývojářích autonomních systémů a systémů zpracovávajících big data, softwarových i hardwarových architektech a kreativních jedincích obecně.

Aditivní výroba pravděpodobně v blízké budoucnosti plně nenahradí ostatní výrobní procesy, její zastoupení ovšem bude mít jistě růstovou tendenci.

### **3.3 Ekologické**

Ekologie je nedílnou součástí moderní průmyslové výroby. Ne jinak tomu bude i v případě rozšíření aditivní výroby.

V současné době je dle serveru statistika nejužívanějším materiálem při tisku polymerů tzv. PLA. Vlákno PLA je biologicky rozložitelný výrobek z rostlinných materiálů a díky svým vlastnostem je velmi oblíbený pro tisk prototypů. Nehodí se však pro všechna užití, jedná se o materiál, který je směřován na mechanicky velmi nenáročná užití. S širším využitím aditivní výroby nepochybně vzroste poptávka po plastech a dalších materiálech vhodných pro aditivní výrobu, jako třeba po práškových kovech. 3D tisk může dát novou možnost využití věcem, které se rozbily a náhradní díly se na ně již nevyrábí. Místo toho abychom je vyhodili, jednoduše můžeme vytisknout nový díl a pokračovat v jejich užívání.

#### **3.3.1 Recyklace**

S nárůstem poptávky bude muset také růst možnost recyklace jak u producentů, tak konzumentů plastů. Výrobní cyklus bude muset být schopen umožnit recyklaci materiálů všem entitám zapojeným do tohoto cyklu. Nicméně dostupnost možnosti recyklace sama o sobě neznamená její využívání. V tomto případě budou muset entity uplatňovat principy corporate social responsibility a nastavit uvnitř organizace zodpovědné klima. Aditivní výroba může také částečně využít materiál z výroby subtraktivní. V tomto případě se kovové piliny, odřezky a prach zpracovávají za pomoci plasmu na práškový materiál, který je dále využíván pro účely 3D tisku.

#### **3.3.2 Lean a lokalizace výroby**

Aditivní výroba díky svým vlastnostem nabídne možnost štíhlé výroby, kdy producent nebude vyrábět ohromné množství, jen proto aby díky zákonu zhromadnění snížil produkční náklady. Naopak bude vyrábět pouze požadované množství, pro které bude mít zákazník skutečné využití. Zároveň nabídne producent zákazníkovi možnost okamžitého přizpůsobení objednávky v případě nesrovnalostí nebo chybného zadání. Zákazník i producent budou díky tomu více flexibilní a budou se tedy moci lépe přizpůsobit požadavkům trhu. Dopad aditivní výroby na produkční řetězec může mít pozitivní efekt na snížení emisí za přepravu konečného zboží. Následkem snížení cen a zvýšení dostupnosti prostředků aditivní výroby může být jejich rozšíření mezi výrobní podniky a širokou veřejnost. Při takovémto přenesení výroby z firem do domácností ovšem může

vzniknout problém. Kontrola a regulace takovéto výroby může být pro státní orgány jen těžce dosažitelná a vymahatelná.

### **3.4 UPLATNĚNÍ 3D TISKU**

3D tisk je vhodné aplikovat tam, kde dochází k vývoji nového produktu opakující se sekvencí operací a postupů, ale také u společností, které prochází různými stádií vývoje produktu, než konečně dospějí k finálnímu produktu, kde každá úprava je mírnou modifikací předchozí verze. 3D tisk zajišťuje rychlejší a cenově dostupné řešení tohoto procesu. A především posouvá tento proces přímo ke konečnému spotřebiteli. V budoucnu si spotřebitel bude moci nakupovaný produkt upravit dle svých potřeb ještě před pořízením (Strokes, 2013).

Umělá inteligence posouvá návrhy nových řešení směrem, kde dosavadní výrobní procesy nestačí. Důsledkem nových možností je, že se designeři nebudou muset omezovat kvůli výrobním postupům. Díky těmto skutečnostem se bude aditivní výroba stále více prosazovat v širším spektru odvětví.

#### **3.4.1 Strojírenství**

Aditivní výroba najde uplatnění i v průmyslové výrobě. Zde může sloužit k tvorbě nástrojové techniky, prototypování nebo konečné produkci výrobků. V následujících řádcích budou uvedeny možné příklady užití.

##### **Automobilový průmysl**

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

## **Letecký průmysl**

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

### **3.4.2 Zdravotnictví**

Zdravotnictví může z aditivní výroby těžit hned několika způsoby. Jako nejjednodušší se nabízí výroba výukového materiálu pro studijní účely, případně pro přípravu před zamýšleným chirurgickým zákrokem. Nové obzory přinese aditivní výroba v nejbližší době ve stomatologii a protetice.

#### **Protetika**

Protetice přinese aditivní výroba možnost optimalizace tvarů protetických náhrad a ortéz přímo na míru konkrétního pacienta (Jina 2015). Takto vytištěné náhrady poskytují rovnoměrnější rozložení tělesné váhy a tím jsou pro uživatele pohodlnější a prospěšnější a nedochází k atrofii či nerovnoměrnému zatížení svalů. Zároveň takto vytvořené ortézy umožní pokožce lépe dýchat na rozdíl od sádrových či jiných neprodyšných materiálů.

#### **Stomatologie**

Pro stomatologii není využívání fotopolymerů ničím novým, v České republice se takovéto materiály používají jako zubní výplně již řadu let. Až v poslední době ovšem dochází k jejich sofistikovanějšímu využití – s rozvojem trhu výrobců 3D tiskáren. Výrobci nabízejí zubařům komplexní řešení od skenovacího a modelovacího softwaru pro tiskárny až po odborné zaškolení. Tyto technologie nezůstávají pouze u fotopolymerů, ale jsou schopné vyrábět korunky a částečné či totální náhrady (protézy) z velkého množství materiálů od keramiky až po kovy.

Výhodou takovýchto náhrad je opět jejich přesnost a úprava tvarů právě pro potřeby pacientů (Chen et al. 2015).

### 3.4.3 Stavebnictví

Využití pro stavebnictví tkví ve více možných rovinách. Stolní tiskárny mohou sloužit architektům a designerům k tvorbě studijních vizualizačních pomůcek, zatímco velké tiskárny mohou přímo tvořit příbytky nebo jejich části.

#### **Architektonické využití 3D tisku**

Tvorba vizualizačních pomůcek nebo konečných architektonických modelů je sama o sobě složitá práce. Díky 3D tisku mohou architekti vytvářet složitější tvary a být svobodnější, co se týče časové náročnosti samotné tvorby fyzického modelu. Vytvarovaný model může architekt předat rovnou k tisku a nemusí jeho jednotlivé části složitě opracovávat a lepit dohromady, případně tuto práci outsourcovat. Toto řešení je jistě velmi lákavé pro studenty architektury, ale také pro architektonická studia. Obě skupiny mohou ušetřit značné množství času a peněz.

#### **Tištěné domy**

Stavba domů pomocí 3D tisku může znít jako příliš vzdálené sci-fi, nicméně už dnes se objevují firmy (ICON, WINSUN3D, COBOD), které nabízejí konstrukci domů pomocí 3D tisku. Domy mohou být postaveny přímo na požadovaném místě pomocí velké tiskárny, která připomíná jeřáb z lodních překladišť. Požadovanou směs materiálu, většinou betonové směsi, nanáší tisková hlava na zpevněnou platformu.

Zvolená vnitřní struktura obvodových zdí přináší možnost lepších izolačních vlastností domu (Hager et al. 2016). Další možnost je tisk částí domu v továrnách u výrobců. Tyto části by byly následně přepraveny na místo určení a složeny do požadovaného tvaru. Takto vytvořené domy mohou časem nabídnout dostupné bydlení i pro méně majetné, či pomoci při krizových situacích způsobených přírodními katastrofami. V případě, kdy bude tiskárna schopna pracovat autonomně, se náklady vyšplhají pouze do výše využitého materiálu, opotřebení tiskárny a nákladů na její přepravu a montáž, případně na přepravu a montáž tištěných částí domu.

### 3.4.4 Další využití 3D tisku

#### **Vzdělávání**

Ve vzdělávání může 3D tisk najít uplatnění při tvorbě vizuálních pomůcek, například pro účely výuky matematiky, geografie, architektury, umění, chemie nebo anatomie. Případně samotné projektování a tvorba digitálního modelu obohacuje studenta o nové zkušenosti a může mu pomoci v budoucnosti najít uplatnění. 3D tisk umožní studentům učit se více témat najednou.

## **Identifikátory**

Radiofrekvenční identifikační čipy se používají k ochraně a identifikaci zboží běžně. Aditivní výroba přidává možnost zlepšení ochrany skrze zasazení RFID čipů přímo do tištěných součástek v průběhu tisku a znemožní či sníží tak možnost jejich padělání, či odcizení (3Ders 2016). Stejně tak nové metody tisku umožní vytisknout identifikátory přímo uvnitř struktury vznikajícího objektu. Takto tištěné identifikátory mají oproti RFID výhodu, že neobsahují žádné elektronické součástky (Willis et al.). K jejich přečtení pak slouží speciální skenovací zařízení. Pro méně sofistikovaná užití mohou 3D tiskárny také sloužit k vytištění QR identifikátorů.

## **Umění a design**

3D tisk přináší nové možnosti také do světa designu a umění. V hlavním městě Španělska využili 3D tisku k replikování jednoho z nejslavnějších obrazů historie, *Mony Lisy*. Tento obraz byl vytištěn proto, aby mohl být obdivován také lidmi se zrakovým postižením. Díky tomu mohlo muzeum Prado udělat nezvyklou výjimku a návštěvníci se tak mohli tištěných exponátů dotýkat. Tištěné oblečení a obuv dává designérům volnost a možnost využití recyklovaných či recyklovatelných materiálů. Nejznámějším počinem v tomto odvětví se nejspíš může pyšnit značka Adidas, která ve spolupráci s výrobcem 3D tiskáren Carbon, vytvořila speciální edici bot s tištěnou podrážkou. Toto ovšem není jediný projekt svého druhu, stále více firem nabízí možnost tisku obuvi na míru zákazníkovi a jeho potřebám. Designeři pracují s tištěnými tkaninami (Peleg) či keramikou (van Herpt) a se svou tvorbou sklízí úspěchy a podněcují kreativce k používání 3D tisku.

## **3.5 Příležitosti**

Aditivní výroba přináší množství příležitostí pro velké množství oborů a odvětví. Pro příklad vesmírný výzkum, zdravotnictví, elektronický a energetický průmysl.

### **3.5.1 Vesmír**

Díky aditivní výrobě se využívají tištěné součástky jako části dopravních lodí nebo části pohonných systémů. Tyto součástky mají požadované vlastnosti jako dříve využívané materiály, jsou však o desítky procent lehčí. Díky těmto vlastnostem se samotná cena výroby i dopravy snižuje. Díky odlehčené konstrukci bude moci dopravní systém vynést na oběžnou dráhu větší množství materiálů.

Zřejmým přínosem 3D tisku je, že potřebné součástky či nástroje by si mohli v budoucnu tisknout astronauti, aniž by museli čekat na pravidelné dodávky ze Země (Freedman 2017).

Americký úřad pro letectví a kosmonautiku počítá s využitím aditivní výroby při meziplanetárních letech. Několikátým rokem pořádá soutěž o peněžní ceny, jejímž účelem je vybrat nejlepší návrh tištěného obydlí pro průzkum hlubokého vesmíru, konkrétně pro tisk obydlí pro misi na Mars.



OBR.15 VIZUALIZACE TIŠTĚNÉ ZÁKLADNY NA MARSU (NASA 2018)

### 3.5.2 Zdravotnictví

Aditivní výroba pomáhá v rozvoji v nepřeberném množství oborů, jejich výhod již dnes využívá i zdravotnictví. Pokroky v medicíně umožní širší využití 3D tisku také k tvorbě živých tkání díky biokompatibilnímu materiálu (Murphy 2014). Využití najde v regenerativní medicíně, kdy tištěné tkáně budou měněny za poškozené, a zároveň dojde k tisku a transplantaci umělých orgánů, které budou plně kompatibilní s organismem pacienta. 3D tisk může sloužit také k lepší distribuci léčivých látek do těla pacienta, k tvorbě sofistikovanějších náhrad nebo lékařských nástrojů.

### 3.5.3 Elektronika

Aditivní výroba v elektronice zastává svou roli již dnes, do budoucna ovšem může nabídnout mnohem více. S rozvojem výzkumu super materiálů, jako je například grafen nebo stanen, může díky aditivní výrobě dojít k nové energetické revoluci, kdy takto tištěné bateriové články budou dosahovat mnohonásobně větších kapacit při menších rozměrech, případně při zachování stávajících velikostí. Ukládání energie bude díky tomu jednodušší a zároveň šetrnější. Přestože je proces získávání grafenu stále velice drahý, jeho cena každým rokem díky velkému potenciálu klesá. Vývoj se ovšem



nezastaví pouze u baterií, ale bude prostupovat napříč celým spektrem elektronického průmyslu. V blízké budoucnosti se proto můžeme dočkat efektivnějších solárních panelů nebo nové generace polovodičů sloužících účelům výpočetní techniky.

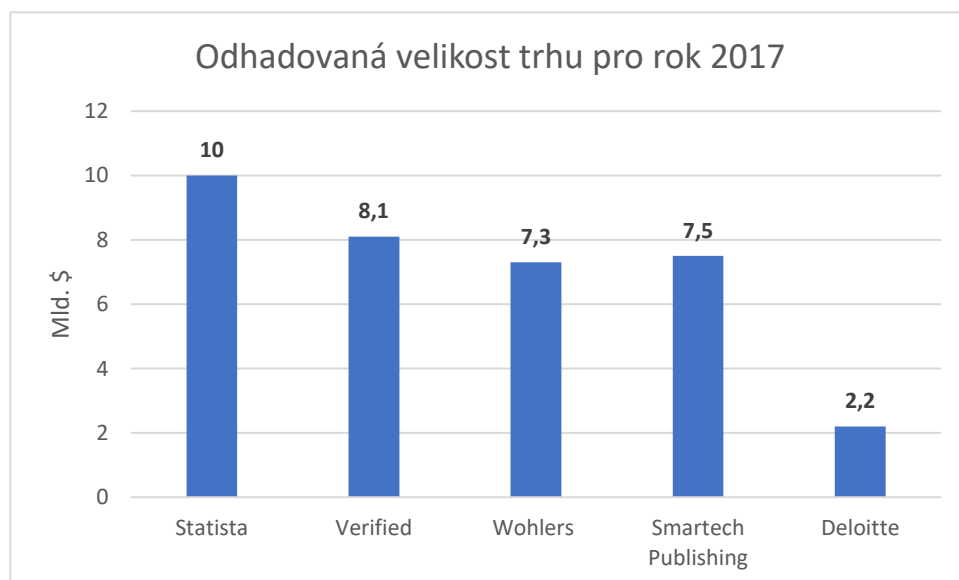
# **PRAKTICKÁ ČÁST**

# 4 EKONOMICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH SPOLEČNOSTÍ Z ODVĚTVÍ 3D TISKU

## 4.1 Analýza trhu aditivní výroby

Celková velikost trhu je jen velmi složitě odhadnutelná. Každá studie počítá s jinými čísly. Například SmartTech Publishing pracuje s daty napříč celým hodnotovým řetězcem trhu, zatímco poradenská společnost Deloitte pracuje čistě s daty velkých společností bez dalšího upřesnění. Jedno mají ovšem všechny současné studie společné – predikci s vyváženou růstovou tendencí trhu.

Ke konstantnímu růstu přispívá zvyšující se důvěra velkých firem v budoucnost 3D tisku a také příliv kapitálu pro rozvíjející se firmy v oboru jako Desktop metal nebo Ultimaker (Feldman 2019). Zároveň technologičtí giganti jako GE a HP přicházejí na trh s vlastním hardwarem i softwarem a vyvrací tak domněnky poradenských firem, že se tak nestane. Navíc také dochází ke zvyšování konkurence v celém sektoru, kdy na trh neustále vstupují noví hráči a předhánějí se, kdo přinese lepší technické řešení. V roce 2016 se dle Forbesu (McCue 2018) výrobou a prodejem 3D tiskáren zabývalo 97 firem. O rok později v roce 2017 nabízelo vlastní tiskárny již o 41 procent firem více, konkrétně 137.



GRAF.1 CELKOVÁ VELIKOST TRHU (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Velikost trhu je odhadována společnostmi na základě úhrnů tržeb firem zabývajících se aditivní výrobou.

### 4.1.1 Světoví hráči na trhu 3D tisku

#### 3D systems

Tato společnost produkuje nejen stolní a průmyslové tiskárny, ale také tiskové materiály, technický software, skenery a jiné služby. Produkty společnosti lze tak využít v letectví, kosmonautice, automobilovém průmyslu (rychlejší výroba dílů, náhradní díly pro historická vozidla, inovace designů), zdravotnictví (3D plánované a řízené chirurgické operace, chirurgické simulátory), stomatologie (přímé či nepřímé výplně, ortodontie, implantologie, zubní náhrady), ve výuce, při výrobě zboží dlouhodobé spotřeby či zábavě (herní, televizní, filmová studia).

#### Stratasys

Společnost, která vznikla v roce 1989 v Minnesotě (USA), je producentem stolních i průmyslových tiskáren, 3D výrobních systémů. Vyrábí produkty pro automobilový a letecký průmysl, dále se zaměřuje na lékařství, výrobu elektroniky, průmysl, volný čas a spotřební zboží.

#### Protolabs

Protolabs, společnost založená roku 1999 v Maple Plain, Minnesota (USA), zajišťuje výrobu 3D tištěných, CNC obráběných, plechových a injection-molded dílů. Své využití najde při výrobě prototypů ve zdravotnictví, elektronice, automobilovém průmyslu. Tato americká společnost má výrobní závody také v Německu, Anglii a Japonsku.

#### EOS GmbH.

Německá společnost EOS (Electro-Optical Systems) sídlící v Krailingu u Mnichova se zabývá především technologií SLS, u které významně přispěla k jejímu rozvoji a šíření. Byla založena roku 1989 bývalým evropským manažerem General Scanning, Hansem J. Langerem, a Hansem Steinbichlerem s cílem vybudovat stroj dle specifikací klienta BMW. Společnost navázala v brzké době spolupráci i s dalšími firmami – Bertrandt, Fiat, Electrolux, Daimler, a stala se ziskovou již 2 roky po svém založení. V následujících letech vyvíjela další přístroje a zlepšovala kvalitu komponent využíváním různých typů laserů. Společnost je držitelem mnohých ocenění – Bayerns Best 50 (za rok 2010, 2011, 2018), Innovator des Jahres (2013), Game Changer Award (2015).

V současné době vyrábí obrovské množství modelů 3D tiskáren u nichž využívá následující technologie: SLS, DMLS, SLA.

#### Arcam AB

Společnost Arcam AB byla založena roku 1997 ve Švédsku. Historie firmy započala v polovině 90. let jakožto vědecký projekt, roku 1993 získala první patent. Ke vzniku společnosti mimo jiné pomohla spolupráce s technologickou univerzitou Chalmers v Göteborgu. V roce 2007 vyvinula společnost ortopedický implantát, který uvedla na

trh italská společnost Adler Ortho Group. Firma pronikla na americký trh a získala významné zákazníky jako např. Boeing, Nasa, Airbus či Royal College of Art (Londýn). Roku 2017 se společnost připojila k GE Additive. Základem podnikání Arcam AB je jejich vlastní EBM technologie.

#### Desktop metal

Společnost Desktop Metal byla oproti výše zmíněným založena poměrně nedávno – roku 2015 v Cambridge (Massachusetts) jakožto start-up zaměřený na kovové 3D tiskové systémy. Svě první 2 produkty uvedla na trh v dubnu roku 2017: Studio System využívající technologii Bound Metal Deposition, která je podobná FDM, pro inženýry a malé výrobní cykly, a Production System pro velké výrobce a velkoplošný tisk. Production System umožňuje velmi rychlou výrobu kovových dílů metodou, jež označuje Single Pass Jetting, která je téměř 100x rychlejší než jí podobná SLS. Tento produkt získal v roce 2017 označení jako jedna z nejlepších technických inovací od společnosti Popular Science v časopise Best of What's New.

#### Carbon

Americká společnost Carbon se sídlem Redwood City (Californie), která vznikla v roce 2014, využívá ve své produkci technologii Digital Light Synthesis (iterace SLA), která zajišťuje vynikající mechanické vlastnosti (chovají se konzistentně ve všech směrech) a velmi dobrou povrchovou úpravu vznikajících produktů. Technologie Digital Light Synthesis je řízena procesem CLIP – jedná se o fotochemický proces, který využívá digitální světelnou projekci v kombinaci s optikou propustnou pro kyslík.

#### Ultimaker

Firma Ultimaker nabízí prémiové desktopové tiskárny pro profesionály. Společnost byla založena roku 2011 v Nizozemsku, její kanceláře a výrobní linku ovšem najdeme v USA. Vyrábějí FFF (FDM) 3D tiskárny, vyvíjejí 3D tiskový software a prodávají 3D tiskové materiály. Na počátku firma své produkty cílila na domácí uživatele, školy, knihovny, malé podniky a průmyslové návrháře. V současné době jsou její produkty využívány v automobilovém průmyslu, architektuře, zdravotnictví, vzdělávání a malovýrobě.

Prusa research

Firma Prusa research byla vybrána jako zástupce dostupných desktopových tiskáren, která se nachází v levnější části spektra nabídky výrobců 3D tiskáren. Tiskárny tohoto výrobce mají pověst kvalitních a výkonných zařízení, která nejsou náročná na údržbu. Tiskárny firmy Prusa research jsou Open source, to znamená, že veškerá data o tiskárnách jsou k dispozici online všem uživatelům. Česká firma založena Josefem Průšou v roce 2009 se stala jedním z nejvyhledávanějších výrobců desktopových tiskáren na světě. Dle společnosti Deloitte se stala firma Průša research nejrychleji rostoucí firmou roku 2018 ve střední Evropě a umístila se tak první na žebříčku Fast 50. Server 3Dhubs ve svém výzkumu uvedl, že tiskárny od firmy Prusa obsadily druhé místo v žebříčku počtu vyrobených součástí za čtvrtý kvartál roku 2018. Pokud by se úhrnně sečetly celkem vyrobené součástky za všechny modely v tomto žebříčku, obsadila by firma jasně první pozici. Tiskárny této firmy využívají k tisku technologii FFF (FDM) a k nejnovějším výrobkům firmy patří také tiskárna na bázi procesu SLA.

## 4.2 3D systems

Společnost 3D systems byla založena roku 1986 Chuckem Hullem, držitelem patentu první prototypovací metody 3D tisku, stereolitografie. Firma se za dobu své existence stala lídrem na trhu 3D tisku a poskytuje hardwarové i softwarové řešení pro profesionály v oboru. Společnost je jedním z lídrů na trhu 3D tisku.



# 3D SYSTEMS®

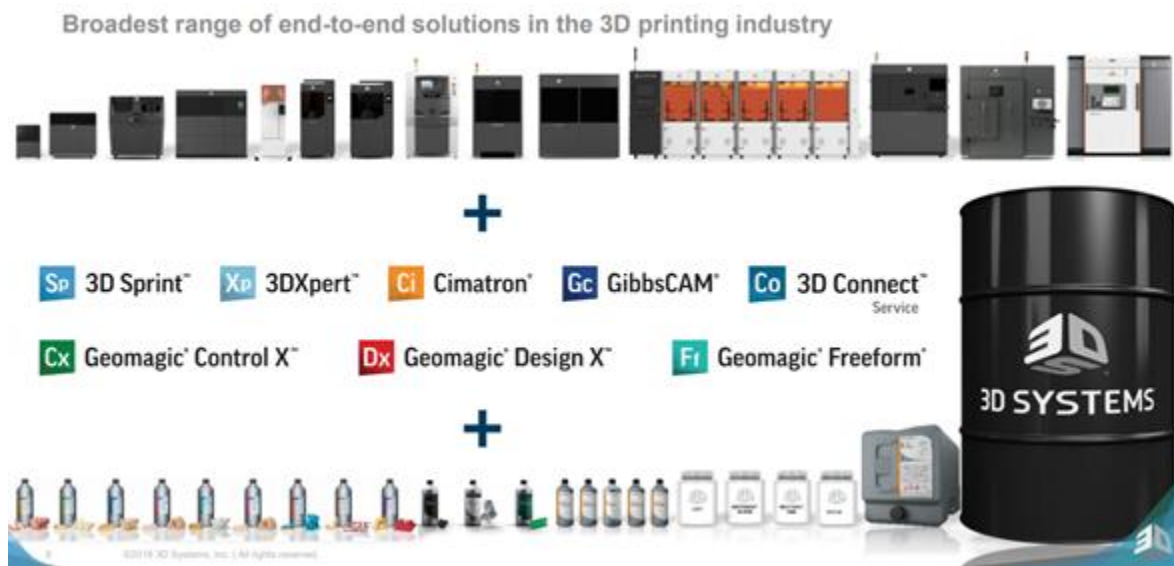
Obchodní jméno: 3D Systems Corporation  
Sídlo firmy: Rock Hill, Jižní Karolína, USA  
Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)  
Počet zaměstnanců: 2 620

Předmětem podnikání společnosti je výroba 3D tiskáren pro průmyslové využití, tvorba zakázkových modelů, produktových konceptů, výroba prototypů, nástrojů a jiných tištěných produktů. Dále se zaměřuje na tvorbu a prodej vlastního modelovacího a skenovacího softwaru.

Využívané technologie 3D tisku

Direct Metal Printing (LENS), SLA, SLS, MultiJet (Polyjet), ColorJet (3DP), DLP (pro dentální účely, podobné SLA)

#### 4.2.1 Portfólio



OBR.16 VIZUALIZACE PORTFOLIA (3D SYSTEMS)

Tiskárny – Kov (DMP Factory 500, DMP Flex 350, DMP Factory 350, ProX DMP 300, ProX DMP 200, DMP Flex 100, ProX DMP 200 Dental, DMP Dental 100), Polymery (Figure 4, ProX SLS 6100, ProJet 6000HD, ProX 800, ProJet MJP 2500/2500 Plus, ProJet MPJ 3600 Series, ProJet MJP 5600, FabPro 1000), Barevné tisky (ProJet CJP 260Plus, ProJet CJP 360, ProJet CJP 860Pro, ProJet CJP 660Pro, ProJet CJP 460Plus), Dentální (NextDent 5100)

Skenovací zařízení a manipulační zařízení – Capture Mini, Capture, sense Scanner, OpenHaptics, 3D systems Phantom Premium, Touch X, Touch

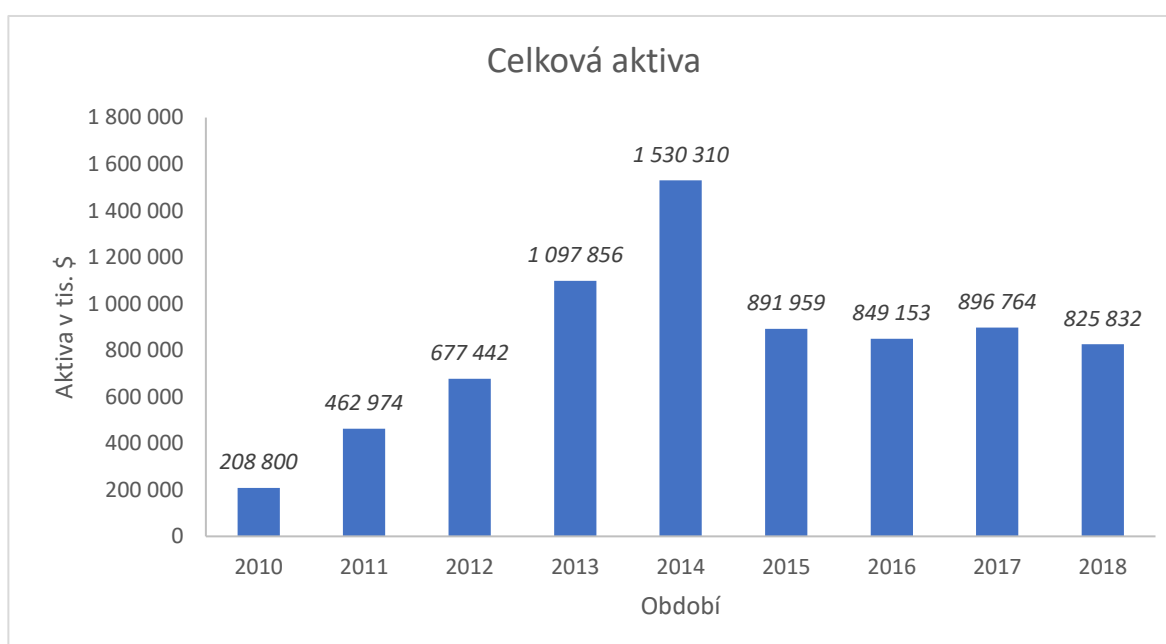
Software – DMP Monitoring, Geomagic Wrap, Geomagic for SOLIDWORKS, Geomagic Design X, Geomagic Sculpt, Geomagic Freeform, 3D Sprint, 3DXpert, 3DXpert for SOLIDWORKS, GibbsCAM, Cimatron, Geomagic Control X, D2P (DICOM to PRINT), PROCEDURE Rehearsal Studio, Symbionix MentorLearn, 3D Connect

Tiskový materiál – Visijet, Accura, Castform, DuraForm, FabPro, Figure 4, LaserForm, NextDent

## 4.2.2 Vybrané finanční ukazatele společnosti

Zdrojem finančních dat byly výroční zprávy zpracovávány do formuláře 10-K. Tento formulář požaduje komise pro kontrolu cenných papírů a burzy (SEC) po společnostech, jejichž aktiva přesahují 10 milionů dolarů a jejichž cenné papíry jsou drženy více než 2000 věřiteli, bez ohledu na to zdali jsou cenné papíry obchodovány veřejně nebo soukromě.

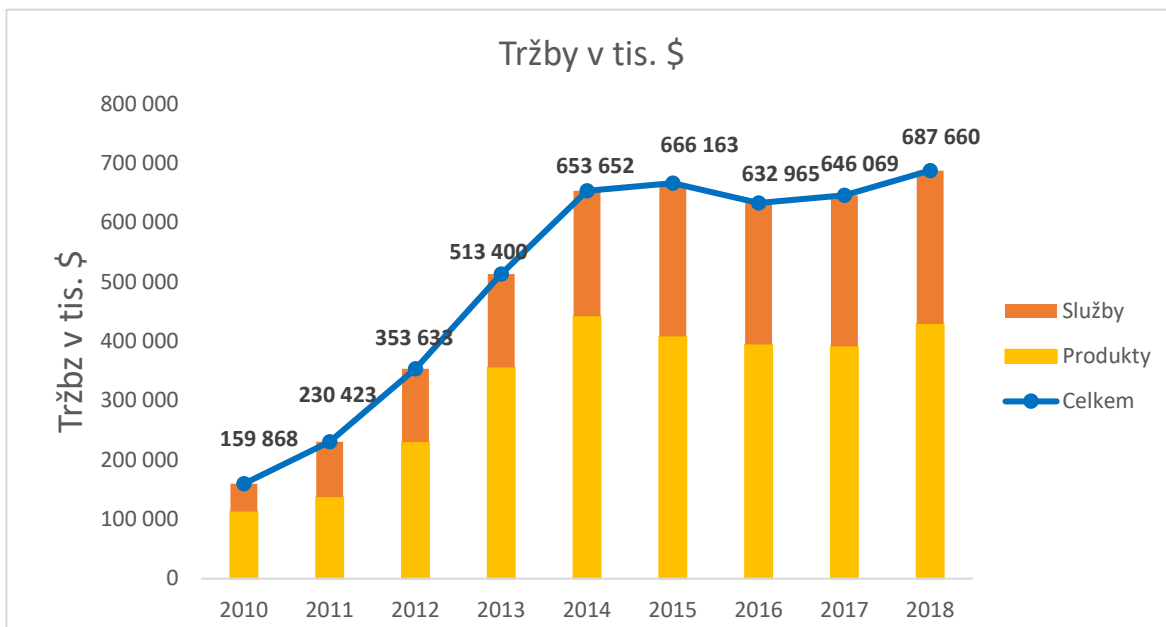
Celková aktiva společnosti zaznamenávala rapidní růst až do roku 2015, kdy došlo ke skokovému snížení o téměř o 42 %. Za touto změnou stojí snížení nehmotných aktiv společnosti. Tento propad zaznamenaly obě zkoumané společnost zabývající se primárně 3D tiskem a byl spojen se situací na trhu.



GRAF Č. 2. VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

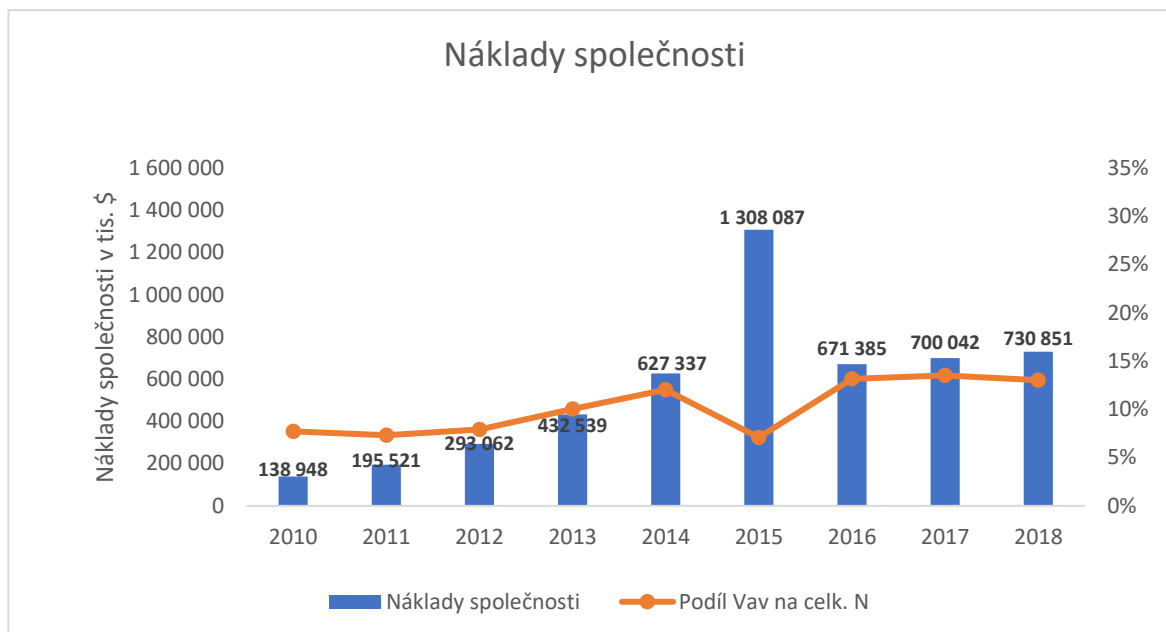
Tržby společnosti 3D Systems měly během sledovaného období rostoucí trend. Složení tržeb se během sledovaného období výrazně neměnilo. Podíl tržeb za služby na celkovém množství byl nejvyšší v roce 2011, kdy dosahoval výše 40 %, druhý nejvyšší poměr byl zaznamenán v roce 2017 a to s hodnotou 39 % na celkovém úhrnu tržeb. Jediný propad tržeb byl zaznamenán v období mezi roky 2015 a 2016. Během sledovaného období došlo k nárůstu tržeb více než čtyřnásobně.





GRAF Č. 3. VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Celkové náklady společnosti měly rostoucí tendenci s abnormálním výkyvem v roce 2015, kdy došlo ke skokovému nárůstu o více než 100 %. Tato skutečnost byla následkem změny tržní hodnoty firmy vůči minulému období. Další sledovanou hodnotou během zkoumaného období byl podíl nákladů na výzkum a vývoj vůči celkovým nákladům. Firma vydala poměrově nejvíce na výzkum a vývoj v roce 2017, kdy se náklady na výzkum a vývoj podílely na celkových nákladech hodnotou 14 %. Nejvyšší absolutní částku na výzkum a vývoj ovšem vydala společnost v roce 2018 a to konkrétně přes 95 miliónů USD, zhruba o 600 tisíc USD více oproti předchozímu období. Celkové náklady na výzkum a vývoj vzrostly během sledovaného období z částky 10,7 miliónů USD na 95,3 miliónů USD.



GRAF Č. 4. VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Ziskovou byla společnost do roku 2014, kdy v následujícím období došlo ke změně na trhu. Společnost dosahovala nejvyššího výsledku hospodaření v roce 2013, konkrétně 44 milionů USD.

Modifikace Zisku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2 018
EAT	19 566	29 652	38 941	44 119	11 946	-663 925	-40 359	-65 323	-45 263
EBT	19 739	32 446	43 279	64 006	17 387	-654 953	-39 812	-57 521	-43 228
EBIT	20 920	34 902	60 571	80 861	26 315	-641 924	-38 420	-53 973	-43 191
EBITDA	28 440	45 995	81 800	111 305	81 503	-558 855	22 115	8 068	16 102

TABULKA Č.1 MODIFIKACE ZISKU V TIS \$ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## 4.3 Stratasys

Stratasys je americká společnost zabývající se výrobou 3D tiskáren, poskytováním služeb spojených s aditivní výrobou a produkcí materiálů pro aditivní výrobu. Společnost byla založena roku 1989. Mezi zákazníky se řadí společnosti zabývající se automobilovým a leteckým průmyslem, zdravotnictvím, tvorbou elektroniky a jiné.



Obchodní jméno: Stratasys, Ltd.  
Sídlo firmy: Eden Prairie, Minnesota, USA  
Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)  
Počet zaměstnanců: 2 232

Stratasys je jedním z největších výrobců 3D tiskáren na světě. Poskytuje komplexní hardware a služby pro profesionály jak v soukromém sektoru, tak v domácnosti.

Využívané technologie 3D tisku

Fused Deposition Modeling, Polyjet, Stereolitografie, Selective Laser Sintering

### 4.3.1 Portfólio



OBR.17 VIZUALIZACE PORTFOLIA (STRATASYS)

Tiskárny – FDM (continuous Build 3D Printer, F120, F170, F270, F370, F900, Fortus 380 Carbon fiber edition, Fortus 380MC, Fortus 450mc), POLYJET (Connex 1, Connex 2, Connex 3, J700 Dental, J720 Dental, Objet EDEN 260VS, Objet EDEN 260VS Dental advantage, Objet 1000 Plus, Objet 260 Dental and Objet 260 and 500 Dental selection, Objet30 Dental Prime, Objet30 OrthoDesk, Objet30 Prime, Objet30 Prime, Stratasys J35 and J750 ), SLA (V650 Flex)

Software – GrabCAD

Tiskový materiál – ABS, Agilus30, Antero, ASA, Dental Materials, Durus, Nylon, TPU, MED610 Bicompatible, PC, PC-ABS, PC-ISO, PLA, PPSF-PPSU, RGD720, Rigur, Support Materials, Tango, Ultem resins, Vero.

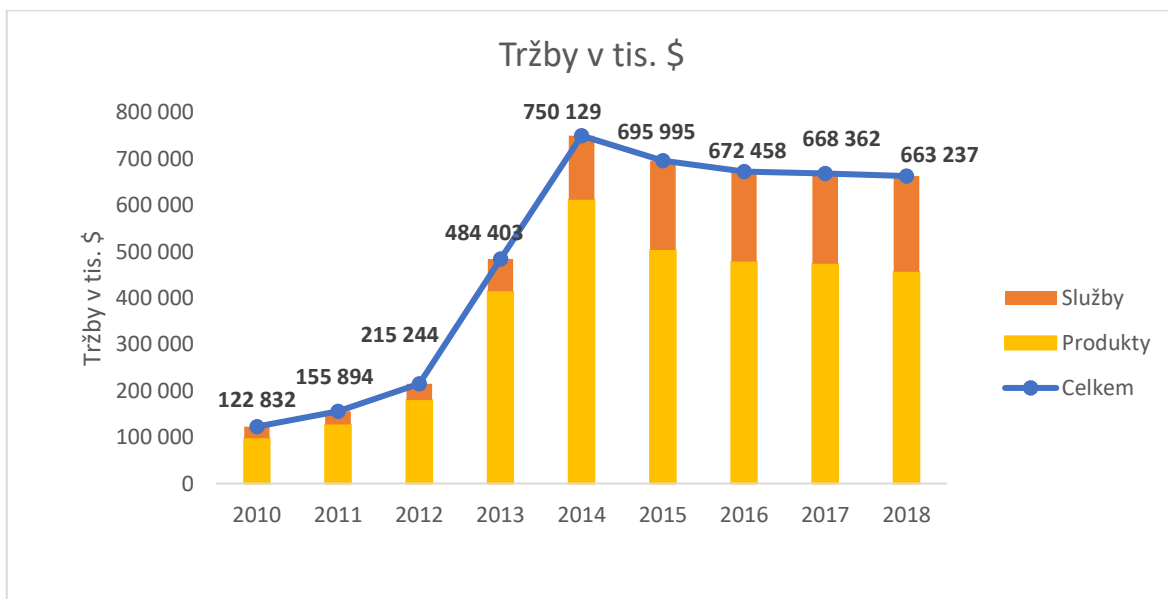
### 4.3.2 Vybrané finanční ukazatele společnosti

Celková aktiva společnosti měla rostoucí tendenci do roku 2014, v následujícím období stejně jako v případě 3D systems došlo k poklesu. Na vině je stejně jako v předchozím případě situace na finančním trhu, kdy firma zaznamenala strmý pokles akcií. Nejvyšší hodnotu aktiv zaznamenala firma v roce 2014, největší skokovou změnu zaznamenala firma v roce 2012, kdy hodnota aktiv vzrostla skoro osminásobně, v tomto období došlo k fúzi se společností Objet LTD.



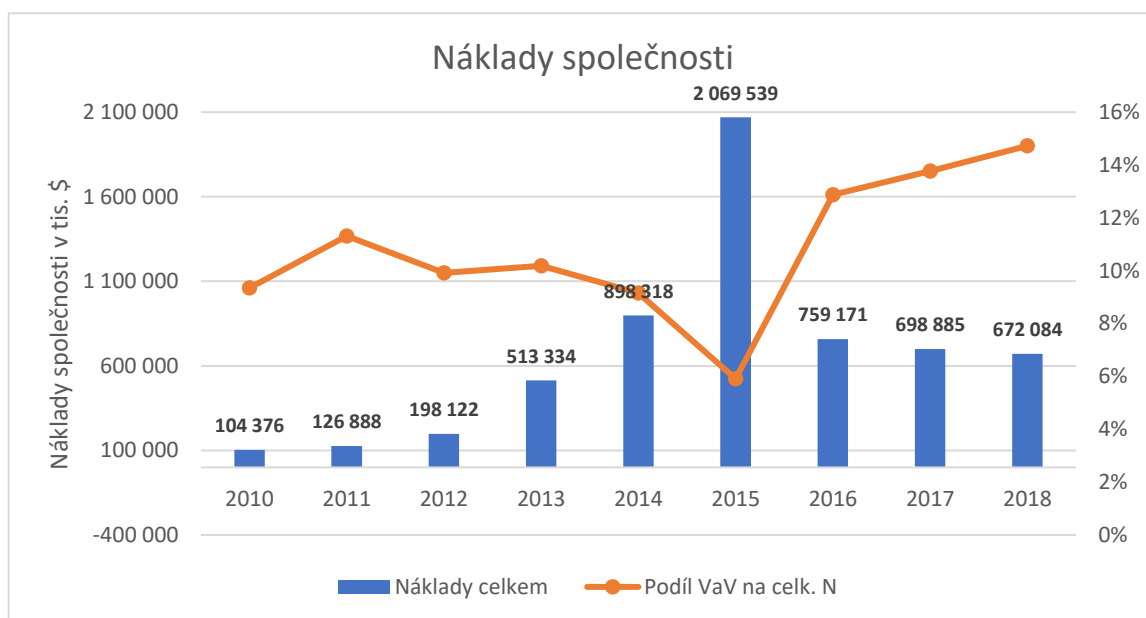
GRAF Č. 5. VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Tržby společnosti ve sledovaném období rostly do roku 2014. Od tohoto roku vykazovala společnost každoroční pokles tržeb. Během sledovaného období zároveň rostl podíl tržeb za služby na úkor produktů. V roce 2018 dosahoval podíl služeb na tržbách 31 %.



GRAF Č. 6. VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Náklady společnosti Stratasys měly růstovou tendenci ro doku 2015, kdy dosahovaly svého maxima, konkrétně přesahující částku 2 mld. USD. Nejvyšší podíl nákladů na výzkum a vývoj na celkových nákladech měla firma v roce 2018, konkrétně 15 %. Nejvyšší vynaloženou částkou na výzkum a vývoj ovšem vydala společnost v roce 2015, konkrétně 122 milionů USD.



GRAF Č. 7. VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Firma Stratasys byla ziskovou během sledovaného období ve třech po sobě jdoucích obdobích od roku 2010 do roku 2012. Následně od roku 2013 vykazovala ztrátu, kterou od nejhoršího roku 2015 postupně snižuje. Pokud bude klesající tendence pokračovat stejným tempem a na finančním trhu nedojde k výrazným výkyvům, mohla by společnost během příštího roku opět vykazovat zisk.

Modifikace zisku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EAT	9 370	20 626	8 823	-26 970	-119 470	-1 373 511	-77 621	-40 459	-11 225
EBT	13 836	31 352	18 510	-29 381	-154 718	-1 383 831	-87 067	-31 186	-6 489
EBIT	13 468	29 006	17 122	-29 831	-148 189	-1 373 544	-86 713	-30 523	-8 847
EBITDA	22 810	39 354	36 619	62 605	-38 760	-1 265 149	6 164	36 112	52 403

TABULKA Č.2 MODIFIKACE ZISKU V TIS \$ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## 4.4 Protolabs

Firma Protolabs je firma zabývající se zakázkovou výrobou. Nabízí široké spektrum výrobních kapacit od klasického obrábění přes formativní výrobu až po trojrozměrný tisk. Firma Protolabs je vybrána jako zástupce on-demand produkce.



Obchodní jméno: Proto Labs Inc.  
Sídlo firmy: Maple Plain, Minnesota, USA  
Právní forma: Veřejně obchodovaná společnost (Public Company)  
Počet zaměstnanců: 2 487

Společnost Protolabs se rozrostla v globálního výrobce s produkčními kapacitami ve Spojených státech amerických, Evropě a Japonsku. Je jednou z nejrychleji rostoucích firem zabývajících se produkcí zakázkových prototypů a nízko objemovou produkcí dílů. Vytvoření zakázky začíná nahráním vytvořeného 3D CAD modelu na stránky společnosti, kdy v řádu hodin obdrží zákazník zpětnou vazbu a informaci o ceně. Následně je se zákazníkem provedena analýza proveditelnosti, která hledá potenciální problémy a snaží se jim předejít. Až je model konečně hotov a schválen oběma stranami, dochází k zaslání instrukcí výrobním jednotkám, kde následně započne proces výroby.

Využívané technologie 3D tisku  
SLA, PolyJet, Direct Metal Laser Sintering (LENS), SLS

## 4.4.1 Portfólio

Společnost se zabývá výrobou dílů pomocí subtraktivní, formativní i aditivní výroby. Nabídka výrobních kapacit zakázkového tisku společnosti Protolabs je vyobrazena v následující tabulce.

		SLA	Multi Jet Fusion	DMLS	SLS	Polyjet
Velikost tiskové plochy v mm	Základní rozlišení	736x635x533	284x380x380	245x245x270	482x482x431 (PA12)	490x390x200
	Vysoké rozlišení	254x254x254	X	88x88x70	269x304x406 (PA11, PA12-GF, PA12-MF)	X
	Ultra vysoké rozlišení	127x127x63,5	X	X	X	X
Přesnost vrstvy v mm	Základní rozlišení	0,1016	0,08	0,03	0,1016	0,03
	Vysoké rozlišení	0,0508	X	0,02	X	X
	Ultra vysoké rozlišení	0,0254	X	X	X	X
Minimální velikost v mm	Základní rozlišení	0,254 na ose XY (0,406 pro osu Z)	0,5	0,381	0,762	0,3
	Vysoké rozlišení	0,1016 na ose XY (0,406 pro osu Z)	X	0,153	X	X
	Ultra vysoké rozlišení	0,0508 na ose XY (0,203 pro osu Z)	X	X	X	X
Použitý materiál		ABS-like (huntsman RenShape 7820), PC-Like (3D systems Accura, Somos PerFORM, MicroFine Green, Somos WaterShed), PP-like (Xtreme White 200, DSM Somos 9120)	VESTOSINT® 3D Z2773 PA 12	Hliník, Ocel, Titan, Inconel 718, Cobalt chrome	PA12 White, PA11 Black, PA12 40% glass-fiber, PA12 Mineral-filled)	Tvrdość materiálu 30A, 40A, 50A, 60A, 70A, 85A, 95A, Barvy Digital clear/translucent, Digital Black, Digital White

TABULKA Č.3 ZAKÁZKOVÝ 3D TISK (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## 4.4.2 Vybrané finanční ukazatele společnosti

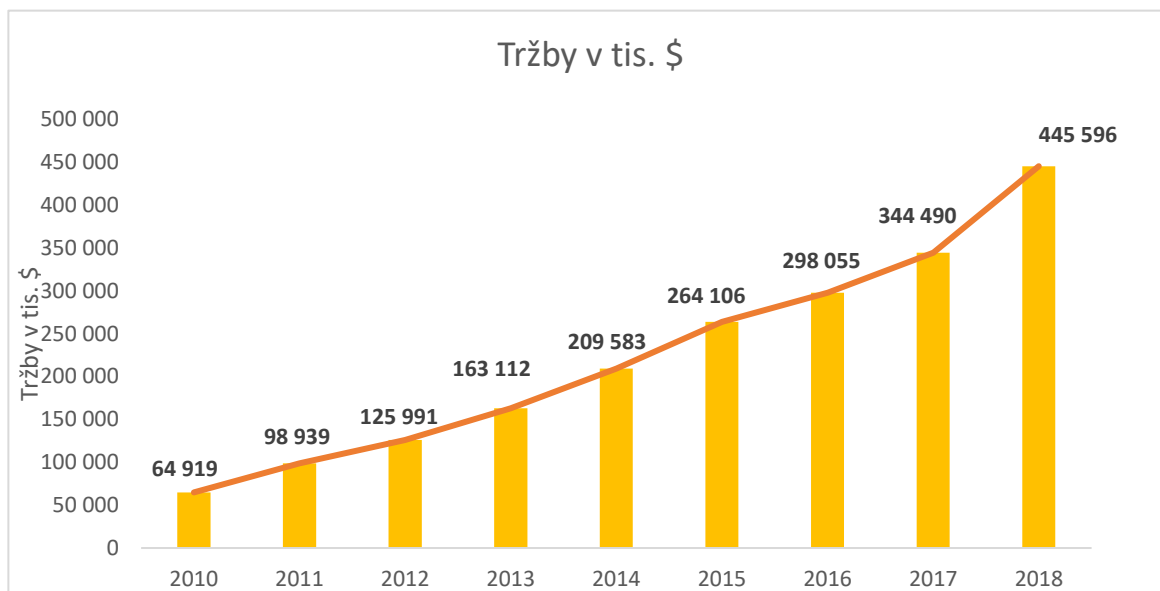
Aktiva společnosti Protolabs měla během sledovaného období konstantní růstovou tendenci. Nejvyšší úhrn aktiv vykázala společnost v roce 2018 sumou necelých 619 milionů USD.



GRAF Č. 8. VÝVOJ AKTIV SPOLEČNOSTI PROTOLABS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

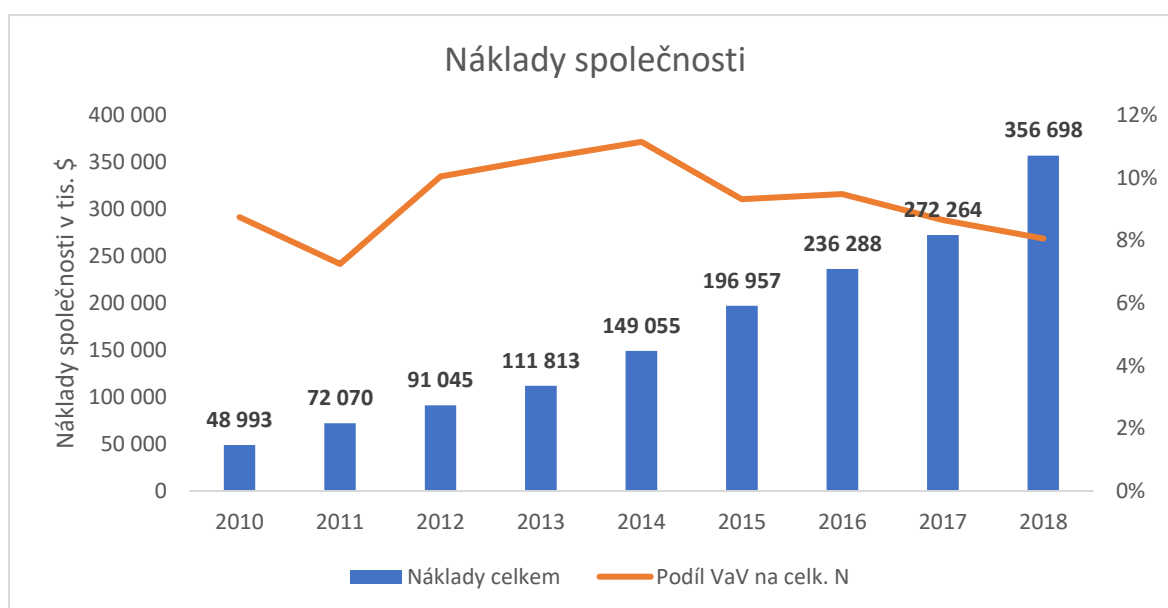


Tržby společnosti, stejně jako aktiva, vykazovaly konstantní růst. Nejvyšší hodnoty dosáhly tržby v roce 2018, konkrétně hodnoty necelých 446 milionů USD, to činí bezmála 30 % meziroční nárůst. Tržby společnosti během sledovaného období vzrostly téměř sedminásobně.



GRAF Č. 9. VÝVOJ TRŽEB SPOLEČNOSTI PROTOLABS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Náklady měly během sledovaného období růstovou tendenci. Největší meziroční změnou byl růst nákladů mezi lety 2010 a 2011, kdy došlo k 47% růstu. Druhou nejvyšší změnu zaznamenal rok 2014, kdy došlo k meziročnímu nárůstu nákladů o 33 %. Podíl nákladů na výzkum a vývoj na celkových nákladech dosahoval nejvíce v roce 2014 hodnotou 11%, absolutní částka vynaložená na výzkum a vývoj byla však nejvyšší v roce 2018, konkrétně 28 milionů USD.



GRAF Č. 10. VÝVOJ NÁKLADŮ SPOLEČNOSTI PROTOLABS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

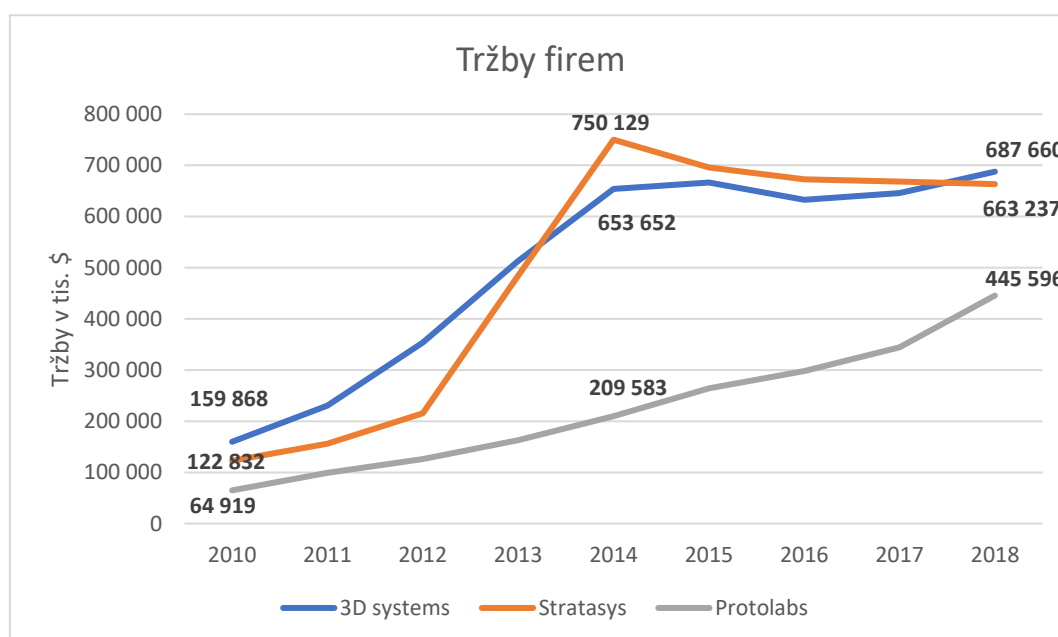
Společnost byla během sledovaného období každoročně zisková. Nejvyššího čistého zisku po zdanění dosáhla firma v roce 2018. Rok 2016 byl jediným rokem, kdy nedošlo k růstu tržeb oproti předchozímu období. Největší meziroční růst tržeb zaznamenala firma v roce 2011, konkrétně 64 %. Druhý nejvyšší meziroční růst tržeb firma zaznamenala v roce 2018, kdy došlo k meziročnímu nárůstu o 47 %.

Modifikace zisku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EAT	10 951	17 972	24 025	35 277	41 635	46 514	39 707	51 778	76 588
EBIT	15 713	26 755	34 969	51 578	60 531	67 861	64 221	74 435	91 655
EBITDA	19 196	31 019	41 049	59 147	71 669	81 987	81 706	92 909	118 409

TABULKA Č.4 MODIFIKACE ZISKU V TIS \$ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

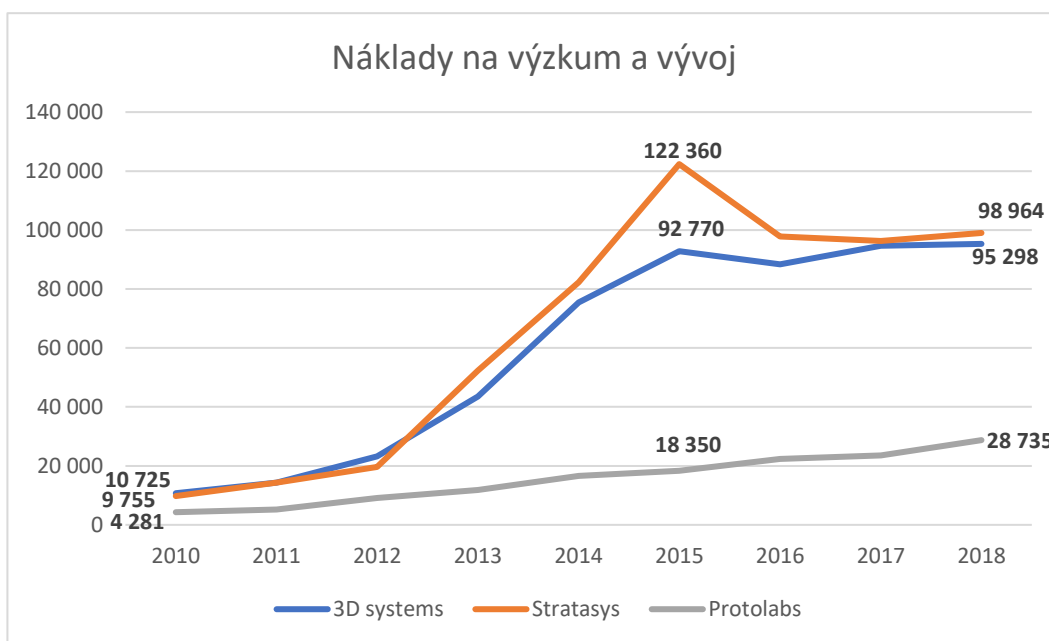
## 5 Porovnání společností

Při vzájemném porovnání sledovaných společností můžeme vidět, že co se týče tržeb do roku 2013, jednoznačně nejvíce vykazovala společnost 3D Systems. Od roku 2014 až do roku 2017 ji vystřídala společnost Stratasys, aby na konci sledovaného období v roce 2018 opět dominovala společnost 3D Systems a to s rozdílem 24 milionů USD. Třetí sledovaná společnost Protolabs dosahovala na počátku sledovaného období zhruba třetinových tržeb oproti společnosti 3D Systems. Na konci sledovaného období již Stratasys dosahovala dvou třetin tržeb vedoucí společnosti 3D Systems.



GRAF Č. 11. POROVNÁNÍ TRŽEB FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Sledované společnosti významně investovaly do výzkumu a vývoje. U společností 3D Systems a Stratasys měly tyto náklady růstovou tendenci do roku 2015. V následujícím období roku 2016 došlo u obou společností k poklesu, tento trend pokračoval i v roce 2017 u společnosti Stratasys, zatímco 3D Systems zvyšovala podíl nákladů na výzkum a vývoj. Náklady na výzkum a vývoj společnosti Protolabs rostly každoročně.



GRAF Č. 12. POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA VAV FIREM (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Vzájemné porovnání čistého zisku společností ukazuje, že nejziskovější z trojice porovnávaných společností byla společnost Protolabs, která jako jediná na konci sledovaného období dosáhla kladných hodnot.

Modifikace zisku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2 018
Protolabs	10 951	17 972	24 025	35 277	41 635	46 514	39 707	51 778	76 588
3D systems	19 566	29 652	38 941	44 119	11 946	-663 925	-40 359	-65 323	-45 263
Stratasys	9 370	20 626	8 823	-26 970	-119 470	-1 373 511	-77 621	-40 459	-11 225

TABULKA Č.5 ČISTÝ ZISK SPOLEČNOSTÍ V TIS \$ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

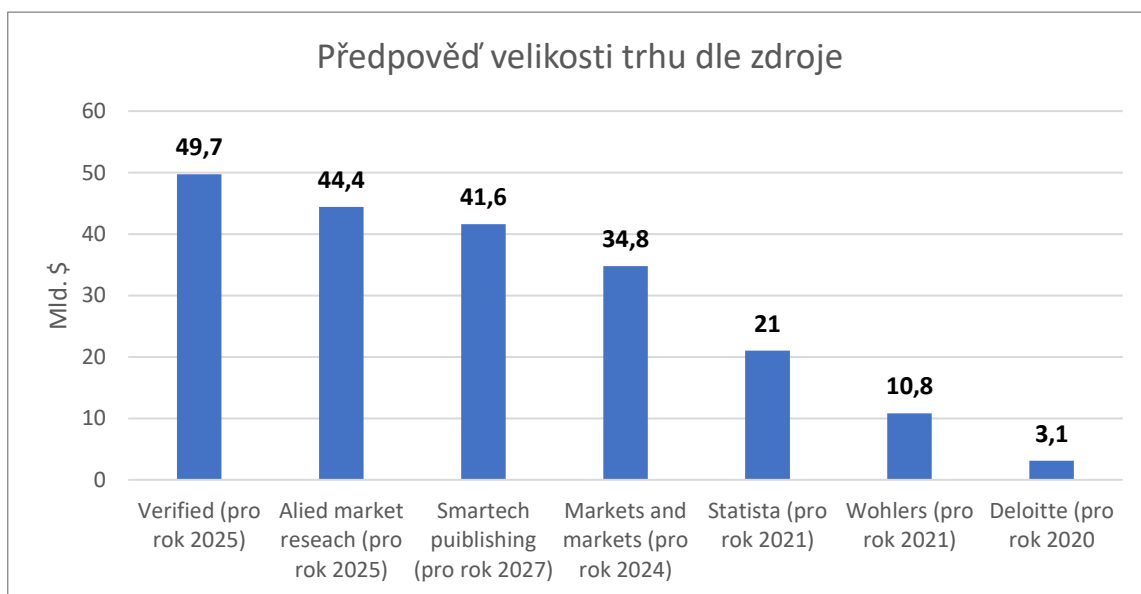
## 6 PROGNOZA VÝVOJE

V této části práce se budeme věnovat prognóze vývoje jednotlivých společností a vývoji trhu. Prognóza bude vytvářena na základě dostupných historických dat. Těmito daty jsou časové řady absolutních ukazatelů, konkrétně tržby.

### 6.1 Prognóza vývoje trhu

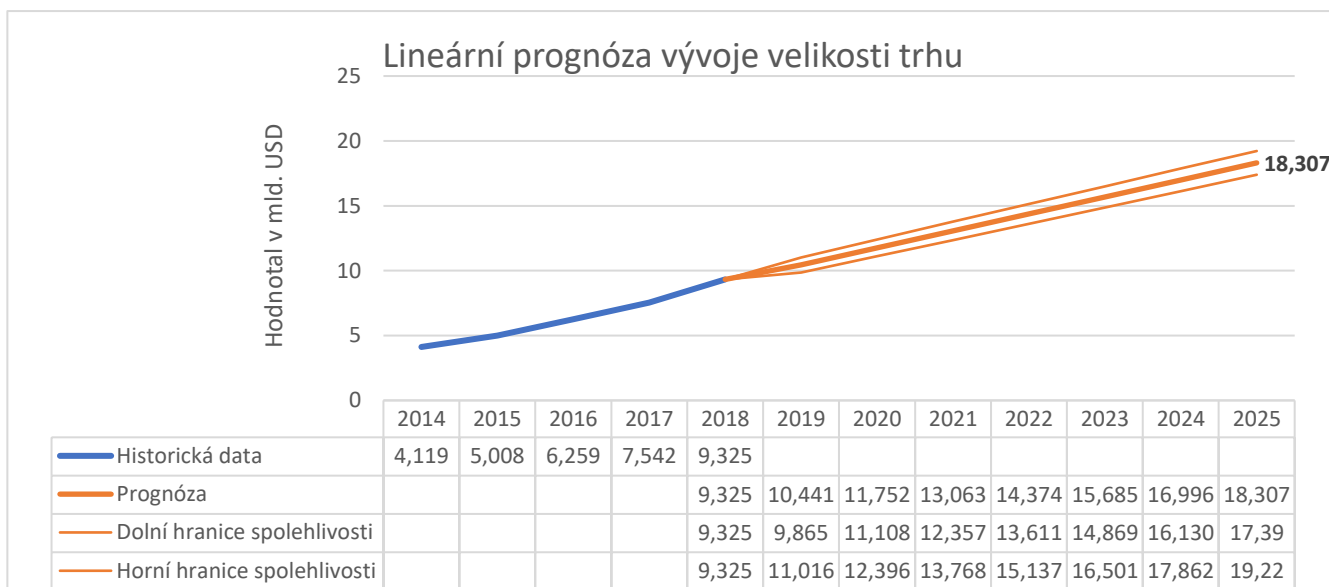
Pro prognózu vývoje trhu byla použita data z více zdrojů. Jejich autoři blíže nespécifikují způsoby výpočtu či výčet zahrnutých ekonomických subjektů v celkovém úhrnu. Tato data nejsou úplná a nevztahují se vždy ke stejnému časovému úseku nebo konkrétnímu roku. K jejich zpracování došlo výhradně pro účely vizualizace možné velikosti trhu aditivní výroby a zároveň pro účely vyznačení nesourodosti a nejednotlivosti výčtu možné velikosti trhu. Častým problémem při zpracování této diplomové práce byla obecně absence relevantních dat způsobená povahou a relativní mladostí sledovaného odvětví. Nejinak tomu bylo i při zpracování této části diplomové práce. Pro plné zhodnocení velikosti trhu, jeho důsledky a případné ekonomické přínosy bude za potřebí vymezit hranice pro stanovení takovýchto veličin, což samo o sobě bude velmi složitým úkolem i pro zkušené odborníky.

Graf č. 10 popisuje prognózu velikosti trhu aditivní výroby dle jednotlivých zdrojů a cílových let. Společnost Verified Market Research odhaduje velikost trhu v roce 2025 hodnotou necelých padesáti miliard amerických dolarů. Smartech publishing odhaduje velikost trhu pro rok 2027 na hodnotu 41,6 miliard amerických dolarů. Nejnížší hodnotu trhu přisuzuje společnost Deloitte s hodnotou 3,1 miliardy dolarů. Je třeba dodat, že firma Deloitte zahrnuje do svého odhadu pouze velké výrobce 3D tiskáren bez uvedení konkrétního příkladu.



GRAF Č. 13. PROGNOZA VELIKOSTI TRHU DLE ZDROJE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Pro prognózu vývoje velikosti trhu byla použita data společnosti Smartech publishing. Tato data obsahovala hodnoty velikosti trhu za pět posledních po sobě jdoucích let. Za použití exponenciálního vyrovnávání byly v grafu číslo jedenáct vytvořeny následující hodnoty. Vyrovnání hodnot této metody je založeno na časovém bodě t ze všech dostupných minulých hodnot. Pro odhad se používá vážená metoda nejmenších čtverců, kdy váhy klesají do minulosti.



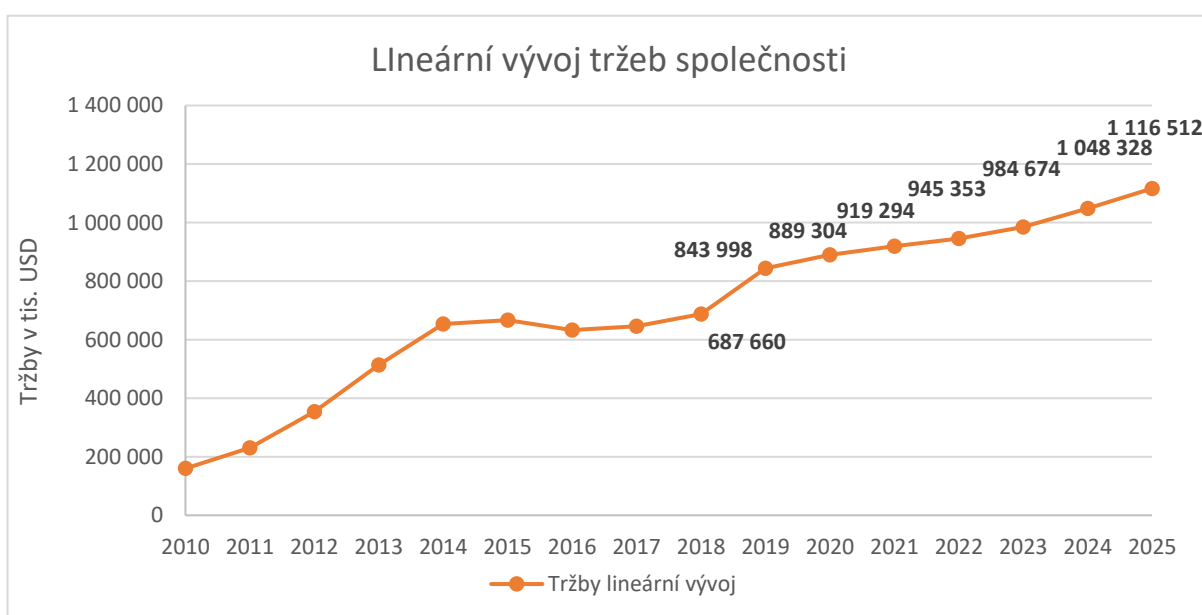
GRAF Č. 14. PROGNÓZA VELIKOSTI TRHU DLE HISTORICKÝCH DAT SPOLEČNOSTI SMARTECH PUBLISHING (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## 6.2 Prognóza vývoje zkoumaných společností

U použitých dat se jedná o okamžikové časové řady vztahující se vždy ke konci fiskálního roku, daného datem 31.12., za vybrané sledované období od roku 2010 do roku 2018. V případě prognózy vývoje trhu je využíváno dostupných dat z jednotlivých zdrojů. Pro názornost jsou u jednotlivých prognóz zobrazeny historické hodnoty pomocí jednotlivých bodů propojených spojnicemi. U prognózovaných období jsou uvedeny i jednotlivé výsledné hodnoty. U každé společnosti jsou uvedeny tři grafy s hodnotami. První graf obsahuje prognózu lineárního vývoje tržeb, jejíž hodnoty jsou předpovídány na základě lineární regrese. Druhý graf ukazuje prognózovaný vývoj na základě metody exponenciálního vyrovnávání. Třetí graf srovnává všechny předchozí vypočtené hodnoty a přidává aritmetický průměr předchozích hodnot.

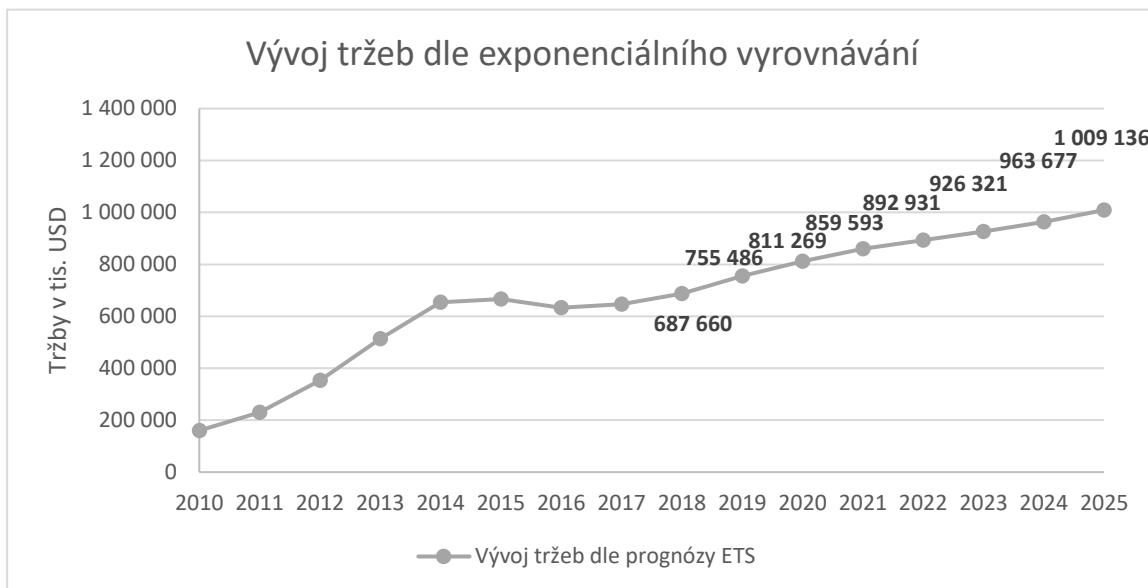
### 6.2.1 Prognóza vývoje společnosti 3D Systems

Tržby společnosti 3D systems za předpokladu lineárního růstu dosáhnou v roce 2025 úctyhodné hodnoty 1,116 miliardy amerických dolarů. Tato hodnota znamená 62 % nárůst tržeb oproti roku 2018. Průměrný meziroční růst tržeb činí 7,3 %.



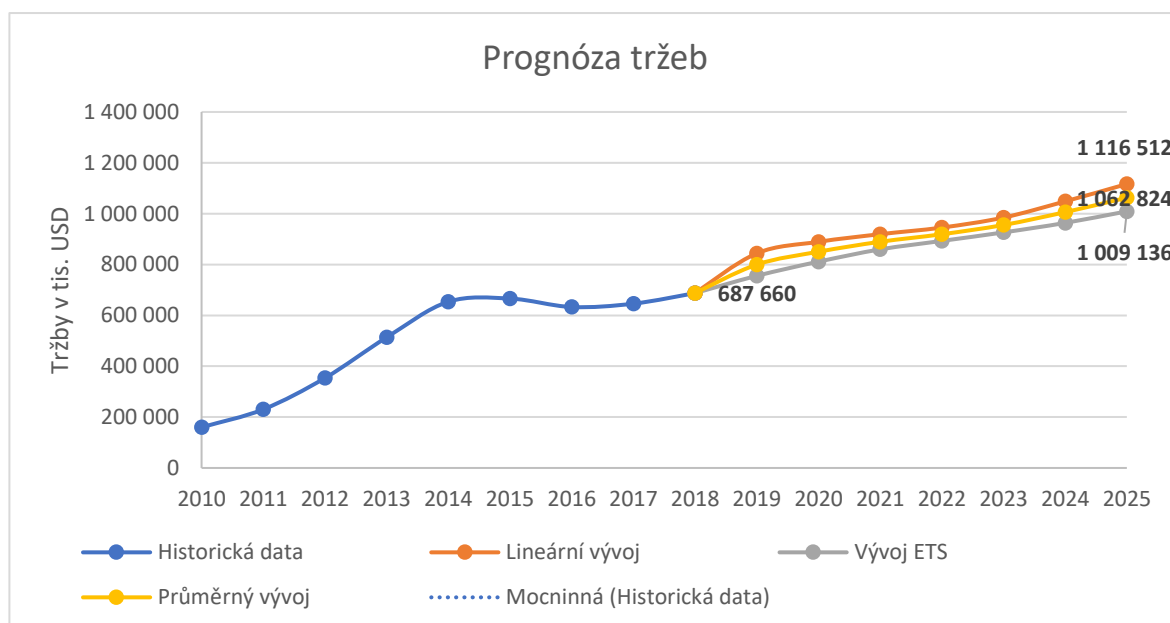
GRAF Č. 15 LINEÁRNÍ PROGNÓZA VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Prognóza vývoje tržeb společnosti vypočítané pomocí exponenciálního vyrovnávání dosahuje střídmejších hodnot oproti předchozí prognóze. V roce 2025 by dle těchto dat měla dosahovat firma tržeb v hodnotě 1,009 miliardy amerických dolarů. Tato hodnota znamená 46,7 % nárůst oproti roku 2018, s průměrným 5,65 % meziročním růstem tržeb.



GRAF Č. 16 PROGNÓZA TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS DLE EXP. VYROVNÁVÁNÍ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

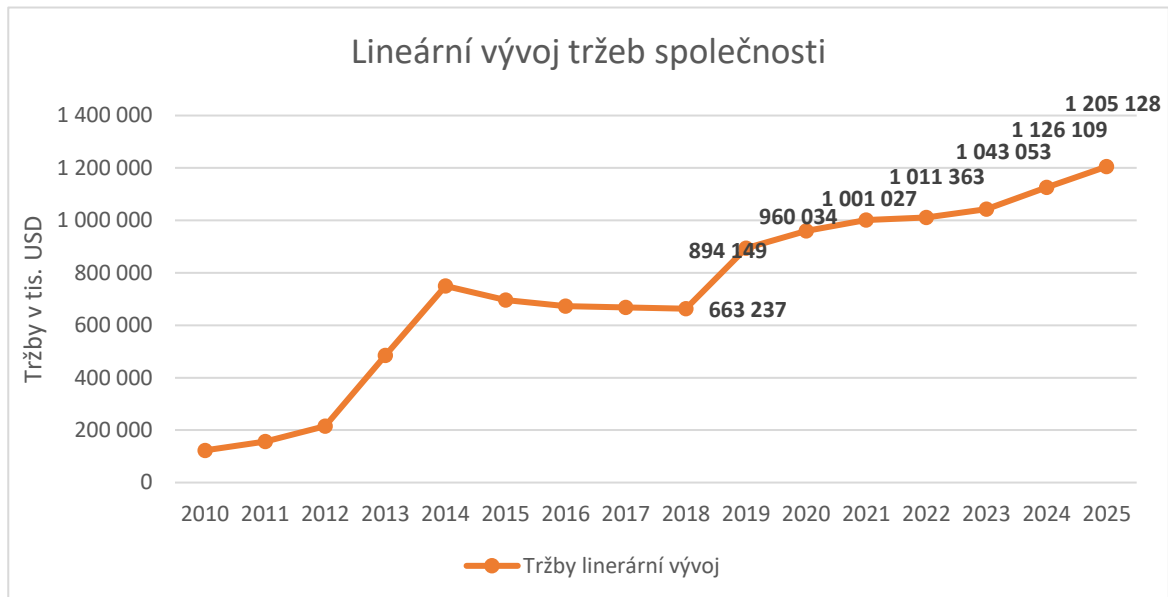
Následující graf srovnává hodnoty prognóz společnosti 3D systems. Do roku 2025 dojde dle prognózy u společnosti k průměrnému meziročnímu růstu tržeb o 6,5 %. Průměrná hodnota tržeb v roce 2025 bude o 54,6 % vyšší než tržby v roce 2018.



GRAF Č. 17 POROVNÁNÍ PROGNÓZY TRŽEB SPOLEČNOSTI 3D SYSTEMS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

## 6.2.2 Prognóza vývoje společnosti Stratasy

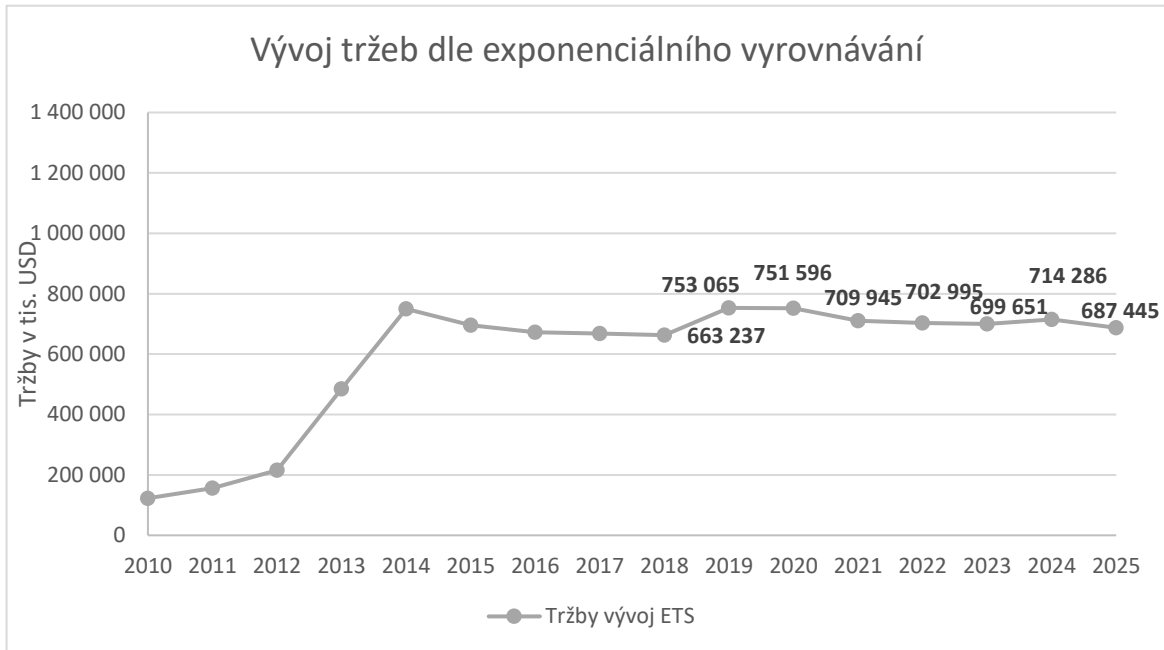
Tržby společnosti za předpokladu lineárního růstu dosáhnou hodnoty 1,205 miliardy amerických dolarů, tato hodnota činí 81 % nárůst oproti roku 2018. Průměrný meziroční růst tržeb je 9,37 %.



GRAF Č. 18 LINEÁRNÍ PROGNÓZA VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

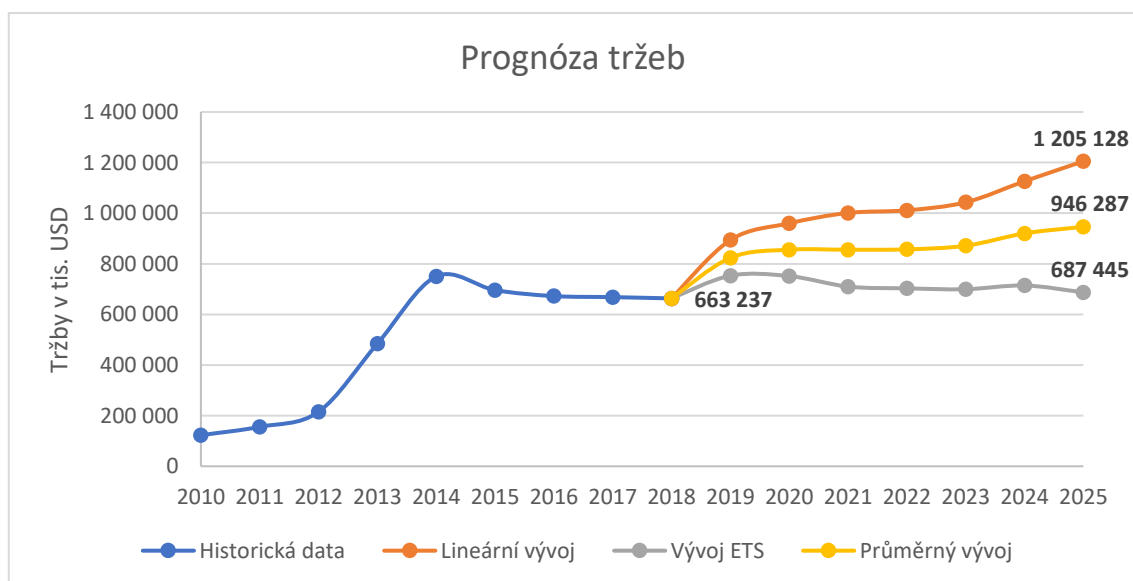


Vývoj tržeb dle exponenciálního vyrovnání v případě společnosti Stratasys nemá trvalou růstovou tendenci a osciluje. Důvodem je pokles tržeb od roku 2014. Odhadovaná průměrná meziroční změna tržeb dosahuje hodnoty 0,67 %. Dle exponenciálního vyrovnání dojde v roce 2025 pouze k 3,7 % růstu tržeb oproti roku 2018.



GRAF Č. 19 PROGNÓZA VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS DLE EXP. VYROVNÁVÁNÍ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

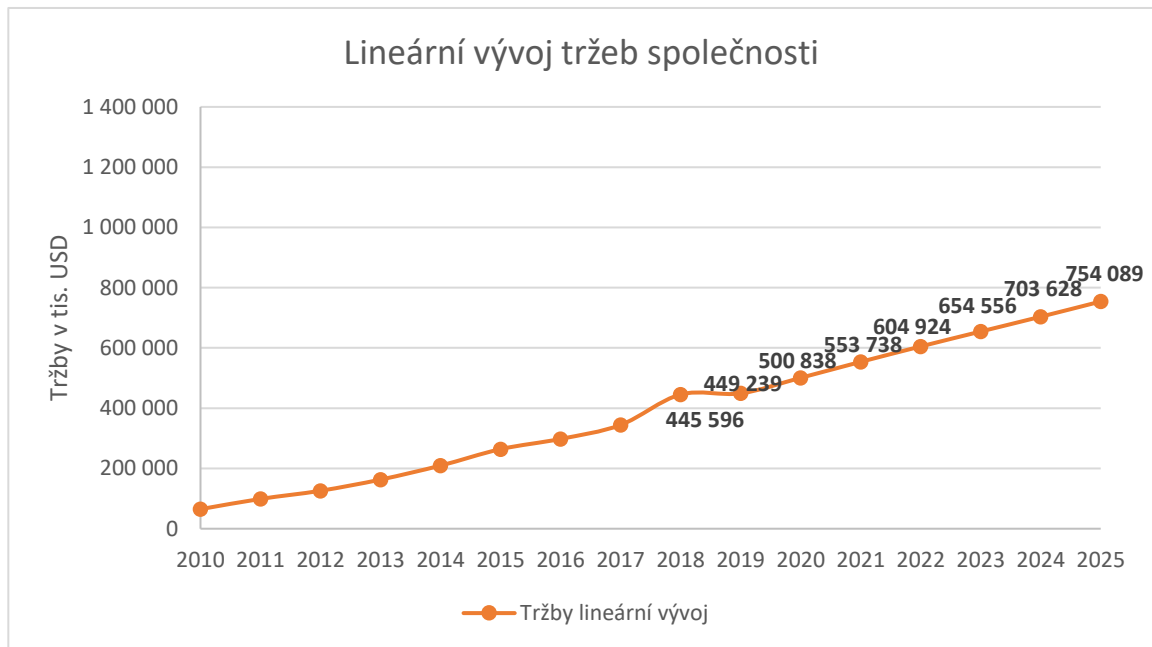
Do roku 2025 dojde dle prognózy u společnosti k průměrnému meziročnímu růstu tržeb o 5,47 %. Průměrná hodnota tržeb v roce 2025 bude o 42,68 % vyšší než tržby v roce 2018.



GRAF Č. 20 POROVNÁNÍ PROGNÓZY TRŽEB SPOLEČNOSTI STRATASYS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

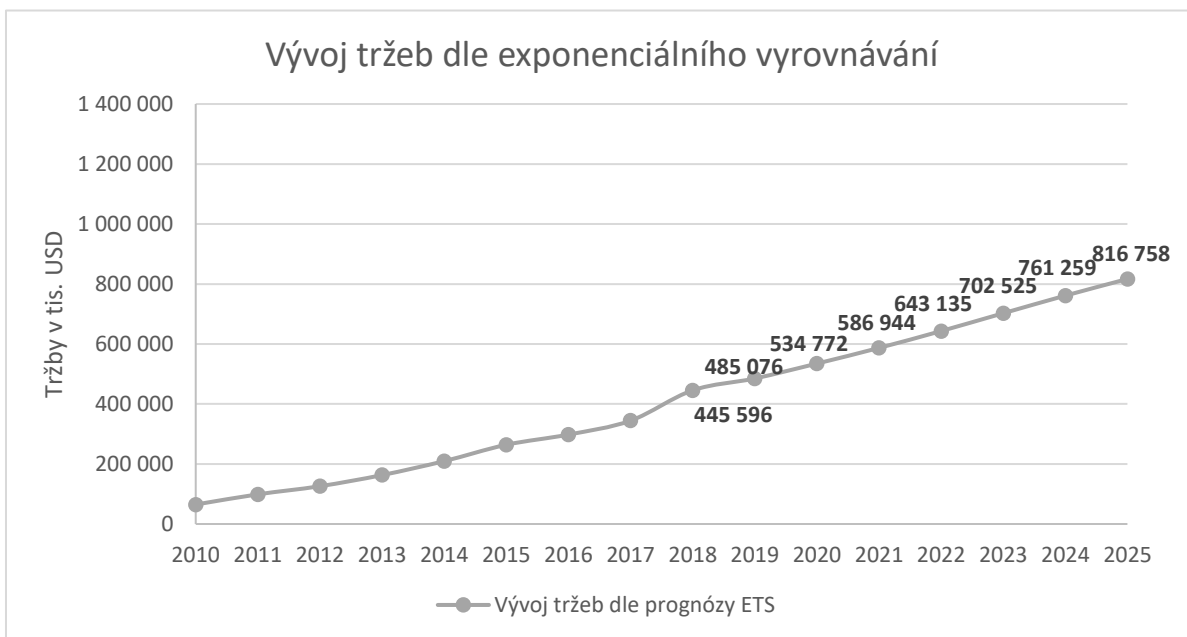
### 6.2.3 Prognóza vývoje společnosti Protolabs

Tržby společnosti za předpokladu lineárního růstu dosáhnou v roce 2025 hodnoty 754 milionů amerických dolarů, to je 69 % nárůst oproti roku 2018. Společnost zaznamená průměrný meziroční růst tržeb 7,85 %.



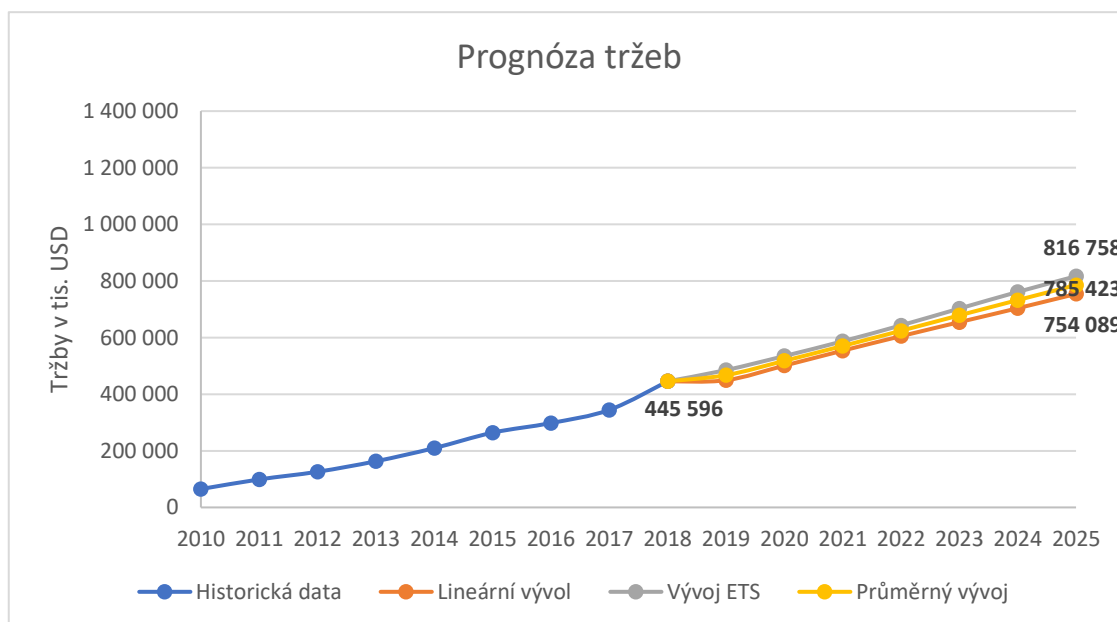
GRAF Č. 21 LINEÁRNÍ PROGNÓZA VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTI PROTOLABS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Vývoj tržeb dle exponenciálního vyrovnání v případě společnosti Protolabs ukazuje na předpoklad trvalé růstové tendence společnosti. V roce 2025 dosáhnou tržby 816,76 milionů dolarů, což je 83 % nárůst oproti roku 2018. Průměrný meziroční růst v případě exponenciálního vyrovnání činí 9 %.



GRAF Č. 22 PROGNÓZA VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTI PROTOLABS DLE EXP. VYROVNÁVÁNÍ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Do roku 2025 dojde dle prognózy u společnosti k průměrnému meziročnímu růstu tržeb o 8,45 %. Průměrná hodnota tržeb v roce 2025 bude o 75 % vyšší než tržby v roce 2018.

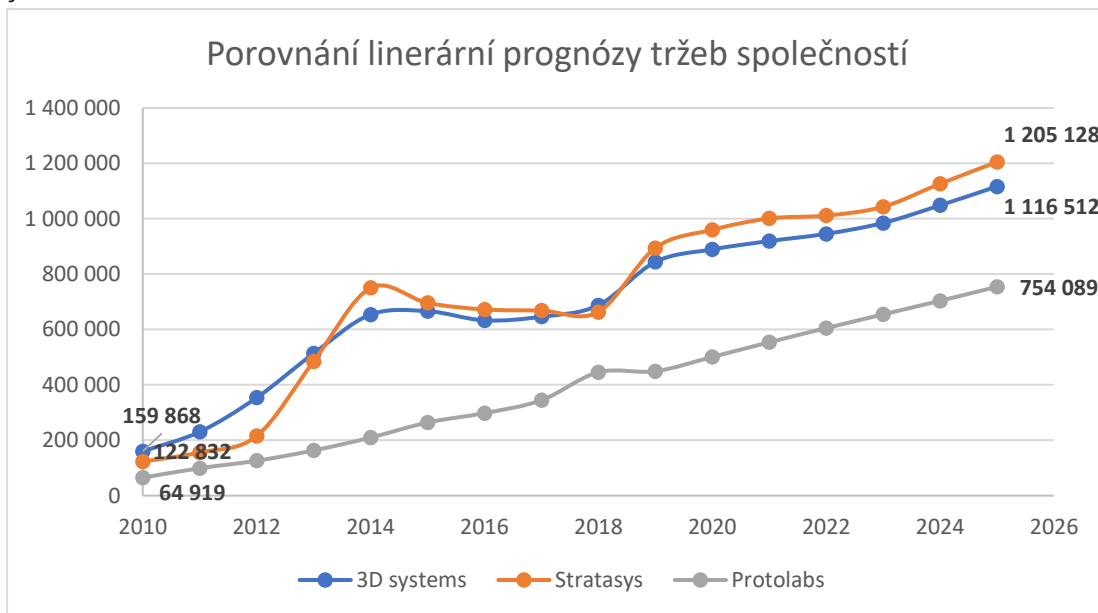


GRAF Č. 23 POROVNÁNÍ PROGNÓZY TRŽEB SPOLEČNOSTI PROTOLABS (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

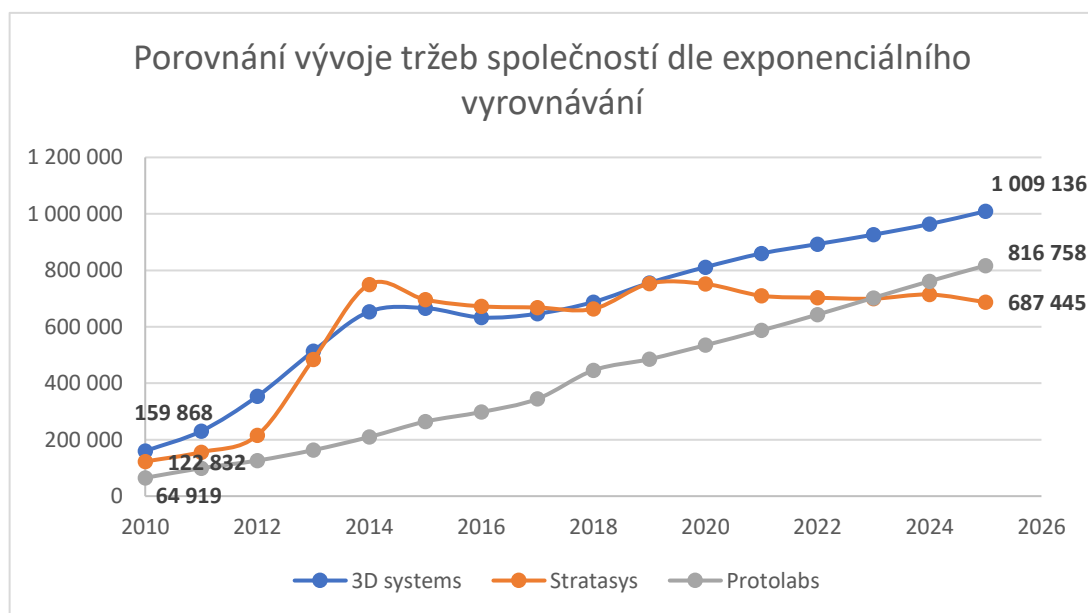
# 7 ZÁVĚRY

## 7.1 Vyhodnocení

Trh aditivní výroby bude mít dle zvolených dat při lineární regresi růstovou tendenci a v roce 2025 dosáhne hodnoty 18,3 miliard amerických dolarů, oproti roku 2018 tedy dojde k nárůstu o 96%.



GRAF Č. 24 POROVNÁNÍ LINEÁRNÍHO VÝVOJE TRŽEB SPOLEČNOSTÍ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)



GRAF Č. 25 POROVNÁNÍ VÝVOJE TRŽEB DLE EXPONENCIÁLNÍHO VYROVNÁVÁNÍ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)

Vývoj tržeb u všech společností bude v cílovém roce 2025 rostoucí. Absolutně vzrostou tržby nejvíce firmě 3D Systems. Ty v roce 2025 dosáhnou průměrné hodnoty 1,063 miliardy amerických dolarů. Nejlepší procentuální vývoj tržeb zaznamená společnost Protolabs. Její tržby porostou v prognózovaném období v průměru meziročně o 8,5 % a v roce 2025 vzrostou průměrně o 75 % oproti stejnému období roku 2018.

Propojíme-li prognostická data s předešle zmíněnými historickými daty z této práce, jako modifikace zisku a investice na výzkum a vývoj, dojdeme k závěru, že společnost Protolabs má nejstabilnější růstový potenciál ze všech tří zkoumaných společností. Hlavním důvodem je i skutečnost, že společnost Protolabs není plně vázaná na trh 3D tisku a její portfolio je významně široké oproti ostatním srovnávaným společnostem. Díky tomu dokáže společnost lépe zvládat tržní výkyvy a reagovat tak pružněji na změnu v poptávce.

## **7.2 Praktický příklad využití 3D tisku**

Před rokem jsem byl schopen popsat princip 3D tisku jen s velkými obtížemi. Účelem ankety a praktické ukázky tisku je dokázat možnost využití 3D tisku laickou veřejností.

### **7.2.1 Anketa mezi studenty**

Pro účely zjištění informovanosti o technologii 3D tisku mezi studenty byla vypracována krátká anketa. Cílem ankety bylo zjistit, do jaké míry jsou studenti seznámeni s touto technologií a případně je-li pro ně zajímavá. Ankety se zúčastnili studenti oboru Projektové řízení inovací v podniku z Masarykova ústavu vyšších studií při ČVUT v Praze. Konkrétně se jednalo o studenty druhého ročníku magisterského studia zapsané na předmět Technologické prognózy. Anketa probíhala na hodině po prezentaci právě na téma 3D tisku. Celkový počet respondentů byl 34.

Anketu tvořilo celkem šest otázek, čtyři uzavřené a dvě otevřené. První otázka se dotazovala, zdali se respondenti již s pojmem 3D tisk případně aditivní výroba setkali. Všech 34 respondentů uvedlo, že se již s tímto pojmem setkalo.

Druhá otázka se dotazovala, kde se respondenti s tímto pojmem setkali. Nejčastější odpovědí bylo, že se studenti se touto technologií setkali v rámci svého studia. Druhé místo obsadila odpověď, že se s touto technologií seznámili skrze média, pouze 4 respondenti opověděli, že se s touto technologií setkali v praxi, konkrétně v práci nebo při tvorbě prototypů.

Další otázka se dotazovala, zdali by respondenti byli schopni popsat princip 3D tisku před prezentací tématu o 3D tisku. Většina respondentů, konkrétně 18, opověděla kladně.

Otázka číslo 4 se ptala, zdali si respondenti dokážou představit využití 3D tisku v každodenním životě. Většina respondentů odpověděla kladně.

Otázka číslo 5 navazovala na otázku 4 a ptala se, v jaké formě si respondent dokáže tuto technologii představit v každodenním životě. Nejvíce zastoupenou odpovědí bylo využití ve spojení s tvorbou doplňků domácnosti, dále pak ve spojení s jídlem. Další zmíněné využití bylo pro stavebnictví a zdravotnictví. Jedna odpověď směřovala na změnu distribučního řetězce.

Poslední otázka se se dotazovala, zdali se respondenti budou dále aktivně zajímat o tuto technologii. Kladně na tuto otázku odpovědělo 13 respondentů.

Z ankety vyplynulo, že studenti technické školy s ekonomickým zaměřením již o technologii 3D tisku někdy slyšeli. Z odpovědí vyplývá, že výuka zahrnuje popis nových technologií. V závislosti na dalších odpovědích je ovšem zřejmé, že tato informovanost je velice okrajová. Studenti využití 3D tisku vidí většinou v tvorbě doplňků, jídla nebo pro zábavu. Zhruba čtvrtina studentů považuje 3D tisk jako využitelnou technologii ve zdravotnictví, průmyslu nebo stavebnictví.

### **7.2.2 Příklad využití 3D tisku- Stínidlo lustru**

Jako ukázka použitelnosti 3D tisku v domácnosti je v této části práce vypracován praktický příklad 3D tisku. Konkrétně bylo užito desktopových tiskáren, protože jsou pro širokou veřejnost dostupnější. Využitou tiskárnou je Prusa i3 MK3, která vytváří modely metodou FDM, respektive FFF.

## Úvod

Po přestěhování do nového bytu zůstalo po původních majitelích vybavení včetně lustru v obývacím pokoji. Lustr je esteticky líbivý a vhodný k novému vybavení bytu. Jediným problémem je, že zářivky nejsou odstíněny. V případě použití slabších zářivek se nejedná o výraznější problém. Jsou-li ovšem použity slabší zářivky je v obývacím pokoji nedostatek světla. V případě potřeby použití silnějšího osvětlení ovšem zářivky nepříjemně září. Možným řešením by bylo vyhledat výrobce lustru a pokusit se objednat vyhovující stínidlo za předpokladu, že se model lustru stále vyrábí. Alternativou je pořídit lustr nový. Další řešení ovšem může nabídnout 3D tisk. Pokud existuje možnost využití 3D tisku za rozumnou cenu či pouze za cenu materiálu, může si majitel stínidla opatřit sám levněji než s využitím předešlých variant.

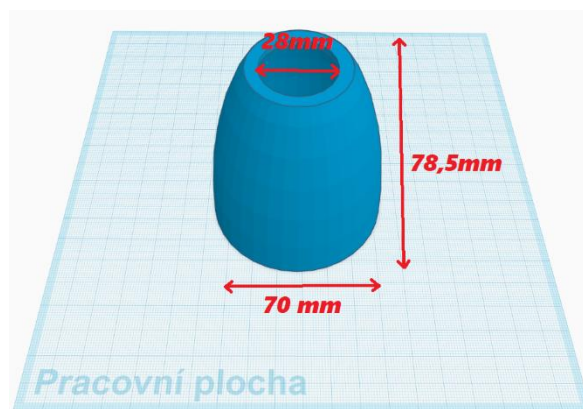


OBR.18 ROZMĚRY OBJÍMKY RAMENA LUSTRU

Prvním krokem je změřit správné rozměry lustru a zářivek. Zářivky mají závit typu E14, výška zářivek od konce závitu činí 70 milimetrů. Odnímatelný kryt objímky má vnitřní průměr 28 mm. Vnitřní mezera mezi objímkou a krytem činí 1 milimetr. Tyto rozměry postačí k tvorbě stínidla.

## Vytvoření modelu

Zvoleným modelovacím softwarem je Tinkercar od společnosti Autodesk. Tento program je dostupný zdarma online a pro jeho používání je zapotřebí se registrovat pomocí emailové adresy. Pro stínidlo bude nejvhodnější kónický tvar, kdy jeho výška bude shodná s výškou zářivky nebo vyšší, aby při přímém pohledu zespoda světlo nedráždilo pohled. Pro získání modelu se nabízejí dvě možnosti. Vlastní tvorba modelu, nebo využití existujícího modelu z veřejně přístupné knihovny trojrozměrných modelů. Pro tento příklad byl model vytvořen vlastními silami. Model vznikl použitím tvaru koule, která byla protažena do doutníkového tvaru. Tento tvar byl následně rozpůlen a uvnitř byla vytvořena dutina, následně byla seříznuta horní část a přidán převis pomocí tvaru válce. Převis bude sloužit k ukotvení stínidla při zašroubování zářivky. Posledním krokem bylo vytvoření díry o průměru 28 milimetrů pomocí tvaru válce. Na konci byl model stažen ve formátu STL.

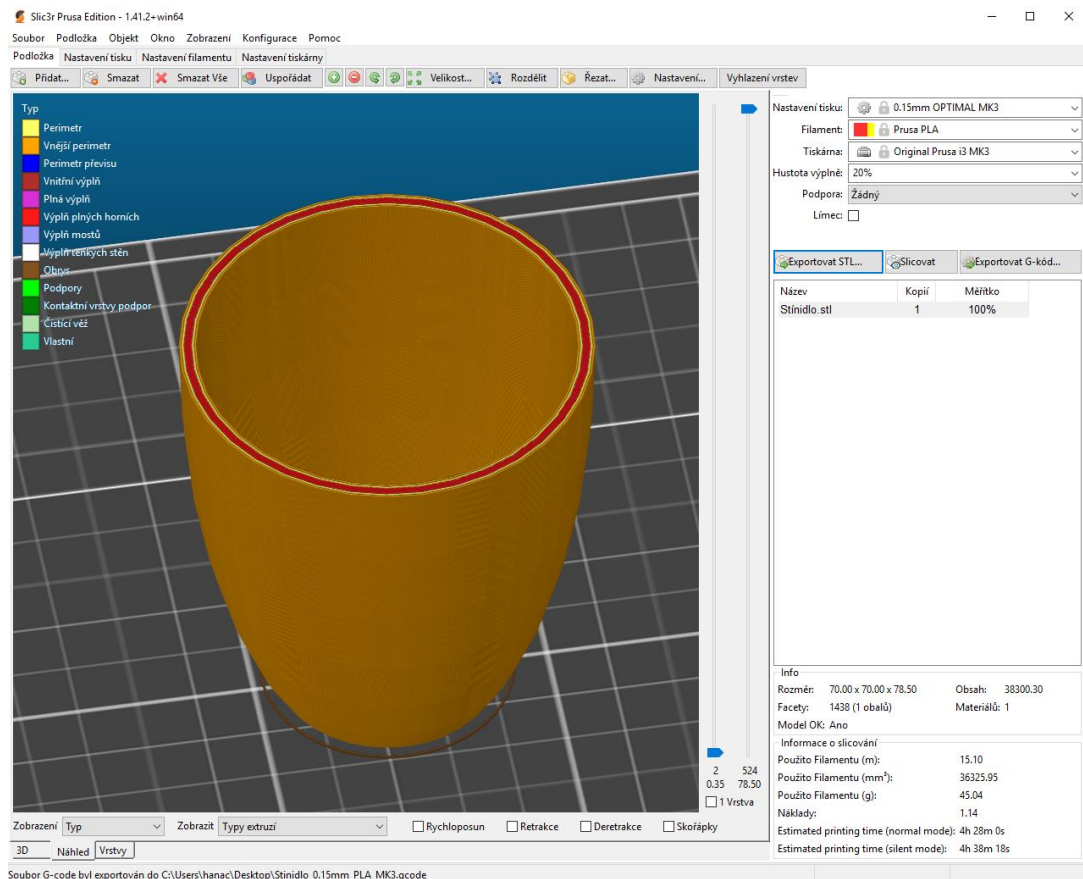


OBR.19 ROZMĚRY MODELU STÍNIDLA

### **Manipulace s modelem**

Aby mohlo být stínidlo vytištěno musí být soubor modelu převeden na speciální formát, který tiskárně určuje dráhu tisku. Pro tento krok byl zvolen program Slic3r v upravené edici Prusa. Tento program je zdarma ke stažení přímo ze stránek výrobce tiskáren Prusa research a je v češtině. Po nahrání modelu do programu je automaticky nastavena používaná tiskárna Prusa i3 MK3. Aby se tisk obešel bez podpor byl model v programu otočen o 180 stupňů. Následně byl model rozřezán na jednotlivé vrstvy a exportován soubor pro tisk - tzv. G-kód.





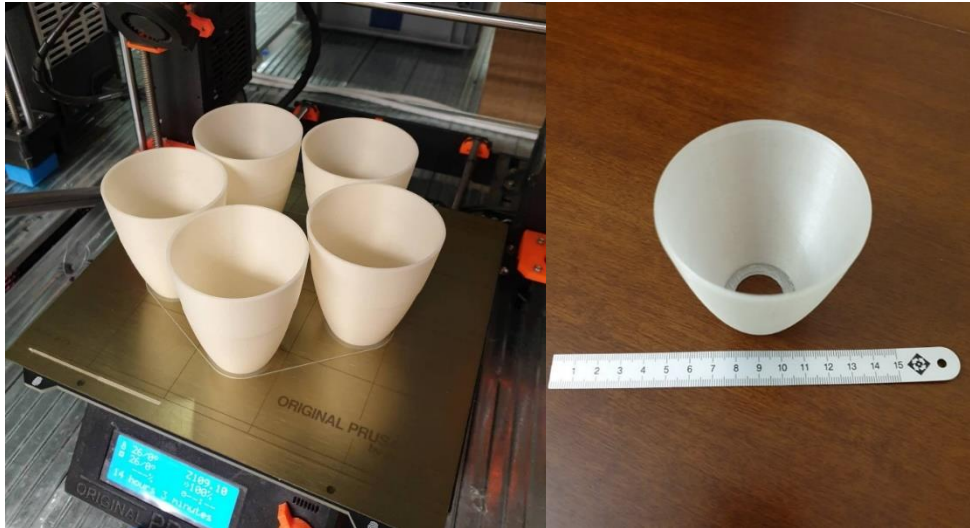
OBR.20 ŘEZÁNÍ MODELU

## Tisk modelu

Dalším krokem je samotný tisk modelu. Při tisku byla využita tiskárna Prusa research, konkrétně model i3 MK3. Karta s nahraným modelem ve formě G-kódu se po vložení objeví v hlavní nabídce, po potvrzení výběru začne automatický tisk. První verze stínidla se tiskla 4 a půl hodiny a jako materiál byl využit filament Prusament PLA Vanilla White. Materiál PLA je biologicky rozložitelné vlákno z rostlinných škrobů, je vhodný pro využití v nenáročných podmínkách. Materiál měkne při teplotách přesahující 50 stupňů Celsia, avšak díky zvoleným LED žárovkám této teploty povrch modelu nedosáhne.

## Vyjmutí a post processing

Po zjištění funkčnosti a vhodnosti velikosti byl konečný G-kód upraven, aby se do tisku vlezlo všech 5 stínidel na lustr najednou. Druhému tisku trvalo zhruba 14 hodin celý proces dokončit.



OBR.21 TISK A VYJMUTÍ MODELU

### Výsledek

Konečným výsledkem je tedy snížení intenzity přímého jasu světla směrem dolů při zachování částečné propustnosti světla důsledkem zvoleného filamentu a tloušťky modelu. Do budoucna je samozřejmě možné měnit stínidla a jejich vlastnosti jako např. barvu, tvar a vzor dle libosti.

Díky 3D tisku je jedinou limitací představivost. Důsledky na životní prostředí v tomto případě představuje pouze spotřeba energie tiskárny při samotném tisku. Filament z materiálu PLA nabízí možnost znovuvyužití pomocí recyklace, případně je plně kompostovatelný, skládkovatelný či spalitelný, přičemž nevytváří žádná toxická rezidua.



OBR.22 LUSTR BEZ STÍNIDEL A LUSTR SE STÍNIDLY

# Závěrečné zhodnocení

Přestože je technologie aditivní výroby známá již přes třicet let, možnost širšího využití zažívá až v poslední dekádě. Díky projektům jako je RepRap se daří pronikat této technologii i mezi běžné uživatele a dostupnost tiskáren je každým rokem větší. Tento rozmach se nedotkne pouze domácího využití, ale pronikne také do různých odvětví jako například letectví, automotive, stavebnictví, zdravotnictví, elektronický a energetický průmysl a další. Stále častěji se budou objevovat nová technická řešení, která byla vytvořena za pomoci nebo přímo díky aditivní výrobě. Stále více společností se začne zabývat tvorbou softwaru i hardwaru pro aditivní výrobu a zároveň budou vznikat služby umožňující její využití. Možná samotné přežití firem či zachování jejich postavení v některých odvětvích bude záviset na správné implementaci této technologie. Aditivní výroba skýtá nové možnosti. Díky ní bude možno vyrábět zboží přímo na míru konečnému zákazníkovi a pomocí vhodného softwaru vyřídít několik objednávek v jednom tisku. Tištěné orgány, náhrady a léky budou zlepšovat lidské životy. Pomocí optimalizace výrobního procesu aditivní výroby bude za potřebí mnohem méně surovin než při využití obvyklých výrobních metod. Aditivní výroba nevyřeší všechny současné problémy a dozajista plně nenahradí stávající výrobní metody, poskytne ovšem nové, dříve nepoznané možnosti. Zdigitalizuje a dost možná reorganizuje dodavatelský řetězec, dovolí konstrukci lehčích a zároveň odolnějších struktur, při plné automatizaci jistě zlevní konstrukci obydlí a dost možná díky možnosti pracovat s lokálním materiálem dopomůže k dobývání vesmíru.

Obstarání dat pro praktickou část diplomové práce nebylo samo o sobě složité vzhledem k povinnosti veřejně obchodovaných firem vykazovat roční výsledky hospodaření. Zpracování těchto dat bylo komplikovanější kvůli překladu z anglického jazyka a své nekonzistentnosti. Ze zjištění vyplývá, že zejména producenti technologií aditivní výroby (3D Systems, Stratasys) měli ve sledovaném období problémy kvůli neúměrnému růstu nákladů. V současné době se situace zlepšuje a pokud bude vše pokračovat obdobným tempem, tyto firmy se v nejbližších obdobích stanou opět ziskovými. Firma Protolabs jakožto příjemce i poskytovatel této technologie vykazuje stabilní růst. Prognóza vývoje tržeb všech tří společností je příznivá a na konci prognózovaného období by měly vykazovat růst tržeb, budeme-li předpokládat stabilní ekonomickou situaci na světových trzích.

Praktický příklad využití 3D tisku poukázal na konkrétní možnost tvorby doplňků pro domácnost. Současné možnosti 3D tisku poskytují širší uplatnění například při tvorbě výukových materiálů, hraček, uměleckých a sběratelských předmětů, případně při tvorbě již nedostupných součástí pro stávající vybavení. V současné době je běžné si zboží objednávat online namísto návštěvy kamenných prodejen. V budoucnu se můžeme dočkat situace, kdy namísto fyzických předmětů budeme online objednávat soubory potřebné k vytištění zakoupených předmětů a jejich samotná výroba bude probíhat v domácích tiskárnách velikosti cestovního kufru.

Dříve jsem znal, stejně jako mí spolužáci, pojem aditivní výroba pouze okrajově, avšak během získávání informací a psaní této diplomové práce jsem tuto technologii měl možnost prozkoumat z jiné perspektivy. Osobně vidím v tomto oboru obrovský potenciál a i nadále se budu aktivně zajímat o jeho směřování a nové milníky.

# Seznam použité literatury

Odborná literatura:

1. *Additive manufacturing of metals*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-58204-7.
2. ANDRE, Jean-Claude. *From additive manufacturing to 3D/4D printing 1*. Hoboken, NJ: ISTE Ltd/John Wiley, 2017. Calling all innovators. ISBN 978-1-78630-119-2.
3. BANDYOPADHYAY, Amit a Susmita BOSE. *Additive manufacturing*. Boca Raton, FL: CRC Press, [2016]. ISBN 978-1-4822-2360-6.
4. CANESSA, Enrique, Carlo FONDA a Marco ZENNARO. *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013. ISBN 92-95003-48-9.
5. DALY, Angela. *Socio-legal aspects of the 3D printing revolution*. London: Palgrave Macmillan, [2016]. Palgrave pivot. ISBN 978-1-137-51555-1.
6. FREEDMAN, Jeri. *Future uses and possibilities of 3D printing*. New York: Cavenish Square Publishing, 2017. ISBN 978-150-2631-541.
7. GILLILAND, Michael, Udo SGLAVO a Len TASHMAN. *Business forecasting: practical problems and solutions*. Hoboken, New Jersey: Wiley, [2015]. ISBN 978-1-119-22456-3.
8. HATCH, Mark. *The maker movement manifesto: rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. New York: McGraw-Hill Education, [2014]. ISBN 978-0071821124.
9. HERZOG, Dirk, Vanessa SEYDA, Eric WYCISK a Claus EMMELMANN. Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*. 2016, (117), 371-392. ISSN 1359-6454.
10. *Industrializing additive manufacturing - Proceedings of Additive Manufacturing in Products and Applications -- AMPA 2017*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-66865-9.
11. *Industry 4.0: managing the digital transformation*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-57869-9.
12. KALASKAR, Deepak. *3D printing in medicine*. University College London: Woodhead Publishing, 2017. ISBN 9780081007174.
13. LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated: the new world of 3D printing*. Indianapolis, Indiana: John Wiley, [2013]. ISBN 978-1118350638.
14. MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-807-2614-400.
15. ORD, J. K a Robert FILDES. *Principles of business forecasting*. Mason, OH: South-Western Cengage Learning, c2013. ISBN 978-0-324-31127-3.
16. REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. Amsterdam: 3D Hubs, [2017]. ISBN 978-9082748505.

17. RAYNA, Thierry a Ludmila STRIUKOVA. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*. 2016, (102), 214-224. ISSN 0040-1625.
18. RYBICKI, Frank J. a Gerald T. GRANT. *3D printing in medicine: a practical guide for medical professionals*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-61922-4.
19. SRIVATSAN, T.S. a T.S. SUDARSHAN. *Additive manufacturing: Innovations, advances, and applications*. 20150627. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4987-1478-5.
20. STOKES, Matthew B. *3D Printing for Architects with MakerBot*. Birmingham, 2013. ISBN 978-1-78355-075-3.
21. SUBHEDAR, Prajakta. Additive Manufacturing: A next gen fabrication. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2018, 8(1). ISSN 2277 – 4106.
22. ŠTĚDRŮŇ, Bohumír. *Prognostické metody a jejich aplikace*. V Praze: C.H. Beck, 2012. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7179-174-4.
23. ŠTĚDRŮŇ, Bohumír a Vladimír KOCOUR. *Technologické prognózy a telekomunikace*. Praha: Sdělovací technika, c2014. ISBN 978-80-86645-24-7.
24. TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Průmysl 4.0, aneb, Nikdo sám nevyhraje*. Praha: Professional Publishing, 2017. ISBN 978-80-906594-4-5.
25. *3D printing and additive manufacturing technologies*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2018. ISBN 978-981-13-0304-3.
26. *3D Printing: Legal, Philosophical and Economic Dimensions*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN 978-94-6265-095-4.

#### Elektronické zdroje:

1. *Additive manufacturing:: 3D printing to perfection* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.bmw.com/en/innovation/3d-print.html>
2. ADDITIVELY AG. *Overview over 3D printing technologies* [online]. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.additively.com/en/learn-about/3d-printing-technologies>
3. *Brake Calipers and Wheels? Now from a 3D printer!* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2018/12/brake-calipers-and-wheels-now-from-a-3d-printer.html>
4. CAMPBELL, Thomas, Christopher WILLIAMS a Olga IVANOVA. *Could 3D Printing Change the World?: Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing* [online]. říjen 2011 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://business.uaa.alaska.edu/>
5. CHEN, Junning et al.. *Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures: A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM* [online]. 10.6. 2015 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0132552&type=printable>
6. *Danit Peleg* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://danitpeleg.com/>
7. *Deloitte Insights: Technology, Media, and Telecommunications Predictions 2019* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/be/Documents/technology-media-telecommunications/DI\\_TMT-predictions\\_2019.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/be/Documents/technology-media-telecommunications/DI_TMT-predictions_2019.pdf)

8. FELDMAN, Amy. *3-D Printing Unicorn Desktop Metal Grabs Another \$160 Million As It Prepares To Ship Its Mass-Production Printers* [online]. 23.01. 2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2019/01/23/3-d-printing-unicorn-desktop-metal-raises-160-million-for-expansion#b9ebd54d59a7>
9. *GE's new aviation plant in the heart of Europe will build engines with 3D printed parts for next-gen Cessna Denali*: [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.ge.com/additive/case-study/ges-new-aviation-plant-heart-europe-will-build-engines-3d-printed-parts-next-gen-cessna>
10. *Global 3D Printing Market Size And Forecast To 2025*[online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/global-3d-printing-market-size-and-forecast-to-2025/>
11. HAGER, Izabela et al. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?. *Procedia Engineering* [online]. 2016, 2016(151), 292-299 [cit. 2019-04-22]. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816317453>
12. JINA, Yu-an et al. Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses: A Review. *Procedia CIRP*. 2015, 36, 199-204. ISSN ISSN 2212-8271.
13. KOSLOW, Tyler. 3D Printed Gun Report: All You Need to Know in 2019. *All3DP* [online]. 17. 01. 2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://all3dp.com/3d-printed-gun-firearm-weapon-parts/>
14. KUBÁČ, Lukáš. *3D PRINTING IN LOGISTICS* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://vslg.cz/wp-content/uploads/2018/06/kubac.pdf>
15. LUTAFALI, Shabnam. *3D Printing: Localized Production in a Globalized World* [online]. In: . 2017 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://blogs.stthom.edu/cameron/3D-printing-localized-production-in-a-globalized-world/>
16. MA, Venus Chui Ki. 3D Printing and the Law: The legal implications of our third industrial revolution. *Intersect: The Stanford Journal of Science, Technology, and Society* [online]. 2017, 01.02.2018, 11(1) [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://ojs.stanford.edu/ojs/index.php/intersect/article/view/1095>
17. MCCUE, TJ. *Wohlers Report 2018: 3D Printer Industry Tops \$7 Billion* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/06/04/wohlers-report-2018-3d-printer-industry-rises-21-percent-to-over-7-billion/#2e907b8d2d1a>
18. *Mercedes-Benz replacement parts from the 3D printer* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/classic/classic-service-parts/next-generation-mercedes-benz-replacement-parts-from-3d-printer/>
19. MPO. *Iniciativa Průmysl 4.0* [online]. 2017 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/informace-zverejnovane-podle-paragrafu-5-odstavec-3-zakona/-iniciativa-prumysl-4-0--230485>
20. MURPHY, Sean a Anthony ATALA. *3D Bioprinting of Tissues and Organs*. 2014, 32(8). ISSN 1546-1696.
21. *Olivier Van Herpt* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://oliviervanherpt.com/>

22. SCANANDMAKE, *Additive manufacturing: Learn about the different kinds of additive manufacturing* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://scanandmake.com/additive-manufacturing#collapse5>
23. SHER, Davide. *The global additive manufacturing market 2018 is worth \$9.3 billion. 3D printing media network* [online]. 2018 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/the-global-additive-manufacturing-market-2018-is-worth-9-3-billion/>
24. *SPACEX LAUNCHES 3D-PRINTED PART TO SPACE, CREATES PRINTED ENGINE CHAMBER* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.spacex.com/news/2014/07/31/spacex-launches-3d-printed-part-space-creates-printed-engine-chamber-crewed>
25. *The global additive manufacturing market 2018 is worth \$9.3 billion* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://en.3dprinters.com.vn/the-global-additive-manufacturing-market-2018-is-worth-9-3-billion>
26. *Top Five Teams Win a Share of \$100,000 in Virtual Modeling Stage of NASA's 3D-Printed Habitat Competition* [online]. 2018, 23.července [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: [https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnology/centennial\\_challenges/3DPHab/five-teams-win-a-share-of-100000-in-virtual-modeling-stage](https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnology/centennial_challenges/3DPHab/five-teams-win-a-share-of-100000-in-virtual-modeling-stage)
27. UNIVERSITY OF NORTHERN IOWA, *Major RP Technologies* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: [https://uni.edu/~rao/rt/major\\_tech.htm](https://uni.edu/~rao/rt/major_tech.htm)
28. WILLIS, Karl D.D. et al. *Infrastructs: Fabricating Information Inside Physical Objects for Imaging in the Terahertz Region* [online]. 2013 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.karliddwillis.com/wp/wp-content/uploads/2011/03/SIGGRAPH2013-InfraStructs.pdf>
29. *Worldwide most used 3D printing materials: as of July 2018* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>
30. 3DERS. *3D printed Smart Tags ensure 100% authenticity of collectible shoes* [online]. 10.03. 2016 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.3ders.org/articles/20160310-3d-printed-smart-tags-ensure-authenticity-of-collectible-shoes.html>
31. 3DINSIDER. *The Future of 3D Printing for Architecture* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/3d-printing-architecture/>
32. *3D printing market size worldwide from 2013 to 2021 (in billion U.S. dollars)* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/796237/worldwide-forecast-growth-3d-printing-market/>
33. *3D printing growth accelerates again* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/3d-printing-market.html>
34. *3D Printing Market by Technology* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.alliedmarketresearch.com/3d-printing-market>



35. 3D Printing Market worth \$34.8 billion by 2024 [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Příklad softwaru využívaného k optimalizaci výrobního procesu 3D tisku ...	7
Obrázek 2 Subtraktivní výroba .....	8
Obrázek 3 Formativní výroba.....	9
Obrázek 4 Aditivní výroba .....	9
Obrázek 5 Brýle pro rozšířenou realitu.....	10
Obrázek 6 Brzdový třmen vyroben z titanu pomocí 3D tisku.....	15
Obrázek 7 Infografika FDM .....	17
Obrázek 8 Infografika SLA.....	18
Obrázek 9 Infografika Polyjet.....	19
Obrázek 10 Infografika LOM.....	20
Obrázek 11 Infografika SLS .....	21
Obrázek 12 Infografika EBM.....	22
Obrázek 13 Infografika LENS.....	23
Obrázek 14 Infografika 3DP .....	24
Obrázek 15 Vizualizace tištěné základny na Marsu .....	33
Obrázek 16 Vizualizace portfolia 3D Systems .....	40
Obrázek 17 Vizualizace portfolia Stratasys .....	45
Obrázek 18 Rozměry objímky ramena lustru .....	64
Obrázek 19 Rozměry modelu stínidla .....	65
Obrázek 20 Řezání modelu.....	66
Obrázek 21 Tisk a vyjmutí modelu.....	67
Obrázek 22 Lustr bez stínidel a lustr se stínidly .....	67

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Modifikace zisku v tis \$ 3D Systems.....	43
Tabulka 2 Modifikace zisku v tis \$ Stratasys.....	47
Tabulka 3 Zakázkový 3D tisk Protolabs .....	49
Tabulka 4 Modifikace zisku v tis \$ Protolabs .....	51
Tabulka 5 Čistý zisk společností v tis \$.....	52

## Seznam grafů

Graf 1 Celková velikost trhu .....	36
Graf 2 Vývoj aktiv společnosti 3D Systems.....	41
Graf 3 Vývoj tržeb společnosti 3D Systems.....	42

Graf 4 Vývoj nákladů společnosti 3D Systems .....	43
Graf 5 Vývoj aktiv společnosti StratasyS .....	46
Graf 6 Vývoj tržeb společnosti StratasyS .....	46
Graf 7 Vývoj nákladů společnosti StratasyS .....	47
Graf 8 Vývoj aktiv společnosti Protolabs .....	49
Graf 9 Vývoj tržeb společnosti Protolabs .....	50
Graf 10 Vývoj nákladů společnosti Protolabs .....	50
Graf 11 Porovnání tržeb firem .....	51
Graf 12 Porovnání nákladů na VaV firem .....	52
Graf 13 Prognóza velikosti trhu dle zdroje .....	53
Graf 14 Prognóza velikosti trhu dle historických dat společnosti Smartech .....	54
Graf 15 Lineární prognóza vývoje tržeb společnosti 3D Systems .....	55
Graf 16 Prognóza tržeb společnosti 3D Systems .....	56
Graf 17 Porovnání prognózy tržeb společnosti 3D Systems .....	56
Graf 18 Lineární prognóza vývoje tržeb společnosti StratasyS .....	57
Graf 19 Prognóza vývoje tržeb společnosti StratasyS dle exp. vyrovnávání .....	58
Graf 20 Porovnání prognózy tržeb společnosti StratasyS .....	58
Graf 21 Lineární prognóza vývoje tržeb společnosti Protolabs .....	59
Graf 22 Prognóza vývoje tržeb společnosti Protolabs dle exp. vyrovnávání .....	60
Graf 23 Porovnání prognózy tržeb společnosti Protolabs .....	60
Graf 24 Porovnání lineárního vývoje tržeb společností .....	61
Graf 25 Porovnání vývoje tržeb dle exponenciálního vyrovnávání .....	61

# 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: Daniel Hanáček

V Praze dne: 24. 04. 2019

Podpis:

Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis