

Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta podnikohospodářská

Diplomová práce

2017

Bc. Pavla Šumšalová

Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta podnikohospodářská

Studijní obor: Podniková ekonomika a management



Průmysl 4.0 - aditivní výroba v ČR a její využití ve zdravotnictví

Autorka diplomové práce: Bc. Pavla Šumšalová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Lorenc, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Průmysl 4.0 - aditivní výroba v ČR a její využití ve zdravotnictví*“ vypracovala samostatně s využitím literatury a informací, na něž odkazuji.

V Praze dne 28. srpna 2017

Bc. Pavla Šumšalová

Název diplomové práce:

Průmysl 4.0 - aditivní výroba v ČR a její využití ve zdravotnictví

Abstrakt:

Diplomová práce mapuje současné využití technologie 3D tisku v oblasti zdravotnictví v podmínkách ČR. Získaná data porovnává s výsledky českého výzkumu zaměřeného na využití technologie obecně v českém průmyslovém prostředí. Úvodní část práce je věnována obecné tématice digitalizace společnosti v rámci Industry 4.0, dále se zaměřuje na vývoj a využití aditivních technologií výroby v průmyslové výrobě obecně až ke specifickům jejího globálního využití v oblasti zdravotnictví. Praktická část práce se opírá o analýzu získaných primárních a sekundárních dat. Pro sběr primárních dat byla využita metoda dotazníkového šetření doplněná o polostrukturované osobní rozhovory. Výsledky vlastního výzkumu v porovnání se sekundárními výzkumy ukazují vyšší míru využití technologie 3D tisku ve zkoumaném oboru, převážně v oblasti 3D tisku z kovových materiálů pro výrobu finálních výrobků.

Klíčová slova:

Průmysl 4.0, aditivní výroba; 3D tisk; zdravotnictví

Title of the Master's Thesis:

Industry 4.0 - Additive Manufacturing in Healthcare in the Czech Republic

Abstract:

The aim of the thesis is to analyze the current use of 3D printing in the field of healthcare in the Czech Republic. The primary research data are compared with the results of the Czech research focused on the use of technology in general in the Czech industrial environment. The first part of the thesis is devoted to the general digitization of the society within Industry 4.0, it also focuses on the development and use of additive manufacturing in industrial production in general up to its global use in healthcare industry. The practical part of the thesis is based on analysis of acquired primary and secondary data. For the collection of primary data, the questionnaire survey method was used, supplemented by semi-structured personal interviews. In comparison with the secondary research the data shows a higher break-through of utilization of 3D printing technology in the field of study, mainly in 3D printing of metal materials for the production of final products.

Key words:

Industry 4.0, Additive Manufacturing; 3D print; Healthcare

ÚVOD	1
TEORETICKÁ ČÁST	3
1. Industry 4.0	3
1.1. Základní principy Industry 4.0	3
1.2. Základní technologie Industry 4.0	5
1.3. Gartnerova hype křivka	7
1.4. Iniciativa Průmysl 4.0	9
1.4.1. Současná situace českého průmyslu	9
1.4.2. Potenciál českého průmyslu	13
1.5. Institucionální podpora I4.0 v rámci EU a ČR	14
2. Aditivní výroba	17
2.1. Subtechnologie AM	24
2.2. Aditivní výroba současnosti a její trendy	30
2.3. Vliv AM na lidské zdraví	33
2.4. Trh výrobců 3D tiskáren	33
2.5. Materiály	36
3. AM ve zdravotnictví	38
3.1. Biomodelování	41
3.2. Personalizované implantáty	42
3.3. Porézní implantáty a tkáňové inženýrství	43
3.4. Léčiva a mikro zařízení	46
PRAKTICKÁ ČÁST	48
4. Sekundární výzkum	48
4.1. Průzkum STRATASYS	48
4.2. Celosvětový průzkum Ernst&Young	49

4.3. Průzkum Ernst&Young v ČR	51
5. Primární výzkum	53
5.1. Metodický postup	53
5.2. Výběr respondentů a sběr dat	53
5.3. Tvorba a distribuce dotazníku	55
5.4. Zpracování a vyhodnocení dat	56
5.4.1. Dosavadní zkušenosti s 3D tiskem	56
5.4.2. Přínosy a bariéry implementace 3D tisku	60
5.4.3. Vyspělost firem z hlediska využívání 3D tisku	64
5.4.4. Připravenost firem na zavádění 3D tisku a budoucí vývoj odvětví	68
ZÁVĚR	70
Seznam tabulek, obrázků a grafů	72
Zdroje	74
Přílohy	82
Příloha 1 - Subtechnologie AM - stručné shrnutí a výrobní postupy	82
Příloha 2 - Dotazník k primárnímu výzkumu	88
Příloha 3 - Průvodní dopis k zaslanému dotazníku	92

ÚVOD

Technologie 3D tisku, “rapid prototyping”, “rapid manufacturing”, aditivní výroba - všechny tyto pojmy jsou v posledních několika letech skloňovány napříč snad všemi informačními kanály, kde o nich v různých souvislostech hovoří odborníci z různých oborů. Aditivní technologie výroby jsou nedílnou součástí probíhající čtvrté průmyslové revoluce, známé také jako Industry 4.0, v českém překladu Průmysl 4.0.

“Digitální výroba umožní jednotlivcům designovat a vyrábět hmotné produkty na zakázku, kdekoliv a kdykoliv je potřebují. Revoluce proti sobě nestaví aditivní vs. subtraktivní výrobu, ale dává možnost přetvářet data na předměty a předměty na data”, uvádí Niel Gershenfeld, ředitel Centra pro bity a atomy z Massachusettského institutu technologie (A.T.Kearney, 2015).

Aditivní technologie výroby, konkrétně technologie 3D tisku, nejsou technologickou novinkou posledních let. První ze subtechnologií 3D tisku byla vynalezena již v osmdesátých letech minulého století. Podrobněji bude historie jednotlivých subtechnologií a jejich vývoj nastíněn v kapitole “Aditivní výroba”. Ve svých počátcích byla technologie záležitostí spíše domácích kutilů a nadšenců do nových technologií. V současnosti však o 3D tisku slyšíme stále více i z podnikatelského prostředí ve spojení s průmyslovou výrobou, kde se začal naplno rozvíjet obrovský potenciál této technologie. Trh technologií aditivní výroby je aktuálně jedním z nejrychleji rostoucích trhů současnosti (Wohlers, 2017).

Své uplatnění si technologie, dnes již neodmyslitelně, našla v řadě oborů napříč celou ekonomikou od leteckého a automobilového průmyslu, přes logistiku, módní průmyslu až po zdravotnictví. Díky téměř neomezeným možnostem designu a individuálního přizpůsobení finálního produktu aktuálním potřebám se technologie 3D tisku začala rozvíjet právě v oblasti zdravotnictví a estetické medicíny, kde významným způsobem posouvá hranice poskytované zdravotní péče. Se stále rostoucím využitím 3D tisku v těchto oborech je možné, v malé míře i dnes, ale

především do budoucna, chápat lidské tělo jako systém vyměnitelných dílů (Giannatsis & Dedoussis, 2009).

Diplomová práce se věnuje analýze využití technologií aditivní výroby v oboru zdravotnictví se zaměřením na české výrobní prostředí a srovnává jejich využití v této oblasti s celoeconomickými výsledky průzkumů provedených v rámci ČR i celosvětově. Výsledky provedeného primárního výzkumu bohužel nelze porovnat pouze v rámci oblasti využití zaměřené na zdravotnictví, protože takový průzkum prozatím nebyl proveden. Cílem práce je zmapování aktuální situace na českém trhu a nastínění možného budoucího vývoje dané oblasti průmyslové výroby.

Teoretická část práce se zaměřuje na obecné představení principů čtvrté průmyslové revoluce a s ní spojenými procesy, na kterou navazuje představení české koncepce s názvem Iniciativa Průmysl 4.0 a jež shrnuje současný stav českého průmyslu a identifikuje výzvy, kterým naše společnost čelí. Následuje obecná charakteristika aditivní výroby - jejích kladných i záporných stránek spolu se stručným popisem jednotlivých subtechnologií a pohledem na aktuální situaci na trhu. V neposlední řadě je součástí také shrnutí dosavadního využití 3D tisku ve zdravotnictví a identifikace nejčastějších forem jeho využití v oboru.

Praktická část práce zahrnuje analýzu a shrnutí výsledků doposud realizovaných průzkumů zaměřujících se na obecné využití technologií aditivní výroby mezi firmami napříč průmyslovými obory. Na dosavadní výzkumy navazuje provedený primární výzkum zahrnující analýzu a vyhodnocení získaných dat.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Industry 4.0

Industrie 4.0, je pojmenování německého konceptu nové ekonomické politiky založené na high-tech technologiích, který byl zveřejněn v roce 2011 německou vládou v rámci projektu “High-Tech Strategy 2020” (Germany Trade and Invest, n.d.). Obdobně se pro tento koncept v dalších evropských zemích se používá pojmenování Průmysl 4.0 (ČR), Smart industry (Slovensko a Nizozemí), Industrie du Futur (Francie), Piano Industria 4.0 (Itálie), Industria Conectada 4.0 (Španělsko), Industria 4.0 (Portugalsko),... (Bacquet, 2016). V následujícím textu bude používáno pojmenování Industry 4.0.

Dnes je již koncept Industry 4.0 celosvětově známým pojmem a synonymem pro čtvrtou průmyslovou revoluci, dalšího průmyslového milníku v lidské historii. Po parní energii a vynálezu prvních mechanizovaných strojů, které ulehčovaly našim předkům jejich práci, následovala elektřina, montážní linky a zrod hromadné výroby. Třetí éra průmyslu přišla s příchodem počítačů a znamenala počátek automatizace, kdy přestaly být montážní linky obsluhovány člověkem, ale nahrazovány roboty a stroji.

1.1. Základní principy Industry 4.0

Industry 4.0 přichází s novým způsobem využití počítačů v automatizovaných výrobních procesech. Základním znakem revoluce je vzdálené propojení všech strojů s počítačem vybaveným algoritmem schopným kontrolovat a řídit ostatní zařízení s minimálním zapojením lidského faktoru. Jeho součástí je i decentralizace rozhodovacího procesu s cílem co největší autonomie těchto kyber systémů (Marr, 2016).

Industry 4.0 je postaveno na principu výměny informací pomocí internetu, a to nejen mezi lidmi navzájem nebo člověkem a strojem, ale nově také mezi stroji samotnými. Vzniká zcela nový komunikační kanál, který přináší přidanou hodnotu spotřebitelům,

firmám i celé společnosti ve všech ekonomických i sociálních sférách od zdravotníků, přes pokojské a sociální pracovníky, po dodavatele energií. Základem je nepřetržitá výměna a tok informací týkajících se aktuálních potřeb a individuálních situací v téměř neomezeném rozsahu a přenášeny v reálném čase především mezi stroji navzájem (Roblek, Meško & Krapež, 2016).

Po technické stránce je celý koncept tvořen pomocí integrace virtuálně-reálných systémů ve výrobních a logistických procesech spolu s využitím Internet of Things (IoT), Internet of Services (IoS) a big data (Dopico et al., 2016). Tyto čtyři oblasti lze označit za základní pilíře Industry 4.0:

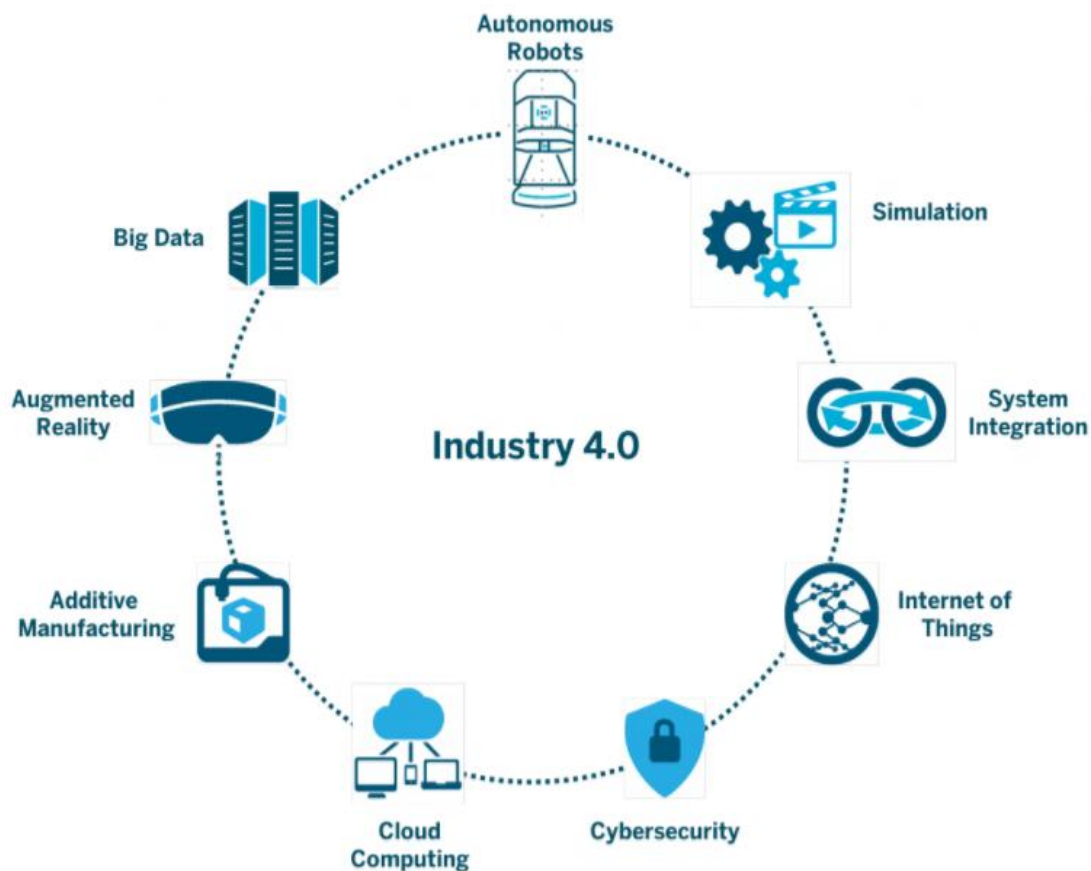
- **Kyber-fyzikální systémy** (Cyber-Physical Systems) - transformační technologie umožňující správu propojení systémů mezi fyzickými aktivy a výpočetní technikou. Kyber-fyzikální systémy jsou technologie, které přinášejí spojení virtuálního a reálného světa a vytváří skutečný svět, ve kterém jsou inteligentní objekty schopny komunikovat i vzájemně mezi sebou (Kaifei He & Man Jin, 2016).
- **Internet of Things & Services** (IoTS) - globální infrastruktura umožňující poskytování vyspělejších služeb propojením fyzických a virtuálních “věcí” na základě stávajících a vyvíjejících se informačních a komunikačních technologií, které jsou schopny spolu vzájemně spolupracovat a poskytovat si služby (International Telecommunication Union, 2017) .
- **Big data** - definuje Holubová, Kosek, Minařík & Novák (2015, str. 19) jako “data jejichž velikost, rychlost růstu a různorodost neumožňují jejich zpracování pomocí doposud známých a ověřených technologií v rozumném čase. K těmto třem základním vlastnostem postupem času přibýly i další, jako např. nejistá věrohodnost, vysoká hodnota pro firmu, která je vlastní, nebo limitovaná doba platnosti pro jejich využití a s tím související přechodná doba jejich nutného uskladnění”.

1.2. Základní technologie Industry 4.0

Podle Boston Consulting Group (Rüßmann et al., 2015) lze Industry 4.0, při detailnějším zkoumání, rozčlenit do devíti technologických bloků, viz Obrázek 1, z nichž je velká část již dnes v menší či větší míře v průmyslové výrobě využívána, avšak teprve jejich vzájemným propojením a rozšířením dochází ke změně výrobních procesů ve smyslu čtvrté průmyslové revoluce.

V současné průmyslové výrobě sběr a analýza velkých dat napomáhá při optimalizaci kvality výroby, úspoře energií nebo zlepšování doplňkových služeb. V kontextu Industry 4.0, díky vzájemnému propojení všech systémů a zařízení, je analýza velkých dat standardní technologií usnadňující rozhodování v reálném čase.

Obrázek 1 - Devět technologií transformujících průmyslovou výrobu v rámci Industry 4.0



Zdroj: Aethon (2015) zpracováno podle Boston Consulting Group (2015)

Robotizace výroby byla základním prvkem 3. průmyslové revoluce. Mohlo by se tedy zdát, že v tomto směru nejde v rámci Industry 4.0 o žádný významný technologický průlom. Oproti původnímu konceptu využití robotů ve výrobě, však nyní přichází do výroby autonomní roboti, kteří jsou flexibilnější, schopní automaticky předvídat následující kroky ve výrobních postupech a vzájemně spolupracovat nejen se sebou samými, ale i po boku lidí, se schopností učit se od nich. Díky internetu věcí (IoT) se vytváří komunikační a informační síť jak mezi robotem a řídicím systémem, tak mezi roboty navzájem.

Simulace a 3D vizualizace výrobků, materiálů či výrobních procesů nejsou ve firmách žádnou novinkou. Nově budou simulace díky přístupu k časově reálným datům schopny zrcadlit reálný svět do virtuálního modelu a snížit tak dobu potřebnou pro testování a optimalizaci nových výrobních procesů a zvýšit jejich kvalitu.

V současnosti prakticky neexistuje žádný systém plynulého toku informací napříč firmou ani mezi firmami samotnými. To často brání zvyšování efektivity činností uvnitř firmy i navenek. Integrací horizontálních a vertikálních systémů bude dosaženo odstranění těchto nedostatků a dojde k vytvoření plně automatického hodnotového řetězce.

Narůstající vzájemná propojenost jednotlivých zařízení a systémů s sebou přináší výzvy v otázkách bezpečnosti a skladování získaných dat. Zabránění úniku citlivých informací zevnitř firmy či neoprávněnému přístupu do jejích systémů je pro zajištění kybernetické bezpečnosti klíčovým a případné selhání může mít fatální důsledky na fungování firmy.

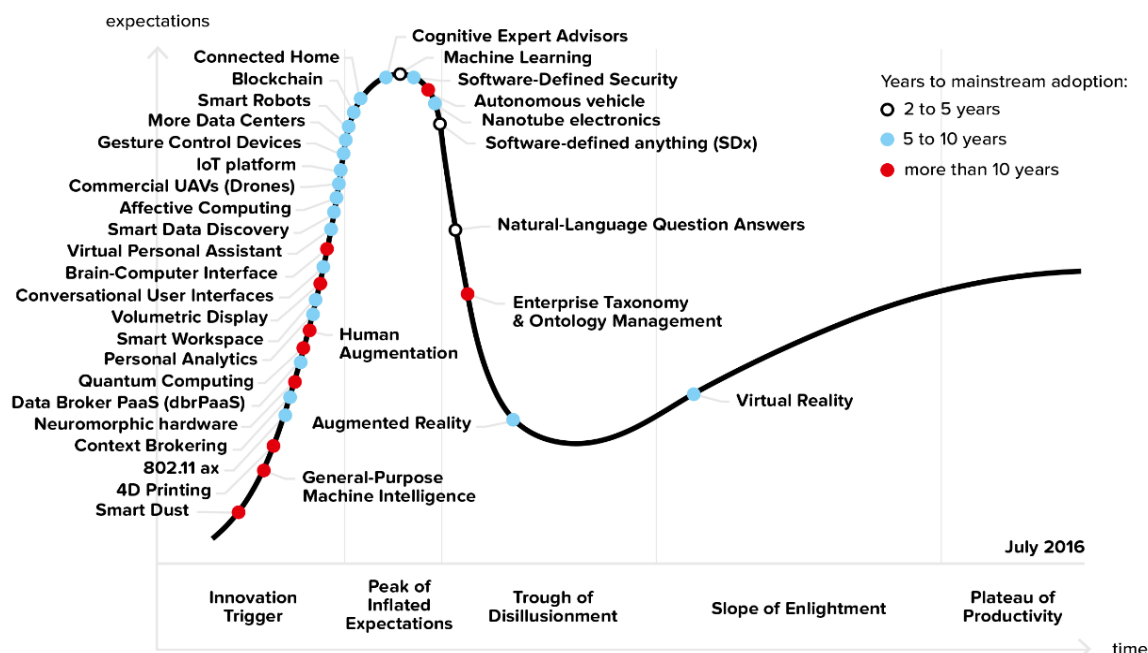
S ochranou získaných dat souvisí také způsob jejich skladování. Potřeba přístupu k časově reálným údajům získaných různými zařízeními vyžaduje uložení s obrovskou kapacitou a reakční dobou v rámci milisekund. Právě cloudová uložení tyto podmínky splňují a stále více firem se uchyluje k jejich využívání.

Devátou technologií je aditivní výroba, umožňující rychlejší a individualizovanější výrobu modelů či finálních výrobků blíže zákazníkovi s nižšími náklady na skladování.

1.3. Gartnerova hype křivka

Výše uvedený výčet technologií samozřejmě v žádném případě není úplný ani konečný. Vývoj nových technologií a nalézání nových forem využití pro stávající technologie je soustavně pokračujícím procesem, který neustále posunuje význam konceptu Industry 4.0 kupředu. Přehled nových technologií s možným potenciálem mapuje hype křivka nových technologií zveřejňovaná každoročně analytickou společností Gartner. Hype křivka je grafický model, který firmám poskytuje přehled o tom, jak se budou nové technologie nebo aplikace vyvíjet v průběhu času a jakým způsobem mohou být využity při naplňování obchodních cílů firem a často i při rozhodování o implementaci nových rizikových technologií (Gartner, n.d.). Hype křivka ukazuje vývoj nových technologií ve dvou dimenzích, na horizontální ose je zobrazen životní cyklus technologie, zatímco na vertikální ose je zobrazena úroveň publicity technologie, tj. povědomí lidí o technologii a jejich vztah k ní (Basl & Blažíček, 2012).

Obrázek 2 - Gartnerova Hype křivka nových technologií pro rok 2016



Zdroj: Idealog (2017) zpracováno podle Gartner (2016)

Každá z výše popsaných technologií se v minulosti na Gartnerově křivce objevila a to ať s vyšším či nižším potenciálem na budoucí praktické využití. Na Gartnerově křivce, viz Obrázek 2, zveřejněné pro rok 2016 se objevuje například zmíněná technologie rozšířené reality.

Vzájemným propojením zmíněných technologií se v rámci Industry 4.0 objevuje vize budoucnosti chytrých továren (smart factories), které prostřednictvím strojů a v nich zabudovaných čidel monitorují svou činnost i své okolí (zákazníky, dodavatele, konkurenci atd.) a provádí vysoce kvalifikovaná decentralizovaná rozhodnutí směřující k optimalizaci výroby (Elektrotechnický zkušební ústav, n.d.). Jednou z prvních chytrých továren fungujících kompletně na principech Industry 4.0 byla továrna německé společnosti Siemens v Ambergu, kde produkty v různých stádiích výroby komunikují se stroji, které je vyrábějí, a kde inteligentní systémy kontrolují a optimalizují veškeré procesy pro zajištění minimální míry chybovosti (Siemens, 2014). Firma Siemens platí celosvětově za jednoho z největších průkopníků a leaderů ve vývoji a využívání technologií spojených s Industry 4.0.

Nyní, v roce 2017 není Industry 4.0 jen o výrobních odvětvích, i když jde o primární oblast současného uplatnění, ve kterém jsou jeho principy využívány. Stále častěji slyšíme o chytré logistice a dopravě, chytré zdravotní péči, chytrém bydlení či dokonce chytrých městech (i-SCOOP, n.d.). Výhledově lze téměř s jistotou tvrdit, že další oblasti využití principů Industry 4.0 zatím zůstávají neidentifikované.

V ekonomikách napříč kontinenty začal být průmysl znovu vnímán jako hnací motor růstu a stability. Německo, ekonomika s vysokým podílem průmyslové výroby na HDP, dlouhodobě investuje do inovací a nových technologií. Německá vláda ve spolupráci s dalšími organizacemi, v rámci zmíněného konceptu Industrie 4.0, intenzivně podporuje ekonomické subjekty v technologickém rozvoji s cílem udržení si vedoucí pozice v oblasti průmyslu v celosvětovém měřítku. Většina vyspělých zemí se již několik let zabývá nástupem čtvrté průmyslové revoluce, která zásadním způsobem mění povahu průmyslu, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí národního hospodářství a celé společnosti, a má již zpracovanou nějakou formu

konceptu pro Industry 4.0 po vzoru Německa s cílem posílit či udržet konkurenceschopnost své ekonomiky.

Velkými konkurenty Německa jsou aktuálně USA, usilující o oživení průmyslové výroby, a to v rámci hned několika programů: „Národní síť pro průmyslové inovace“, „Industrial Internet Consortium“ nebo „Smart Manufacturing Leadership Coalition“, a Čína, která přestává být vnímána jako producent výrobků nízké kvality, ale jako ekonomika investující do moderního softwarového vybavení a automatizace, produkující špičkovou kvalitu (Siemens, 2016). Konkrétní strategii pro nastupující 4. průmyslovou revoluci má zpracovanou také Francie, Japonsko či Jižní Korea.

Pro Českou republiku byl takový plán vytvořen Ministerstvem průmyslu a obchodu a následně schválen vládou v roce 2016 s názvem Národní Iniciativa Průmysl 4.0.

1.4. Iniciativa Průmysl 4.0

Iniciativa Průmysl 4.0 (Ministerstvo průmyslu a obchodu [MPO], 2016) má sloužit jako návod pro firmy i širokou veřejnost, jak postupovat a jak se připravit na přicházející technologické a celospolečenské změny. Jejím cílem je mobilizace klíčových resortů a reprezentantů průmyslové sféry k vypracování podrobných akčních plánů v oblastech politického, ekonomického a společenského života. V oblasti výzkumu a vývoje a doporučených opatření navazuje na „Národní politiku výzkumu, vývoje a inovací České republiky na léta 2016 - 2020“.

1.4.1. Současná situace českého průmyslu

Již od dob rakousko-uherské monarchie je Česko zemí s vysokým podílem průmyslu v ekonomice. V roce 2016 byl podíl průmyslu, zahrnujícím těžbu a dobývání, zpracovatelský průmysl, výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu a zásobování vodou, na celkovém HDP 32,3 % (MPO, 2017). Více než polovina vyprodukovaného zboží směřuje na zahraniční trhy. Třetinový podíl průmyslu na tvorbě HDP přibližně odpovídá i struktuře rozložení pracovních sil v ekonomice. V roce 2016 pracovalo v průmyslových odvětvích 1 570 tisíc zaměstnanců, kteří tvoří 31 % pracovní síly v ČR (Český statistický úřad, 2017).

Tahounem českého průmyslu je především automobilový průmysl, který má v ČR dlouhou historii, s podílem 22% na celkovém objemu tržeb (MPO, 2017). Podíl automobilového průmyslu každým rokem roste, což má příznivý vliv i na růst ostatních dodavatelských a subdodavatelských odvětví. Negativní efekt to však může mít v případě poklesu poptávky po produkci tohoto odvětví a pro českou ekonomiku může vysoká koncentrace ekonomické síly do jednoho odvětví znamenat nemalé problémy.

Pro rok 2017 odborníci predikují tempo růstu českého průmyslu ve výši až 3.5 % (MPO, 2017). Pokud chce země udržet tento pozitivní trend, je potřeba účelně soustředit pozornost a finanční zdroje na podporu principů spojených s Průmyslem 4.0 a připravit pro něj v ČR vhodné podmínky pro další rozvoj.

Klíčovým aspektem Průmyslu 4.0 je úplná digitalizace trhu, zvláště pak digitalizace průmyslu. Jedním z hlavních ukazatelů připravenosti ekonomiky na novou průmyslovou revoluci je kvalita internetu a digitálního prostředí, kde se i přes vysokou míru industrializace českého trhu ukazuje, že ČR není na její příchod dostatečně připravena. Podle "Networked Readiness Index" zveřejněného v rámci "Global Information Technology Report 2016" je Česká republika ve využívání informačních a komunikačních technologií pro zajištění konkurenceschopnosti a blahobytu na 36. místě s hodnotou indexu 4,6 za vedoucím Singapurem s hodnotou indexu 6.0. Ve srovnání s rokem 2014 se česká ekonomika posunula v žebříčku o šest příček nahoru, což naznačuje postupný posun české ekonomiky směrem k principům Průmyslu 4.0 (World Economic Forum, 2016).¹

Digitalizace trhu je klíčovým tématem na celoevropské i národní úrovni. Evropská Komise i česká vláda představily své akční plány pro tvorbu a rozvoj jednotného digitálního trhu. Jako klíčové pro úspěch Evropy a ČR jsou identifikovány dva aspekty: i) vytvoření vysoce inovativního digitálního průmyslu a ii) integrace digitálních inovací ve všech odvětvích napříč ekonomikou.

¹ V roce 2014 byla ČR na 42. místě s hodnotou indexu 4,49 za vedoucím Finskem.

Ochota českých firem investovat do nových technologií a implementace prvků Průmyslu 4.0 se subjekt od subjektu liší. Na základě těchto odlišností je možné vytyčit 5 úrovní posuzování podniku vzhledem k jeho přístupu k Průmyslu 4.0:

A) Vlastnická struktura

- i) Pobočky velkých nadnárodních korporací - které často vyžadují u všech svých poboček splnění předem daných technologických standardů (např. ISO apod.). Mnoho českých poboček úspěšně zavádí dílčí principy směřující k Průmyslu 4.0, často s přispěním lokálních výzkumných institucí a firem, avšak většinou s minimálním dosahem na zahraniční části korporace.
- ii) Firmy vlastněné zahraniční / tuzemskou finanční skupinou - častý již počáteční odmítavý postoj k aplikaci zásad Industry 4.0. Primární pozornost je věnována dosažení krátkodobých ekonomických cílů. Obvyklou záminkou k odmítavému stanovisku je neschopnost zajištění kybernetické bezpečnosti.
- iii) Firmy vlastněné vrcholovým managementem - většinou malé a střední firmy, jejichž hlavními odběrateli jsou velké tuzemské či zahraniční korporace. Inovační procesy jsou poháněny potřebou dosažení vyšší konkurenceschopnosti s využitím vlastních i cizích výzkumných kapacit.

B) Motivace pro zavádění prvků Průmyslu 4.0

Při strategickém rozhodování o budoucím vývoji jsou si i firmy s minimálními znalostmi principů Industry 4.0 vědomy několika základních přínosů tohoto konceptu. Mezi motivační faktory patří zvyšování produktivity, řešení problému nedostatku kvalifikovaných lidských zdrojů, čelení tlaku vlastníků na zhodnocování jejich majetku či zajištění konkurenceschopnosti v dlouhodobém i krátkodobém horizontu.

C) Postavení v hodnotovém řetězci průmyslové produkce

V oblasti produkce se české firmy orientují především na výrobu finálních výrobků určených pro konečné spotřebitele a výrobu polotovarů, komponent a součástí finálních výrobků. V podstatně nižší míře je pak zastoupena

produkce týkající se rozsáhlých investičních celků či inženýrských a vývojových prací bez hmotných výstupů. Velký potenciál stát se celosvětovým leaderem má Česká republika v oblasti vývoje systémů zajišťujících kybernetickou bezpečnost. Řada českých firem slaví úspěch na českých i zahraničních trzích a platí za světovou špičku v oboru.

D) Způsob řízení průmyslové výroby

Firmy dnes mají téměř neomezené možnosti sběru dat potřebných pro optimalizaci výroby a souvisejících procesů. V českém výrobním prostředí však disponuje potřebnými znalostmi k jejich správnému využití jen nepatrná část firem. Firmy stojí před důležitým strategickým rozhodnutím kdy a jak a v jakém časovém horizontu provést postupnou transformaci na Průmysl 4.0 či zda přistoupit k razantní změně celého obchodního modelu firmy dle principů Průmyslu 4.0.

E) Způsob údržby strojů a zařízení

Dle průzkumu nemá více než polovina českých firem zpracovanou strategii řízení údržby, přestože je prokázáno, že díky kvalitně zpracované strategii je možné dosáhnout až 100% provozuschopnosti strojů a zařízení. Analýzou dat získaných z výrobních systémů je možné predikovat poruchovost zařízení a optimalizovat náklady na údržbu či obnovu technického vybavení. Překážkou optimalizace údržby v českých firmách jsou zastaralá legislativní ustanovení stanovující povinné lhůty pro revizní kontroly, preventivní prohlídky apod.

Specifikem českého průmyslového prostředí je existence velkého množství malých a středních firem vyrábějících většinou nízké objemy produkce. České firmy jsou flexibilnější a snadněji se přizpůsobují aktuálním potřebám trhu. Zároveň však často nedisponují dostatečnými finančními prostředky pro realizaci investic do nových technologií v takovém rozsahu, aby nepřišly o svoji konkurenční výhodu v podobě zmíněné flexibility.

V rámci analýzy současného stavu českého průmyslového prostředí pro účely vypracování příručky *Iniciativa Průmysl 4.0* se podařilo identifikovat několik základních překážek, které zpomalují proces implementace prvků Průmyslu 4.0:

- Nízké povědomí o zásadách, přístupech a možnostech Industry 4.0, v některých případech se firmy z důvodu složitých a těžkopádných interních rozhodovacích procesů této tematice záměrně vyhýbají
- Nedostatek pracovníků s odpovídajícími odbornými znalostmi
- Strach ze složité implementace nových technologií
- Neexistence jednotné koncepce státu v oblasti digitální ekonomiky
- Nedostatečný rozvoj veřejných sítí, architektury státu a jeho institucí.

1.4.2. Potenciál českého průmyslu

Česká republika je zemí s rozvinutou tradiční průmyslovou výrobou a subdodavatelsko-exportním modelem ekonomiky. S příchodem Průmyslu 4.0 je potřeba najít způsob, jak plynule navázat na dosavadní úspěchy a silné stránky místní ekonomiky. Není cílem žádné světové ekonomiky ani České republiky provádět výzkum a vývoj ve všech oblastech Průmyslu 4.0, ale zacílit veřejné investice i investice podnikatelských subjektů do oblastí, ve kterých má ČR potenciál získat globálně konkurenční výhodu.

Řada světově významných technologických firem (Siemens, Honeywell, BOSCH atd.) má v současnosti v ČR umístěny své závody či vývojová centra. S příchodem Průmyslu 4.0 se však konkurenční výhody ČR v podobě levné pracovní síly či geografické polohy ztrácejí a firmy začínají zvažovat přesun svých poboček zpět do mateřských zemí. Podle Pavla Kysilky, bývalého víceguvernéra ČNB a šéfa České spořitelny, budou tyto firmy ochotny nechat své provozy v zemích, které budou schopny jim do budoucna nabídnout vysoce kvalifikovanou pracovní sílu pro výzkum a vývoj a zároveň budou mít rozvinutou dopravní a technickou infrastrukturu (Kubátová / Seznam.cz & Kysilka, 2017).

Na Průmysl 4.0 by měly do budoucna navazovat i další projekty spojené s procesy Práce 4.0 a Vzdělávání 4.0. Proto je potřeba nastartovat orientaci univerzitního vzdělávání směrem k efektivní spolupráci s průmyslovou praxí a posílit jejich vzájemnou provázanost. V ideálním případě by měly být věda a výzkum moderovány státem z prostředků průmyslu, například v rámci Národně aplikačně orientovaných výzkumných center pro Průmysl 4.0.

Výzvou je do budoucna nalezení vhodné formy podpory pro stávající a start-up firmy, které speciálně v českém průmyslovém prostředí malých a středních firem hrají významnou roli a do budoucna bude jejich významnost i nadále stoupat.

Vzhledem k rostoucímu množství spolupracujících sítí v rámci Industry 4.0 se řada firem obává zvýšeného rizika kybernetických útoků a ztráty citlivých dat. Již bylo zmíněno, české firmy zabývající se výzkumem a vývojem systémů zajišťujících kybernetickou bezpečnost patří již dnes k celosvětové elitě v oboru. Tento potenciál je potřeba nadále rozvíjet a podporovat a zároveň obecně zvyšovat povědomí o optimálních způsobech ochrany duševního vlastnictví, jež v rámci Průmyslu 4.0 zásadně mění svou dosavadní podobu.

1.5. Institucionální podpora I4.0 v rámci EU a ČR

V rámci Evropské Unie i na národních úrovních jednotlivých členských států vznikají programy na podporu udržení konkurenceschopnosti evropského průmyslu, podporu ekonomického růstu a tvorby nových pracovních míst. V druhé polovině roku 2013 schválil Evropský parlament spolu s Radou ministrů rozpočet pro nový evropský rámcový program pro výzkum a inovace s názvem HORIZON 2020 (European Commission [EC], n.d.).

Již od roku 1980 EU vypisuje nejrůznější programy na podporu výzkumu. HORIZON 2020 je doposud největším programem v rámci EU financujícím vědu, výzkum a inovace platným pro období 2014 - 2020 s rozpočtem převyšujícím 80 miliard eur. Program navazuje na 7. rámcový program pro výzkum, technologický rozvoj a demonstrace, jež byl účinný v letech 2007 - 2013. V porovnání s předchozím

rámcovým programem je nyní kladen větší důraz na celkovou jednoduchost struktury a snížení administrativní zátěže spojené se získáním finančních prostředků pro firmy i výzkumné organizace. Dotační podpora v rámci programu HORIZON 2020 se nově více zaměřuje především na malé a střední podniky.

Hlavním cílem programu je odstranění bariér bránících inovacím vstoupit do reálné praxe. Pro účely budoucího zhodnocení programu byly stanoveny cíle, které by měly být realizovány do roku 2030 a jejichž dosažení bude indikátorem úspěšnosti programu HORIZON 2020 [H2020]:

- Stimulace ekonomického růstu, H2020 bude generovat **přírůstek HDP v EU o 0,53 %**,
- posílení evropské konkurenceschopnosti, v důsledku H2020 se **zvýší export EU o 0,79 % a import poklesne o 0,1 %**,
- tvorba nových pracovních míst, **zvýšení zaměstnanosti o 0,21 %**.

Realizace zmíněných cílů probíhá ve třech základních úrovních:

1. **Vynikající věda** - zaměřeno na podporu excelentního výzkumu a tvorbu vhodných podmínek pro jeho realizaci
2. **Vedoucí postavení průmyslu** - zvýšení konkurenceschopnosti evropského průmyslu se zaměřením především na malé a střední podniky
3. **Společenské výzvy** - zaměřeno na celospolečenské změny v demografickém, ekologickém a spotřebitelském směru.

V programu HORIZON 2020 je integrována řada dalších programů podporujících technologický rozvoj s užším vymezením konkrétní oblasti poskytované podpory - Rámcový program pro konkurenceschopnost a inovace (CIP) či Evropský inovační a technologický institut (EIT) (Technologické centrum AV ČR [TC AV ČR], 2013).

Pro každou oblast podpory vytyčené v H2020 jsou na národních úrovních určeny kontaktní osoby, jejichž úkolem je šíření informací týkajících se daného oboru a pomoc při realizaci konkrétních projektů. V rámci České republiky tyto funkce zastávají pracovníci Technologického centra AV ČR. K 30.9.2016 se vysoké školy,

veřejné instituce a firmy zúčastnily více než 160 výzev a pro své projekty obdržely finanční podporu převyšující částku 106 milionů eur (EC, 2016). Největší počet projektů za sebou mají ČVUT (28), Masarykova univerzita (25), Univerzita Karlova v Praze (24) či samotné Technologické centrum AV ČR (15) (TC AV ČR, 2016).

Česká republika nespolesá jen na podporu výzkumu a vývoje z evropských zdrojů, ale podporuje český průmysl v rámci vlastních programů. Tím největším je program Inovace, který byl serverem eDOTACE označen za nejvhodnější dotační program pro získání finančních zdrojů na pořízení sofistikovaných technologií v rámci Průmyslu 4.0 (Erste Grantika Advisory, a.s., 2017). Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost se zaměřením na podporu vývoje nových produktů a jejich uvedení na trh (eNovation, n.d.). Z dalších jmenujme třeba Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání či Operační program Praha - pól růstu (Úřad vlády ČR, n.d.).

2. Aditivní výroba

Dle Standardní terminologie pro technologie aditivní výroby (F2792-12a) vydané Americkou společností pro testování a materiály (ASTM) (2013) je aditivní výroba (dále jen AM) definována jako proces spojování materiálů za účelem výroby předmětů z 3D datových modelů, většinou vrstvu po vrstvě, na rozdíl od subtraktivních výrobních metod.

Obecně lze výrobní procesy řízené počítačem na základě předpřipravených datových modelů rozdělit do tří kategorií podle způsobu jakým je finální výrobek z materiálu vyroben. První skupinou jsou výše zmíněné technologie aditivní výroby, kdy je materiál různými způsoby, například vrstvením, spojován ve finální výrobek. Oproti tomu subtraktivní procesy výroby jsou založené na postupném odsekávání finálního výrobku z pevného bloku materiálu. Finální výrobek je menšího rozměru i hmotnosti než na počátku výrobního procesu a vzniká velké množství odpadového materiálu. Poslední kategorií jsou formativní procesy, kdy je materiál za použití omezujících forem nebo mechanických sil zformován do požadovaného tvaru. Při výrobním procesu se jednotlivé způsoby zpracování materiálu často vzájemně kombinují - hybridní proces výroby (Avionics, n.d.).

Jak již bylo zmíněno výše, vrstvení materiálu je to, co zásadně odlišuje aditivní výrobu od ostatních tradičních výrobních technik. Vrstvení materiálu probíhá pomocí laseru či tiskové hlavy, proto se občas 3D tisk považuje za určitou modifikaci jehličkové tiskárny (Dodziuk, 2016).

Je nutné také zmínit, že aditivní výroba by nebyla možná bez použití dalších technologií - CAD², CAM³ a CNC⁴, díky kterým je možné vytvářet 3D modely a tisknout trojrozměrné objekty (Wong & Hernandez, 2012).

² Počítačem podporované projektování (*computer-aided design*).

³ Počítačem podporovaná výroba (*computer-aided manufacturing*).

⁴ Počítačem číslicově řízené stroje (*computer numerical control*).

Oproti klasickým metodám výroby přináší 3D tisk několik zásadních výhod, které způsobily, že v některých oborech byla původně využívaná technologie zcela nahrazena novými aditivními technologiemi a takových oborů bude do budoucna pravděpodobně neustále přibývat. Výroba za pomoci 3D tisku snižuje neefektivnost využití materiálu potřebného při výrobě téměř na nulu. Při využití některých subtechnologií aditivní výroby je potřeba tisknout i podpěry, které napomáhají udržet finální výrobek v požadovaném tvaru. Toto podpůrné lešení se následně z výrobku chemicky či mechanicky odstraní, čímž vzniká jisté množství odpadu. Nicméně i tento odpad se dá v některých případech znovu využít při další výrobě. Pro aditivní výrobu je dále charakteristické, že nevyžaduje žádné pomocné řezací nástroje a oproti tradičním technologiím jsou při této výrobě kladeny nižší nároky na chladicí techniku.

Většina tradičních výrobků je tvořena několika díly poskládanými v sobě. 3D tisk nabízí možnost vytvoření výrobku jako celku. Aditivní výroba je nákladově indiferentní z hlediska komplexnosti výrobku, nelimituje jeho design a optimalizuje výrobní proces (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

Možnosti, které s sebou 3D tisk přináší, mají také dopad na změnu spotřebního chování zákazníků. V budoucnu se očekává, že při obstarávání běžných nákupů již zákazník nebude muset řešit, zda je požadované zboží skladem, ale rovnou si jej dle svých požadavků a přání nechá zakázkově přímo v obchodě na počkání vyrobit (A.T.Kearney, 2015). Celý výrobní proces se tak posouvá blíže ke konečnému zákazníkovi. Firmám by tak mohla odpadnout většina nákladů na skladování a logistiku díky "just-in-time" dodávkám zboží (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

S příchodem Industry 4.0 je nutné přehodnotit za co vlastně zákazník platí, jelikož ve velkém množství případů jsou zdrojové soubory, plány a 3D datové modely, dostupné zdarma online ke stažení (Hodek, 2013).

Společnost A.T.Kearney (2015) uvádí pět základních dimenzí, jež jsou stěžejní pro průmyslovou výrobu, a na které má aditivní výroba nejsilnější dopad:

- Individualizovaná zakázková výroba

- Nové užité vlastnosti
- Dodací lhůty a rychlost výroby
- Zjednodušení dodavatelského řetězce
- Snížení produkce odpadu z použitého materiálu

Například pro výrobu prototypů je zásadní rychlost výroby, pro chirurgické implantáty výroba na míru zákazníkovi, při výrobě komponentů do letadel je to zase redukce odpadového materiálu a nové užité vlastnosti výrobku.

Aditivní technologie jsou velmi rychle rostoucím oborem a není troufalé tvrdit, že nové objevy jsou téměř na denním pořádku. I přes tento rychlý vývoj, existují bariéry, které brání nahrazení tradiční výroby touto novou technologií. Významným omezením 3D tisku je velikost vyráběných produktů. Nevýhodou je také nedokonalost surových tištěných produktů, kdy při použití některých subtechnologií jsou vidět jednotlivé vrstvy tisku. Takový výrobek vyžaduje další opracování a broušení. I když od vynálezu 3D tisku uplynulo několik desítek let, jedná se stále o investičně velmi náročnou technologii, kterou si řada firem nemůže dovolit (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012). Průměrná cena průmyslové 3D tiskárny se pohybuje mezi 20 000 - 100 000 USD. U 3D tiskáren používajících kovové materiály může cena dosáhnout až 800 000 USD. Vysoké náklady jsou spojené nejen s pořízením investice, ale i s jejím provozem. Většina prodejců 3D tiskáren si navíc účtuje roční poplatky za údržbu zařízení. Velká část dostupných zařízení je kompatibilní pouze s konkrétními značkami materiálů. Tento trend díky rostoucí konkurenci na trhu aditivních technologií pomalu mizí a konkurenční boj mezi jednotlivými výrobci začíná tlačit ceny materiálů dolů (Fusion3, n.d.).

I přes zmíněná negativa aditivní výroby se technologie podle mnoha hledisek považuje za ekologicky šetrnější pro životní prostředí než tradiční výrobní metody. Na rozdíl od subtraktivních výrobních technik prokazatelně méně znečišťuje pozemní, vodní a atmosferický systém. Nejčastější hrozbou pro tyto systémy jsou kapaliny používané při řezání materiálu při výrobě tradičními výrobními metodami (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

Obecně je možné rozdělit využití technologií aditivní výroby do dvou základních skupin. První z nich je výroba prototypů výrobků, již zmíněný “rapid prototyping”. Vyrobené prototypy nejsou vhodné k většímu zatížení, ale poskytují představu o vzhledu, dispozicích a některých funkcích výrobku. Hlavními výhodami využití 3D tisku při výrobě prototypů je podle Hodka (2013):

- Nalezení chyb ve výrobní dokumentaci
- Nalezení chyb v koncepci výrobku
- Ověření vyrobiteľnosti
- Posouzení vzhledu
- Ověření vhodnosti pro sériovou výrobu
- Reverzní inženýrství⁵

Druhou formou využití je výroba samotných finálních výrobků, která s sebou přináší, kromě některých výše zmíněných výhod, také benefity specifické pro tento druh výroby:

- Odstranění bariér limitujících tvar výrobku
- Snížení počtu potřebných komponentů
- Individualizovanější výroba
- Zvýšení výkonu

Využití aditivních technologií výroby s sebou přináší nutnost zamyšlení se nad požadavky, které si konečný zákazník na kupované zboží klade. Nutí vývojáře zamýšlet se více než nad vyrobiteľností výrobku nad jeho funkčností.

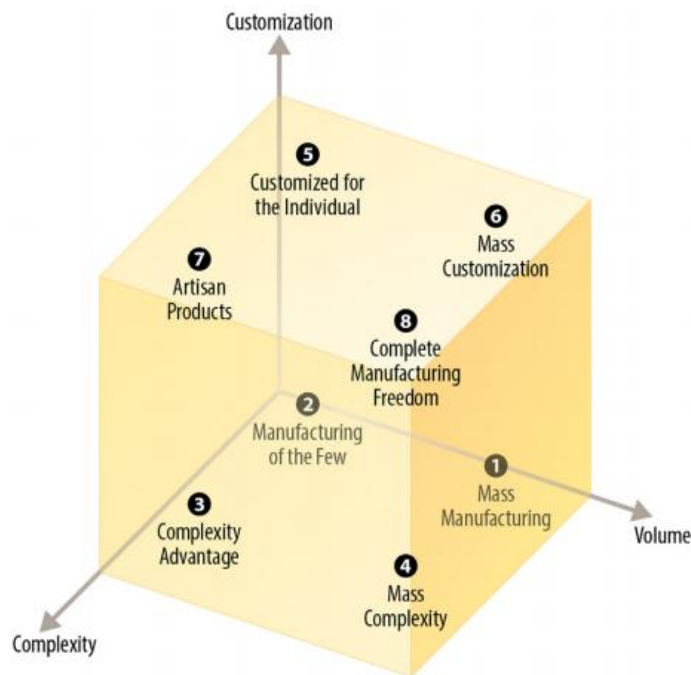
V roce 2013 dosáhl podíl výroby konečných výrobků (komponentů) na celkové produkci vyrobené pomocí AM technologií, 29 %. Růst trhu finálních výrobků vyrobených pomocí aditivních technologií výroby tak zaznamenal dokonce mírně rychlejší růst než celý trh AM (Crane, Cotteleer & Crestani, 2014).

⁵ Reverzní inženýrství je proces analýzy určitého systému vedoucí k identifikaci a pochopení vzájemných vztahů systému s cílem vytvořit podobný systém v jiné formě nebo na vyšší úrovni (Chikofsky & Cross, 1990, citováno v Nováček, 2006).

Při použití subtraktivních výrobních technologií se s růstem objemu produkce projevují úspory z rozsahu. To však u AM neplatí. Proto by se, podle některých odborníků, měla technologie využívat pouze pro výrobu výrobků vysoké hodnoty a při výrobě nízkoobrátkových položek (Conner et al., 2014). Tento výrok však nelze považovat za obecně platné pravidlo, které by mělo ovlivnit rozhodování firem o formě výroby.

Ve své studii Conner et al. (2014) definuje tři klíčové atributy, které mohou být firmám nápomocné v jejich rozhodování, zda pro výrobu začít využívat AM technologií - objem výroby, individualizace a komplexnost výrobku, viz Obrázek 3. Objemem je myšlen celkový objem produkce daného výrobku. Individualizace výrobků je vyjádřena mírou unifikace vyráběných produktů, čím více jsou si jednotlivé výrobky vzájemně podobné, tím méně jsou individualizované a naopak. Komplexností se rozumí složitost geometrických struktur výrobku.

Obrázek 3 - Tříosý model vyráběných produktů



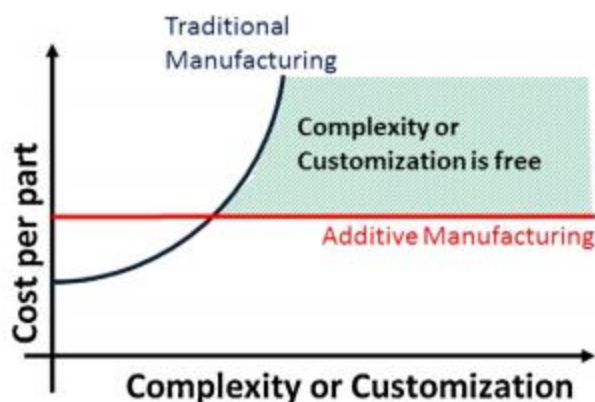
Zdroj: Conner et al. (2014)

Zmíněné tři atributy jsou znázorněny jako osy trojrozměrného modelu, na který je vyneseno osm základních oblastí, jež charakterizují různé skupiny vyráběných produktů:

- Oblast 1 - **masová výroba** - velkoobjemová výroba jednoduchých unifikovaných výrobků s co nejnižšími náklady;
- Oblast 2 - **výroba malých objemů produkce** - výroba jednoduchých unifikovaných výrobků při malém objemu produkce; každé odvětví, dokonce i výrobek, má hranici mezi masovou a nízkoobjemovou výrobou stanovenou jinak, firma musí být schopna si sama takovou hranici určit;
- Oblast 3 - **výroba komplexních struktur** - čím je výrobek komplexnější, tím větší počet kroků je při jeho výrobě pomocí tradičních výrobních technik potřeba realizovat;
- Oblast 4 - **masová výroba komplexních výrobků** - neindividualizované komplexní výrobky vyráběné ve velkých objemech;
- Oblast 5 - **individuální výroba pro jednotlivce** - jednoduché výrobky vyráběné v malých objemech dle požadavků konečného zákazníka,
- Oblast 6 - **masová individualizovaná výroba** - velkoobjemová výroba jednoduchých struktur na míru konečnému zákazníkovi;
- Oblast 7 - **řemeslné výrobky** - tvorba unikátních komplexních uměleckých děl s co nejnižšími náklady a v co nejkratší době;
- Oblast 8 - **úplná výrobní svoboda** - neklade omezení žádnému ze zmíněných atributů.

Firmy při svém rozhodování o volbě výrobní technologie porovnávají svůj výrobní program z hlediska individualizace a komplexnosti výrobků vzhledem k celkovým nákladům na jednotku produkce, viz Obrázek 4. Při využití subtraktivních výrobních technologií vede zvyšování komplexnosti, příp. jedinečnosti výrobku, k růstu nákladů výroby. Při využití technologií AM se ani růst komplexnosti výrobku ani jeho míra individualizace nepromítá do nákladů, ty zůstávají neměnné.

Obrázek 4 - Vývoj nákladů výroby v závislosti na komplexnosti a míře individualizace výrobků pro subtraktivní a aditivní technologie výroby



Zdroj: Conner et al. (2014)

Jak již bylo naznačeno v charakteristice Oblasti 1 a Oblasti 2, rozhodování firem je v některých případech ovlivněno velikostí produkce. Každá firma by měla při plánování výrobního programu být schopna stanovit bod zvratu výhodnosti obou technologií. Obecně by se dalo říci, že při nižších objemech produkce je výhodnější použít technologii AM a při vysokých objemech subtraktivní výrobní metody. Nejčastěji využívanou subtraktivní výrobní metodou je metoda vstřikování plastů, pro kterou po potřeba výroba kovové vstřikovací formy. Její výroba je velmi nákladná, což činí technologii AM, do určitého objemu produkce, při některých výrobních programech nákladově výhodnější.

Aditivní výroba snižuje počet článků ve výrobním řetězci. Jak již bylo zmíněno výše, technologie je schopna vyrobit v porovnání s tradiční výrobou produkt z méně součástek, ne-li z jedné jediné, a zároveň vyrobit produkt kdekoliv a kdykoliv, tzn. blíže ke konečnému spotřebiteli, v některých případech bez potřeby subdodavatelských partnerů či s jejich nižším počtem (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

Technologie 3D tisku se poprvé objevila na Gartnerové hype křivce v roce 2008. Od té doby se technologie posunula z první fáze - nadějně technologie přes fáze

technologie s nadsazenými očekáváními do budoucnosti, zažila mírný úpadek z důvodu nesplněných prvotních očekávání i pozvolný návrat k reálnému využití až ke své dospělosti a prokazatelným přínosům v průmyslové výrobě. Na Gartnerově hype křivce se v roce 2016 objevila dokonce nová technologie 4D tisku (Project Consult, 2016).

2.1. Subtechnologie AM

Na trhu aditivních technologií je dnes využíváno sedm základních subtechnologií výroby. Přehled vývoje jednotlivých subtechnologií a jejich charakteristika je uvedena v následujícím textu. Stručně je popis subtechnologií spolu s použitelnými materiály a identifikací hlavních výhod a nevýhod každé z nich uveden v Příloze 1, Tabulka 1. Součástí Přílohy 1 jsou také grafické modely popisující fungování jednotlivých subtechnologií, které jsou popsány níže.

První žádost o patentování technologie AM podal v květnu roku 1980 Dr. Kodama v Japonsku. Bohužel mu lze přisuzovat jen neoficiální prvenství, protože jeho žádost byla zamítnuta poté, co v daném časovém horizontu od podání žádosti nesplnil všechny podmínky pro vydání patentu (Sculpteo, 2017).

Stereolitografie

Prvenství připadlo o šest let později, v roce 1986, Charlesi Hullovi, který si nechal patentovat technologii nazývanou stereolitografie (SLA), Charles Hull je zároveň jedním ze spoluzakladatelů společnosti 3D Systems Corporation, která je dnes jednou z největších a nejúspěšnějších firem v oblasti AM na světě. Charles Hull, některými přezdívaný “otec 3D tisku”, má na svém kontě několik desítek dalších objevů, což potvrzuje i vlastnictví 93 patentů psaných na jeho jméno v USA a 20 patentů v Evropě. První komerčně dostupná tiskárna s názvem SLA-1, vyrobená firmou 3D Systems Corporation, byla uvedena na trh v roce 1988 (Wohlers & Gornet, 2014).

V roce 1989 byla v Německu založena společnost EOS GmbH, jejímž zakladatelem byl Hans Langer, a která byla první evropskou firmou zabývající se technologiemi

AM. Jejich prvním zařízením byla tiskárna STEREOS 400, kterou jako první začala používat firma BMW v Mnichově. Firma EOS GmbH poskytovala optimální řešení pro potřeby tehdejšího průmyslu a brzy se stala nejvýznamnějším partnerem firem v oblasti rozvoje evropského průmyslu. V roce 1997 prodává svou produktovou řadu STEREOS firmě 3D Systems a otáčí veškerou svou pozornost k technologii laserového spékání práškových materiálů (SLS) (EOS, n.d.).

SLA funguje na principu působení ultrafialového laserového paprsku na tekutou fotopolymernou pryskyřici, která jeho působením po vrstvách tvrdne. Po ztvdnutí vytvořené vrstvy se platforma posune pod hladinu tekuté pryskyřice o tloušťku další vrstvy a celý proces se opakuje, dokud není výrobek dokončen (3D-tisk, n.d.). Výrobní proces je graficky znázorněn na Obrázku 5 v Příloze 1.

SLA, technologie vyvinutá převážně pro tvorbu prototypů, umožňuje vyrobit velmi přesné výrobky se složitými vnitřními strukturami. Oproti ostatním technologiím, kterým bude věnována pozornost dále, je povrch vyrobených produktů mnohem hladší bez znatelně viditelných vrstev. Technologie se stala velmi vyhledávanou při výrobě pro zdravotnictví, mimo jiné také pro voděodolnost používaných materiálů (In'Tech Industries, 2013).

I přesto, že se jedná o nejstarší technologii AM, je jednou z investičně nejnáročnějších technologií, což brání plnému využití jejího potenciálu. Investičně náročné je nejen samotné pořízení tiskárny, ale také pořízení výrobního materiálu. Další nevýhodou SLA je nízká tepelná odolnost některých používaných materiálů a relativně pomalý proces tvrzení polymeru použitého pro výrobu (Hodek, 2013).

DLP

Metoda DLP (Direct Layer Projection) je velmi podobná zmíněné stereolitografii (SLA). Byla vynalezena Larrym Hornbeckem ze společnosti Texas Instruments v roce 1987.

Stejně jako SLA pracuje s materiálem na bázi tekutého fotopolymeru. Rozdílný je však druh použitého světla při tvorbě vrstev. U této metody není materiál spékán seshora

laserovým paprskem, nýbrž zespodu pomocí jakéhokoliv dostatečně výkonného DLP projektoru (digitální mikro zrcadla umístěná na polovodičovém čipu), který osvětluje celou vrstvu najednou a několikanásobně tak zrychluje dobu tisku, viz Obrázek 6 v Příloze 1. Amatérští uživatelé často využívají snadno dostupné konvenční zdroje světla, jako obloukové lampy apod. Materiál ihned po kontaktu se silným zdrojem světla tuhne a je možné přistoupit k tisku další vrstvy. DLP stejně jako SLA potřebuje při výrobě podpurné struktury, které pomáhají zafixovat požadovaný tvar objektu.

Výhodou DLP, oproti SLA, je nižší finanční náročnost pořízení tiskárny i následný provoz, větší přesnost a rychlost. V jedné tiskové úloze je možné vyrobit několik stejných objektů najednou. V neposlední řadě je tato technologie méně materiálově náročná, protože objekt při tisku z tekutého polymeru vystupuje směrem nahoru, na rozdíl od technologie SLA, kde se vyráběný produkt zcela ponořuje do tekutého polymeru (Scan and Make, n.d.).

Selektivní laserové spékání (SLS)

V roce 1987 byla patentována technologie selektivního laserového spékání, zkráceně SLS⁶. Tato metoda využívá laserového paprsku k tavení a spékání jemných zrněk tiskového materiálu do žádoucího tvaru, viz Obrázek 7 v Příloze 1.

Jejím vynálezcem je Carl Deckard, který během své letní stáže ve společnosti TRW Mission přišel s myšlenkou vytvořit zařízení, které bude schopné z datového 3D modelu (CAD) automaticky vytvořit skutečný předmět. Jako student strojího inženýrství na Univerzitě v Texasu požádal svého tehdejšího profesora, Dr. Joea Beamana, o spolupráci na svém projektu. Výsledkem spolupráce bylo první SLS zařízení s názvem Betsy. Deckard a Beaman spolu s dalšími univerzitními kolegy zakládají společnost Nova Automation, později přejmenovanou na DTM Inc., na výrobu SLS zařízení. O několik let později uzavřela společnost dohodu o financování s firmou Goodrich Corp., výrobcem z oblasti chemického a leteckého průmyslu. V roce 2001 odkoupila většinový podíl DTM firma 3D Systems, vynálezce konkurenční

⁶ *Selective Laser Sintering*

technologie SLA, pro kterou byl odkup technologie SLS velmi významným milníkem pro její budoucí úspěch (Cockrell School of Engineering, 2012).

Výhodou SLS je široké spektrum komerčně dostupných materiálů, které působením tepla měknou nebo se roztaví - plasty, kov či dokonce sklo. Při výrobě není potřeba žádných stavebních podpor výrobku, a to ani při tisku složitých objektů, protože je výrobek obklopen neroztaveným materiálem, který zajišťuje dostatečnou oporu po celou dobu výroby.

Mezi nevýhody této technologie patří vysoká energetická náročnost výrobního procesu, investiční náročnost a také nemožnost výroby uzavřených dutin, při jejichž výrobě by zůstal neroztavený materiál uzavřen uvnitř objektu (Hodek, 2013).

Materiálová extruze (FDM)

Technologii v roce 1988 vynalezl Scott Crump, letecký inženýr, frustrovaný cenou a dobou dodání prototypů, které potřeboval při své práci. V roce 1989 si nechává technologii patentovat a se svou manželkou zakládá společnost Stratasys. O tři roky později, v roce 1991, prodávají svou první 3D tiskárnu. V roce 1996, kdy byl již Stratasys akciově veřejně obchodovatelnou firmou, dosáhla firma neočekávaného růstu a prodala o 60 % více jednotek než její největší konkurent, firma 3D Systems (Pederson, 2005).

Metoda FDM⁷ je založena na principu nanášení jednotlivých vrstev různých druhů netoxických termoplastů či vosků pomocí vyhřívané tryskové hlavičky, viz Obrázek 8 v Příloze 1. Stavební materiál je rozehrátý na teplotu o 1 stupeň vyšší než je jeho teplota tavení, což zaručí, že materiál přilne k předchozí vrstvě a ihned ztuhne (Hodek, 2013).

Hlavní výhodou metody je její cenová dostupnost, díky které je technologie hojně využívána napříč odvětvími především pro výrobu prototypů. Při výrobě je možné použít dvě a více tryskových hlav - jedna tryska tiskne stavební materiál, druhá podpurný materiál, který je z finálního výrobku odlámán mechanicky nebo odstraněn

⁷ *Fused Deposition Modelling*

pomocí chemické lázně. Metoda zároveň umožňuje tisk z více druhů materiálu nebo z různých barev, což mnoho konkurenčních technologií nedokáže (Scan and Make, n.d.).

Technologie FDM je kompromisem mezi odolností, rychlostí a přesností výroby, proto na jejím principu funguje většina 3D tiskáren na současném trhu (Hodek, 2013).

Selektivní laserové tavení (SLM)

Technologie SLM byla vyvinuta v roce 1995 německým výzkumným institutem pro laserové technologie Fraunhofer ve městě Cáchy. Při použití této technologie dochází k tavení kovového práškového materiálu mikroskopické velikosti pomocí řízeného paprsku laserové energie, viz Obrázek 9 v Příloze 1. Narozdíl od SLS dochází k úplnému roztavení kovového prášku. Materiálem vhodným pro tuto technologii je nerezová ocel, titan, chrom-kobalt či hliník (Scan and Make, n.d.).

Metoda SLM umožňuje vyrobit složité geometrické tvary, které jsou subtraktivními metodami nevyrobitelné, případně nevyrobitelné s takovou přesností. Nevýhodou bránící proniknutí této technologie do masové výroby je malá produktivita výroby za současného zachování vysoké kvality výrobku a neschopnost výroby uzavřených struktur. Do budoucna je však, při současném progresivním vývoji technologie, tato metoda velmi slibná díky široké škále použitelných kovových materiálů (Hradil, 2016).

EBM

Technologie patentovaná švédskou firmou Arcam v roce 1997. Technologie má mnoho společného s SLM, avšak na rozdíl od laserového paprsku používá pro tavení kovového prášku elektronový paprsek. Celý výrobní proces probíhá ve vakuové komoře. Finální výrobky jsou výjimečně přesné a mají vynikající technické vlastnosti, díky čemuž je technologie oblíbená v odvětvích jako je letecký průmysl nebo zdravotnictví, kde je využívána především pro výrobu implantátů a kostních

náhrad. Grafické znázornění výrobního procesu za použití EBM metody viz Obrázek 10 v Příloze 1.

Na rozdíl od technologií SLS a SLM není pro vytvoření dostatečně silného elektronového paprsku zapotřebí tolik energie jako u laserového paprsku. Nutnost vakuového prostředí činí technologii velmi investičně náročnou a je jedním z důvodů, proč je metoda nahrazována jinými alternativami. Dalším důvodem je produkce radiových vln při výrobním procesu vyvolaných elektronovým paprskem. Před začátkem výroby je vždy nezbytně nutné zkontrolovat, že je vakuová nádrž dobře zaizolována a radiace nebude pronikat do okolí (Larsson, Lindhe & Harrysson, 2003).

Laminační 3D systémy (LOM)

LOM je nejmladší ze sedmi zmíněných základních subtechnologií AM. Metoda byla patentována v roce 1998 kalifornskou společností Helisys, Inc. (Espacenet, 1998).

Technologie je založena na vyřezávání materiálu z laminátové role potažené lepidlem a jeho plošném přilepení na předchozí vrstvu pomocí tepla a tlaku. Následně je vrstva vytvarována do požadovaného tvaru pomocí počítačem naváděného laseru či nože, viz Obrázek 11 v Příloze 1. Původně používaným materiálem byl pouze papír, který finálnímu výrobku propůjčoval vzhled dřeva, později se začaly používat také plastové či kovové materiály. Při výrobě není potřeba žádných podpěr, protože oříznutý materiál drží díky pevně slepeným vrstvám kolem finálního výrobku. Finální produkt je po skončení výrobního procesu potřeba vyloupnout z nepotřebného materiálu, který jej obklopuje. Při výrobě tak vzniká velké množství odpadu, který se nedá znovu použít pro výrobu dalších výrobků. U některých konstrukcí může být kvůli jejich tvaru obtížné nepotřebné ořezané části materiálu odstranit, což omezuje použití technologie pro výrobu dutých struktur.

Výhodou technologie je její nízká pořizovací cena zařízení a cenově dostupný materiál. LOM je metodou hojně využívanou umělci, architekty a vývojáři pro

ztvárnění modelů jejich projektů, často s použitím obyčejného dopisního papíru (Scan and Make, n.d.).

2.2. Aditivní výroba současnosti a její trendy

Největší autoritou, sledující nejnovější trendy týkající se aditivní výroby, je bezpochyby společnost Wohlers Associates, Inc. Tato americká firma, která působí na trhu již 30 let, se specializuje na poskytování nezávislých konzultantských služeb a pomoc firmám s jejich projekty v oblasti aditivní výroby. Mimo jiné se také podílí na dění v odvětví a každoročně vydává obsáhlou publikaci Wohlers Report, která je jakousi “biblí” celého odvětví. Nabízí souhrnný přehled a analýzu aktuálního dění v oboru (Wohlers Associates, n.d.).

Technologie aditivní výroby jsou rychle rostoucím oborem. Což potvrzuje meziroční nárůst celkových tržeb celého odvětví se v roce 2016, oproti roku 2015, sice nepatrně zpomalil, stále jde však o nárůst tržeb o 17,4 %. Takového tempa růstu tržeb některá jiná odvětví již dlouhá léta či nikdy nedosáhla (Wohlers, 2017).

K rychlému vývoji a rozvoji oboru napomohlo také vypršení platnosti patentů pro většinu základních technologií AM (SLA, SLS, FDM, DPL či SLM), převážně mezi roky 2014 až 2016 (Wohlers & Caffrey, 2015).

V dnešní době vysoké poptávky po individualizovaných produktech vysoké kvality, vyráběných s co nejnižšími náklady, jsou firmy nuceny investovat do výzkumu a vývoje inovativních a rychle rostoucích technologií. Firmy bedlivě sledují technologie a materiály používané jejich konkurenty, včetně způsobů, jakým je zapojují do svých obchodních modelů, aby se mohly přizpůsobit aktuální situaci na trhu nebo aby si udržely svůj náskok před konkurenty. I když byla většina subtechnologií AM vynalezena v USA, jsou evropské firmy mnohem proaktivnější v jejich dalším rozvoji a využití. Podle výsledků celosvětového průzkumu společnosti Ernest&Young (2016) využívá technologie AM 37 % německých firem, což je více než dvojnásobek podílu zjištěného na americkém trhu. Pro výrobce, kteří se ještě nezačali orientovat na 3D tisk či nezačali zkoumat jeho potencionální využití ve svém obchodním modelu,

může tento handicap v budoucnu znamenat velké potíže, které se budou stále obtížněji odstraňovat a mohou vést až k úpadku firmy.

Podle společnosti Stratasys (2015) bude do budoucna nadále rapidně růst zájem o tisk kovů především v oborech jako je zdravotnictví, letecký průmysl a zpracovatelský průmysl se zaměřením na těžbu ropy a plynů. Aditivní výroba umožňuje vyrábět předměty mnohem lehčí než umožňuje tradiční výroba, díky možnosti vyrobít složité průřezy, dutiny či výřezy. Tuto funkci ocenili především výrobci v leteckém a automobilovém odvětví, kde snížení hmotnosti dílů vyrobených pomocí 3D technologií přineslo úsporu spotřeby paliva až o 25 % (Ernest&Young, 2016).

Své využití nachází technologie 3D tisku také v módním průmyslu a sportu. V polovině roku 2017 chystá firma Adidas otevření nové továrny v německém Ansbachu, která bude vyrábět sportovní obuv pomocí 3D tisku. Adidas se tak stane první firmou ve svém oboru, která technologii použije v masové výrobě (Lavička, 2017).

Příchodu nové éry využití aditivních technologií, co by technologie pro výrobu finálních výrobků, nasvědčuje také jednání předních výrobců - Additive Industrie, EOS či Concept Laser, kteří zaměřují svou pozornost na výzkum a vývoj automatizovaných systémů pro tzv. *“Smart factories”*, které budou schopné obsluhovat současná 3D zařízení a kompletně tak nahradit práci člověka ve výrobním procesu (Duann, 2017).

Trendem posledních let bylo mezi firmami využívání služeb servisních poskytovatelů, kterým firmy zadají požadavek na parametry finálního produktu a poskytovatel pro ně najde nevhodnější 3D tiskové řešení výrobku a zároveň jej vyrobí. Výsledky průzkumu provedeného společností Stratasys (2015) ve firmách Severní Ameriky, které využívají 3D tisk ve výrobě nebo plánují jeho využití v horizontu několika let, ukazují na rostoucí sklon firem k využívání servisních poskytovatelů 3D tiskových řešení. Bylo zjištěno, že firmy outsourcují proto, že vedení těchto firem je přesvědčeno, že servisní poskytovatel disponuje lepšími

znalostmi a hlavně zkušenostmi a je tak schopen využít naplno potenciál 3D tisku. Řada firem, které mají vlastní 3D systémy, proto stále využívá právě služeb servisních zprostředkovatelů.

Aditivní výroba s sebou nese již od svých prvopočátků velká očekávání týkající se jejího budoucího postavení ve výrobním průmyslu. Dnes je již jasné, že tyto technologie mají v průmyslové výrobě své místo a jsou součástí revoluce Industry 4.0. Podle odhadů společnosti Deloitte však nepůjde o revoluci tak, jak ji vidí někteří vědci, kteří předpovídají, že do pěti až deseti let bude vlastnit 3D tiskárnu každá domácnost. Opravdová revoluce čeká na podnikatelský sektor, nikoli na konečné zákazníky. Hlavním limitem pro domácnosti je jejich nedostatečná odbornost. I když jsou domácí 3D tiskárny do značné míry automatickými zařízeními s přednastavenými parametry, je potřeba umět se zařízením odborně zacházet (Lee & Stewart, 2015).

S rostoucí oblibou a dostupností 3D tiskáren pro domácnosti a jednotlivce je nutné zamyslet se, zda je bezpečné ponechat tuto oblast bez kontroly. V roce 2013 americká firma Defense Distributed vyrobila první 3D tištěnou pistoli a její plány zveřejnila na svém webu. Tato událost rozpoutala diskuzi napříč zeměmi. Je nezákonné jen držení nelegální zbraně nebo i 3D plány na její výrobu? (Greenberg, 2013). Dnes, více než čtyři roky od představení návodu na výrobu 3D tištěné zbraně, se zdá, že šlo o mediálně nafouknutou kauzu a i přes tehdejší hrůzné scénáře nežijeme v době kriminálníků střílejících z 3D tištěných zbraní. Z toho vyplývá, že žijeme ve světě, kde je mnohem jednodušší opatřit si klasickou nelegální zbraň, než si doma jednu plastovou vyrobit. Při současném tempu vývoje nových technologií to však nemusí platit dlouho a bude potřeba přijmout nezbytná legislativní a bezpečnostní opatření. Obdobnou situaci musejí řešit centrální banky po celém světě, které kvůli zvyšující se kvalitě barevných tiskáren a jejich stále větší cenové dostupnosti čelí rostoucímu množství případů padělání bankovek. Současné bankovky mají proto mnohem více bezpečnostních prvků než tomu bylo začátkem 21. století.

2.3. Vliv AM na lidské zdraví

Aditivní výroba do určité míry snižuje rizika nemocí z povolání, jako je například ohluchnutí, čichání olejů při tradičních výrobních procesech apod. Na druhou stranu se spolu s novou technologií objevují i nová rizika a možné negativní dopady na lidský organismus.

Vliv některých nově používaných materiálů není dosud přesně znám, ale v některých případech se objevují alergické reakce či poruchy zraku způsobené při manipulaci s materiály pro aditivní výrobě.

Pokud jsou známy případy nepříznivých dopadů materiálů používaných při aditivní výrobě na lidské zdraví, je potřeba zvážit, jak je možné tyto jevy eliminovat v případě domácích 3D tiskáren. Všechny případy zjištění negativního vlivu na lidské zdraví je potřeba bedlivě sledovat a v případě potřeby chránit zaměstnance firem, ale i konečné spotřebitele zpřísněním legislativy týkající se bezpečnosti práce v případě aditivních výrobních technik (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

2.4. Trh výrobců 3D tiskáren

Počet výrobců 3D tiskáren se za poslední dva roky téměř zdvojnásobil. Zatímco v roce 2014 bylo na světovém trhu 49 výrobců 3D tiskáren, na konci roku 2016 se jejich počet vyhoupl na 97 firem (Wohlers, 2017).

Největší podíl na trhu profesionálních 3D tiskáren pro industriální využití mají stále firmy založené vynálezci základních technologií aditivní výroby, Stratasys, EOS a 3D Systems. Jak ukazuje Tabulka 2, tržní podíl firmy Stratasys a 3D Systems meziročně poklesl. Tento pokles byl mimo jiné způsoben také právě rostoucím počtem konkurentů na trhu. Zákazníci mají možnost volby z daleko většího portfolia produktů, než tomu bylo v minulých letech a to jak v oblasti investiční náročnosti tiskárny, tak v oblasti užitných vlastností a funkcí nebo použitelných materiálech. Právě díky rostoucímu zájmu průmyslových firem po 3D tisku z kovových materiálů naopak zaznamenala v minulém roce firma EOS 15% růst podílu na trhu 3D tiskáren. Zatím neohrožené postavení lídra trhu však stále zaujímá Stratasys s

tržním podílem 34 %, dvojnásobným podílem na trhu oproti firmě EOS, která je v žebříčku na druhém místě (Context, 2017).

Firmami s malým, avšak rychle rostoucím, tržním podílem jsou SLM Solutions a Concept Laser zaměřené na výrobu zařízení pro 3D tisk z práškových kovů. V roce 2016 odkoupila tři čtvrtiny podílu firmy Concept Laser nová divize společnosti General Electric, GE Additive. Americký konglomerát měl již delší dobu zájem o vstup na trh aditivních technologií a již dříve se snažil odkoupit podíl firmy SLM Solutions, která však nakonec jeho nabídku akvizice odmítla. Podle týdeníku Euro lze nyní očekávat tvrdý konkurenční boj mezi těmito dvěma hráči (Euro, 2016).

Tabulka 2 - Pět největších výrobců 3D tiskáren na trhu průmyslových / profesionálních tiskáren podle tržeb v roce 2016

Pořadí 2016	Název firmy	Tržby z prodeje zařízení	Podíl na celosvětových tržbách 2016	Meziroční růst/pokles
1	Stratasys	\$ 427M	34%	-5 %
2	EOS	\$ 210M	17%	15 %
3	3D Systems	\$ 144M	11%	-19 %
4	SLM Solutions	\$ 76M	6%	21 %
5	Concept Laser	\$ 66M	5%	41 %

Zdroj: (Context, 2017)

V roce 2016 vstoupila na trh 3D tiskáren také firma HP se svým zařízením HP Multi Jet Fusion. Byla tak první firmou zaměřenou na 2D tisk, která začala úspěšně konkurovat předním hráčům na trhu - Stratasys či 3D Systems. Firma již nějakou dobu uvažovala o vstupu na trh aditivních technologií, než tak v první polovině roku 2016 opravdu učinila. Hlavními motory vstupu na trh bylo vypršení platnosti některých technologických patentů týkajících se 3D tisku a dále přesvědčení, že 3D tisk je přirozeným nástupcem 2D tisku. HP se, na rozdíl od svých konkurentů, zaměřuje především na vývoj a výrobu zařízení sloužících pro masovou výrobu finálních produktů. Díky inovativní technologii dokáže HP Multi Jet Fusion vyrábět deset krát rychleji než konkurenční zařízení a pouze s polovičními výrobními

náklady. Technologie je založená na analogii s inkoustovým tiskem. Konkurenční výhodou zařízení je také možnost barevného tisku a využití široké škály materiálů, přičemž je tiskárna kompatibilní s materiály od různých výrobců (Hawlett-Packard, 2016).

Druhou část trhu 3D tiskáren tvoří stolní zařízení určená pro domácí využití. Zákazníky pro tento trh jsou především techničtí nadšenci a menší firmy rozhodující se o zahrnutí 3D tisku do výrobního procesu či využívající 3D tiskárny pro výrobu prototypů. Zatímco ceny profesionálních 3D tiskáren pro industriální výrobu se v průměru pohybují v řádech desítek tisíc dolarů, stolní 3D tiskárnu lze pořídit za cenu do 1000 dolarů.

Největší tržní podíl (25 %), viz Tabulka 3, vypočítaný v závislosti na počtu prodaných kusů zařízení, má firma XYZprinting, která v roce 2016 dodala na trh více než 80 tisíc 3D tiskáren. Výhodou zařízení je jeho cenová dostupnost, nejlevnější model 3D tiskárnu lze pořídit od 290 dolarů. Naopak mezi cenově dražší řešení nabízí firma Ultimaker, která i přes méně než třetinový počet prodaných kusů oproti XYZprinting dosáhla v roce 2016 o 5,3 milionů dolarů vyšších tržeb (Context, 2017).

Tabulka 3 - Pět největších výrobců 3D tiskáren na trhu domácích / stolních tiskáren podle tržeb a počtu prodaných kusů v roce 2016

Pořadí podle jednotek 2016	Název firmy	Počet prodaných jednotek	Podíl na trhu podle jednotek 2016	Pořadí podle tržeb 2016	Název firmy	Tržby z prodeje jednotek	Podíl na trhu podle tržeb 2016
1	XYZprinting	80 902	25%	1	Ultimaker	\$ 44,0M	13%
2	Monoprice	27 944	9%	2	XYZprinting	\$ 39,7M	12%
3	Ultimaker	24 058	8%	3	Stratasys/MakerBot	\$ 38,9M	12%
4	M3D	21 656	7%	4	Formlabs	\$ 30,3M	9%
5	FlashForge	17 321	5%	5	Aleph Objects	\$ 17,7M	6%

Zdroj: (Context, 2017)

Společnost Ultimaker vyrábí 3D tiskárny jejichž konstrukce vychází z otevřeného projektu tiskáren RepRap. Zakladatelem a vynálezcem RepRapu je doktor Adrian Bowyer, který v roce 2005 představil první 3D tiskárnu, jež je schopna téměř v plném rozsahu replikovat sebe sama. Veškerá dokumentace potřebná pro sestavení hardwaru a provoz vlastního RepRapu je dostupná zdarma online. Každý člověk vlastníci RepRap tiskárnu si může s její pomocí vyrobit další plně funkční zařízení (Petch, 2017).

Českým úspěchem v oblasti stolních 3D tiskáren je zařízení firmy PRUSA Research. Její zakladatel, Josef Průša, před lety zjednodušil design RepRapu a neupustil od základní myšlenky původního projektu, kterou je výroba zařízení schopného z velké části replikovat sebe samo. Tiskárna Prusa i3 je dodávána na trh jako kompletní zařízení i ve formě stavebnice, kterou si může zručnější zákazník sám postavit, s možností koupě pouze těch částí, které tiskárna neumí sama replikovat. Ze startupu založeného v roce 2009 se za 8 let stala firma zaměstnávající 130 zaměstnanců a ročními tržbami ve výši 240 milionů Kč. Podle dosavadního tempa růstu tržeb, se očekávají roční tržby za rok 2017 ve výši přes 1 miliardu Kč. PRUSA Research dodává tiskárny do více než 120 zemí světa, kam za posledních pět let poslal přes 30 tisíc tiskáren. O české tiskárny je takový zájem, že firma nestíhá uspokojovat poptávku trhu, průměrná čekací doba je sedm týdnů. A to i přes to, že firma stále zvyšuje své výrobní kapacity a každý měsíc vyrobí o 500 tiskáren více než měsíc předchozí (Forbes, 2017).

2.5. Materiály

Nejdostupnějším a nejrozšířenějším materiálem používaným při AM jsou stále polymery, při výrobě je využívá 53 % firem. V posledních letech se pozornost firem upírá k možnostem využití kovových materiálů (Ernst&Young, 2016). Této rostoucí poptávky na trhu si, kromě výrobců 3D tiskáren, všimli také výrobci materiálů pro aditivní výrobu a jejich sortiment se neustále rozrůstá.

Pro 3D tisk jsou používány materiály ve třech základních formách, jejichž použití je závislé na volbě subtechnologie aditivní výroby:

- kapaliny (SLA, DLP),
- pevné látky (FDM, LOM),
- práškové materiály (SLS, SLM, EBM).

Cena materiálů použitelných pro 3D tisk je stále jednou z bariér, které firmy odrazují od využívání 3D tisku ve výrobě. V porovnání s materiály používanými při tradiční výrobě vstřikováním, jsou AM materiály 20 až 100 krát dražší. Vysoké ceny jsou způsobené také kalkulem výrobců 3D tiskáren, kteří u svých zařízení zákazníkům technicky znemožňují použití materiálů od jiných výrobců. Omezují tak konkurenci, která by tlačila ceny dolů (Ernst&Young, 2016).

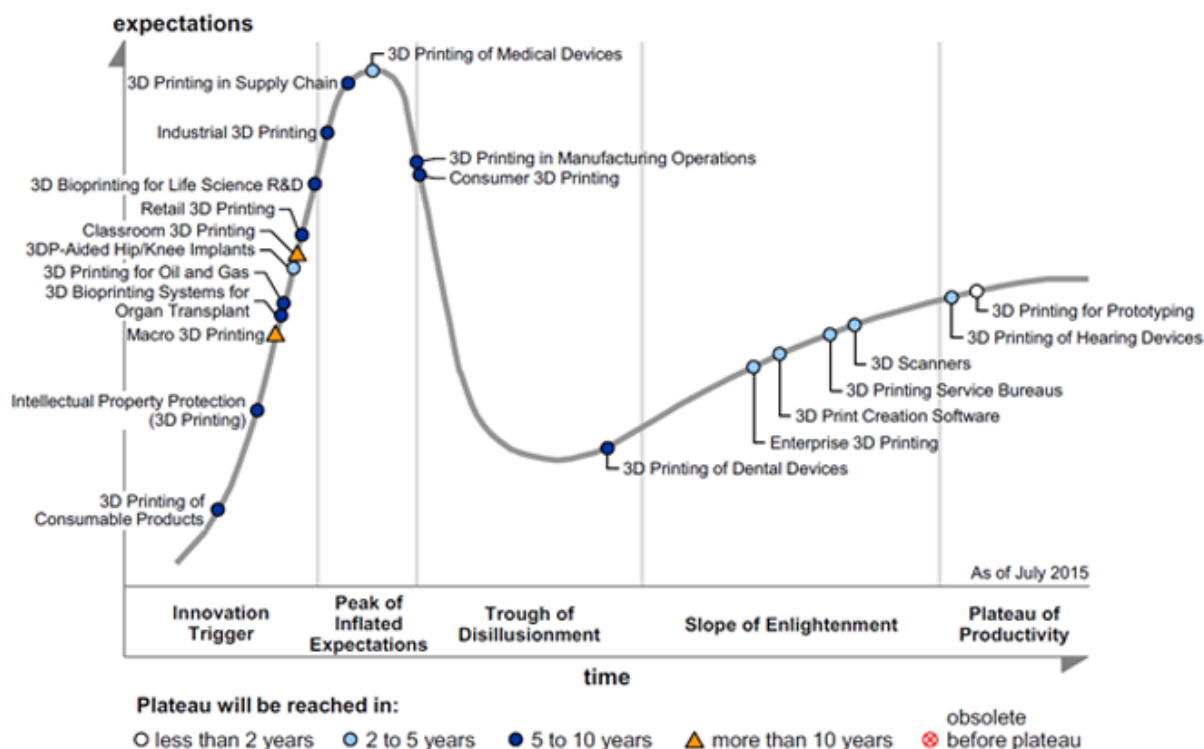
3. AM ve zdravotnictví

Vyspělé země se potýkají se stárnutím populace a rostoucí délkou života svých obyvatel. Prodlužuje se produktivní věk obyvatelstva a lidé jsou ve stáří aktivnější než tomu bylo u předchozích generací. To klade vyšší nároky i na kvalitu a ekonomickou efektivitu zdravotní péče, která vyžaduje individuálnější přístup. Obecně se v dnešní době kladou vyšší nároky na bezpečnost, a to jak při práci, tak při sportu a dalších aktivitách. To zvyšuje požadavky na kvalitu těchto ochranných pomůcek - helmy, ochranné obleky, kombinézy apod. (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2012).

Analytici společnosti Gartner každoročně sestavují také speciální hype křivku pro technologie 3D tisku. Na které se pravidelně objevuje několik aplikací 3D tisku využitelných ve zdravotnictví, viz Obrázek 12, s údaji pro rok 2015. V oblasti zdravotnictví je již 3D tisk využíván jako primární technologie pro výrobu předmětů, které jsou speciálně upravované na míru danému jednotlivci, jako naslouchadla či dentální nástroje (Molitch-Hou, 2015).

V oblasti zdravotnictví nabízí aditivní výroba možnost téměř nekonečné flexibility jejího využití. Běžně používané technologie skenování a snímání umožňují prakticky okamžitě z vytvořených snímků vyrobit implantát či náhradu na míru pacientovi (Giannatsis & Dedoussis, 2009). I v těchto oborech jsou limitními faktory pro využití 3D tisku vysoké náklady a čas potřebný pro výrobu konkrétních modelů, které brání masovému rozšíření technologie napříč ještě více obory. Jednou z bariér je také prozatím omezené portfolio vhodných materiálů, na které jsou kladeny vysoké nároky z hlediska jejich flexibility, odolnosti a biokompatibility. Veškeré materiály jsou zde podrobovány přísnému testování, aby se zabránilo možným negativním účinkům na lidské zdraví. V současnosti existují biokompatibilní materiály s vhodnými vlastnostmi pro použití ve zdravotnictví - plastové, kovové i keramické materiály (Rengier et al., 2010).

Obrázek 12 - Gartnerova Hype křivka 3D tisku pro rok 2015



Zdroj: Gartner (2015)

V roce 2015 vědci z Univerzity v Groningenu v Nizozemsku vynalezli materiál, který testovali na produktech pro stomatologii. Inovativní vlastností tohoto materiálu je jeho schopnost eliminovat více než 99 % testovaných bakterií způsobujících zubní kaz a přitom nepoškodit ostatní buňky. Pro srovnání, tradičně používané materiály jsou schopny ve srovnatelných testovacích podmínkách zabít pouhé 1 % bakterií. Materiál složený z antimikrobiální pryskyřice je stále ve fázi testování, ale pokud by se prokázala jeho dostatečná odolnost a stálost, nabízí se do budoucna možnost jeho využití nejen ve stomatologii, potažmo ve zdravotnictví obecně, ale i v dalších oborech, např. v potravinářském průmyslu, jako obalový materiál či při čištění vody atd. (Yue et al., 2015).

3D tisk s sebou přináší řadu výhod specifických pro zdravotnictví. Díky precizním vizualizacím a možnostem předoperačního plánování se snižuje doba strávená na

operačním sále, čímž se usnadňuje práce lékařů a snižují se dopady psychické i fyzické zátěže na pacienty při chirurgických zákrocích.

Podle průzkumu firmy Stratasys (2015) se bude ve zdravotnictví zvyšovat podíl tzv. “In-house” řešení pro aditivní technologie. Protože se 3D tisk se v tomto oboru využívá pro výrobu předmětů, které jsou určeny konkrétnímu zákazníkovi a jsou tedy v nejvyšší možné míře individualizované jeho potřebám, potřebuje mít firma své vlastní experty a být odborníkem na danou výrobu.

V oblasti výzkumu a vývoje nových produktů a materiálů spolu úzce spolupracují firmy, výrobci 3D tiskáren, univerzity i nemocnice. Velcí výrobci 3D tiskáren na trhu vycítili potenciál, který trh zdravotní péče nabízí a vrhli se na vývoj zařízení pro tento segment trhu. V březnu roku 2016 dokonce firma 3D Systems otevřela speciální technologické centrum zaměřené na výzkum a vývoj řešení pro zdravotnictví - Healthcare Technological Center v Littletonu v Coloradu. Jde o unikátní centrum, které má sloužit jako základní pro globální aktivity firmy v oblasti zdravotnictví a které má podporovat vzájemnou spolupráci mezi nemocnicemi, výrobci a akademickou sférou s možností využití kompletního portfolia zařízení firmy 3D Systems. Centrum hraje důležitou roli v poskytování a rozvoji 3D tiskových řešení pro zdravotnictví - zahrnujících 3D tištěné zdravotnické prostředky a implantáty nebo virtuální chirurgické plánování (3D Systems, 2016).

Americký národní institut zdraví (NIH) v roce 2014 reagoval na rostoucí zájem o 3D tisk a jeho využití ve zdravotnictví spuštěním internetového projektu “NIH 3D Printing Exchange”⁸, jehož snahou je vytvoření obsáhlého, snadno dostupného interaktivního prostředí pro hledání a sdílení 3D biomedicínských datových modelů, tutoriálů a dalších vzdělávacích materiálů z oboru (Ventola, 2014).

Využití aditivní výroby ve zdravotnictví lze podle Giannatsise & Dedoussise (2009) rozdělit do následujících kategorií, kterým bude následně věnována větší pozornost:

⁸ <https://3dprint.nih.gov/>

- **Biomodelování**, zahrnující výrobu modelů různých částí lidského těla či tkáně pro účely operačního plánování či testování
- Výroba personalizovaných **implantátů pro účely protetiky, rehabilitace plastické chirurgie a dalších**
- Výroba **porézních implantátů a tkáňové inženýrství**
- Výroba **chirurgických nástrojů a pomůcek**
- **Výroba léčiv a zařízení miniaturních rozměrů** využívaných ve zdravotnictví.

3.1. Biomodelování

Biomodely orgánů a dalších částí lidského těla vyráběné pomocí 3D tisku napomáhají lékařům lépe poznat anatomickou strukturu lidského těla. Tuto možnost ocení nejen studenti, ale také členové chirurgických týmů, kterým modely usnadňují komunikaci a plánování před operací. Tištěné biomodely usnadňují komunikaci v rámci lékařského týmu i mezi lékařem a pacientem. Pomáhají správně interpretovat příčinu zdravotního problému a umožňují předvídat možné problémy, které by mohly při samotné operaci nastat bez časového tlaku, kterému jsou lékaři při operacích vystavováni. Bylo prokázáno, že v případě využití 2D modelů pro operační plánování docházelo různými lékaři k rozdílným závěrům týkajícím se operované oblasti způsobených nemožností komplexního pohledu na operovanou oblast, například v případech odstraňování nádorů u pacientů s rakovinou.

Přestože jde o velmi užitečný nástroj, je výroba biomodelů finančně, z hlediska pořízení 3D tiskárny, i časově náročným procesem. Využívá se proto jen ve výjimečných případech při složitých operacích, kde je čas na výrobu takového modelu. Výroba biomodelu trvá, v závislosti na použité technologii, v rozmezí několika hodin až dvou dnů. Nejen přesnost a vysoká kvalita biomodelů jsou hlavními důvody pro využití 3D tisku. Celá věc má také svou ekonomickou stránku. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole aditivní technologie s sebou nesou nižší výrobní náklady v případech výroby komplexních výrobků, které jsou vyráběné na mírou specifickým potřebám zákazníka. Zatímco výroba biomodelů za pomoci tradičních výrobních technik s sebou s rostoucí komplexností modelu přináší

rostoucí náklady, u aditivních technologií jsou náklady na výrobu vůči jeho složitosti indiferentní. Průměrná cena 3D tištěného biomodelu se pak pohybuje přibližně kolem 100 USD za kus (Yao et al., 2016).

3D tištěné biomodely se stále více využívají také na lékařských univerzitách, protože dávají studentům možnost osahat si různé části lidského těla a orgány, které jsou hmatově téměř nerozeznatelné od skutečných. V současné době lze navíc tisknout tak přesné repliky, že je možné simulovat průběh celé operace (Ventola, 2014). Bylo navíc prokázáno, že studenti dosahovali lepších výsledků u testů z anatomie v případech použití 3D tištěných biomodelů při výuce (Preece, Williams, Lam & Weller, 2013).

3.2. Personalizované implantáty

Anaplastologie je "obor zabývající se rekonstrukcí znetvořených či chybějících částí lidského těla umělými prostředky" (Koukal, 2012, s. 13). Tento obor, který lze označit za kombinaci vědy a umění, pomáhá pacientům navrátit "normální vzhled", v případech, kdy tak nelze učinit pomocí chirurgického zákroku nebo v případech, kdy by taková operace byla značně riskantní.

Protetika je obor, zabývající se léčbou pacientů používajících protézu. Protézou se rozumí externě aplikovaná pomůcka, která nahrazuje chybějící nebo nevyvinutou část končetiny, popř. celou končetinu ("Medical Definition of Prosthetics", 2016). Příbuzným oborem protetiky je epitetika, jejímž účelem je kompenzovat zevní morfologické deficity, bez funkčního efektu (Dungl, 2014, s. 115).

Biokompatibilita je hlavním předpokladem pro materiály používané při výrobě silikonových epitéz a protéz. Konečné výrobky musí být kvalitní, ale zároveň snadno vyrobitelné a dostupné za přijatelné ceny. Finální výrobek musí vypadat jako skutečná lidská kůže, a to jak na pohled, tak na dotek. Žádoucími vlastnostmi jsou průhlednost, barva, textura a měkkost. Protéza musí být odolná vůči chemickému i fyzickému poškození, včetně ultrafialového světla. Materiál musí být zároveň

barevně stálý, aby epitéza co nejtrvaleji odpovídala barvě kůže svého nositele a byla prakticky neviditelná (Giannatsis & Dedoussis, 2009).

Výroba naslouchadel je jedním z případů, kde 3D tisk téměř zcela nahradil původní technologii výroby. Chad Fauks ze společnosti Starkey, přední výrobce naslouchadel v USA, uvádí, že 98 % všech naslouchadel vyrobených jejich firmou je vyrobeno pomocí technologie 3D tisku. Zbývající cca 2 % nemohou být pomocí této technologie vyrobeny ze specifických zdravotních důvodů. I když bylo pomocí 3D tisku celosvětově vyrobeno již více než 10 milionů těchto pomůcek pro neslyšící, je zajímavým faktem, že tato revoluce přerodu odvětví z tradičních výrobních metod na aditivní technologie výroby proběhla téměř bez povšimnutí (Sharma, 2013).

Podobně úspěšným produktem s velkým potenciálem jsou neviditelná rovnátka Invisalign vyráběná firmou Align Technology. Pomocí 3D počítačové vizualizace je z datového 3D modelu chrupu pacienta vytvořen kompletní plán léčby, od počátečního tvaru chrupu až do finálního. Pro každou fázi léčby je vytvořena pomocí 3D technologie násada na zuby, která přesně kopíruje chrup pacienta a posunuje zuby požadovaným směrem. Rovnátka jsou vyrobena ze silného zdravotnického termoplastického materiálu. Invisalign rovnátka vyzkoušelo více než 2,6 milionů pacientů po celém světě (Align Technology, n.d.). Neviditelná rovnátka jsou příkladem velkoobjemově na míru vyráběného produktu s využitím technologií 3D tisku. Podle charakteristiky produktů uvedené v kapitole 2 (str. 19) jsou tedy příkladem výrobku z Oblasti 6 - Masově individualizovaná výroba jednoduchých struktur na míru konečnému zákazníkovi.

3.3. Porézní implantáty a tkáňové inženýrství

Kromě výroby chirurgických modelů, které usnadňují lékařům plánování průběhu operace a umožňují lepší poznání operované části těla konkrétního pacienta pomocí vyrobených 3D modelů, lze tisknout i samotné kostní náhrady a implantáty. Ty jsou vyrobené ze speciálního porézního materiálu, který je prakticky identický se skutečnou kostí a umožňuje osteokonduktivitu kostních buněk (Wong & Hernandez, 2012). Je možné transplantovat celou kost či pouze její deformovanou část.

Osteokonduktivní materiály se vyznačují vhodnou, čistě pasivní vodící, strukturou, která umožňuje okolní kostní tkáni vrůstat do defektu. Fungují pro kostní buňky a cévy jako lešení (Lokvenc, 2013).

Celý proces výroby implantátu probíhá následovně: pomocí magnetické resonance, případně CT, je naskenována požadovaná část těla pacienta. Z něj se v projektovacím programu (CAD) vytřídí data potřebná pro daný model, který se následně pomocí technologie 3D tisku vyrobí. Pokud se budeme bavit o konkrétním výrobku, např. zubním můstku či čelisti, není při použití 3D technologií potřeba, aby byl pacient zatěžován zkoušením a potřebnými úpravami implantátu. Nehledě na to, že v případech jako implantace kyčelního kloubu je zkoušení předem nemožné. S využitím této technologie 4D tisku pro výrobu implantátů se výrazně snížilo procento komplikací a zrychlila doba potřebná k rekonvalescenci pacienta. Konečné výrobky jsou vyrobené precizně a snižují dopady na zdraví tkáně v okolí implantátu (Lui, Leu & Schmitt, 2006). Příkladem z praxe je úspěšně provedená transplantace dolní čelisti 83 leté ženě z Belgie z roku 2012, která byla úplně první pacientkou, která tento typ operace podstoupila s využitím 3D tištěného implantátu. Vzhledem k vysokému věku pacientky byla klasická rekonstrukční chirurgie značně riskantní, proto se lékaři rozhodli pro využití nových technologií. Celá operace trvala přitom jen pětinu standardní doby potřebné pro podobnou operaci, právě díky tomu, že implantát byl vyroben pacientce na míru (Dybuncio, 2012).

3D tištěné kostní implantáty se stávají stále běžnější součástí chirurgické praxe a jsou cenově dostupné široké veřejnosti. V Číně ročně podstoupí operaci a výměnu kyčle více než 300 tisíc pacientů. Vědci z pekingské univerzity vynalezli kyčelní implantát, který díky své porézní struktuře lépe sroste s okolní tkání a je pro pacienty pohodlnější. Implantát byl v roce 2015 schválen Čínským úřadem pro jídlo a léčiva. Díky tomu se stala operace kyčle cenově dostupnější než v minulosti, kdy musely být používány implantáty dovážené ze zámoří (Tess, 2015). Kyčelní implantát je možné zařadit do Oblasti 4 - masová výroba komplexních struktur, dle charakteristiky výrobků z kapitoly 2 (str. 19). Implantát se vyrábí ve třech standardizovaných velikostech, nejde tedy o individualizovaný produkt. Kvůli jeho

porézní struktura jej není možné vyrobit ve stejné kvalitě subtraktivními výrobními metodami. Jedná se proto o velkoobjemově vyráběný komplexní výrobek k jehož produkci je pro firmy nákladově výhodnější využití technologií aditivní výroby, při zachování potřebné kvality výrobku (Conner et al., 2014).

Z výše zmíněného je patrné, že některé typy implantátů a náhrad se dají efektivně vyrábět v jedné či několika standardizovaných velikostech pro všechny pacienty bez negativního vlivu na jejich funkčnost. V některých případech je však potřeba respektovat velikost či specifika poranění konkrétního pacienta. Špatně padnoucí implantáty jsou nepohodlné a je potřeba je často měnit, čímž vznikají náklady na dodatečné operace či rehabilitace, kterým by se dalo předejít použitím individualizovaného implantátu vyrobeného 3D tiskem (Giannatsis & Dedoussis, 2009).

V posledních letech je velmi perspektivní oblastí výzkumu biotisk orgánů a tkáně s obrovským potenciálem využití. Cílem vědců zabývajících se 3D biotiskem je uspokojit poptávku na trhu dárců orgánů. Čínským vědcům se podařilo vyrobit lidské ledviny, uši či játra, které se prozatím ukázaly nevhodné pro transplantaci. Avšak podle odhadů odborníků z Hangzhou Dianti univerzity v Číně, bude možné tisknout transplantace schopné orgány během 10 až 20 let (Dodziuk, 2016). Na celém světě existuje přibližně 500 firem, které se zabývají daným trhem a jejich počet rok o roku roste spolu se zvyšujícím se poptávkou po produktech a službách estetické medicíny (Veselovský / DVTV & Berezkinová, 2016).

Technologii 3D bio tisku lze definovat jako výrobu pomocí speciální biologické tiskárny, která pro výrobu využívá aktivních materiálů - buněk, růstových faktorů a dalších biologických materiálů a jejímž primárním cílem je obnova lidské tkáně a orgánů. Od roku 2000 bylo pro účely 3D tisku úspěšně použito více než 30 různých typů lidských a zvířecích buněk, zahrnujících kůži, nervy, srdce, játra, svaly, kosti atd (Yao, 2016).

Tkáňové inženýrství je jednou z největších výzev, které vědci zabývající se aditivní výrobou ve zdravotnictví čelí. Ročně jen v USA čeká na transplantaci orgánů přes

120 000 pacientů. Vhodný dárce se však včas najde jen asi pro 18 % z nich. Podle průzkumu z roku 2014 zemřelo při čekání na vhodného dárce orgánu v USA denně 25 lidí (Ventola, 2014). Pokud by se vědcům opravdu podařilo vyrobit transplantace schopné orgány během následujících 20 let, bylo by možné zachránit tisíce lidských životů každý den. Nicméně proces zavedení výsledků podobných výzkumů do komerčního užití je zdoluhavý a vyžaduje léta testování a legislativního schvalování. Je proto těžké odhadnout, kdy se skutečně dočkáme umělých orgánů v běžné lékařské praxi.

3.4. Léčiva a mikro zařízení

V druhé polovině roku 2015 překonal trh aditivních technologií další milník ve své historii - Americký úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) schválil nový lék Spritam firmy Aprelia. Spritam je lék určený pacientům trpícím epilepsií a je prvním legálním 3D tištěným lékem v podobě tablety na světě. Díky porézní struktuře tablety se lék rychleji rozpouští, lépe se polyká a účinné látky se rychleji dostanou do lidského oběhu (Szczzerba, 2015).

3D tištěné léky jsou podle odborníků budoucností farmaceutického průmyslu a Spritam tedy jistě nezůstane dlouho jediným 3D tištěným lékem na trhu. Budoucností farmacie jsou tablety vyráběné na míru zákazníkovi podle jeho hmotnosti, množství tělesného tuku a stanovené diagnózy. Pacienti tak budou dostávat léky pouze s potřebným množstvím léčivých látek, což je doposud problémem především u dětských pacientů. Děti také jistě ocení flexibilní design tablety, například ve tvaru postavičky oblíbeného hrdiny či animované postavičky. Možnou realitou budou za několik let lékárny, které nebudou skladovat hromady léků, ale pouze univerzální chemické inkousty, ze kterých pomocí určených chemických vzorců lék vytisknou (Robinson, 2015).

S rychlým rozvojem technologií 3D tisku jsme schopni vyrábět stále menší a menší výrobky s mikroskopickou přesností. To skýtá nové možnosti také lékařům, kteří se často potřebují podívat dovnitř těla pacienta. Takový proces je však velmi náročný a nepříjemný nejen pro pacienta, ale často také pro lékaře samotného. Vědcům se

podařilo vyrobit mikroskopické kamery, které jsou implantovány do lidského těla pomocí tenké jehly a umožňují lékařům prozkoumat danou část těla pacienta (Giannatsis & Dedoussis, 2009).

PRAKTICKÁ ČÁST

4. Sekundární výzkum

Aditivní technologie pronikají do výrobních procesů firem napříč snad všemi odvětvími. Firmy k nim upínají stále větší pozornost a zajímají se o možnosti integrace těchto technologií do svých obchodních modelů. Na tuto poptávku po informacích reagovaly poradenské firmy - McKinsey, Deloitte, Ernst&Young realizací průzkumů trhu aditivních technologií a cílem zmapovat pro své klienty tento mnohdy pro některé neznámý trh. Poradenské firmy musí, z podstaty svého podnikání, sledovat aktuální dění ve světové ekonomice a průmyslu. Jsou si vědomy nutných změn nejen v podnikatelském sektoru, ale také těch celospolečenských, které globální společnost čekají v rámci čtvrté průmyslové revoluce.

Poradenské firmy nejsou jedinými subjekty na trhu, které musí držet krok s přicházejícími změnami. Bedlivě sledovat vývoj poptávky po aditivních technologiích musí hlavně výrobci 3D tiskáren, aby jejich zařízení obstála v dnes již tvrdém konkurenčním boji.

V rámci sekundárního výzkumu budou shrnuty výsledky třech průzkumů trhu aditivních technologií, které byly realizovány v posledních dvou letech na celosvětové, kontinentální a národní úrovni poradenskou firmou Ernst&Young a firmou STRATASYS vyrábějící zařízení pro 3D tisk.

4.1. Průzkum STRATASYS

V první polovině roku 2015 si americký výrobce 3D tiskáren, firma Stratasys (2015), nechal zpracovat nezávislou studii již se účastnilo 700 severoamerických firem, které aktivně využívají technologii 3D tisku nebo v době, kdy výzkum probíhal, plánovaly její zavedení v podnikové praxi v horizontu tří let. Průzkum se zaměřuje na identifikaci směru budoucího vývoje využívání technologie jejími aktivními uživateli. Závěry výzkumu mohou být vzhledem k rychlosti růstu a vývoji celého odvětví 3D tisku platné jen krátkodobě a je potřeba tyto závěry často aktualizovat přiznává CEO

firmy Stratasys, Joe Allison. Ze závěrů studie lze identifikovat několik klíčových trendů platných pro tehdejší dobu:

- Největším vnímaným benefitem aditivních technologií je redukce doby potřebné pro výrobu výrobku (76 %), spolu s rozšířenými možnostmi designu výrobků (79 %);
- Firmy používají 3D technologie ve stále větší míře a to nejen s použitím vlastních výrobních kapacit, ale v rostoucí míře i prostřednictvím servisních poskytovatelů, nejčastěji uváděným benefitem využití servisního poskytovatele je snadnější přístup k vyspělým technologiím (73 %), nižší investiční riziko (60 %) nebo výroba dílů tradičními technologiemi nevyrobitelných (53 %);
- 45 % firem, které plánují 3D tisk zavést v průběhu tří let přiznalo, že by technologii využilo dříve a ve větší míře kdyby lépe rozumněly benefitům, které s sebou přináší;
- 40 % firem využívajících technologii začalo přehodnocovat design svých výrobků, aby mohli plně využít potenciál 3D tisku;
- Firmy aktivně podnikají kroky ke zvýšení efektivity využití technologií 3D tisku pomocí zvyšování kvalifikace vlastních zaměstnanců (40 %), uzavíráním partnerství se servisními poskytovateli 3D technologií (40 %) a investicemi do výzkumu a vývoje (34 %);
- 84 % firem by uvítalo širší možnosti využití kovů jako materiálu pro 3D tisk.

4.2. Celosvětový průzkum Ernst&Young

V polovině roku 2016 zveřejnila poradenská společnost Ernst&Young (2016) výsledky svého průzkumu zaměřeného na 3D tisk. Globálního výzkumu se zúčastnilo 900 firem z celkem 12 států. Podle geografické polohy a ekonomické vyspělosti jednotlivých států bylo identifikováno pět klíčových geografických oblastí, na kterých jsou výsledky šetření interpretovány (USA, Velká Británie, Německo, ostatní státy Západní Evropy, Čína a Severní Korea). Firmy byly dále rozděleny do 9 skupin podle zaměření své ekonomické činnosti (automobilový průmysl a letectví,

elektronika, energetika, farmaceutický průmysl, chemický průmysl, výroba a zpracování plastů, výroba strojů a zařízení, spotřební zboží - včetně maloobchodu a velkoobchodu).

Výsledky provedeného výzkumu poukazují na klíčové některé klíčové trendy ve vývoji jak technologie 3D tisku, tak výrobního průmyslu jako takového s určitými specifiky pro jednotlivá odvětví i geografické oblasti.

- 24 % dotázaných firem vidí 3D tisk jako strategické a velmi důležité téma pro svůj budoucí vývoj;
- Německo je zemí s nejvyšší mírou využití 3D tisku, technologii zde využívá 37 % dotázaných firem;
- Jedna ze tří firem, které technologii 3D tisku vyzkoušely, ji následně implementovala ve svém výrobním procesu (výroba prototypů nebo přímá výroba dílů a konečných výrobků);
- Největší uplatnění našla technologie mezi firmami v odvětvích: výroba a zpracování plastů (30,4 %), automobilový průmysl a letectví (29,7 %) a farmaceutický průmysl (29,4 %);
- Procentní podíl výnosů z prodeje finálních 3D tištěných výrobků na celkových výnosech firem byl znatelně nižší u německých, čínských a severo-korejských firem, z čehož lze vyvodit, že tyto firmy jsou velmi aktivní ve zkoušení nové technologie, avšak skeptické a velmi opatrné v jejím využití pro výrobu finálních výrobků;
- 40 % firem uvedlo investiční náročnost jako hlavní bariéru zavedení 3D tisku, 28 % dotázaných firem uvedlo jako hlavní bariéru nedostatek zkušených odborníků;
- Největším benefitem 3D tisku je pro 83% dotázaných firem, které technologii využívají, výroba produktů vyšší kvality a vývoj komplexních výrobků, které nemohou být vyrobeny jinou výrobní metodou;
- 46 % dotázaných firem věří, že do 5 let bude 3D tisk přínosem pro jejich podnikání a přinese jim konkurenční výhodu;

- Pro vývoj nových výrobků využívá technologii 84 % dotázaných firem, díky 3D tisku se snížila doba výroby prototypů v průměru o 63 % a v některých případech se snížily výrobní náklady až o 85 %.

4.3. Průzkum Ernst&Young v ČR

Na výsledky světového výzkumu navázala česká pobočka poradenské firmy vlastním výzkumem zaměřeným na české výrobní prostředí. Výzkum také navazoval na aktivity české pobočky Ernst&Young (2017) v rámci tematiky Průmysl 4.0. Na výzkumu se spolupodílelo také Centrum Digitální Transformace fungující při Podnikohospodářské fakultě Vysoké školy ekonomické v Praze. V rámci této spolupráce se na výzkumu podílela také autorka diplomové práce.

Průzkum probíhal v období od listopadu do prosince roku 2016 a zapojilo se do něj celkem 71 významných českých výrobních společností z různých odvětví. I zde byly firmy rozděleny dle oboru své působnosti do devíti odvětví a zástupcům firem byly kladeny podobné otázky, jako v případě světového výzkumu, aby bylo možné získané výstupy porovnat s výstupy světového výzkumu.

Výsledky průzkumu indikují následující klíčové trendy českého trhu:

- Nejvýrazněji se na 3D tisk orientují firmy z automobilového průmyslu a letectví, technologii aktivně využívá 75 % dotázaných firem;
- Více než polovina firem má přehled o tom, zda technologii využívá její okolí - dodavatelé, konkurenti, mateřské / sesterské firmy;
- 68 % firem očekává, že 3D tisk zásadně nebo alespoň částečně ovlivní jejich obchodní model;
- Hlavním přínosem technologie je snížení výrobních nákladů (49 %) a rychlost zajištění nízkoobrátkových položek (46 %), největšími překážkami je naopak nedostatečné know-how (38 %) a existence technologických překážek, potažmo neexistence vhodných materiálů (35 %);
- Do 5 let bude 3D tisk aktivně využívat pro výrobu finálních výrobků přes 80 % respondentů;

- Polovina firem využívajících 3D tisk vyrábí na vlastní 3D tiskárně.

V rámci analýzy doposud provedených průzkumů lze identifikovat několik klíčových zjištění o celosvětovém trhu aditivních technologií. Studie shodně prokazují, že i když je v současné době 3D tisk využíván většinou firem pouze pro účely výroby prototypů, budoucí potenciál technologie tkví v jejím využití ve výrobě konečných výrobků. Firmy tak přesouvají svou pozornost na 3D tisk z kovových materiálů a keramiky.

5. Primární výzkum

5.1. Metodický postup

Cílem je zjistit jakým způsobem a v jaké míře využívají firmy v českém výrobním prostředí, zaměřující se na výrobu pro zdravotnictví, technologie aditivní výroby. Jaký směr vývoje české firmy očekávají do budoucna a jaké vidí hrozby a příležitosti plynoucí z této technologie.

Pro práci jsou relevantní jak primární tak sekundární data, přičemž metody sběru jednotlivých údajů se liší. Zdrojem primárních dat je vlastní výzkum provedený pomocí dotazníkového šetření. Dotazníkové šetření bylo dále doplněno několika polostrukturovanými rozhovory se zástupci vybraných firem. Zdrojem sekundárních dat byly především informace dostupné na webových stránkách konkrétních firem a informace zveřejněné v odborném tisku. Klíčovým pro porovnání výsledků primárního výzkumu je průzkum provedený firmou Ernst&Young napříč všemi odvětvími celosvětově i v rámci České Republiky.

Výsledky výzkumu provedeného firmou Stratasys nejsou s výsledky primárního výzkumu porovnávány, protože není známa metodika, která byla při výzkumu a jeho vyhodnocení použita, včetně otázek kladených respondentům. Navíc se výzkum firmy Stratasys zaměřuje pouze na analýzu využití 3D tisku mezi firmami, které již technologii využívají nebo zavedení v horizontu tří let plánují. Zatímco Ernst&Young bere při výzkumu zřetel celý potencionální trh, na kterém by mohla být technologie využívána.

5.2. Výběr respondentů a sběr dat

Výzkum je zaměřený na firmy jejichž výrobní program je orientován na výrobu pro sektor zdravotnictví, cílovou skupinu respondentů tvořili vedoucí pracovníci výrobních a technologických oddělení těchto firem. Většinou se jednalo o výrobní a technické ředitele nebo technology výroby.

Celkově bylo s žádostí o účast ve výzkumu osloveno 46 zástupců firem spadajících do cílové skupiny.⁹ Firmy byly do výzkumu vybírány primárně na základě oboru své činnosti dle klasifikace CZ-NACE, konkrétně z kategorie 325000 - Výroba lékařských a dentálních nástrojů a potřeb, s využitím databáze MagnusWeb od společnosti Bisnode Česká Republika a.s. Následně byl obor činnosti každé firmy ověřen dle informací dostupných na jejich internetových stránkách a s pomocí internetového vyhledávače byly dohledány další firmy, které spadají do zkoumané oblasti, ale jejich hlavní obor činnosti je klasifikován jinou kategorií CZ-NACE.¹⁰

Výzkumu se v konečném počtu účastnilo 39 firem. 92 % respondentů jsou malí a střední podnikatelé, kteří zaměstnávají méně než 250 zaměstnanců a jejichž roční obrat nepřesahuje 50 milionů EUR, dle definice vycházející z Doporučení 2003/361/ES vydané evropskou Komisí¹¹. Zbývající respondenti spadají do kategorie velkých podniků. Vlastnická struktura a podíl zahraničního kapitálu se u zapojených firem liší. Téměř tři čtvrtiny respondentů tvoří firmy s výhradně českým kapitálem.

Sběr dat probíhal v několika fázích za pomoci různých informačních kanálů. Vzhledem ke snaze zvýšit odezvu respondentů na zasláný dotazník byli všichni potenciální respondenti v první fázi výzkumu osloveni telefonicky. Z celkového počtu oslovených firem odmítlo účast na výzkumu sedm z nich. Respondentům, kteří souhlasili s účastí na výzkumu, byl následně zaslán e-mailem vytvořený dotazník a průvodní dopis k probíhajícímu výzkumu, viz Příloha 2 a Příloha 3. V několika

⁹ Na počátku výzkumu byly do šetření zahrnuty i firmy zabývající se výrobou pro farmaceutický průmysl, spadající do klasifikace CZ-NACE 210000 - Výroba základních farmaceutických výrobků a farmaceutických přípravků. Celkem 24 firem s tímto oborem činnosti bylo následně z výzkumu vyřazeno. V tomto oboru je 3D tisk příliš novou technologií a žádná z dotázaných firem neměla povědomí o jeho možnostech využití.

¹⁰ Jinými hlavními obory činnosti dle klasifikace CZ-NACE jsou především 220000 - Výroba pryžových a plastových výrobků a 259900 - Výroba ostatních kovodělných výrobků j. n.

¹¹ COMMISSION RECOMMENDATION of 6 May 2003: concerning the definition of micro, small and medium-sized enterprises

případech byl dotazník s respondentem, z důvodu časové vytíženosti apod., vyplněn telefonicky.

V druhé fázi výzkumu byly s vybranými respondenty uskutečněny polostrukturované rozhovory rozebírající zkoumanou problematiku detailněji. Zástupci firem pro rozhovory byli vybíráni na základě vyhodnocených dotazníků z první fáze šetření.

5.3. Tvorba a distribuce dotazníku

Dotazník tvořený devíti uzavřenými a polouzavřenými otázkami a několika podotázkami byl zaslán spolu s průvodním dopisem na emailovou adresu jednotlivým respondentům.

Dotazník i průvodní e-mail byly zaslány respondentům pomocí webové aplikace Click4Survey. Tato aplikace byla shledána pro účely výzkumu nejkomplexnějším a cenově přijatelným nástrojem pro komplexní realizaci a vyhodnocení online dotazníků. Každému respondentovi byl zaslán unikátní link s dotazníkem, díky čemuž bylo možné sledovat aktuální stav odpovědí a zamezit duplicitě odpovědí.

Struktura dotazníku i velká část otázek byly převzaty z dotazníku použitého ve výzkumu společnosti Ernst&Young, aby byly následně výsledky vlastního výzkumu porovnatelné s výsledky ostatních výzkumů. Dotazník byl sestaven tak, aby jeho vyplnění respondentům nezabralo více než 10 minut.

Dotazník byl rozdělen do tří okruhů otázek. V první části je zjišťována míra dosavadních zkušeností respondentů s 3D tiskem. Druhá část se zaměřuje na identifikaci bariér a přínosů implementace 3D tisku ve firmě. Ve třetí části se zkoumá úroveň vyspělosti podniku z hlediska využívání 3D tisku. Dotazník byl nastaven tak, že respondentům nebylo umožněno dotazník odeslat, dokud nezodpověděl všechny otázky. V dotazníku byly otázky typu ano/ne, výběr pouze jedné z nabízených možností, výběr jedné nebo více možností a úplně otevřené otázky. Jednotlivé otázky na sebe logicky navazovaly a respondentovi nebyly položeny otázky, které se vylučovaly s jeho předchozími odpověďmi. Pokud například respondent v první části dotazníku uvedl, že firma neuvažuje o zavedení 3D tisku, byly přeskočeny otázky

týkající se míry využití technologie a respondent byl tázán pouze na bariéry využití technologie ve firmě.

5.4. Zpracování a vyhodnocení dat

Průzkum probíhal v období od 1. února 2017 do 30. dubna 2017. Po tomto termínu byl dotazník pro respondenty uzavřen. Vzhledem k tomu, že všichni respondenti byli o vyplnění dotazníku požádáni telefonicky, byla míra návratnosti vyplněných dotazníků 95 %. Odpovědi jednotlivých respondentů v dotazníkovém šetření byly zaznamenány a zpracovány. Datový soubor s jednotlivými odpověďmi respondentů je k dispozici na vyžádání u autorky.

Vzhledem k tomu, že některé z otázek ve vytvořeném dotazníku a především osobní rozhovory obsahovaly citlivá data firem, které si respondenti nepřejí zveřejňovat, jsou všechny odpovědi zpracovány a vyhodnoceny anonymně.

Výsledky primárního výzkumu jsou analyzovány a vyhodnoceny v rámci tématických okruhů vyplývajících z dotazníkového šetření.

5.4.1. Dosavadní zkušenosti s 3D tiskem

V první části výzkumu byly zjišťovány dosavadní zkušenosti dotazovaných firem s 3D tiskem. Cílem bylo zjistit nejen aktuální zkušenosti firem s technologií, ale i její plánované zavádění v horizontu několik následujících let.

Výsledky výzkumu ukázaly (viz Graf 1), že 41 % dotázaných firem má zkušenosti s 3D tiskem a nástroj v současnosti aktuálně využívá. V časovém horizontu pěti let plánuje technologii začít využívat 6 % dotázaných firem. Zjištěné hodnoty jsou srovnatelné s průměrnou mírou využití 3D tisku mezi firmami v českém výrobním prostředí (39 %) podle výzkumu společností EY (2017). V porovnání se zahraničními subjekty (33 %) využívají české firmy aditivní technologie více. Přihlédneme-li k velikostní struktuře zkoumaného vzorku nejde o překvapivé výsledky. Malé a střední podniky v ČR jsou v porovnání se zahraničními firmami ve všeobecnosti aktivnější při investicích do nových technologií (Evropské hodnoty, 2013).

Graf 1 - Dosavadní zkušenosti s technologií 3D tisku (n=39)



Zdroj: vlastní zpracování

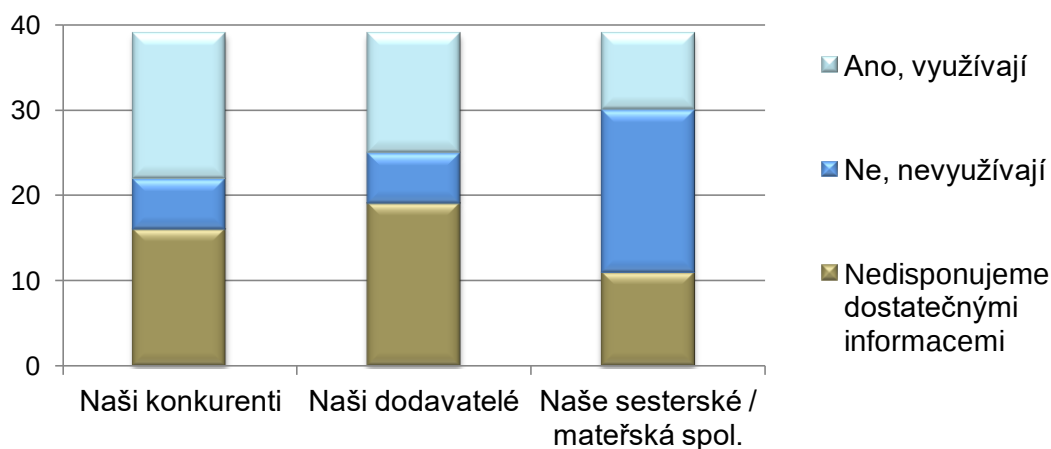
Podnětem pro zavedení technologie 3D tisku do výroby finálních produktů v malé firmě zabývající se výrobou v oblasti stomatologie bylo hledání nejmodernějších technologií, které jsou k dispozici ve světě a spolu s tím přivedení nového typu výrobku na český trh v době, kdy se tento způsob výroby již běžně v zahraničních firmách využíval.

Obdobně popisuje počátky využívání technologie 3D tisku i vedoucí výroby konkurenční firmy z oblasti stomatologie a uvádí, že kolem roku 2010 bylo využití technologie v českém výrobním prostředí prakticky v bodu nula a na trhu existovala pouze jedna firma, která v té době technologii začínala pro výrobu využívat. Zakladatelé firmy správně odvěšili velký potenciál 3D tisku ve stomatologii a očekávali velký nárůst poptávky po 3D tištěných produktech, i když se v té době poptávka teprve začínala pomalu vytvářet.

Vzhledem k neexistenci výzkumu zaměřeného na míru využití 3D tisku ve zdravotnictví na globální úrovni, nelze s jistotou říci, zda se české firmy zaměřují na 3D tisk ve zdravotnictví ve vyšší či nižší míře než konkurenční zahraniční trhy.

Zbývajících 54 % dotázaných firem technologii aktuálně nevyužívá a ani neuvažuje o jejím zavedení v budoucnu. Firmy jsou často tak zabrány do výroby vlastních výrobků, že nesledují aktuální dění na trhu. Často pak i pokud mají přehled o aktuálních trendech, chybí jim potřebné znalosti o využitelnosti nových technologií v praxi (ProByznys.info, 2015). Identifikaci jednotlivých bariér bránícím firmám v implementaci nových technologií bude věnována pozornost v následující kapitole.

Graf 2 - Povědomí o využití technologie okolními subjekty (n=39)



Zdroj: vlastní zpracování

Dnešní zrychlená doba žene dopředu také vývoj nových technologií. Firmy musejí umět odhadnout správnou dobu pro jejich implementaci. Pokud vyčkávají a hledají záruky úspěšnosti chystaných změn, mohou se ocitnout na vedlejší koleji a ztratit konkurenceschopnost na trhu. Následná nedostatečná technologická vyspělost se jen obtížně dohání a je pravděpodobné, že konkurence bude ve výzkumu a vývoji již vždy o krok napřed. Více než polovina dotázaných firem má přehled o tom, zda technologii využívají firmy v jejím okolí, 43 % respondentů ví, že 3D tisk ve výrobě využívají jejich konkurenti (viz Graf 2).

V rámci celoprůmyslového srovnání mají firmy v oblasti zdravotnictví znatelně větší přehled o technologiích používaných jejich konkurenty než je celorepublikový průměr (25 %) (EY,2017).

Zástupce malé firmy zabývající se výrobou pro stomatologii přiznává, že povědomí o technologii 3D tisku je u konkurentů jejich firmy veliké a všichni konkurenti si uvědomují, jak je tato technologie důležitá pro budoucí konkurenceschopnost na trhu a že hraje nezastupitelnou roli v jejich budoucnosti.

Snadno dostupným zdrojem aktuálních informací o nových technologiích a aktuálních informacích na trhu jsou pro firmy jejich dodavatelé. Přesto jen 38 % dotázaných firem si je vědomo, že technologii 3D tisku využívají jejich dodavatelé.

Samotní výrobci 3D tiskáren však, podle zástupce jedné z největších firem na českém trhu zabývající se výrobou pro stomatologii, nemají specifické znalosti, které jsou pro konkrétní obor potřeba. V žádném případě pak nemají povědomí ani o potřebách českých a slovenských zákazníků a o poměrech, které panují na těchto trzích, které se určitým způsobem liší například od západní Evropy, kde je přístup k těmto výrobkům trochu jiný. Firmy jsou ve všeobecnosti svým způsobem nuceny naučit se technologii používat a dále ji rozvíjet v rámci výzkumu a vývoje samy. Dodává však, že v otázkách obecných přístupů k technologii 3D tisku, firma spolupracuje s několika zahraničními partnery a spolupodílí se na řešení společných problémů.

Zdravotnictví je silně regulovaným odvětvím a výroba i vývoj jakýchkoliv nových výrobků nebo materiálů podléhá přísnému testování a ověřování jejich vlivu na lidský organismus, což s sebou přináší nemalé náklady. Firmy proto v této oblasti aktivně vyhledávají možnosti vzájemné spolupráce nejen se zahraničními partnery, ale také s technickými univerzitami.

Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace na Technické univerzitě v Liberci využívá ve svých laboratořích nejmodernější aditivní technologie výroby dostupné na trhu a v rámci výzkumu a vývoje je jeho činnost úzce provázána s průmyslovou praxí. Univerzitní Laboratoř prototypových technologií a procesů je jednou z mála laboratoří v ČR, která má k dispozici také generativní laserové tavicí zařízení využívající technologii SLS pro tisk z práškových kovů (Technická univerzita v Liberci, n.d.). Dvě z dotázaných firem využívajících k výrobě finálních kovových

výrobků pro stomatologii právě technologii SLS uvádí, že se v případě potřeby vyhledává pomoc univerzitní laboratoře, která disponuje bohatými znalostmi a zkušenostmi v dané technologii.

Jedním z aktuálních projektů je vývoj dlouhodobě spolehlivých 3D tištěných titanových implantátů pro zdravotnictví. V rámci akademické praxe na projektu spolupracují Fakulta strojní ČVUT v Praze, která se dlouhodobě zabývá 3D tiskem titanových slitin, a Fakulta chemické technologie VŠCHT jejíž součástí je ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, který se zabývá vývojem a testováním kovových biomateriálů a zkoumáním jejich interakcí s lidským tělem. Ve spolupráci s Metal Industries Research & Development Centre, Taiwan zabývající se výzkumem v oblasti kovů se zaměřením na využití kovových materiálů pro výrobu ortopedických implantátů. Svými praktickými znalostmi z výrobního prostředí do projektu přispívají někteří přední čeští výrobci implantátů a lékařských nástrojů - ProSpon spol. s r.o., MEDIN, a.s. (Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2016).

5.4.2. Přínosy a bariéry implementace 3D tisku

Jak je patrné z Grafu 3, za největší bariéry bránící zavedení 3D tisku ve firmě nebo jeho širšímu využití považují respondenti především vysokou investiční náročnost pořízení technologie (62 %), nedostatek know-how (36 %) a vysoké provozní náklady (23 %). Je zajímavé, že v rámci českého výzkumu společnosti EY identifikovalo vysoké investice jako hlavní bariéru implementace 3D tisku pouze 28 % dotázaných firem (EY, 2017). Vzhledem k velikostní struktuře dotazovaných firem z oblasti výroby pro zdravotnictví lze předpokládat rozdíly ve vnímání hranice finanční náročnosti investice, čímž lze vysvětliv výrazné rozdíly ve zjištěných hodnotách.

Zástupce firmy zabývající se výrobou protéz a kostních a kloubních implantátů, která v současnosti využívá 3D tisk pouze pro výrobu plastových modelů, uvádí investiční náročnost jako jednu z hlavních bariér při rozhodování o nákupu technologie pro 3D tisk kovových finálních produktů. Současná poptávka po titanových implantátech je na českém trhu malá a investice do nové technologie by byla pro firmu v

dlouhodobém horizontu nerentabilní. Do budoucna však firma možnost pořízení technologie nezavrhne a sleduje její aktuální vývoj a vývoj poptávky po těchto produktech a v případě jejího růstu by investici do vlastního zařízení znovu zvažovala.

Graf 3 - Bariéry využívání 3D tisku (n=39)



Zdroj: vlastní zpracování

Firmy působící v oblasti výroby zdravotnického zařízení, podle vedoucího pracovníka výzkumu a vývoje jedné z nich, mají stále pocit, že se jich 3D tisk netýká a že v oblasti jejich výrobních programů nemá využití. Toto všeobecné přesvědčení potvrzují i výsledky dotazníkového šetření, ve kterém dvanáct z patnácti dotázaných firem vyrábějících zdravotnické zařízení uvedlo, že technologii 3D tisku nepoužívá z důvodu nedostatku znalostí pro jeho využití ve svém oboru. Zbývající tři firmy z oboru, jež využívají 3D tisk pro výrobu prototypů, se shodují, že technologie významným způsobem přispěla nejen ke zrychlení interních procesů v rámci výzkumu a vývoje, ale vedla také k úspoře nákladů na výrobu modelů. Vyčíslení konkrétní částky uspořených nákladů, které bylo díky implementaci 3D tisku dosaženo, je podle zmíněného vedoucího pracovníka výzkumu a vývoje nemožné, protože přiznává, že v současnosti využívají 3D tiskárnu k výrobě prototypů mnohem častěji než tomu bylo v minulosti, kdy pro výrobu prototypů využívali

externího výrobce a objednávka modelu od externího dodavatele podléhala složitějšímu schvalovacímu procesu uvnitř firmy.

Kromě výše zmíněných přínosů v podobě snížení výrobních nákladů (39 %) a zrychlení výroby prototypů (17 %) byly firmami identifikovány dva hlavní přínosy využití technologie 3D tisku a které byly uvedeny již v teoretické části práce a označeny za specifické motivy využití technologie pro oblast zdravotnictví - přizpůsobení výrobků zákaznickým potřebám (50 %) a rychlost zajištění nízkoobrátkových položek (44 %), viz Graf 4.

Graf 4 - Hlavní přínosy zavedení 3D tisku (n=18)

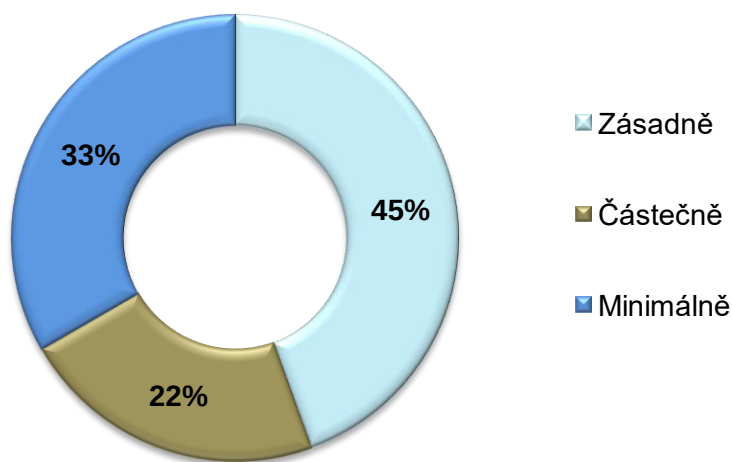


Zdroj: vlastní zpracování

V oblasti využití technologie ve stomatologii lze, podle provozního ředitele firmy působící na daném trhu, identifikovat hned několik přínosů 3D tisku ve výrobních procesech najednou a to jak při výrobě finálních výrobků, tak při prototypové výrobě. S použitím 3D tisku je při výrobě dosahováno vyšší efektivity s nižšími výrobními náklady při současném dosažení vyšší kvality výrobku ve srovnání s tradičními technologiemi, které byly pro výrobu využívány dříve. Konkrétním příkladem z praxe je výroba zubních konstrukcí, kdy při použití klasické technologie obrábění nelze na konstrukci vytvořit mezizubní prostory, které by na konstrukci měly správně být.

Všichni respondenti se shodují, že 3D tisk má šanci alespoň minimálně ovlivnit jejich obchodní model. V téměř polovině dotázaných firem (44 %) má 3D tisk zásadní vliv na jejich obchodní model (Graf 5).

Graf 5 - Vliv technologie 3D tisku na obchodní model firmy (n=18)



Zdroj: vlastní zpracování

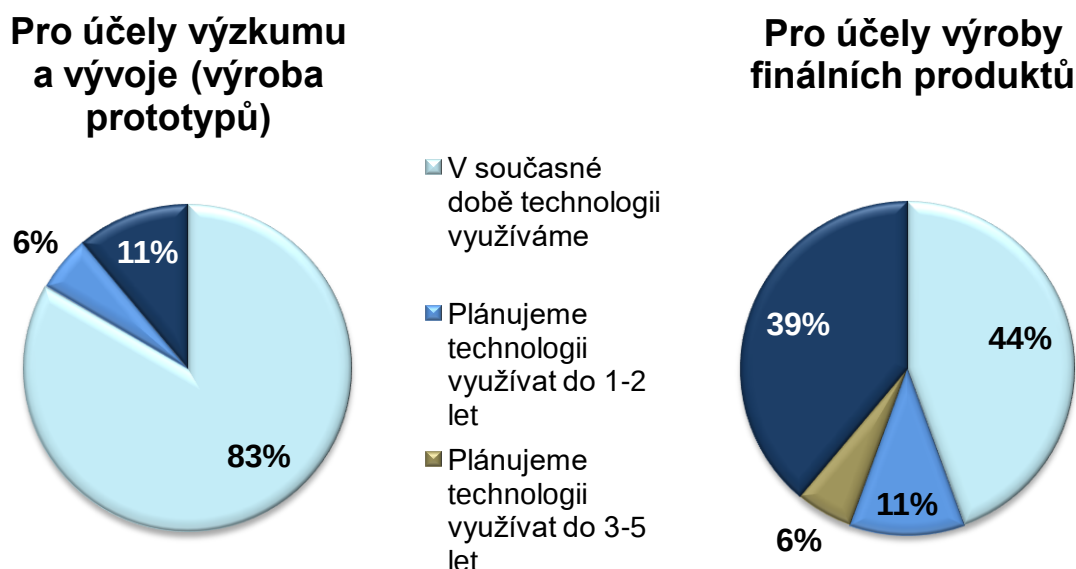
Především obor stomatologie prochází změnami směřujícími ke kompletní digitalizaci oboru. Tento trend potvrzuje i zakladatel firmy Microdent, s.r.o., Michal Heřmánek: "Firmu jsme založili s cílem digitalizovat stomatologii. Tím mám na mysli tradiční procesy, počínaje vytvořením karty pacienta, dále sejmutí otisků chrupu nebo rentgen v ordinaci lékaře přes modelaci zubní náhrady až po její výrobu. Tyto fáze chceme kompletně digitalizovat." (iDNES.cz, 2015).

V oboru stomatologie se v současnosti dostávají na trh intraorální skenery a spolu s nimi i potřeba zhotovování fyzických modelů, které se doposud vytvářely klasickou metodou odlévání pomocí sádky ze silikonových otisků, uvádí zaměstnanec firmy z oboru stomatologie. Podle něj budou do pěti let intraorální skenery běžnou praxí ve všech zubních ordinacích a výroba tištěných modelů z datových souborů bude standardním postupem, jak získat data nebo výrobek směrem od lékaře k pacientovi.

5.4.3. Vypělost firem z hlediska využívání 3D tisku

V současnosti je technologie 3D tisku používána převážně pro výrobu prototypů a modelů, 3D tisk pro tyto účely využívají tři čtvrtiny dotázaných firem (83 %) (Graf 6). Potenciál technologie pro výrobu finálních výrobků využívá jen necelá polovina (44 %) respondentů (Graf 7).

Graf 6 a Graf 7 - Účel využití 3D tisku v obchodním modelu firmy (n=18)



Zdroj: vlastní zpracování

V porovnání s průměrnými hodnotami míry využití technologie pro výrobu finálních výrobků z ostatních výzkumů jde o velmi nadprůměrný výsledek. V ČR využívá technologii pro výrobu finálních výrobků v průměru pouze 22 % dotázaných firem, celosvětově pak dokonce jen 20 % dotázaných firem.

Zástupce předního českého výrobce zdravotnického zařízení uvádí, že technologii 3D tisku (konkrétně technologii SLS) ve firmě využívají pro výrobu prototypů k designovému a ergonomickému posouzení aplikátorů nebo dílů, které jdou do 3D forem. Při rozhodování o tvaru výrobku si musí být vývojoví pracovníci jisti, že daný tvar splňuje všechny jejich požadavky a odpovídá všem určeným standardům,

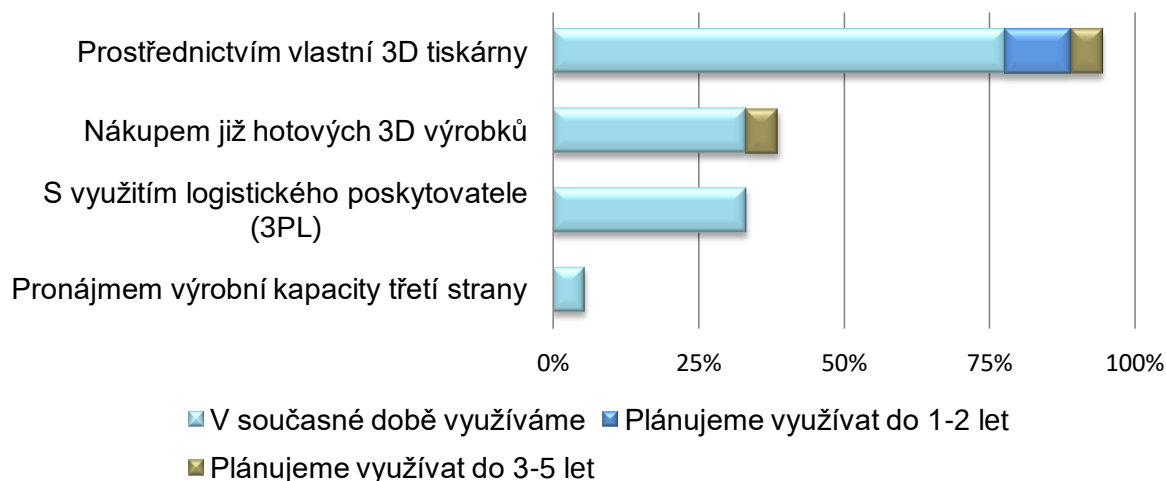
protože výroba vstřikovací 3D formy je velmi nákladnou záležitostí. O využití technologie pro výrobu finálních výrobků zatím neuvažují, protože jimi využívaná technologie 3D tisku vyžaduje povýrobní povrchové úpravy výrobku a odstranění konstrukčních opor, které výrobní metoda vstřikování plastů nevyžaduje.

Firma zabývající se výrobou protéz a implantátů uvádí, že 3D tiskárnu využívá na výrobu plastových modelů individuálních implantátů, které lékaři využívají pro předoperační plánování a komunikaci s pacientem. Když je operace naplánována a je prověřeno, že vytvořený model je tvarově i velikostně uzpůsobený konkrétnímu pacientovi. Zašle firma objednávku spolu s 3D datovým modelem zahraničnímu zprostředkovateli, který má potřebnou certifikaci pro výrobu titanových implantátů, na výrobu.

Téměř 80 % firem využívajících 3D tisk k výrobě využívá vlastní 3D tiskárnu. Třetina firem využívá služeb logistického poskytovatele. Nejmenší zájem je mezi firmami o pronájem výrobních kapacit třetí strany. Tuto možnost využívá pouze jedna z dotázaných firem.

I přes investiční náročnost pořízení vlastní 3D tiskárny se velká část firem rozhoduje k nákupu vlastních zařízení, viz Graf 8. Respondenti se shodují na tom, že vlastní 3D tiskárna je pro ně komfortnějším a efektivnějším řešením jak z hlediska času dodání hotového výrobku, tak z hlediska úspory výrobních nákladů. Do pěti let plánuje využívat vlastní 3D tiskárnu 94 % dotázaných firem využívajících 3D tisk. Služeb logistických poskytovatelů (33 %) firmy využívají pouze v situacích, kdy sami nedisponují dostatečnou technologií pro výrobu některých výrobků, které jsou v ročním objemu vyráběny pouze v řádech několika mála jednotek. Respondenti také uvádějí, že v případě, že by pro tyto specifické výrobky našli do budoucna větší poptávku, technologii budou chtít zakoupit a vyrábět dané výrobky pomocí vlastních výrobních kapacit.

Graf 8: Způsob využití 3D tisku (n=18)



Zdroj: vlastní zpracování

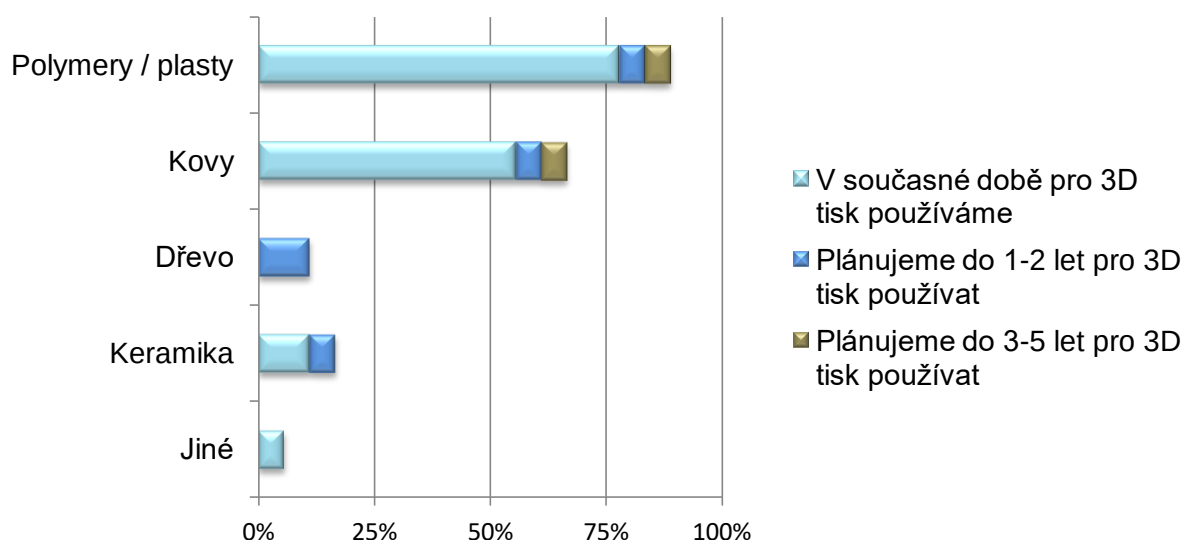
Zástupce středně velké firmy z oblasti výroby pro stomatologii přiznává, že jejich firma využívala služeb servisních poskytovatelů na počátku testování výroby s použitím 3D technologií, aby měli možnost srovnání kvality výrobků a získali přehled o tom jaká je nabídka služeb na trhu. Dodává však, že v současnosti již využívají pouze vlastní 3D tiskárnu pro kovové materiály.

Díky rostoucí míře digitalizace v oblasti stomatologie a rostoucí poptávce po výrobě modelů a konstrukcí z datových souborů se firmám v oboru vyplatí investovat do pořízení vlastní 3D tiskárny. Rostoucí velikost trhu ale zároveň láká nové firmy vstupovat do daného odvětví a finální zákazníci současných výrobců modelů a zubních konstrukcí, zubní laboratoře, přemýšlet nad koupí vlastního zařízení pro 3D tisk.

V oborech s nízkou poptávkou je naopak trendem využívat služeb převážně zahraničních servisních poskytovatelů, kteří jsou odborníky na specifické druhy výrobků a mají dlouholeté zkušenosti v oboru. Takovým oborem je výroba protéz a implantátů, kdy je u českého výrobce postaráno o 3D datový model, tisk a testování prototypu, ale finální výrobek, který bude implantován pacientovi, je vyroben u zprostředkovatele.

Nejrozšířenější je mezi firmami z oboru zdravotnictví využití plastových (72 %) a kovových materiálů (56 %) při výrobě 3D tištěných výrobků (Graf 8). Plastové materiály jsou v oboru zdravotnictví nejčastěji používány pro výrobu modelů a prototypů. Jde o materiál, který se vyvíjel spolu s technologiemi aditivní výroby a spolu s nimi klesala i jeho cena v posledních letech (Kříž, 2014). Pouze dvě ze čtrnácti dotázaných firem využívajících 3D tisk pro výrobu z plastových materiálů v současnosti využívá plastové materiály k výrobě finálních výrobků. Nejčastěji používaným typem polymeru je ABS¹² bílé barvy, který je odolný vůči nízkým i vysokým teplotám i vlivům chemikálií (Parlamentní Listy, 2013). Používá se při výrobě pomocí technologie materiálové extruze (FDM).

Graf 9 - Materiály používané pro 3D tisk (n=18)



Zdroj: vlastní zpracování

Kovové materiály zažívají velký rozmach v průmyslu obecně, nejen ve zdravotnictví. Vzhledem k tomu, že jde o investičně velmi náročnou technologii a to jak z pohledu nákupu 3D tiskárny tak pořizovací ceny materiálu, nepoužívá 3D tisk z kovů pro výrobu prototypů žádná z dotázaných firem. Nejpoužívanějšími druhy kovů je chrom kobalt pro stomatologii a titanové slitiny pro výrobu protéz a implantátů. Velká

¹² akrylonitrilbutadienstyren

poptávka po kovových materiálech pro 3D tisk je nejen ve zdravotnictví, ale také v automobilovém a leteckém průmyslu, kde podle výsledků celosvětového průzkumu využívá kovy pro 3D tisk 65 % respondentů (EY, 2016). Pro 3D tisk kovů firmy využívají technologie SLS a SLM. Technologii EBM využívá skrze zahraničního servisního poskytovatele pouze jedna z dotázaných firem.

3D tisk z keramických materiálů je prozatím málo rozšířeným materiálem, o kterém do budoucna uvažují především firmy zaměřené na výrobu pro stomatologii. Prozatím neradičními jsou pak materiály jako dřevo či bio-materiály.

Velká očekávání do budoucnosti jsou spojená právě s využitím biomateriálů pro 3D tisk orgánů a lidské tkáně. Na českém trhu se této oblasti výzkumu a vývoje věnuje firma Nanopharma. Firma se zaměřuje na výzkum a vývoj nanovláken umožňujících replikaci lidské kůže, chrupavek nebo kostí. S cílem do budoucna vypěstovat i plně funkční orgány. Firma se nezaměřuje na technologii 3D tisku, ale na výrobu nanovláken, které fungují jako biokompatibilní “lešení” strukturou podobné lidskému tělu, na kterém se lidské buňky množí a tvoří tkáň. Podle předsedkyně představenstva firmy, Liliany Berezkinové, bude možné vypěstovat lidskou ruku přibližně do 7 lety, tedy do roku 2023. 3D tisk firma využívá právě pro výzkum a vývoj v této oblasti, pro tisk kapilár (Veselovský / DVTV & Berezkinová, 29. Března 2016).

5.4.4. Přípravenost firem na zavádění 3D tisku a budoucí vývoj odvětví

Největší povědomí o výrobních možnostech technologií 3D tisku mají bezpochyby firmy v oboru stomatologie, jejichž hlavními zákazníky jsou zubní laboratoře. Dotázané firmy z oboru stomatologie využívají pro 3D tisk vlastní tiskárny pro kovové i plastové materiály.

“Často mám pocit, že o nové technologie je na trhu obecně velký zájem, ale potom už je malá snaha o to tomu skutečně porozumět a pochopit to. Plný potenciál technologie pak nemůže být nikdy plně využit,” říká ředitel výroby malé firmy zaměřující se na výrobu pro stomatologii.

Typickým pro českého zákazníka (v tomto případě zubní laboratoře) je podle něj výběr subdodavatele podle ceny a přístupu, nikoli podle rychlosti výroby či kvality produktu. Naprosto běžným je časté střídání dodavatelů namísto cílené snahy dosáhnout co nejlepšího výsledku s jedním dodavatelem a porozumět dané technologii. V častém střídání dodavatelů vidí neschopnost zákazníků přizpůsobit se daným požadavkům na parametry, které daná technologie vyžaduje spolu s nesprávnou interpretací některých informací o dané technologii, právě z důvodu nepochopení technologie.

Z osobních rozhovorů s vybranými zástupci firem vyplývá, že firmy nevěří, že aditivní technologie výroby v budoucnosti zcela nahradí tradiční metody výroby. Naopak dle nich přibude hybridních výrobních procesů, které budou kombinovat doposud známé i nové metody výroby.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjištění aktuálního stavu využití aditivních technologií výroby v oblastech výroby pro zdravotnictví v České republice. Zmapování konkrétních oblastí použití daných technologií a nastínění jejich možného budoucího vývoj a implementace ve zdravotnictví. Údaje získané v rámci provedeného dotazníkového šetření byly porovnány s výsledky výzkumů provedených společnostmi EY v podnikatelském prostředí ČR i celosvětově, doplněné o osobní rozhovory se zástupci vybraných firem působících na českém trhu v oblasti výroby pro zdravotnictví.

Dotazníkového šetření se zúčastnilo celkem 39 firem. Technologii 3D tisku aktuálně využívá nebo se v horizontu pěti let chystá využívat 18 z nich (47 %). Firmy, které ani do budoucna neuvažují o zavedení aditivních technologií do svých výrobních procesů, uvádějí jako hlavní překážku používání technologie nedostatek znalostí o dané technologii a možnostech jejího využití (62 %).

Hlavními přínosy technologie firmy spatřují v možnostech přizpůsobení výrobků zákaznickým potřebám (50 %), rychlosti zajištění nízkoobrátkových položek (44 %), snížení výrobních nákladů (39 %) a zvýšení efektivity výroby (22 %). Což dokazuje, že rozhodování firem o implementaci aditivních technologií do výrobních procesů je závislé na komplexnosti a jedinečnosti vyráběného produktu. Tyto dvě vlastnosti platné pro velkou část vyráběných výrobků v oblasti zdravotnictví motivují firmy k zavádění AM technologií a následnému snížení výrobních nákladů, viz Obrázek 4(str. 21).

Pro účely výroby prototypů využívá technologii 83 % dotázaných firem, pro výrobu finálních výrobků 44 % firem. V horizontu pěti let lze očekávat růst využití technologie pro výrobu finálních výrobků, pro jejichž výrobu plánuje technologii využívat 61 % dotázaných firem. Pro výrobu prototypů firmy využívají především plastové materiály. Kovové materiály jsou využívány naopak, vzhledem k jejich ceně, pouze pro výrobu finálních výrobků.

Do pěti let bude 94 % firem využívajících 3D tisk pro výrobu využívat vlastní výrobní zařízení. I když většina dotázaných firem využívá pro výrobu vlastní 3D tiskárnu, je v odvětví stále patrný trend využívání servisních poskytovatelů (33 %). Stejný trend ve využívání servisních poskytovatelů byl zjištěn také ve výzkumu firmy Stratasys (2015). Firmy je využívají především pro výrobu produktů, po kterých je příliš malá poptávka na trhu nebo firma nedisponuje dostatečnými odbornými znalostmi a zkušenostmi pro výrobu určitého produktu.

Ve srovnání s průměrnými výsledky průzkumu napříč odvětvími v ČR využívají firmy ve zdravotnictví ve vyšší míře potenciál technologie pro výrobu finálních výrobků. Na rozdíl od ostatních odvětví firmy ve zkoumaném odvětví využívají již dnes k 3D tisku vlastní výrobní kapacity, zatímco v ostatních odvětvích bude srovnatelné procento firem podle očekávání využívat vlastní 3D tiskárnu v horizontu pěti let (97 %). Zatímco v ostatních odvětvích firmy teprve zvažují možnosti využití kovových materiálů pro 3D tisk - aktuálně technologii využívá 17 % firem v ČR a v horizontu 5 let materiály plánuje využívat dalších 72 % dotázaných firem v rámci průzkumu EY (2017). Firmy v oblasti zdravotnictví rychleji reagují na změny a vývoj nových aditivních technologií a jsou aktivnější v implementaci těchto technologií ve výrobních procesech.

Hlavními limity práce je hloubka zkoumání využití technologií 3D tisku v konkrétních oborech finálních výrobků a nemožnost mezinárodního srovnání získaných výsledků v oblasti zdravotnictví. Práce poskytuje pouze obecný přehled o aktuálním využití technologie ve firmách v oblasti zdravotnictví. Pro budoucí výzkumy autorka doporučuje zaměřit se na konkrétní obory z oblasti zdravotnictví - stomatologie, protézy a kostní implantáty, výroba zdravotnických zařízení či tkáňové inženýrství, vzhledem k tomu, že současná míra využití aditivních technologií výroby se napříč těmito obory výrazně liší. Na práci je možné navázat také v rámci provedení stejného šetření v zemích Visegrádské čtyřky.

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Obrázek 1 - Devět technologií transformujících průmyslovou výrobu v rámci Industry 4.0	5
Obrázek 2 - Gartnerova Hype křivka nových technologií pro rok 2016	7
Obrázek 3 - Třiosý model vyráběných produktů	21
Obrázek 4 - Vývoj nákladů výroby v závislosti na komplexnosti a míře individualizace výrobků pro subtraktivní a aditivní technologie výroby	23
Obrázek 5 - Proces výroby s použitím technologie SLA	82
Obrázek 6 - Proces výroby s použitím technologie DLP	82
Obrázek 7 - Proces výroby s použitím technologie SLS	83
Obrázek 8 - Proces výroby s použitím technologie FDM	83
Obrázek 9 - Proces výroby s použitím technologie SLM	84
Obrázek 10 - Proces výroby s použitím technologie EBM	84
Obrázek 11 - Proces výroby s použitím technologie LOM	85
Obrázek 12 - Gartnerova Hype křivka 3D tisku pro rok 2015	39
Tabulka 1: Přehled subtechnologií aditivní výroby	86
Tabulka 2 - Pět největších výrobců 3D tiskáren na trhu průmyslových / profesionálních tiskáren podle tržeb v roce 2016	34
Tabulka 3 - Pět největších výrobců 3D tiskáren na trhu domácích / stolních tiskáren podle tržeb a počtu prodaných kusů v roce 2016	35
Graf 1 - Dosavadní zkušenosti s technologií 3D tisku (n=39)	57
Graf 2 - Povědomí o využití technologie okolními subjekty (n=39)	58
Graf 3 - Bariéry využívání 3D tisku (n=39)	61
Graf 4: Hlavní přínosy zavedení 3D tisku (n=18)	62

Graf 5 - Vliv technologie 3D tisku na obchodní model firmy (n=18)	63
Graf 6 a Graf 7 - Účel využití 3D tisku v obchodním modelu firmy (n=18)	64
Graf 8: Způsob využití 3D tisku (n=18)	66
Graf 9 - Materiály používané pro 3D tisk (n=18)	67

Zdroje

3D-tisk, (n.d.). *Encyklopedie 3D tisku: Stereolitografie* [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>

3D Systems, (2016). *3D Systems Announces Grand Opening of State-of-the-Art Healthcare Technology Center* (tisková zpráva). Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-announces-grand-opening-state-art-healthcare-technology-center>

A.T.Kearney, (2015). *3D Printing: A Manufacturing Revolution* [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.atkearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Revolution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3>

Align Technology, (n.d.). *The Align Advantage* [vid. 2017-03-25]. Dostupné z: http://investor.aligntech.com/alignAR_Final_7-8-14/align-advantage.html

ASTM International, (2013). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.* F2792–12a, MIT Libraries. Dostupné z: <http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>

Aviontics, (n.d.). *Small Friction Turbine Casing - Rapid Prototyping* [vid. 2017-08-23]. Dostupné z: <http://aviontics.co.uk/?q=en/portfolio/small-friction-turbine-casing-rapid-prototyping>

Bacquet, J. (2016). *Digitising European Industry - Internet of Things.* Prezentováno na European Rural Networks Assembly 2016. Dostupné z: https://enrd.ec.europa.eu/sites/enrd/files/assembly3_digital-agenda_joel.pdf

Basl, J. & Blažiček, R. (2012). *Podnikové informační systémy: Podnik v informační společnosti - 3. aktualizované a doplněné vydání.* Havlíčkův Brod, Grada Publishing, a.s.

Chikofsky & Cross (1990). *Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy.* IEEE Software, 7(1), 13–17. Dostupné z: http://www.eecs.yorku.ca/course_archive/2006-07/F/6431/Chikofsky.pdf

Cockrell School of Engineering. (2012). *Selective Laser Sintering, Birth of an Industry* [vid. 2017-03-21]. *The University of Texas at Austin.* Dostupné z: <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

Commission recommendation of 6 May 2003 (2003/361/EC): concerning the definition of micro, small and medium-sized enterprises

Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C. & Limperos, J. W. (2014). *Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services.* *Additive Manufacturing.* 1–4(2014), 64–76, doi: 10.1016/j.addma.2014.08.005

Context, (2017). *Top Industrial/Professional 3D printer makers lose share in 2016* [vid. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.contextworld.com/3d-printing-research-update-12-apr-2017>

Crane, J., Cotteleer, M. & Crestani, R. (2014). 3D opportunity for end-use products: Additive manufacturing builds a better future. *Deloitte. University Press*. Dostupné z: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/3d-opportunity/3d-printing-end-use-products.html#endnote-sup-5>

Český statistický úřad, (2017). Zaměstnání podle odvětví ekonomické činnosti CZ-NACE vyhledáno dne 13.07.2017. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZAM03&z=T&f=TABULKA&katalog=30853&str=v221&u=v228_VUZEMI_97_19&c=v265~8_RP2016

Dodziuk, H. (2016). Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.*, 13(3), 283–293, doi:[10.5114/kitp.2016.62625](https://doi.org/10.5114/kitp.2016.62625)

Dopico, M., Gomez, A., De la Fuente, D., García, N., Rosillo, R. & Puche, J. (2016). A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. *Int'l Conf. Artificial Intelligence. ICAI'16.* 407-413. Dostupné z: <http://worldcomp-proceedings.com/proc/p2016/ICA7532.pdf>

Duann, S. (2017). Add It Up: 5 Industrial Additive Manufacturing Trends for 2017. *Redshift* [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://redshift.autodesk.com/industrial-additive-manufacturing-trends/>

Dungl, P. a kolektiv (2014). *Ortopedie: 2. přepracované a doplněné vydání*. Praha, Grada Publishing.

Dybuncio, M. (2012). *Woman gets world's first 3D printed jaw transplant* [vid. 2017-03-01]. CBC News. Dostupné z: <http://www.cbsnews.com/news/woman-gets-worlds-first-3d-printed-jaw-transplant/>

Elektrotechnický zkušební ústav, (n.d.). *Jsme připraveni na Průmysl 4.0* [vid. 2017-06-12]. Dostupné z: <http://ezu.cz/prumysl-4-0-2/>

eNovation, (n.d.). *OP Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK)* [vid. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.enovation.cz/op-podnikani-a-inovace-pro-konkurenceschopnost>

EOS, (n.d.). *Turning innovative ideas into success story: with Additive Manufacturing from prototypes to serial production* [vid. 2017-03-20]. Dostupné z: https://www.eos.info/about_eos/history

Ernst&Young [EY], (2016). *How will 3D printing make your company the strongest in the value chain? EY's Global 3D printing Report 2016, Executive Summary*. Dostupné z: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/\\$FILE/ey-how-will-3d-printing-make-your-company-the-strongest-link-in-the-value-chain.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/$FILE/ey-how-will-3d-printing-make-your-company-the-strongest-link-in-the-value-chain.pdf)

- **(2017).** 3D tisk v českém výrobním prostředí. Dostupné z: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/3D_print_infosheet/\\$FILE/16679_EYcr%20Brozura%203D%20tisk%2004_17%2004.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/3D_print_infosheet/$FILE/16679_EYcr%20Brozura%203D%20tisk%2004_17%2004.pdf)

Erste Grantika Advisory, a.s. (2017). Průmysl 4.0: Jaké dotační programy lze využít? *Měsíčník EU aktualit*, 163(1), 15. Dostupné z: http://www.csas.cz/static_internet/cs/Evropska_unie/Mesicnik_EU_aktualit/Mesicnik_EU_aktualit/Prilohy/mesicnik_2017_04.pdf

Espacenet, (1998). *Bibliographic data: US5730817 (A) — 1998-03-24.* Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=5730817A&KC=A&FT=D>

Euro, (2016). GE posiluje v 3D tisku. Kupuje německý Concept Laser [vid. 2017-08-02]. Dostupné z: <http://www.euro.cz/byznys/ge-posiluje-v-3d-tisku-kupuje-nemecky-concept-laser-1312635>

European Commission [EC], (n.d.). *What is Horizon 2020?* [vid. 2017-08-01]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

- **(2016).** H2020 Participation and Requested EU Financial Contribution in Signed Grant Agreements by Country [vid. 2017-07-13]. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs/storage/b733cf11f38fd076b76286c4eaf11618a319a178?uid=b733cf11f38fd076b76286c4eaf11618a319a178>

Evropské hodnoty, (2013). *Malé a střední podniky: Jak ji mohou nejlépe pomoci prostředky z evropských fondů?* [vid. 2017-08-23]. Dostupné z: <http://www.evropskehodnoty.cz/wp-content/uploads/2013/04/SHRNUT%C3%8D-SEMIN%C3%81%C5%98E-MAL%C3%89-A-ST%C5%98EDN%C3%8D-PODNIKY-JAK-JIM-MOHOU-NEJL%C3%89PE-POMOCI-PROST%C5%98EDKY-Z-EVROPSK%C3%9DCH-FOND%C5%AE-think-tank-Evropsk%C3%A9-hodnoty.pdf>

Fakulta strojní ČVUT v Praze, (2016). *Aktuality: Titanové implantáty pro zdravotnictví z 3D tiskárny* [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/aktuality/314-212/titanove-implantaty-pro-zdravotnictvi-z-3d-tiskarny/>

Fusion3, (n.d.). *How Much Does A 3D Printer Cost?* [vid. 2017-08-23]. Dostupné z: <https://www.fusion3design.com/how-much-does-a-3d-printer-cost/>

Gartner, Inc. (n.d.). *Gartner Hype Cycle* [vid. 2017-06-12]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>

- **(2016).** *Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage* [tisková zpráva]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>
- **(2015).** *Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing.* [tisková zpráva]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917>

Germany Trade and Invest, (n.d.). *Industrie 4.0* [vid. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40/Navigation/EN/Topics/industrie-4-0.html>

Giannatsis, J. & Dedoussis, V. (2009). Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1), 116-127, doi: 10.1007/s00170-007-1308-1.

Greenberg, A. (2013). State Department Demands Takedown Of 3D-Printable Gun Files For Possible Export Control Violations [vid. 2017-03-11]. *Forbes*. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/05/09/state-department-demands-takedown-of-3d-printable-gun-for-possible-export-control-violation/#4d16545f375f>

Hanzlicek, I. & Pentek, M. (2014). Computational Modeling of Stereolithography. *IEEE GSC*. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/fac8/5779ab964cc47b95da31c1f6d855c2b2d17b.pdf? ga=2.49524705.658397473.1502534978-142234133.1502534978>

Hawlett-Packard, (2016). *HP showcases the world's first production-ready commercial 3D printing system at formnext* [tisková zpráva]. Dostupné z: <http://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?id=2365774#.WY89SIFJbIU>

Hodek, J. (2013). Aдитivní technologie: Zpráva o stavu 3D tisku pro Českou technologickou platformu STROJÍTENSTVÍ, o.s. *COMTES FHT*. Dostupné z: <http://docplayer.cz/18792004-Aditivni-technologie-zprava-o-stavu-3d-tisku-pro-ceskou-technologickou-platformu-strojitenstvi-o-s-josef-hodek.html>

Holubová I., Kosek J., Minařík K. & Novák D. (2015). *Big Data a NoSQL databáze*. Praha, ČR: Grada Publishing, a.s.

Hradil, D. (2016). *Mechanicko strukturní charakteristiky materiálů vyrobených metodou SLM*. (Diplomová práce). Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/60780/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce%20Hradil%20-%20SLM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A. & Liang, H. (2012). Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8), 1191–1203, doi: 10.1007/s00170-012-4558-5

iDNES.cz, (2015). Microdent: firma která digitalizuje stomatologii [vid. 2017-08-10]. Dostupné z: http://sdeleni.idnes.cz/microdent-firma-ktera-digitalizuje-stomatologii-fbl-liberec-sdeleni.aspx?c=A150709_122836_liberec-sdeleni_ahr

In'Tech Industries, (2013). *Advantages of stereolithography* [vid. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.intechrp.com/advantages-of-stereolithography/>

International Telecommunication Union, (2017). *Internet of Things Global Standards Initiative* [vid. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>

i-SCOOP, (n.d.). *Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0* [vid. 2017-07-02]. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>

Kaifei He & Man Jin. (2016). Cyber-Physical System for maintenance in industry 4.0. *Jönköping University*. 1-64. Dostupné z: <http://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1071443/FULLTEXT01.pdf>

Koukal, O. (2012). *Konstrukce přípravku pro chirurgické zavádění osseointegračních implantátů u obličejových epitéz* (bakalářská práce). Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52963

Kříž, L. (2014). *Přinese 3D tisk další průmyslovou revoluci?* [vid. 2017-08-22]. Česká pozice. Dostupné z: http://ceskapozice.lidovky.cz/prinese-3d-tisk-dalsi-prumyslovou-revoluci-fk6-/tema.aspx?c=A140611_123950_pozice-tema_kasa

Kubátová, Z. / Seznam.cz (reportérka) & Kysilka, P. (host), (2017). *Výzva: Záchrana pro Česko v digitálním věku: Prudce snižte počet úředníků, nejlepší mozky do škol* [Online video rozhovor]. Dostupné z: <https://www.seznam.cz/zpravy/clanek/zachrana-pro-cesko-v-digitalnim-veku-prudce-snizte-pocet-uredniku-nejlepsi-mozky-do-skol-34956?seq-no=3&dop-ab-variant=&source=clanky-home>

Larsson, M., Lindhe, U. & Harrysson, O. (2003). Rapid manufacturing with electron beam melting (EBM) - a manufacturing revolution?, *Proceedings of the 14th Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium*, 4-6, 433-8, Austin, Texas.

Lavička, V. (2017). Adidas chystá digitální průlom. Do sériové výroby zavádí 3D tisk, bude moci rychleji vyrábět boty na míru [vid. 2017-05-02]. *Hospodářské noviny*. Dostupné z: <http://archiv.ihned.cz/c1-65694310-adidas-chysta-ve-vyrobe-obuvi-digitalni-prulom>

Lee, P. & Stewart, D. (2015). 3D printing is a revolution: just not the revolution you think. *TMT Predictions 2015* [vid. 2017-04-02]. Deloitte. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/gx-tmt-pred15-3d-printing-revolution.pdf>

Liu, Q., Leu, M. C., Schmitt, M. S. (2006). Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Technol.* 29, 317–335, doi: 10.1007/s00170-005-2523-2

Lokvenc, M. (2013). *Studium biokeramických materiálů pro dentální aplikace* (bakalářská práce). Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67513

Marr, B., (2016). What Everyone Must Know About Industry 4.0 [vid. 2017-03-13]. *Forbes* Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#1796b34f795f>

Medical Definition of Prosthetics (2016). [vid. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=15985>

Ministerstvo průmyslu a obchodu, (2016). *Iniciativa Průmysl 4.0* [vid. 2017-06-12]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

- **(n.d.).** *Česká ekonomika 2016* [PowerPoint prezentace]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/zahranicni-obchod/statistiky-zahranicniho-obchodu/2017/4/Prezentace_03_2017_CZ_OR.pdf

Molitch-Hou, M. (2015). Gartner predicts medical 3D printing to be mainstream in 2-5 years [vid. 2017-08-02]. *3D Printing Industry*. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/gartner-predicts-medical-3d-printing-to-become-mainstream-in-2-5-years-56496/>

ParlamentníListy.cz, (2013). *Novinky a zajímavosti pro 3D tisk. Tiskne se z keramiky, dřeva i bavlny* [vid. 2017-08-25]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Novinky-a-zajimavosti-pro-3D-tisk-Tiskne-se-z-keramiky-dreva-i-bavlny-297609>

Pederson, J. P. (2005). *International Directory of Company Histories*. 67, Detroit, Michigan: St. James Press.

Petch, M. (2017). Dr Adrian Bowyer to receive outstanding contribution to 3D printing award [vid. 2017-08-02]. *3D Printing Industry*. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/dr-adrian-bowyer-receive-outstanding-contribution-3d-printing-award-107673/>

Preece, D., Williams, S. B., Lam, R. & Weller, R. (2013). "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ*. 6, 216–24, doi: 10.1002/ase.1345

ProByznys.info, (2013). *Nesmíte se bát nových technologií, varují experti malé a střední firmy* [vid. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/podnikani/inspirace-technologie/c1-63747820-nesmite-se-bat-novych-technologii-varuji-experti-male-a-stredni-firmy>

Project Consult, (2016). *Gartner Hype Cycles 2016* [vid. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.project-consult.de/in_der_diskussion/gartner_hype_cycles_2016

Průša není úchyl 2. (2017). *Forbes*. 8, 94-101.

Rengier, F., Mehndiratta, A., von Tengg-Kobligh, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H.-U. & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5, 335-341, doi: 10.1007/s11548-010-0476-x.

Robinson, A. (2015). Welcome to the complex world of 3D-printed drugs [vid. 2017-08-05]. *The Guardian*. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/aug/21/welcome-to-complex-world-of-3d-printed-drugs-spritam-fda>

Roblek V., Meško M. & Krapež A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*. 1-11. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2158244016653987>

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries [vid. 2017-05-23]. *Boston Consulting Group*. Dostupné z: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_i ndustry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/

Scan and Make, (n.d.). *Additive manufacturing: Learn about the different kinds of additive manufacturing* [vid. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://scanandmake.com/additive-manufacturing>

Sculpteo, (2017). *The history of 3d printer: from rapid prototyping to additive fabrication* [vid. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>

Sharma, R. (2013). *The 3D Printing Revolution You Have Not Heard About* [vid. 2017-04-05]. Forbes. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/rakeshsharma/2013/07/08/the-3d-printing-revolution-you-have-not-heard-about/#48403c951a6b>

Siemens, (2014). *Defects: A Vanishing Species?* [vid. 2017-07-02]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/digital-factories-defects-a-vanishing-species.html>

- **(2016).** *Průmysl 4.0: Budoucnost průmyslové výroby* [vid. 2017-07-02] [PowerPoint prezentace]. Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/data/files/2-dvorak-prumysl-4-0-budoucnost-prumyslove-vyroby-5819.pdf>

Stratasys, (2015). TREND FORECAST: 3D Printing's Imminent Impact on Manufacturing. Dostupné z: https://www.stratasysdirect.com/content/pdfs/sys_trend-forecast_v10.pdf

Szczerba, R. J. (2015). FDA Approves First 3-D Printed Drug [vid. 2017-08-05]. *Forbes*. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/robertszczerba/2015/08/04/fda-approves-first-3-d-printed-drug/#63aecf945675>

Technická univerzita v Liberci, (n.d.). *3D tisk: Laboratoř prototypových technologií a procesů* [vid. 2017-08-14]. Laboratoř pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. Dostupné z: <https://cxi.tul.cz/sluzby/3d-tisk-a-prototypy/3d-tisk>

Technologické centrum AV ČR [TC AV ČR], (2013). *HORIZONT 2020: Stručně o programu*. Praha. Dostupné z: https://www.tc.cz/files/istec_news/tcav-brozura-horizont-2020-internet.pdf

- **(2016).** Účast ČR v H2020 - dle institucí a počtu projektů. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs/storage/60cafaf2af573022a9d4f6665b7ea26a2d5c7bb8?uid=60cafaf2af573022a9d4f6665b7ea26a2d5c7bb8>

Tess, (2015). 3D printed hip prosthesis formally approved by China's Food and Drug Administration [vid. 2017-03-02]. *www.3ders.org: 3D Printer and 3D Printing News*. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20150901-3d-printed-hip-prosthesis-formally-approved-by-china-food-and-drug-administration.html>

Úřad vlády ČR, (n.d.). *Národní inovační platformy* [vid. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.vyzkum.cz/FrontClanek.aspx?idsekce=763042>

Ventola, C. L. (2014). Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704–711. Dostupné z: <https://www.ptcommunity.com/system/files/pdf/ptj3910704.pdf>

Veselovský, M. / DVTV (reportér) & Verezkinová, L. (host), (2016). *Lidskou ruku z nanovláken chceme umět vypěstovat do sedmi let, říká odbornice* [Online video rozhovor]. Dostupné z: <https://video.aktualne.cz/dvtv/lidskou-ruku-z-nanovlaken-chceme-umet-vypestovat-do-sedmi-le/r~0d2d9a66f1b411e59214002590604f2e/?redirected=1502918799>

Wohlers Associates, (n.d.). *About us* [vid. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.wohlersassociates.com/wa.html>

Wohlers, T. (2017). *Wohlers Report 2017: 3d printing and additive manufacturing state of the industry*. Fort Collins: Wohlers Associates.

Wohlers, T. & Caffrey, T. (2015). *Additive Manufacturing State of the Industry* [PowerPoint prezentace]. Dostupné z: https://www.sme.org/uploadedFiles/Publications/ME_Magazine/2015/May/May%202015%20of3%20Additive.pdf

Wohlers, T., Gornet, T. (2014). History of additive manufacturing. *Wohlers Report 2014*. Dostupné z: <http://www.wohlersassociates.com/history2014.pdf>

Wong, K.V. & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012(2012), 208760–208770, doi: [10.5402/2012/208760](https://doi.org/10.5402/2012/208760)

World Economic Forum, (2016). *The Global Information Technology Report 2016*. Geneva. Dostupné z: http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/GITR_2016_full%20report_final.pdf

Yao, R., Xu, G., Mao, S.-S., Yang, H.-Y., Sang, X.-Y., Sun, W., & Mao, Y.-L. (2016). Three-dimensional printing: review of application in medicine and hepatic surgery. *Cancer Biol Med*. 13(4), 443–451, doi: 10.20892/j.issn.2095-3941.2016.0075

Yue, J., Zhao, P., Gerasimov, J. Y., van de Lagemaat, M., Grotenhuis, A., Rustema-Abbing, M., ... Ren, Y. (2015). 3D-Printable Antimicrobial Composite Resins. *Advanced Functional Materials*. 25(43), 6756–6767, doi: 10.1002/adfm.201502384.