

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení dopadů aditivních technologií v průmyslu
Assessment of Additive Manufacturing Impacts in Industry

AUTOR: ANJA GLADOVIĆ

VEDOUCÍ PRÁCE: PROF. ING. FRANTIŠEK FREIBERG CSC.

STUDIJNÍ PROGRAM: TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

PRAHA 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gladovič** Jméno: **Anja** Osobní číslo: **490927**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hodnocení dopadů aditivních technologií v průmyslu

Název bakalářské práce anglicky:

Assessment of Additive Manufacturing Impacts in Industry

Pokyny pro vypracování:

1. Zdůvodnění zadání a cílů práce
 2. Přehled a princip jednotlivých metod aditivní výroby
 3. Typy 3D tiskáren a jejich využití
 4. Specifika ekonomického hodnocení aplikací 3D tisku
 5. Výhody, nevýhody a trendy vývoje 3D tisku
 6. Mapování reálné situace v oblasti aplikace 3D technologií v odvětví průmyslu pomocí šetření dat
 7. Komplexní deskripce a zhodnocení reálné situace na základě analýzy získaných dat
 8. Návrh předpokladů pro zvýšení míry a efektivity využívání 3D tisku v praxi
- Návrh postupu pro ekonomické hodnocení aplikace aditivní technologie pro zvolený modelový přípa

Seznam doporučené literatury:

1. Andreas a Jan-Steffen HÖTTER. Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing. Cincinnati: Hanser Publications, 2016. 978-1-56990-582-1
2. WIMPENNY, David Ian, PANDEY, Pulak M. a L. Jyothish KUMAR. Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies. Singapore: Springer Science+Business Media Singapore Pte Ltd., 2017. 78-981-10-0811-5
3. GIBSON, Ian. Additive Manufacturing Technologies. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2014. 9781493921126

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. František Freiberg, CSc. ústav řízení a ekonomiky podniku FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **29.09.2023**

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Cílem práce je zhodnotit dopady při zavedení aditivních technologií do průmyslu a představit soubor základních poznatků o nich. Teoretická část práce se zabývá metodami 3D tisku, jejich vlastnostmi a využitím v průmyslu, výhodami, nevýhodami a trendy. Praktická část mapuje reálnou situaci na českém trhu pomocí šetření dat a je zaměřená na průmyslové firmy, které dříve využívaly výroby pouze konvenčními metodami, ale nově do ní zakomponovaly právě aditivní technologie.

Klíčová slova

Aditivní technologie, 3D tisk, rychlé prototypování, hodnocení investice, doba návratnosti, průmysl, FDM, SLA, 3DP, SLS, LLM

Annotation

The aim of this thesis is to evaluate the impacts of introduction of additive technology to manufacturing industry and present a set of basic knowledge about this topic. The theoretical part of the thesis introduces the 3D printing methods, their properties and use in industry, advantages, disadvantages and trends. The practical part maps the real situation on the Czech market with the help of data research and is aimed at industrial companies that previously only used conventional production methods, but have recently incorporated additive technologies.

Keywords

Additive manufacturing, 3D printing, rapid prototyping, investment evaluation, return on investment, industry, FDM, SLA, 3DP, SLS, LLM

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu za užitečné rady a poznatky při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidu Dvořákovi a všem jeho kolegům z 2N TELEKOMUNIKACE a.s. za nesmírnou ochotu a možnost nahlédnutí do praxe. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svému příteli a celé své rodině za veškerou podporu, kterou mi neustále vyjadřují.

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Historie aditivních technologií.....	9
3 Aditivní technologie	10
3.1 Typy aditivních technologií	11
3.1.1 Stereolitografie (SLA)	11
3.1.2 Fused deposition modeling (FDM)	12
3.1.3 Layer laminate manufacturing (LLM).....	13
3.1.4 3DP (Three-Dimensional Printing)	15
3.1.5 Selective laser sintering (SLS)	16
4. Aplikace a vlastnosti aditivních technologií v průmyslu.....	18
4.1 Hlavní využití aditivních technologií v průmyslu.....	18
4.1.1 Prototypy	18
4.1.2 Sériová výroba.....	19
4.1.3 Nedostupné produkty.....	19
4.1.4 One-of-a-kind předměty	20
4.2 Vlastnosti jednotlivých metod aditivních technologií.....	21
4.2.1 Tiskárny FDM a jejich potenciál, využití a vlastnosti.....	21
4.2.2 Tiskárny SLA a jejich potenciál, využití a vlastnosti.....	23
4.2.3 Tiskárny LLM a jejich potenciál, využití a vlastnosti.....	25
4.2.4 Tiskárny 3DP a jejich potenciál, využití a vlastnosti	27
4.2.5 Tiskárny SLS a jejich potenciál, využití a vlastnosti	28
5. Ekonomické aspekty zavádění aditivních technologií do průmyslu.....	31
5.1 Dodavatelský řetězec	31
5.2 Cena 3D tiskárny.....	32
5.3 Čas.....	32
5.4 Materiál a množství.....	33
6 Výhody, nevýhody a trendy zavádění 3D tiskáren do průmyslu.....	35
6.1 Výhody.....	35
6.1.1 Úspornost.....	35
6.1.2 Komplexita	35
6.1.3 Přizpůsobivost	36
6.1.4 Rychlost.....	37
6.1.5 Udržitelnost	37

6.1.6 Přístupnost	38
6.2 Nevýhody	38
6.2.1 Limitace tvaru	38
6.2.2 Komplexita na úkor jednoduchosti	39
6.2.3 Riziko požáru	39
6.2.4 Jedovaté výpary	39
6.3 Trendy	39
6.3.1 Lokální výroba	39
6.3.2 Recyklace	40
6.3.3 Rozšíření do ostatních oborů	40
7 Praktická část	41
7.1 Mapování reálné situace v oblasti aplikace 3D technologií v průmyslu na českém trhu pomocí šetření dat	41
7.1.1 Dotazník	41
7.1.2 Analýza získaných dat	43
7.1.3 Návrh předpokladů pro zvýšení míry a efektivnosti využívání 3D tisku v průmyslu	49
7.2 Modelový případ	50
8 Závěr	56
Seznam použité literatury	57
Seznam obrázků	61
Seznam grafů	61
Seznam tabulek	61
Seznam příloh	61
Přílohy	62
Příloha 1 – dotazník	62

1 Úvod

Struktura průmyslu v posledních desetiletích výrazně mění svoji podobu. Trendem je výrobu co nejvíce automatizovat, a tím pádem minimalizovat nutnost obsluhy. Ideálním scénářem by bylo vložit do přístroje materiál a získat přímo hotový výrobek. Přesně k tomu směřuje - a částečně toho dosahuje - aditivní technologie.

Nejen automatizace je motivací pro zavádění 3D tiskáren v průmyslu. V hojné míře se aditivní technologie využívá k vytváření prototypů a produktů, které by jinak byly na výrobu náročné jak finančně, tak časově, nebo v určitých případech i nevyrobitelné. Nicméně je nutno připomenout, že 3D tisk není vždy levným nebo výhodným řešením.

Cílem této práce je shrnout dosavadní poznatky a zkušenosti s aditivními technologiemi v průmyslu, poukázat na jeho výhody a nevýhody, zhodnotit, jaký je dopad při jeho zavedení do průmyslu a vytvořit náhled, který by byl nápomocný při uvažování o zavedení aditivních technologií do vlastní firmy nebo společnosti.

2 Historie aditivních technologií

Už kolem roku 1980 se v Japonsku zrodily první myšlenky výroby součástí po vrstvách. Hideo Kodama vynalezl v roce 1981 první stereolitografickou tiskárnu, která pomocí UV záření zpevňovala tekutou pryskyřici. Přestože nevydal patent, je často považován za prvního vynálezce 3D tiskárny [4].

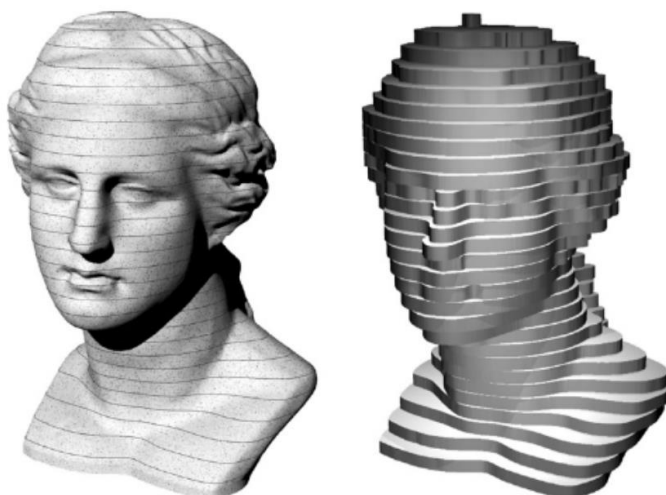
V roce 1986 vyšel ve Spojených státech amerických patent od Charlese W. Hulla nesoucí název “Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography” (*Stroj pro výrobu třídimenzionálních objektů pomocí stereolitografie*). I když se jedná o první patent ve světě aditivních technologií, málem tomu tak nebylo. V podání patentu ho totiž o tři týdny předběhli Alain Le Méhauté, Olivier de Witte a Jean Claude André [5], tři francouzští vědci, také pracující na stereolitografii. Jejich patent byl nicméně odmítnut pro „nedostatek obchodní perspektivy“ [6].

Dalším milníkem byl rok 1993, ve kterém na Massachusettském technologickém institutu vznikla první 3D tiskárna vytvářející předměty z plastu, keramiky a kovu, spoluprací profesora inženýrství Michaela Cima a profesora strojního inženýrství Emanuela Sachse. Při té příležitosti vznikl i samotný termín *3D tisk* [7].

Během těchto let následovalo vydávání dalších patentů, které však zároveň brzdily (a dodnes brzdí) ještě rychlejší rozvoj těchto technologií, kvůli legálnímu zastřešování určitých technologií pouze pod jednu společnost [8].

3 Aditivní technologie

Aditivní technologií se rozumí metoda výroby spočívající ve spojování velmi tenkých vrstev na sebe do vzniku výsledného produktu. Můžeme si to představit jako vodorovné „nakrájení“ objektu (obr. 1). Metod tištění jednotlivých vrstev i jejich vzájemného spojení se za posledních zhruba 40 let vyvinulo mnoho.



Obr. 1 Vizualizace principu 3D tisku [1]

A nejedná se jen o nový způsob výroby. 3D tisk nám otevírá možnosti, které předtím nebylo možné realizovat. Je dynamický, při správném využití velice efektivní a komplexita tvaru povětšinou není sebemenší překážkou. Formát počítačových modelů je jednotný a jednoduše sdílný s ostatními. Komunita je otevřená vůči ostatním a výroba nabírá úplně nové nádechy. Univerzálnost jde stranou, nastupuje přizpůsobitelnost, individualizace a snaha o zakládání menších lokálních výrobních center místo obrovských továren, jak tomu bylo doteď.

V dnešní době najdeme využití v oblasti automobilového, leteckého a výrobního průmyslu, medicíny (např. pro tisknutí orgánů z živé tkáně), návrhářství, šperkařství, a mnoho dalších. V této práci se omezím pouze na průmysl.

3.1 Typy aditivních technologií

Aditivní technologie si můžeme rozdělit podle typu nanášeného materiálu na tisk ve formě

- kapaliny
- pevné látky
- prášku

Mezi procesy, které tisknou v kapalně formě, můžeme zařadit například

- Stereolithografii (SLA)
- Fused deposition modeling (FDM)

Hlavním zástupcem nanášení vrstev v krystalické formě (pevné látky) je

- Laminated object manufacturing (LOM)

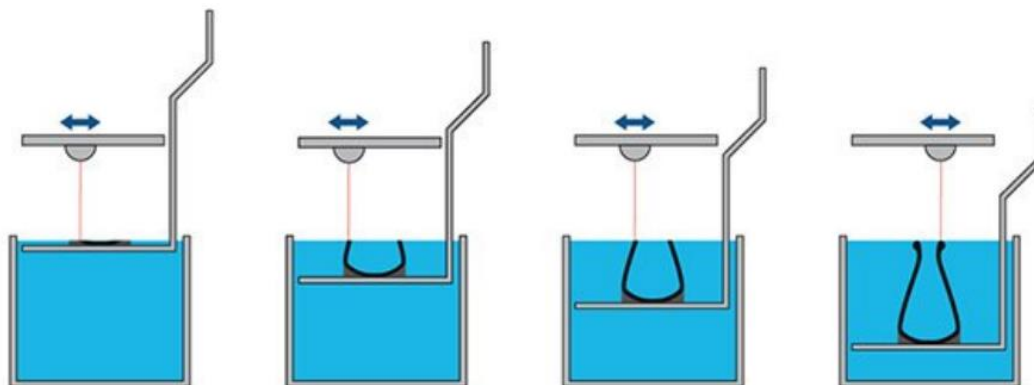
A nejrozšířenějšími představiteli tisku pálením prášku jsou

- 3D printing (3DP)
- Selective laser sintering (SLS)

V této bakalářské práci se omezím pouze na těchto pět metod, neboť patří mezi ty nejvíce rozšířené.

3.1.1 Stereolitografie (SLA)

Princip této metody, která vznikla jako první metoda aditivních technologií na světě, spočívá v přeměně pryskyřice z kapalně fáze na pevnou fázi pomocí chemické reakce vyvolané ozářením, nejčastěji UV spektrem. Nejstarším a stále nejpřesnějším UV zdrojem záření je laserový paprsek [1]. Ve vaně naplněné tekutým monomerm (pryskyřicí) se nachází pohyblivá platforma, která má výchozí polohu téměř úplně nahoře, propouštějící pouze velmi tenkou vrstvu kapaliny na svůj povrch (viz obrázek úplně vlevo na obr. 2). Nad vanou se nachází zdroj laserového paprsku, který svítí na pozici, kde má dojít ke ztuhnutí látky. Postupně se platforma pohybuje směrem dolů až do vzniku finálního produktu [9]. Tato metoda se už od začátku svého vzniku řadí mezi nejpřesnější, dosahující v dnešní době tloušťky vrstvy i pouhého 1 μm (tzv. mikrostereolitografie) [1].



Obr. 2 Způsob tisku pomocí stereolitografie [9]

U stereolitografie je post-processing zcela nutný, neboť je fotocitlivá pryskyřice bez dalších úprav toxická. Proto po zhotovení tištěnce jej musíme očistit izopropylalkoholem a vystavit slunečnímu nebo UV záření. To způsobí kompletní vytvrzení všech částic, což vede k jejich detoxikaci [27].

3.1.2 Fused deposition modeling (FDM)

Princip FDM, jednoho z nejvíce používaného typu 3D tiskáren, spočívá v protlačování nataveného materiálu skrz trysku tiskárny na konstrukční podložku. Vláčna materiálu jsou tvořena polymery, navinutá na cívce (v pevném stavu) a připojena k takzvanému extrudéru. Ten materiál nataví zahřátím na pracovní teplotu a přivádí ho k trysce, která jej ve vrstvách vytlačuje do vzniku požadovaného produktu. Názorné schéma můžeme vidět na obr. 2 [3].



Obr. 3 Schéma běžné 3D tiskárny s technologií FDM [10]

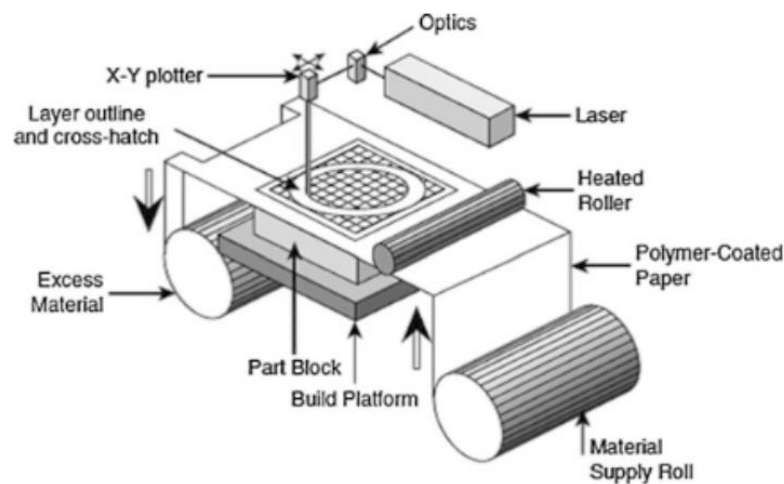
Hotové výrobky se z podložky snímají buď mechanickým odlomením nebo ve vaně naplněné vodou a detergentem (podle materiálu podložky) [29].

3.1.3 Layer laminate manufacturing (LLM)

Princip této metody spočívá ve spojování tenkých plátů materiálu na sebe. Jsou dvě možnosti pro zpracování tvaru plátu

- plát je předem vyříznut do požadovaného tvaru
- plát je vyříznut během procesu spojování materiálu

Pro lepší představu celého postupu bych zde uvedla systematický obrázek



Obr. 4 Schematické znázornění LLM [3]

Vpravo dole vidíme roli, na kterou jsou namotané připravené pláty. Plát je narolován na polohovací podložku, pokud jsme s tiskem právě začali, nebo na předchozí plát, pokud jsme v pokročilejším stádiu tisku. Nově narolovaný plát je spojen s vrstvou pod ním buď válečkem (jako zde na obr. 4) nebo lisovací deskou. Váleček a lisovací deska nemusí být vyhřáté, jak je uvedeno zde na obrázku. Následně dochází k vyříznutí požadovaného tvaru. Zde na obrázku je znázorněno vyříznutí pomocí laserového paprsku, a to během procesu tvorby výtisku. Zbytkový materiál je nakonec navinut na druhou roli a proces tím končí [3].

Při LLM je používána velká škála materiálů. Častými jsou například papír, plast, kovy, keramika nebo kovová skla (amorfní kovy) [3].

Stejně jako máme velkou variabilitu ve výběru materiálu, máme ji i ve způsobu spojování jednotlivých vrstev k sobě a vyřezávání požadovaných tvarů. Pláty rozválené na sebe můžeme spojit již zmíněným lisováním za tepla, podobně i lisováním za studena, pomocí lepidla či pojiva, laserovým svařováním nebo i zmrazením. Vyřezávat se dá pomocí nožů, frézováním, řezáním laserem a dalšími způsoby [3].

Při návrhu role dodávající materiál je třeba myslet na to, že musí být širší než nejširší vrstva modelu, který chceme vytvořit. V opačném případě by došlo k přerušení rolí dodávající a odvádějící materiál a výroba by se tím přerušila. Zároveň si tím uvědomíme, že nám při tomto způsobu tisku vždy vzniká zbytkový odpadní materiál.

Vyříznout a potom spojit nebo spojit a potom vyříznout?

Na začátku této podkapitoly jsem zmínila, že existují dva způsoby, jak můžeme k technice LLM přistoupit. Pokud přistoupíme k první variantě, neboli nejprve požadovaný tvar z plátu vyřízneme, jednotlivé výřezky namotáme na roli a až potom spustíme proces, kde budeme jednotlivé vrstvy už jen na sebe spojovat, můžou vznikat problémy s nesouosostí. Tato varianta je považována za rychlejší, méně náročnou, ale také méně přesnou. Je upřednostňována při lepení (vyřezávání) malých ploch [2].

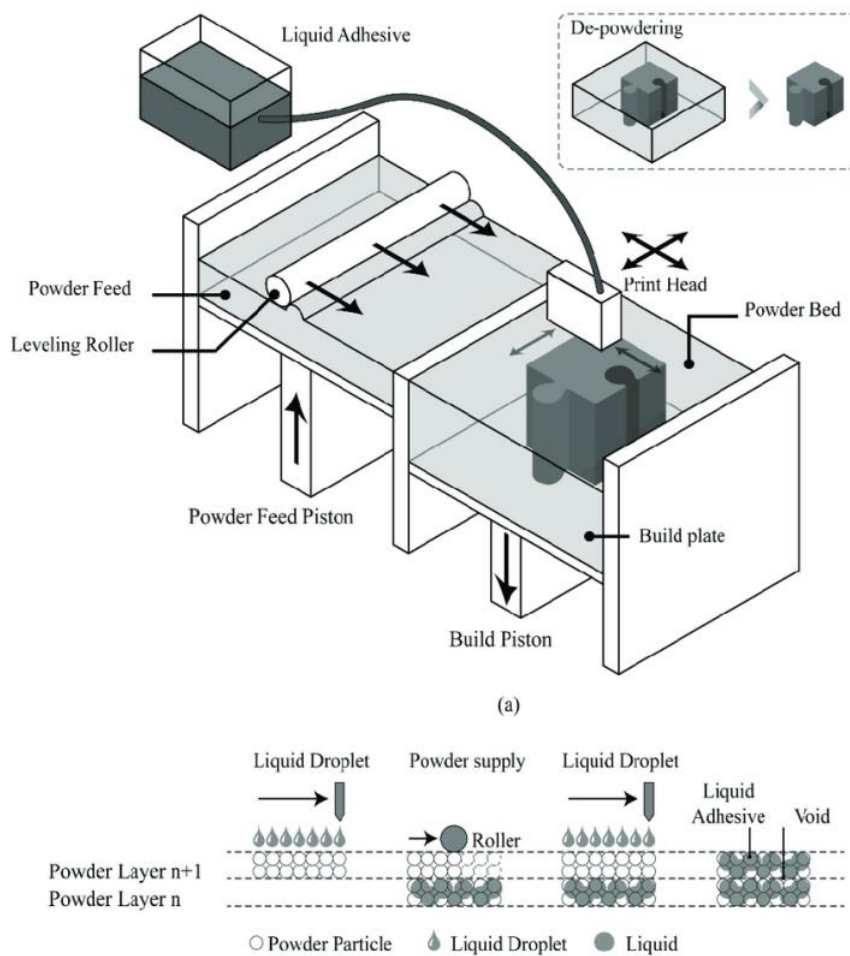
Druhou variantou je připravit roli s pláty, které nejsou vyříznuté, a řezat je až po spojení s předchozí vrstvou. Řezání v tomto případě může být ale velmi náročné, především pokud neřežeme na okraji plátu. Zároveň hrozí, že plocha, kterou chceme odříznout a odstranit, se nám přilepí na plát pod ní. Abychom se tomu vyhnuli a abychom nepoškodili výtisk při snímání odpadního materiálu např. odlomováním, je možné na tyto oblasti nastříkat protilepící sprej nebo prášek. To vše ale zpomaluje celý proces výroby; místo a čas pro nastříkání je třeba naprogramovat, samotné stříkání zabere čas při výrobě a sprej nebo prášek je přídatným výdajem. Tento způsob je však přesnější a je upřednostňován při odstraňování malých ploch [2].

Post-processing

Papírové výtisky jsou okamžitě po dokončení přetřené lakem, aby se do nich nedostala vlhkost a aby se na povrchu neodlupovaly, modely z jiných materiálů můžeme různě upravovat, například brousit [3].

3.1.4 3DP (Three-Dimensional Printing)

Metoda 3DP spočívá ve zpevnění materiálu ve formě prášku pomocí tekutého pojiva. Jsou zapotřebí dvě vany (viz obr. 5), první tzv. „Powder Bed“, ve které probíhá tisk, a druhá tzv. „Powder Feed“, která stavěcí vanu zásobuje práškem. „Powder bed“ vana je v počáteční poloze téměř v maximu a dovoluje „Powder Feed“ vaně nasypat pomocí válečku pouze tenkou vrstvu práškového materiálu. „Powder Feed“ vana je ve své nejnižší poloze. Poté, co je prášek rovnoměrně nasypán a zarovnan, začíná proces tisku. Na požadovaná místa je pomocí tiskové hlavy ze zásobníku vypuštěno slepovací pojivo. Tato místa ztuhnou, tisková hlava se posune na stranu, dno „Powder Feed“ vany se posune o krok vzhůru, dno „Powder Bed“ vany se posune o krok směrem dolů, váleček opět rovnoměrně naroluje (nasype) prášek ze zásobovací vany na stavěcí, tisknoucí hlava se vrátí zpátky a proces může začít znovu [1].



Obr. 5 Schematické znázornění principu 3DP [11]

Ve výsledku nechceme pojivo nechávat jako součást vytištěného modelu, proto je u této metody post-processing nutný.

Post-processing

Prvním krokem je odstranění pojiva z modelu, aniž bychom jakkoliv narušili jeho geometrický tvar či funkčnost. To vykoná box vybavený odsávačem a na doladění je vyžadována i malá manuální činnost přímo od technika [1].

Druhým krokem je zpevnění práškového modelu spékáním (slinováním, sintrováním), čehož docílíme jeho pečením v troubě jen na takovou teplotu, aby došlo ke spojení práškových částic [12]. Tato teplota dosahuje zhruba 80 % hodnoty teploty tavení [13].

Třetím krokem je infiltrace pro dosažení požadovaných vlastností [12]. Infiltráty mohou model zpevnit nebo naopak vytvořit pružným [1].

Tento typ aditivní technologie je velmi rychlý. Tisková hlava se zdržuje pouze na místech, kde má dojít v dané vrstvě k tisku a tímto úsekem prochází v celé jeho délce. Proto složitost modelu nijak neovlivňuje rychlost jeho vytištění [1].

3.1.5 Selective laser sintering (SLS)

Princip této metody je velmi podobný 3DP technologii. Rozdílem je, že částice nejsou spojovány pojivem nýbrž lokálním natavením pomocí laseru. Kromě laseru lze použít i infračervené nebo elektronové paprsky. V klasickém procesu slinování bychom museli vložit prášek z materiálu do formy, následně vyvinout veliký tlak na jeho natlačení, a poté i upéct, aby se částice pospojovaly. Celý tento proces vyžaduje poměrně hodně času. SLS potřebuje pouze vysokou teplotu. Metoda je rychlejší a požadavek na vysoký tlak a přesné formy zcela mizí [1].

Dalo by se říct, že dokud se jedná o pevnou látku, kterou můžeme přeměnit do podoby prášku, je tato látka vhodným suplementem pro použití této metody. To nám nabízí širokou škálu možností ve výběru materiálu. Nejčastěji se používají plasty a kovy. U plastů vzniká obvykle pórovitý tištěnec. Kovový prášek je rozpuštěný zcela, a tak vzniká hutný, nepórovitý produkt. U kovu je důležité zmínit, že je potřeba model vybavit mechanickými podporami, které slouží k odvádění tepla a napětí materiálu, které způsobuje. Další variantou jsou keramika a kompozity [1] [2].

Nevyužitý práškový materiál může být znovu použit při dalším procesu výroby. U plastů je recyklace možná zhruba z 50 % až 70 %, u kovů můžeme dosáhnout i téměř 100 % [1].

Post-processing

Prášek, který zůstává na výrobku po jeho zhotovení, stačí sundat kartáčem a povrch pískovat. U kovových výtisků je třeba také mechanicky sundat jeho podpory a narušený povrch případně doupavit [1].

4. Aplikace a vlastnosti aditivních technologií v průmyslu

Aditivní technologie nejsou jen novým způsobem výroby. Byly vyvíjeny pro vytváření dříve nevyrobitelných fyzických modelů. Pro svoji dynamickou možnost změn návrhu jsou také novým favoritem pro výrobu prototypů. Pronikly i do oblasti sériové výroby, především pak v menším množství. Postupně se v této kapitole budu zabývat jednotlivými oblastmi, kde se 3D tisk v dnešní době využívá, a uvedu příklady tiskáren, specifické vlastnosti každé metody a v čem spočívá výhoda jejich zavedení do výroby. Neopomenu ani nevýhody a možné překážky či omezení.

4.1 Hlavní využití aditivních technologií v průmyslu

Mezi nejčastější důvody zařazení 3D tiskáren do průmyslu patří výroba

- prototypů
- produktů v malé nebo střední sériové výrobě
- součástí či produktů, které jsou nedostupné
- one-of-a-kind předměty

4.1.1 Prototypy

Při návrhu složitých modelů výrobci často chtějí model otestovat před jeho distribucí, či případně i před výrobou pouze jednoho jeho kusu, pokud má být jeho model technicky složitý a výroba finančně a časově náročná. Zde nastupuje výroba prototypů, která může vyžadovat v procesu zdokonalování modelu mnoho technických úprav. V případě konvenčního způsobu výroby to nemusí nutně zvyšovat cenu prototypu, ale často výrazně prodlužuje čas jeho výroby. Proto se začalo přistupovat na 3D tisk, který nevyžaduje téměř žádnou obsluhu při tištění modelu, prototyp se skládá z malého počtu částí (ideálně jednoho), jeho výroba i úprava je rychlá a potřebuje jen minimálně úprav po jeho vytištění. Navíc můžeme ušetřit za materiál vytištěním dutých modelů. Nicméně i zde může být překážkou cena, neboť tisk s vysokou přesností, která je potřeba při využití prototypů na funkční testování součástky, vyžaduje úměrně kvalitní tiskárnu i materiál. Její nákup může být nemalým zásahem do rozpočtu společnosti, především pokud nemá žádné blízké či konkrétní vyhlídky na budoucí znovupoužití tiskárny.

Typy prototypů můžeme rozdělit na

- koncepční prototyp - prezentuje nápad, dodržuje přibližný vzhled a vysvětluje funkci navrhovaného produktu, nijak však netestuje funkčnost ani neprezentuje finální vzhled
- designový prototyp - co nejpřesněji prezentuje vzhled finální podoby včetně povrchových úprav, barvy, geometrie a tvaru
- funkční prototyp - testuje funkčnost navrhovaného modelu, dodržuje co nejpřesněji požadované mechanické vlastnosti, je použit pro vyzkoušení výrobku před jeho finální výrobou

4.1.2 Sériová výroba

Malovýroba a středně velká výroba bývá výhodnější u aditivních technologií než u konvenčních metod, protože ty mají obvykle mnohem vyšší počáteční výdaje, a proto u nich cena za výrobek klesá s počtem výrobků. U 3D tiskáren je přitom cena za výrobek téměř neměnná s počtem jejich vyrobení.

Nabízí se také možnost zvýšení automatizace výroby, která by potenciálně vedla ke snížení ceny výsledného produktu a vytvoření konkurenčně velmi schopné nabídky na trhu. Navíc se praktikuje tisk náhradních dílů do 3D tiskáren přímo na těch samých 3D tiskárnách. Prusa Research a.s. přímo nabízí na svých webových stránkách (www.help.prusa3d.com) STL soubory pro tisk náhradních nebo upgrade dílů pro všechny jejich tiskárny. Pokud tedy dojde k poruše, která může být opravena nahrazením poškozeného dílu, není třeba čekat na jeho dodání. To tedy platí za předpokladu, že vlastníme minimálně dvě funkční tiskárny, nebo si tiskneme náhradní díly předem.

4.1.3 Nedostupné produkty

Celkem častou problematikou je nedostupnost dílů, ať už z důvodu zastavení výroby či dlouhou dodací lhůtou. Aditivní technologie jsou zde ideálním řešením, protože jsou schopné mimikovat originální tvar, vytisknout se dají kdekoliv na světě a navíc je možné původní modely upravit ke zlepšení vlastností.

Pokud máme předmět, který potřebujeme vyrobit, ale nemáme k němu CAD soubor, je možné fyzický předmět naskenovat a získat ze skenu postupně STL soubor.

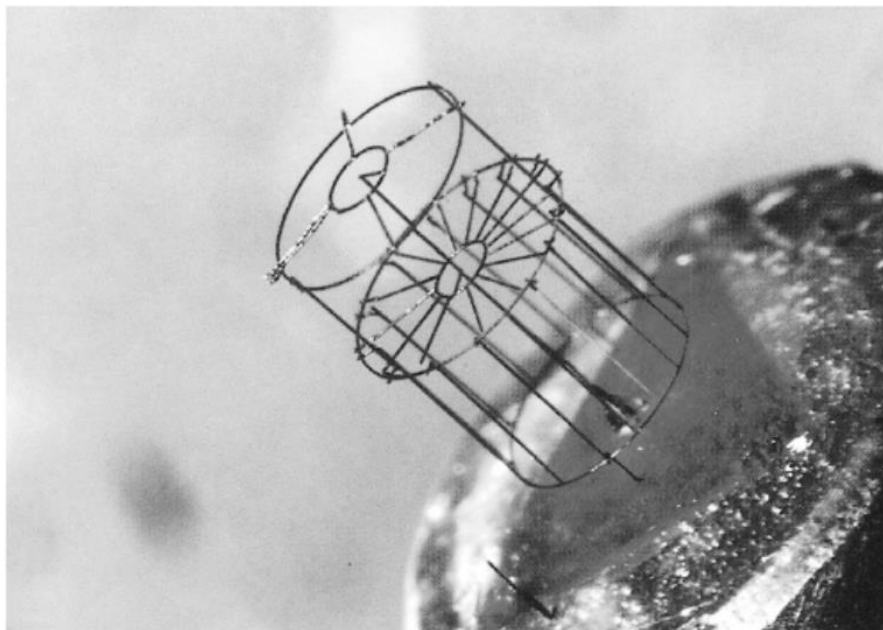
Díky tomu lze součást opět vyrobit, a to na kterékoliv 3D tiskárně. Jedná se o tzv. reverzní inženýrství [1].

Podobně se hojně rozšířil tisk náhradních součástek, forem, výplní forem [1] a dalších dílů, na jejichž dodání by se jinak čekalo i v řádu měsíců. Na to se chystají i České dráhy, které uvádí, že

“Vlastní výrobou zkrátíme servis o 52 dnů a roční úspora jen u 13 vybraných prvků s nejdelší čekací lhůtou se vyšplhá na 800 tisíc korun.” [26]

4.1.4 One-of-a-kind předměty

Pomocí aditivních technologií je možné vytisknout objekty s velmi složitou geometrickou strukturou, které by jinými metodami ani nebylo možné vyrobit. Speciálním příkladem může být mikrostruktura z oxidu hlinitého zobrazena na obr. 6. Znárodněné tyčinky mají průměr mezi 5 μm a 20 μm . Momentálně neexistuje konvenční metoda schopná vytvořit stejnou mikrostrukturu. [1]



Obr. 6 Mikrostruktura vytvořená procesem LCVD¹ [1]

Běžnějším využitím je výroba v malém množství (pouze pár kusů či příp. jen jednoho) nebo úprava součásti podle požadavků zákazníka. Názornou ukázkou může být

¹ Laser chemical vapor deposition (*chemická depozice z plynné fáze*) – mikroaditivní technologie

jakákoliv součástka, která se opakovaným používáním zlomí. Součástku vytiskneme tak, že na zeslabené místo dáme odolnější materiál, aby k poškození nedocházelo znovu.

4.2 Vlastnosti jednotlivých metod aditivních technologií

Každý způsob výroby pomocí 3D tisku s sebou nese jedinečné výhody, požadavky i překážky při jejich zavedení do průmyslu. Proto se zde podrobněji zaměřím na pět zmíněných metod (FDM, SLA, LOM, 3DP, SLS). Uvedu, jak se v dnešní době využívají, jejich parametry, používané materiály, přednosti i nevýhody, případně i jejich potenciál do budoucna.

4.2.1 Tiskárny FDM a jejich potenciál, využití a vlastnosti

Příklady firem vyrábějící FDM tiskárny dostupné na českém trhu

Ultimaker (www.ultimaker.com)

BCN3D (www.bcn3d.com)

Craftbot (www.craftbot.com)

Intamsys (www.intamsys.com)

Prusa Research (www.prusa3d.com)

Specifikace

První specifikace, kterou se můžeme zabývat, je rozlišení tisku. Dalo by se vyjádřit otázkou, jak moc tenké vlákno (a tím pádem tenké vrstvy) můžeme nanášet. Tloušťka vrstvy se pohybuje zhruba od 0,05 mm do 0,4 mm. Nejlepší volbou pro dosažení dobré přesnosti a ne příliš dlouhé doby tisku je 0,14 mm [30]. Přesnost výtisku závisí na tloušťce trysky, jejíž velikost si lze při nákupu vybrat a časem měnit. S tím souvisí druhá specifikace, a to efektivita tisku, neboli jak rychle jsme schopni tisknout, aby produkt měl požadované vlastnosti. Obojí záleží na použitém materiálu. [1]

Materiál

Levnější 3D tiskárny jsou uzpůsobeny jen na zpracování jednoho druhu materiálu, a tím nejbežnějším je PLA. Nicméně při větší investici za tiskárnu je nejen uzpůsobena

pro zpracování více druhů materiálů, ale je možné tyto materiály kombinovat v rámci jednoho výtisku.

Další možné materiály kromě zmíněného PLA jsou PET/PETG, ASA, ABS, PC, Nylon a TPU [14].

Speciální požadavky

Při používání běžného PLA není potřeba podložku nijak na tisk připravovat. Nicméně např. PLA obohacený o grafen vyžaduje vyhřívanou konstrukční podložku pro správné uchycení první vrstvy tištěných vláken. Pokud bychom tiskli tento materiál na nevyhřívanou podložku či vyhřívání nahradili lepidlem na podložce pro lepší uchycení materiálu, nejen, že obvykle dochází k nesprávnému vytištění modelu, ale při nanášení lepidla může i dojít k porušení součástek na samotné tiskárně. [31] Různé materiály budou vyžadovat různé teplotní a pracovní podmínky, proto je důležité se o nich informovat, než naši společnost jednou z těchto tiskáren vybavíme. Když koupíme stroj bez vyhřívací podložky (nebo s příliš slabým vyhříváním) bez dostatečného promyšlení jen kvůli nižším počátečním nákladům, můžeme se tím do budoucna nevhodně omezit v možnosti výběru používaných materiálů vzhledem k tomu, že PLA je jedním z mála materiálů, které vyhřívání nepotřebují.

Aplikace v průmyslu

FDM je velmi vhodné pro výrobu prototypů, obvykle nefunkčních. Slouží k prezentaci nápadu a kontrole designu [15]. Chceme-li například vytvořit televizní ovladač a potřebujeme zkontrolovat, zda-li se nám elektronické součástky skutečně vejdu do obalu, může zde dobře posloužit FDM, které představí vzhled a zároveň zkontroluje technický design.

Metoda je vhodná i na jakoukoliv malovýrobu či středně velkou výrobu, která vyžaduje customizaci. V klasickém případě bychom museli objednat velké množství forem nebo nástrojů, přitom s FDM stačí upravovat CAD model a to je celé. Příkladem nám může být tisk klíčenek ve tvaru modelu auta na přání. Jakýkoliv jiný způsob výroby by byl technicky mnohem náročnější, dražší a zdlouhavý. Uložit si různé typy modelů aut v CAD formátu v počítači je přeci jen nulový finanční výdej. Zato vlastnit až stovky forem není malá investice, nemluvě o tom, že i ty se mohou poškodit a potřebují časem nahradit novými [15].

Dalším bodem v malovýrobě a středně velké výrobě je tisk komplexních tvarů. Jako příklad lze uvést hračky, formy na odlévání nebo automobilové součásti. [16]

Odpad

Tato metoda nemá v podstatě žádný odpadní materiál. Materiál je totiž umístěn pouze na ta místa, kde ho potřebujeme mít.

Smrštění

Pohybuje se mezi 0.2% a 3% [17].

4.2.2 Tiskárny SLA a jejich potenciál, využití a vlastnosti

Příklady firem vyrábějící SLA tiskárny dostupné na českém trhu

UnionTech (www.uniontech3d.com)

3Dwiser s.r.o. (www.3dwiser.com)

Creality (www.crealitystore.cz)

Prusa Research (www.prusa3d.com)

Specifikace

Tloušťka vrstvy je u SLA od pouhých 0,01 mm (u mikrostereolitografie i v řádu jednotek mikrometrů) až zhruba do 0,4 mm. Help.prusa3d.com uvádí, že

“Výška vrstvy by měla být pod 80% průměru trysky (např. maximální výška vrstvy pro průměr trysky 0,4 mm je asi 0,32 mm). Výška vrstvy nemůže být vyšší než je průměr trysky (...).” [18]

Přesnost v jedné vrstvě není omezena fyzikálními vlastnostmi, nýbrž šířkou laserového paprsku, která závisí pouze na zkonstruování jejího zdroje. Zato tloušťka vrstvy je naopak omezena smáčivostí polymerové vrstvy pod ní, tudíž je ovlivněna použitým materiálem. Cena roste čím menší je tzv. “z krok” (tloušťka jedné vrstvy, a tedy ve směru osy z kartézských souřadnic) [1].

Materiál

Nutná podmínka pro materiál použitelný pro stereolitografii vyplývá z principu této metody a je to schopnost projít fotopolymerizací. Hlavními dvěma představiteli jsou

epoxidová a akrylová pryskyřice, ze kterých se vyrábějí směsi v různém poměru pro dosažení požadovaných vlastností.

Epoxidová pryskyřice disponuje malou mírou smrštění, což přispívá k dobré přilnavosti a nízkou mírou zvlnění. Díky její chemické struktuře je proces zpevňování méně zapáchající než u akrylové polymerace. Výsledné produkty jsou však křehčí a vytvrzování trvá déle. Epoxidová pryskyřice je velmi citlivá na vlhkost.

Akrylová pryskyřice se smršťuje i dvacetinásobně více než epoxidová pryskyřice, což má za následek výrazné zvlnění výsledné struktury. Na rozdíl od epoxidové pryskyřice je ale pevná, má vyšší reaktivitu, a proto je proces vytvrzování kratší a zároveň zajišťuje dobrou integritu tištěnce [3].

Speciální požadavky

Nutnost projít chemickou úpravou po zhotovení výrobku, neboť je materiál jinak toxický. Při tisku se zpevní zhruba 96 % materiálu, zbytek je třeba dopéct v pecích s UV zářením. Po tisku je doporučeno díl očistit opláchnutím v isopropylalkoholu. Je třeba myslet na to, že pokud nechceme díly čistit v kapalině ručně a zvolíme raději automatickou mycí vanu, tak bude třeba ji dokoupit zvlášť. Existují i jiné možnosti, například kombinace mycí vany s vytvrzovací pecí v jednom apod. Pokud jsme během tisku využili podpěry, je třeba je odstranit, což bývá u této metody časově poměrně náročné [1].

Aplikace v průmyslu

Stereolitografie nachází využití v mnoha sférách, od prototypů po sériovou výrobu. Přednostmi pro zvolení této metody je rychlost výroby, vyjimečně vysoká přesnost (a z ní plynoucí nepotřebnost dalšího povrchového zahlazování konečného výrobku) a velký tiskový objem až cca 350x200x400 mm.

Příkladem funkčního prototypu je ovládání klimatizace v autě na obrázku 7 [1].



Obr. 7 Funkční prototyp ovládání klimatizace v autě [1]

Kromě funkčních prototypů je stereolitografie využívána i na koncepční a designové prototypy nebo na rychlou výrobu nástrojů pro vstřikování do formy v malém množství [1].

Odpad

Nezpevněný monomer z jednoho tisku se dá použít opět na další tisk. To vede k téměř nulovému odpadu [1]. Nesmíme zapomenout, že je materiál toxický. Chceme-li tedy vyhodit nepovedený výtisk nebo pryskyřici, pro kterou už nemáme využití, je nutné je mít ve zpevněném, zcela polymerizovaném stavu.

Smrštění

U epoxidové pryskyřice je smrštění mezi 1 % a 2 %, akrylové pryskyřice dosahují smrštění až o řád více, kolem 5 % až 20 %. Výsledná míra smrštění závisí na konkrétní pryskyřicové směsi [3].

4.2.3 Tiskárny LLM a jejich potenciál, využití a vlastnosti

Příklady firem vyrábějící LLM tiskárny dostupné na českém trhu

Na českém trhu nedostupné.

Specifikace

Celková odchylka tištěnce od modelu se pohybuje kolem 0,25 mm. Co se týče rozměrových specifikací, měli bychom mířit na minimální tloušťku stěny výtisku 1,2 mm

a více. Obecně platí, že čím tenčí má model stěny, tím dražší bude jeho vyhotovení a post-processing.

Tloušťka plátu je v rozmezí přibližně od 0,07 mm až 1 mm, nicméně to výrazně závisí na použitém materiálu. Papíru přísluší tenčí vrstvy, kovům a keramice horní rozmezí tloušťky [19].

Materiál

Vyříznout a přilepit k sobě navzájem můžeme téměř jakýkoliv materiál. Proto pláty použité ve výrobě metodou LLM nemají téměř žádná omezení na volbu použitého materiálu. Mohou být z papíru, dřeva, plastu, kovu i keramiky. Vrstvy jsou na sebe spojeny tlakem a pojivem. Tím je u papíru, dřeva a plastů polyetylenové lepidlo, zatímco u kovů jsou vrstvy k sobě svařeny [1].

Speciální požadavky

Podpěry nejsou vzhledem k metodě zapotřebí, zato musíme model oddělit a očistit od odpadního materiálu. U papíru je po čištění nutné tištěnec natřít, aby se do modelu nedostala vlhkost, která by způsobila jednocentní nárůst objemu a možné narušení kohezivní vrstev. Vzhledem k používání vysokých teplot při spojování vrstev je často nutné mít k dispozici vodní chlazení [1].

Pojem LLM je často zaměňován za zkratku LOM, Laminated Object Manufacturing. Zajímavostí je, že tento název je registrovaná ochranná známka společnosti Helisys, a proto ho nelze používat jako obecné pojmenování této metody [1].

Aplikace v průmyslu

Vysoká pevnost v tlaku je činí velmi dobrou volbou pro výrobu patrice na odlévání do pískové formy nebo u vakuového lití. U odlévání do pískové formy jsou alternativou pro patrice vyrobené ze dřeva pomocí CNC [2].

Jsou tepelně poměrně odolné, a proto je můžeme využít i v procesech tváření za tepla. Vyrábí se z nich forma, podle které můžeme ohnout a vytvarovat různé plasty, např. polypropylen, polykarbonát, ABS a další [2].

Výhodou je možnost rychlé výroby velkých, plných modelů (bez mnoha otvorů) nebo modelů s velmi tlustými stěnami. Kromě zmíněného se využívají pro výrobu funkčních prototypů a koncepčních modelů [2].

Odpad

Na jednu stranu může být materiál pro tisk velmi levý, jako je ku příkladu papír, na druhou stranu ale můžeme dosahovat míru odpadního materiálu až nad 90 %³.

Smrštění

Záleží na použitém materiálu. Kovy a keramika se smršťují až od 12% do 18 %³.

4.2.4 Tiskárny 3DP a jejich potenciál, využití a vlastnosti

Příklady firem vyrábějící LOM tiskárny dostupné na českém trhu

3Dees Industries s.r.o. (www.3dees.cz)

Additive Systems s.r.o. (www.additivesystems.cz)

Specifikace

Vrstvy prášku se nanášejí do výšky zhruba 100 až 170 μm . M-lab uvádí, že je schopný nanášet i pouhých 50 μm [1]. Výsledná výška vrstvy se může samozřejmě měnit vlivem smršťování a pozdějších úprav.

Další specifikací je přesnost umístění kapky pojiva do prášku, která odpovídá zhruba 25 μm [1].

Materiál

Teoreticky můžeme uvažovat, že rozsah volby materiálů je neomezený, neboť ve výsledku vše závisí na vlastnostech pojiva. V praxi však narazíme na častou nedostupnost kombinace materiálu a pojiva, které potřebujeme. Navíc jsou velmi běžně vyráběny a prodávány přímo dodavateli samotných tiskáren. Jako příklad si můžeme uvést VisiJet® PXL™, což je kompozit nabízen společností 3D Systems, Inc [1].

Vytisknutý model je velmi pórovitý a křehký. Proto je infiltrován např. voskem, epoxidovou pryskyřicí, na bázi celulózy a dalšími. To mu dodává jeho specifické mechanické vlastnosti, které ale nevíme dopředu jaké přesně budou. Můžeme předpokládat zvýšení pevnosti atp., ale nejsme schopni stanovit konkrétní čísla. Proto se výtisky testují a případně doupravují [1].

Speciální požadavky

Tato metoda nemá žádné speciální požadavky. Je rychlá, nenáročná, ale nepřesná.

Aplikace v průmyslu

Vzhledem ke způsobu, jakým je model vytvořen, je celkem nepřesný a jeho povrch neuhlazený. Proto je vhodný především na demonstraci jako koncepční model, neboť můžeme tisknout v mnoha barvách, tisk může být až desetkrát rychlejší než u ostatních aditivních technologií, a tak můžeme vizualizovat nápad velmi rychle a v případě potřeby i dynamicky upravovat.

Se správnou infiltrací nemusíme zůstat u koncepčních prototypů, ale vyrábět i funkční výrobky. MIT má licencovanou metodu na tisk kovových částí, konkrétně jimi tiskne např. nástroje nebo jádra na slévání [1].

Odpad

Co se týče odpadních produktů, nevyužitý prášek je recyklován a může být opakovaně použit při dalších tiscích [12]. Při podrobnějších zkoumání využitelnosti zbytkového prášku na Oregonské státní univerzitě vyšlo, že při 16-tinásobné recyklaci prášku SS 316L odpovídal odpadní materiál 4 vol % [20].

Smrštění

Zcela závisí na použitých materiálech a jejich různých kombinacích s pojivky, u kterých může být míra smrštění navzájem diametrálně odlišná.

4.2.5 Tiskárny SLS a jejich potenciál, využití a vlastnosti

Příklady firem vyrábějící SLS tiskárny dostupné na českém trhu

3Dwiser s.r.o. (www.3dwiser.com)

Protocom s.r.o. (www.protocom.cz)

cotu s.r.o. (www.cotu.cz)

CADMIApriint s.r.o. (eshop.cadmiaprint.cz)

ELVIRA, spol. s r.o. (www.abc3d.cz)

Specifikace

Vana s práškem připraveným k tisku se pohybuje o krok vysoký 50 až 200 μm . Vytiskované modely mají skvělé mechanické vlastnosti podobné vstřikovaným dílům. Můžou dosahovat velikosti až 550 x 550 x 750 mm [21].

Materiál

Vzhledem k tomu, že u SLS nedochází ke spojení pojivem, nýbrž natavením materiálu, je potřeba, aby byl termoplastický (při určité teplotě se začne chovat plasticky nebo až kapalně a při vychladnutí se opět vrátí do původního pevného stavu). Těmi jsou plasty, kovy, sklo, některé kompozity i keramika.

Nejčastěji používaným materiálem je nylon, který vydrží různé vnější vlivy (vlhkost, UV záření, atp.) včetně mechanických porušení, aniž by přitom zasahoval do životního prostředí. Je vhodný na výrobu funkčních dílů, které máme v plánu využívat v delším časovém období [21].

Speciální požadavky

Kromě nutného post-processingu v případě použití např. podpěr, které je nutné odstranit, tento proces nevyžaduje žádné speciální kroky navíc. Je ale důležité brát v potaz k čemu chceme daný výtisk využívat. Během tisku se totiž na finální model přichytávají kvůli vysoké teplotě i okolní částice prášku, které vytvářejí drsný povrch. Při aktivním používání výtisku se tedy může stát, že se tyto částičky odtrhnou a způsobí nenávratné škody, ať už na stroji nebo na zdraví. Další překážkou může být oxidace materiálu během tisku. Tomu se zabraňuje tiskem v uzavřené atmosféře tvořené dusíkem, což ale zvyšuje náklady na provoz a činí celý proces složitějším [1].

Aplikace v průmyslu

Výtisky z plastu se využívají jako geometrické i funkční prototypy, např. nylon se využívá i pro sériovou malovýrobu [32]. Kovové jsou použity jako funkční prototypy, nebo i finální produkty v procesu obrábění, a to na výrobu břitových destiček, nástavců, apod. [1]

Odpad

Nezpevněný prášek může být znovu použit ale ne ze 100 % (a někdy i pouze 30%) [1]. To je způsobeno tím, že teplo z laseru ovlivní mechanické vlastnosti i okolních nepoužitých částic. Ty se ale dají využít na tvorbu FFF² filamentů [23].

„Průměrná hmotnost stavěcího materiálu pro SLS je 20 kg a 25 % z tohoto prášku je odpad. Tudíž 5 kg prášku je vyplýváno za každý tisk. Tento prášek stojí 180 \$ za kg, takže 900 \$ za každý tisk. FFF nylonové filamenty stojí průměrně 100 \$ za kg, proto vychází navrácení 500 \$ za každý tisk.“ [23]

Smrštění

Nejčastěji se pohybuje kolem 3 až 3,5 %, ale záleží opět na konkrétním materiálu. To se řeší celkovým objemovým procentuálním zvětšením CAD modelů [33].

² Fused Filament Fabrication

5. Ekonomické aspekty zavádění aditivních technologií do průmyslu

V roce 2021 byla velikost globálního trhu aditivních technologií ohodnocena na 13,84 miliardy amerických dolarů a do roku 2030 se očekává jeho 20 % nárůst [22]. Všechny dosavadní čísla i zkušenosti poukazují, že 3D tisk bude čím dál víc využíván, ať už v průmyslu nebo mimo něj.

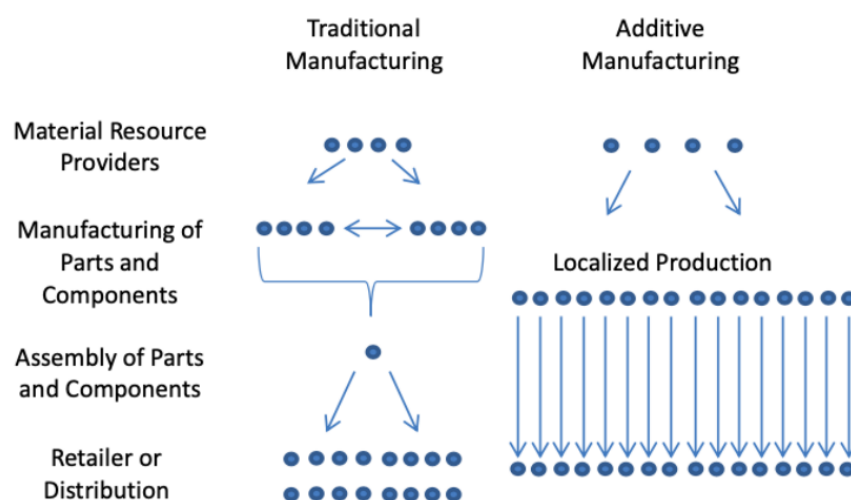
Můžeme si určit dva hlavní přístupy k využití aditivních technologií ve firmě:

1. Firmy nakupují přímo 3D tiskárny a tisknou produkty sami
2. Firmy posílají design a CAD modely a nechávají si vyrábět produkty externě

V této práci se budu zaměřovat na první variantu.

5.1 Dodavatelský řetězec

Dodavatelský řetězec kompletně zajišťuje efektivní dodání produktů od dodavatelů, plánování, předpovědi, zásoby a logistiku [24]. Při zavedení 3D tiskáren do průmyslové firmy jsme schopni si produkty vyrobit sami (lokálně) a snižují se tím náklady na dopravu. Vyrábíme jen v potřebném množství, tím pádem nutnost zásobování mizí. Vše nakonec v ideálním případě směřuje pouze k dodávání materiálu k tisku (viz obr. 8).



Obr. 8 Porovnání tradičního a aditivního dodavatelského řetězce [24]

5.2 Cena 3D tiskárny

U aditivních technologií bývá největším výdajem cena za stroj, i když to nemusí platit vždy. Při rozpočítávání nákladů a uvažování o výhodnosti zavedení tohoto typu stroje do průmyslové výroby musíme každé potenciálně vyrobené součástce přiřadit výdaj za tiskárnu. Hopkinson a Dickens (2003) počítají s tím, že tiskárna má životnost 8 let, během této doby nedochází k poruchám a přístroj pracuje 90 % času. Cenu za tiskárnu tedy pro jeden rok vydělíme osmi, a následně ještě dělíme počtem vyrobených součástek. Energie spotřebované na provoz se pohybují kolem 1 %, a proto se do odhadů nezahrnují [25].

I když pro jednoduchý odhad, zda-li má pro naši společnost vůbec smysl uvažovat o nákupu 3D tiskárny, je tento model dostačující, při podrobnějším zkoumání je třeba zahrnout i následující faktory

- vybavení stroje a jeho opotřebenání (př. nástroj se otupí, snižuje se mu výkon, aj.)
- údržba stroje (opravy, nájem, technik, příp. energie, chceme-li je zahrnovat)
- hardware a software stroje
- obsluha stroje a zaučování pracovníků
- připravení stroje k tisku a následný post-processing
- umístění stroje a nájem

5.3 Čas

Při porovnání doby připravení stroje k tisku u konkrétní součástky vyšla tato čísla

- SLA: 33 min²⁴
- FDM: 10 min²⁴
- SLS: 120 min²⁴

To nemusí nutně sloužit jako pevně daný čas, který bude očekávat i nás, ale spíše pro vzájemné porovnání daných technologií, ze kterého například vyčteme, že příprava na SLS může být až 12krát delší než na FDM.

Dalším aspektem je téměř nevyhnutelný post-processing. Doba jeho trvání (opět pro danou testovací součástku) vyšla u technologie

- SLA: 49 min ²⁴
- FDM: 60 min ²⁴
- SLS: 360 min ²⁴

Když to porovnáme s předchozími čísly, technologie SLA a FDM vychází časově velmi podobně, zatímco SLS dále zůstává jako nejpomalejší technologie z výše uvedených.

Všechn čas vložený do přípravy a post-processingu je finanční náklad za plat zaškoleného pracovníka (resp. rozpočítání jeho platu za čas strávený na výrobě jednoho výrobku).

V neposlední řadě je důležité si pečlivě rozmyslet, kolik hodin v roce bude stroj skutečně využíván. Může se stát, že tiskárna nebude tolik využívána a k návratnosti dojde až po mnoha letech. To už nemusí být tak výhodná investice, jak se na začátku mohlo zdát. Avšak velký vliv hraje doba dodání potřebného výrobku. Firmy často čekají na dodavatele i 6 měsíců, zatímco na své vlastní tiskárně by si výrobek mohli vytisknout hned. Nákupem tiskárny tak vlastně kupují čas. Nesmíme ale zapomenout, že pro tisk pomocí aditivních technologií stačí oslovit externí firmu, která to vytiskne za nás a mnohdy to může být výhodnější než nákup samotné 3D tiskárny.

5.4 Materiál a množství

Pro většinu aditivních technologií platí, že nemají téměř žádný odpadní materiál. Cenu za výtisk můžeme proto počítat pomocí jeho objemu. Pokud jsou na vytištění potřebné podpory, nesmíme jejich objem (cenu) zapomenout zahrnout.

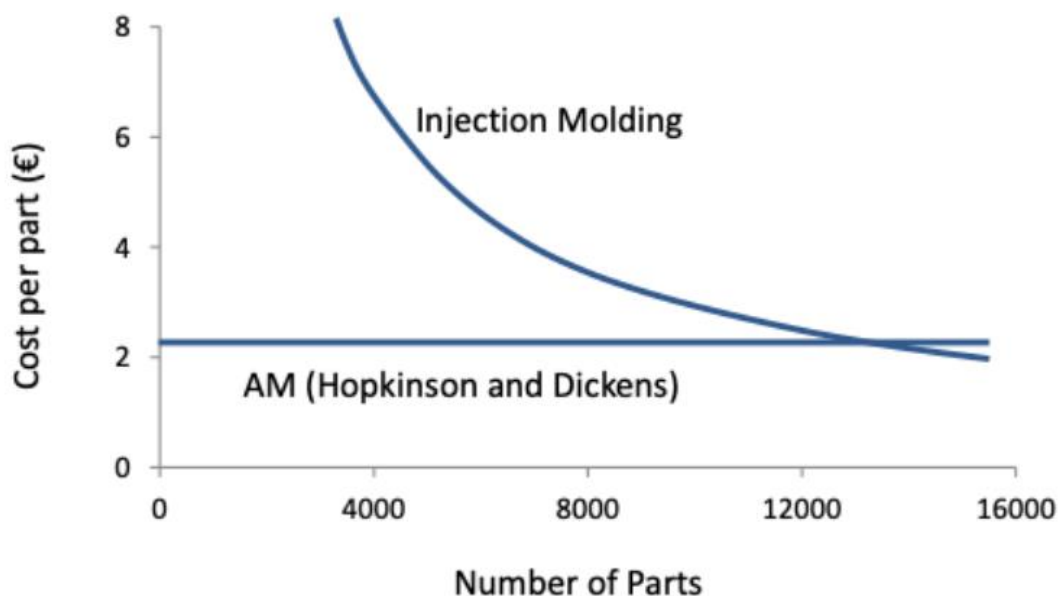
Mnoho výrobců 3D tiskáren prodává ke svým tiskárnám i své vlastní materiály. Tiskárny jsou přitom naprogramované tak, že pokud do nich vložíte jiný materiál, než od dané firmy, stroj se nespustí. A nejen to, můžete tím dokonce porušit licenční práva. S touto neflexibilitou je potřeba se předem seznámit a počítat s ní (případně vybrat flexibilnější variantu).

Dále by mělo dojít k plánování počtu výtisků za rok včetně výrobního potenciálu, aneb kolik výrobků jsme schopni za rok vytisknout, pokud zahrneme všechny časové i finanční výdaje s tiskem spojené.

Od jakého počtu výrobků se vyplatí aditivní technologie - nebo spíš do jakého?

Vyrábět konvenčním způsobem v malém množství se obvykle nevyplatí. Proto je tento způsob výroby tak úzce spjatý s velkovýrobou, velkými sklady, velkými zásobami, velkou dopravní infrastrukturou, apod. Přizpůsobitelnost nás však sblíží se zákazníky, umožňuje vývoj a pokrok, včetně efektivnějšího přístupu k problémům. Zde nastupuje aditivní technologie, která se vyplatí právě při malovýrobě, příp. středně velké výrobě.

Přehledným zhodnocením, do jakého množství se nám vyplatí použít některou z 3D tiskáren a od jakého množství už je výhodnější využít konvenční metody, může být dvojrozměrný graf. Na osu x vyneseme počet kusů, na osu y cenu za kus při daném množství. Křivka znázorňující aditivní technologie se dá zjednodušit na lineární čáru rovnoběžnou s osou y, neboť nijak neuspóříme vyráběním velkého množství [25]. Křivka popisující konvenční způsob bude připomínat klesající hyperbolu. Tam, kde se nám obě křivky protnou, vzniká naše hranice (viz graf 1). Nalevo od tohoto průsečíku je výhodnější 3D tisk, napravo konvenční způsob. Průsečík může vzniknout v řádu desítek i desetitisíců kusů.



Graf 1 Srovnání aditivní technologie (AM) s konvenční metodou vstřikování [25]

6 Výhody, nevýhody a trendy zavádění 3D tiskáren do průmyslu

Aditivní technologie nejsou přímým vylepšením stávající technologie, nýbrž rozlišně přistupují ke stejnému cíli. Stejně jako nestvoříme perpetuum mobile, ani v průmyslu nenajdeme systém, který by byl ideální a zcela přímočarý ve splnění všech našich požadavků. Proto v této kapitole uvedu soupis nejčastěji zmiňovaných výhod a nevýhod zavádění 3D tiskáren do průmyslu.

6.1 Výhody

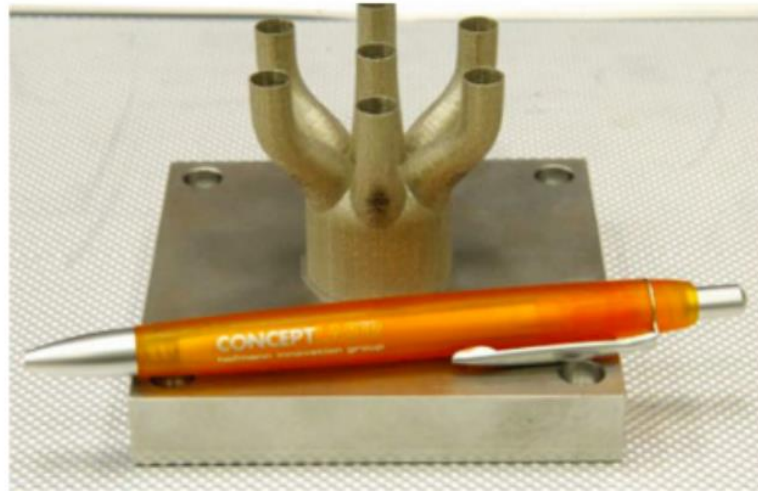
6.1.1 Úspornost

Při konvenční způsobu výroby se často jedná o vysokou počáteční i provozní investici. I na výrobu velmi jednoduchých součástí obvykle potřebujeme poměrně výkonné stroje, které jsou drahé na pořízení a na jejich provoz náročné v ovládnání a nastavení, spotřebě elektřiny či údržbě. Aby se provoz továren vyplatil, vyrábí se velké množství stejných výrobků. Ty je potřeba někde uschovávat, což zvyšuje náklady spojené s pronájmem (nebo vlastněním) skladiště. Nutno zmínit, že čím déle předmět někde leží nevyužitý, ztrácí zpravidla svoji původní hodnotu. Zprvé může zreznout, deformovat se, vlhnout či být jinak chemicky nebo mechanicky znehodnocen. Zadruhé ho může časem nahradit jiný, lepší výrobek, až může být tento náš uskladněný buď podhodnocený, nebo přinejhorším i zcela neprodejný pro nezájem na trhu.

Aditivní technologie zde nabízí elegantní řešení. Potřebné součástky či hotové předměty se tisknou ve chvíli, kdy je potřebujeme, v množství, které využijeme hned. Nutnost obřích skladišť pro nevyužitá výtisky neexistuje, u aditivních metod stačí zpravidla skladovat pouze materiál.

6.1.2 Komplexita

Velká váha 3D tisku se příkládá tisku velmi komplexních produktů, které jsou konvenčními metodami buď velmi náročné na výrobu nebo se tak vůbec vyrobit nedají.



Obr. 9 První testovací raketový vstřikovač (NASA) [2]

Příkladem může být raketový vstřikovač společnosti NASA (viz obr. 9) vyrobený metodou SLM (selektivní laserové tavení). NASA udává, že tradiční výrobou měl vstřikovač 115 dílů, zatímco vstřikovač vyrobený aditivní technologií pouze dva [2].

Velký rozdíl mezi konvenční a aditivní technologií je jejich vztah mezi komplexitou a cenou. V prvním případě roste zpravidla se složitostí i cena výrobku. Aditivní tiskárně však “nezáleží” na složitosti, hlavní vztah je mezi cenou a množstvím materiálu potřebném na výrobu výtisku.

6.1.3 Přizpůsobivost

V návaznosti na úspornost zmíněnou v bodě 6.1.1 je potřeba zmínit i možnost přizpůsobení každého produktu podle požadavků zákazníka. Velké množství výroby stejných součástí nechává jejich případnou úpravu na samotném kupci nebo drasticky zvyšuje prodejní cenu. S tímto problémem se můžeme setkat napříč všemi průmyslovými obory. Aditivní tiskárně “stačí” nahrát ten správný soubor a, pokud bychom to hodně zjednodušili, tím příprava končí. Je to samozřejmě za předpokladu, že různé varianty spočívají pouze ve tvaru a materiál je u různých variant buď stejný nebo je tiskárna vybavená tiskem různými materiály a jejich suplementace je časově zanedbatelná.

Při vývoji nového produktu musíme počítat s tím, že první verze není i finální. Je třeba vyrobit prototyp, opakovaně ho testovat a dynamicky ho upravovat pro dosažení vytyčených cílových vlastností, ať už se jedná o vzhled, tvar nebo v neposlední řadě

funkčnost. Aditivní technologie umí nejen vytvořit prototyp rychle, ale dává vývojáři možnost dynamické reakce na jeho nedostatky.

6.1.4 Rychlost

Výroba tradičním způsobem je často velmi pomalá, především u komplexních výrobků. Souvisí to s velkým objemem výroby, neboť ten vede k centralizaci produkce do velkých továren. Každá továrna se soustřeďuje jen na určitou oblast ve výrobě, proto si jednotlivé meziprodukty musí posílat buď navzájem, nebo k nám, konečnému odběrateli, který meziprodukty spojí ve výsledný finální produkt. Doprava je pomalá, nemluvě o znečišťování životního prostředí. Stačí přitom, aby výroba jediného meziprojektu měla časovou prodlevu, a celý projekt má zpoždění. V mnoha literaturách a reportážích je zmíněné zkrácení času výroby produktů z řádu měsíců na řád dní při nahrazení tradiční výroby aditivní technologií, ať už díky nezávislosti na dodavatelích nebo pro jednoduchost výroby komplexního předmětu.

Inovace a jejich zrealizování, včetně hledání investorů, významně závisí na prezentaci. Možnost prezentovat inovaci ve fyzické podobě, na které lze jeho funkci vyzkoušet a představit, je velkou předností oproti teoretickým prezentacím v podobě programů a grafů. Nutno podotknout, že vzhledem k velikosti konkurence je proražení na trh závod s časem. A zkrácení času z měsíců na dny umožňuje silnou konkurenceschopnost.

6.1.5 Udržitelnost

Pokud se na problematiku podíváme z pohledu využití materiálů, je mnohem výhodnější (a ekologičtější) materiál pokládat přesně na ty místa, kde ho potřebujeme mít, než začínat blokem materiálu a postupně ho ukrajovat do požadovaného tvaru. Další výhodou je, vzhledem k metodám 3D tisku, že nevyužitý materiál je v podstatě vždy možno recyklovat.

Možnost rychlého výtisku teoreticky jakékoliv součástky umožňuje rychlou opravu při poruše stroje. Pokud dojde v domácnosti k poruše například pračky (nebo podobného stroje denní potřeby) a technik oznámí, že čekací doba na náhradní díl je v řádu měsíců (a také je takový díl obvykle drahý), je velmi pravděpodobné, že se domácnost rozhodne pro nákup nové pračky. To negativně přispívá ke konzumnímu

neekologickému způsobu života. Nefunkční pračku nebude lehké prodat a většina vyřazených kusů proto končí na skládce. Recyklace je velmi omezená a výroba celé nové pračky zatíží životní prostředí nanovo. Vracíme se tím k výrobě mnoha kusů zboží najednou, tím pádem výparů z továren, následné přepravování jednotlivých součástí pračky, neboli znečišťování dopravou jak pozemní, lodní tak i leteckou, následně montáž, následně další přeprava do centrály, do velkoobchodů, do maloobchodů, a tak dále. Celý tento cyklus by přitom mohl být nahrazený vytištěním komplexního náhradního dílu některou z metod 3D tisku za rychlejší časový úsek a nižší cenu, což by zvrátilo nutnost nefunkční pračku vyhodit.

Kromě zmíněného se přechází na používání ekologických materiálů, pokud je to možné.

6.1.6 Přístupnost

Výhoda 3D tiskáren je, že všechny mají pro tisk stejný formát, kterým je STL, zatímco neaditivní technologie mají každá svůj vlastní programovací jazyk [1]. Tím pádem můžeme pro výrobu využít jakékoliv CAD modely, které jsou nám dostupné (ať už interně v rámci společnosti nebo na internetu). Pokud máme součást fyzicky, ale nemáme k ní příslušný CAD model, můžeme ho získat pomocí 3D skenů (vyhotovených např. pomocí CT³).

6.2 Nevýhody

6.2.1 Limitace tvaru

3D technologie mají geometrická omezení specifická pro každou metodu tisku. Jedním z nich je tisk dutých objektů. Pokud je nahoře uzavřen vrchlíkem, neměl by vzniknout žádný problém, zvolíme-li vhodnou metodu (zde např. FDM). Pokud se ale jedná o dutou krychli, není jak vytisknout horní stěnu, protože zespodu není ničím opřena. Samozřejmě by bylo možné ji vytisknout například pomocí stereolitografie nebo metodou 3DP, ale dutina krychle by zůstala naplněná pryskyřicí, resp. pískem. Za předpokladu, že by nám nevadilo porušení integrity jedné ze stěn, by se problém dal obejít vytvořením malého otvoru na vylití pryskyřice (vysypání písku) po dokončení tisku ven. Díra by však

³ Computer tomography

musela být dostatečně velká a nejspíš bychom potřebovali tekutinu (písek) i odsát, aby žádná nezbyla uvnitř výtisku.

Dalším příkladem limitace tvaru může být vysoká detailnost. Každý CAD model musíme slicovat⁴ a tloušťka slicu je dána rozlišením tiskárny. Vyšší detailnost než je rozlišení tiskárny může vyústit v kompletní ztrátu detailu, neboť ho tiskárna „nevidí“.

6.2.2 Komplexita na úkor jednoduchosti

Aditivní technologie otevírají sice možnosti tisku komplexních předmětů, ale mají zavřené dveře k výrobě zcela jednoduchých tvarů. Vyrábět např. plný kvádr se 3D tiskem rozhodně nevyplatí.

6.2.3 Riziko požáru

Aranda (2018) zmiňuje, že se dostatečně neupozorňuje na vysokou pravděpodobnost vzniku požáru. Za hlavní rizika uvádí, že tyto stroje pracují na vysokém výkonu, neustále se pohybují, pracují mnoho hodin v kuse a obsahují velké množství drátů, které se mohou porušit.

6.2.4 Jedovaté výpary

Jak bylo zmíněno například u technologie stereolitografie, některé látky jsou toxické. Můžou být jedovaté na dotek i při vdechnutí jejich výparů. Proto je třeba se vždy pečlivě informovat o každém materiálu, se kterým máme v plánu pracovat, protože je v určitých případech třeba postavit izolovanou místnost na tisk.

6.3 Trendy

6.3.1 Lokální výroba

Jednou z myšlenek je, aby byly firmy co nejvíce soběstačné a snížily své výdaje nejen na uskladňování, ale i na dopravu. Jde to ruku v ruce se zvýšením ekologičnosti celého výrobního systému. Pokud má každá firma svou 3D tiskárnu (nebo lokálního výrobce produktů pomocí aditivní technologie), není potřeba objednávat přílišně velké

⁴ Od slova *slice*, anglicky vrstva, horizontální rozříznutí počítačového modelu na jednotlivé tisknutelné vrstvy

objemy produktů a nechat si je dovážet z obrovských, a obvykle hodně vzdálených továren. Můžeme se omezit na množství, které skutečně potřebujeme. To šetří přírodu energeticky, množstvím odpadu i nižším znečištěním ovzduší a životního prostředí.

6.3.2 Recyklace

Základní metodou výroby u aditivních technologií je umisťovat materiál jen tam, kde vzniká výsledný produkt. Má to stejné ekologické následky, jako jsou uvedeny o odstavci výše, jen z trochu jiného pohledu.

Kromě toho je snaha o znovupoužití nevyužitého materiálu. Vezmeme-li v potaz například technologii 3DP, je v našem nejvyšším zájmu nevyužitý prášek znovu použít. Jiné technologie mohou vyžadovat třídění pro možnost znovupoužití a je na konkrétním zvážení, zda-li se to časově a finančně vyplatí.

6.3.3 Rozšíření do ostatních oborů

Aditivní technologie jsou momentálně v procesu velkého bádání. Zkouší se, jaké mají hranice a pronikají do rozličných oborů. Zde vyjmenuji pár nevšedních příkladů aplikace 3D tisku:

- Vytváření děr o velmi malém průměru
- Výroba chirurgických nástrojů na odstranění nádoru
- Analýza implantátu v páteři
- Rukavice na ulevení od bolesti a stresu
- Výroba dentální korunky
- Tisk místností a budov

7 Praktická část

V praktické části bakalářské práce budu zkoumat aktuální situaci na českém trhu pomocí dotazníku. Jeho výsledky a výstupy mají sloužit informačně a také nápomocně pro zájemce o zavedení aditivních technologií do vlastních průmyslových firem.

Kromě šetření dat poukážu na srovnání teoretických znalostí se získanými praktickými a uvedu modelový příklad pro výpočet nákladů při zavedení 3D tiskárny do průmyslové společnosti.

7.1 Mapování reálné situace v oblasti aplikace 3D technologií v průmyslu na českém trhu pomocí šetření dat

Mapování reálné situace jsem provedla pomocí dotazníku. Kontaktovala jsem pouze české průmyslové firmy, které si 3D tiskárnu pořídily. Mnoho firem sice využívá aditivních technologií, ale externě. V mé práci se chci zaměřit na přímé uživatele 3D tiskáren a co všechno s sebou nese jejich nové zavedení do průmyslové výroby.

Cílové firmy jsem nacházela především pomocí případových studií českých dodavatelů 3D tiskáren. Oslovila jsem celkem 38 českých firem, získala zpět 22 zodpovězených dotazníků, 3 nevhodné kandidáty a 13 dotazovaných zůstalo bez odezvy. Nevhodní kandidáti byly firmy, u kterých nešlo o zavedení 3D tiskárny do jinak konvenčně vyrábějící společnosti, ale fungování od začátku pouze pomocí aditivních technologií, což nebyla má cílová skupina. Při odečtení nevhodných kandidátů vychází návratnost zhruba 63%. Dotazovaná skupina je ve výsledku poměrně malá, a tak je vidět, že český trh má ještě mnoho prostoru na rozšiřování potenciálu aditivních technologií v průmyslu.

7.1.1 Dotazník

Obecně je při tvorbě dotazníku cílem zmenšit na minimum riziko, že zainteresovaný respondent přestane v určitém bodě dotazník vyplňovat. Jedna věc je získat ochotu na vyplnění, a druhá je skutečně získat odpovědi. Důvodů, proč můžou dotazovaní ztratit zájem, je celá škála. Já jsem se zaměřovala na stručnost a kladení pokud

možno co nejméně otázek, tak abych ale byla schopná z nich vyvodit co nejvíce informací.

Dalším aspektem pro nezájem může být nesrozumitelnost nebo „nesmyslnost“ položených otázek, aneb dotazovaný dostane pocit, že otázky postrádají význam a není možno z nich vyvést zajímavé nebo přínosné výsledky. Pak ztratí veškerou motivaci se tím dále zabývat.

Dbala jsem na vyhnutí se dotazů na konkrétní čísla. Pokud mě zajímala změna ceny, zkoumala jsem, zda se výrazně zvýšila, výrazně snížila, nebo zůstala stejná. Vzhledem k tomu, že nehrálo žádný význam, zda-li se snížila o 30 % nebo 40 %, otázka tohoto rázu by jen brzdila odpovídání nebo mu úplně zabránila. Většina firem nevede podrobná data o všech otázkách, které pokládám, a pokud ano, nemusí je chtít sdílet. Proto jsem uznala za vhodné se jim vyhnout.

Abych zvýšila pravděpodobnost odezvy, kontaktovala jsem firmy telefonicky (pokud to bylo možné). Ať už jsem se k nim obracela písemně či ústně, velmi stručně jsem se představila, vysvětlila důvod, proč je kontaktuji a především se zeptala, zda-li jim dotazník smím poslat. Díky tomu jsem získala okamžitou zpětnou vazbu o doručení zprávy i o ochotě vyplnění. Nikdo mi neřekl, že dotazník mohu poslat, ale aby mi ho posléze nevyplnil.

Součástí mého představení bylo i seznámení s dotazovaným o lhůtě pro vyplnění a odeslání dotazníku. Z mé zkušenosti jsou korespondenti ochotní nejen dodržet navrhovanou lhůtu, ale z vlastní iniciativy proces uspíšit, pokud mají od žadatele rozumné odůvodnění. Z mé strany se jednalo o nutnost včasného vyhodnocení odpovědí. Dotazovaní přistoupili ke lhůtě s velkým pochopením a vyplňovali dotazník obvykle ten samý, nebo případně hned následující den.

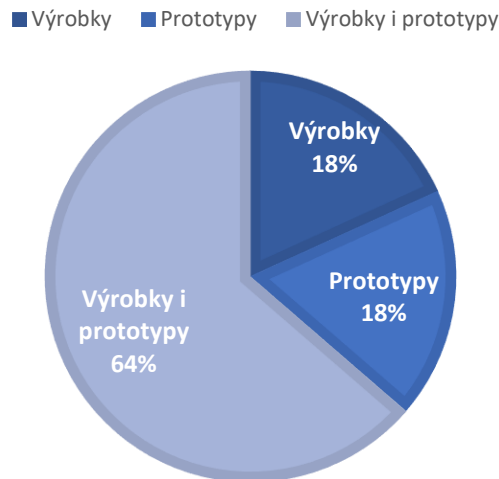
Aby byl dotazník co nejdostupnější, vytvořila jsem ho online pomocí Google Forms a zvolila, že žádné dotazy nejsou povinné. Výsledkem byl pocit volnosti při vyplňování a pouze v jediném případě došlo k nezodpovězení všech otázek. Zbylí respondenti vyplnili dotazník vždy celý, i když je k tomu nic nevážalo.

Vzor dotazníku k této bakalářské práci přikládám v příloze 1.

7.1.2 Analýza získaných dat

Využití 3D tiskáren

Ze získaných dat vyplynulo, že 64 % firem využívá 3D tiskárny na tisk výrobků i prototypů, zatímco 36 % volí jenom jednu z těchto dvou možností.



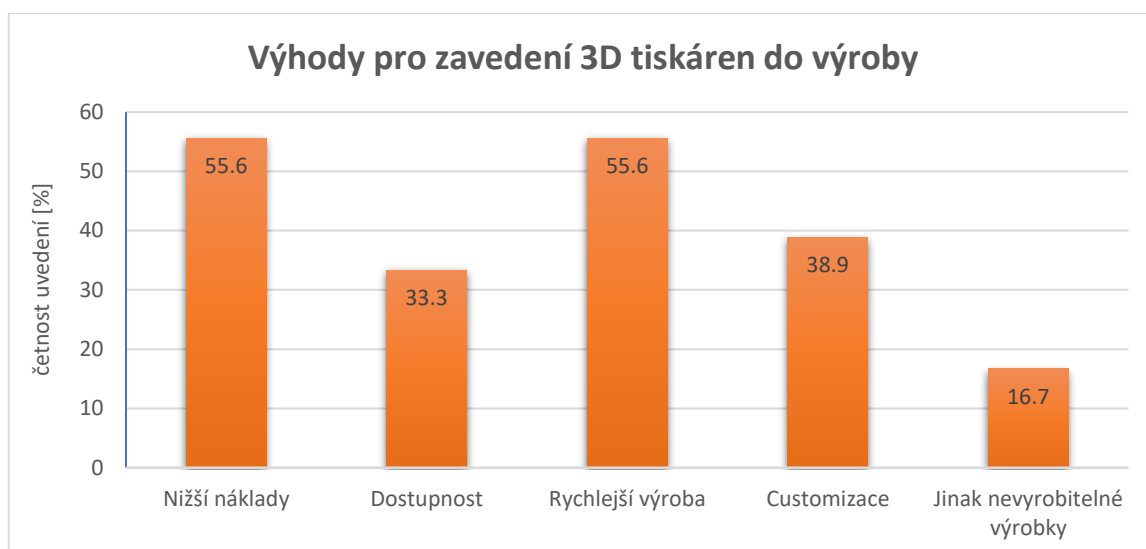
Graf 2 Využití 3D tiskáren

Mezi výrobky jsem podle teoreticky získaných znalostí očekávala pouze výrobu ojedinělých kusů či malovýrobu nebo středně velkou výrobu. Možnost zaškrtnout velkovýrobu byla přidána pro potvrzení tvrzení uvedených v literatuře, že jsou aditivní technologie k velkovýrobě stále nevhodné, až na výjimky. A výjimka se skutečně objevila, neboť 1 z respondentů tuto možnost zaškrtnul. Při uvažování zavedení 3D tiskáren do průmyslové firmy tedy není vhodné automaticky vylučovat možnost velkovýroby.

Procentuálně 44 % respondentů uvedlo malovýrobu či středně velkou výrobu, 50 % výrobu ojedinělých kusů a zbytek tvořila zmíněná velkovýroba. Mezi ojedinělými kusy byly upřesněny konkrétní příklady, kterými jsou pomocné nástroje, přípravky a jejich součásti, náhradní díly, předměty pro studijní účely, díly pro elektrodílnu a výrobní přípravky.

Výhody pro zavedení 3D tiskáren na tisk výrobků

Nejvíce uváděnými důvody pro zavedení aditivních technologií byly nižší náklady a rychlejší výroba než u konvenčních metod.



Graf 3 Výhody pro zavedení 3D tiskáren do výroby

Ani jeden z respondentů však neuvedl, že důvodem pro zavedení 3D tiskárny bylo docílení kvalitnějších produktů, i když 17 % z nich skutečně vyšší kvality dosáhlo. Velmi zajímavé je, že nikdo neuvedl jako výhodu zmenšení skladů a výdajů s nimi spojených, i když v literatuře je tento efekt uveden jako velmi podstatný a využitelný. Otázkou je, zda je to předpokládaný trend, na který teprve dojde, až bude možné aditivními technologiemi vyrábět mnohem objemnější množství produktů, než jsme schopni teď, nebo pro výrobní skladování není tak výrazný problém, aby se jim vyplatilo se na něj momentálně zaměřovat a řešit ho.

Zbýlé uvedené výhody, jako jsou dostupnost jinak nedostupných dílů (či dílů s dlouhou dodací lhůtou), vyšší možnost customizace nebo překonání omezení konvenčních metod, byly očekávané a potvrzují teorii.

Náklady, kvalita a cena

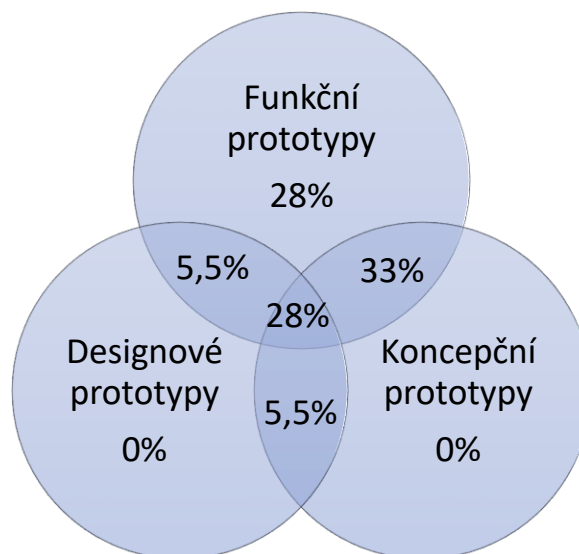
Zdá se, že firmy spíše upřednostňují vyšší profit za stejnou prodejní cenu před přestupováním do jiných úrovní trhu. Ze všech firem, které uvedly jako výhodu nižší náklady, totiž 33 % uvedlo i snížení ceny, tudíž možnost prostoupit do levnějšího trhu, ale nemalých 67 % uvedlo zachování prodejních cen, a tím pádem docílení vyššího profitu.

Kvalita přitom u většiny případů (84 %) zůstává stejná, jako při konvenčních způsobech výroby, případně je výrazně vyšší. Snížení kvality nebylo uvedeno ani jednou.

Celkem bylo uvedeno 74 % nezměněných cen, 20 % jejich snížení a jeden případ zvýšení.

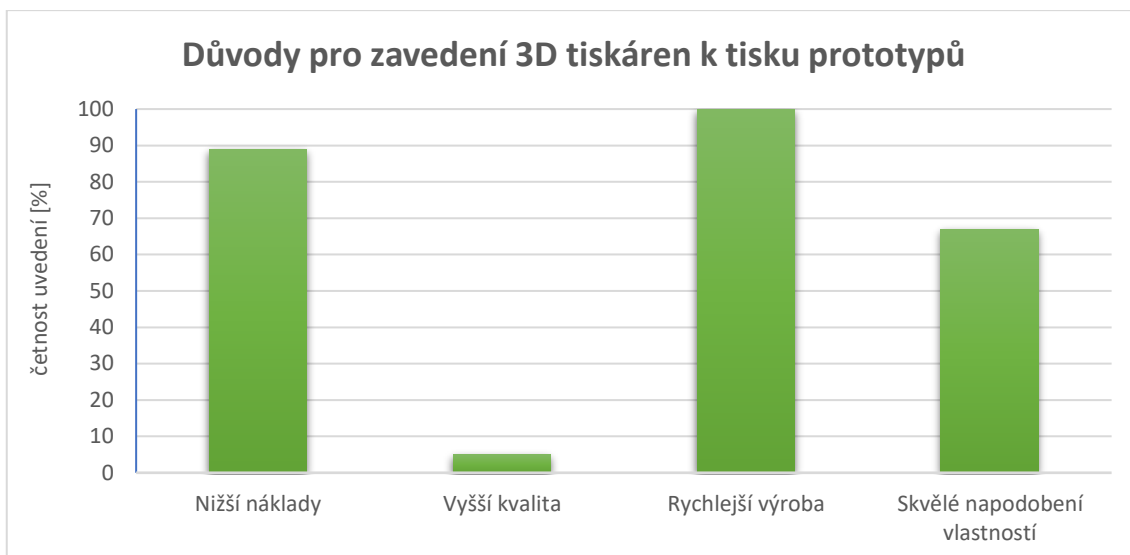
Prototypy

Kromě jediné výjimky, všichni, kdo využívají aditivní technologie pro výrobu prototypů, tisknou prototypy funkční. 66,5 % pak uvedlo tisk koncepčních prototypů a 39 % designových.



Graf 4 Vennův diagram pro znázornění využití tisku prototypů ve firmách

Všichni respondenti uvedli, že důvodem pro zavedení 3D tiskáren je rychlejší vyhotovení prototypů. Konvenčními metodami trvá dodání prototypů v řádu týdnů či dokonce měsíců, zatímco u aditivních technologií mluvíme o pouhých dnech nebo i hodinách. Pouze v jednom případě bylo zmíněné zvýšení kvality. Hned za zrychlením následují nižší náklady a zhruba dvě třetiny dotazovaných potvrdilo skvělé napodobení mechanických a/nebo vzhledových vlastností finálního produktu (viz graf 5).



Graf 5 Důvody pro zavedení 3D tiskáren k tisku prototypů

Velmi zajímavým komentářem od jednoho respondenta bylo zmínění zavedení aditivní technologie do výroby pro nedostatek specialistů u konvenčních metod. S klesajícím počtem studentů, jak je tomu například na fakultě strojní ČVUT, by mohlo časem dojít k ještě většímu prohloubení tohoto problému a častějšímu uchýlování se k využívání 3D tisku.

Využívané technologie 3D tisku v ČR

Nejrozšířenější metodou využívající 62 % respondentů je FDM. Za ní byl z 29 % uveden 3DP, 24 % využívá SLS, 14 % SLA a nakonec dvě ojedinělé zmínky FFF+CFF⁵ a SLM/DLMS⁶.

Drtivá většina (95,5 %) uvedla, že na obsluhování 3D tiskáren je potřeba zaškolení pracovníků. Je třeba si jej proto při pořízení naplánovat. Zaškolení často nabízí i samotný dodavatel 3D tiskárny (za určitý poplatek). Je sice možné nechat pracovníka se zaškolit samotného pomocí návodů od dodavatele či z internetu, ale otázkou je, zda-li nebude výhodnější zaplatit vzdělání externě, než proplácet hodiny, kdy pracovník nebude pracovat a bude se místo toho samovzdělávat s velmi nekonkrétní časovou vyhlídkou pro dokončení.

⁵ Fused Filament Fabrication + Continuous Filament Fabrication

⁶ Selective Laser Melting/Direct Metal Laser Sintering

Komplikace, náhradní díly a ekologičnost

Velmi pozitivní byla 100 % zpětná vazba, že výdaje spojené s post-processingem byly přesně takové, jaké byly očekávány. Poukazuje to na dobrou informovanost – s největší pravděpodobností ze strany dodavatelů.

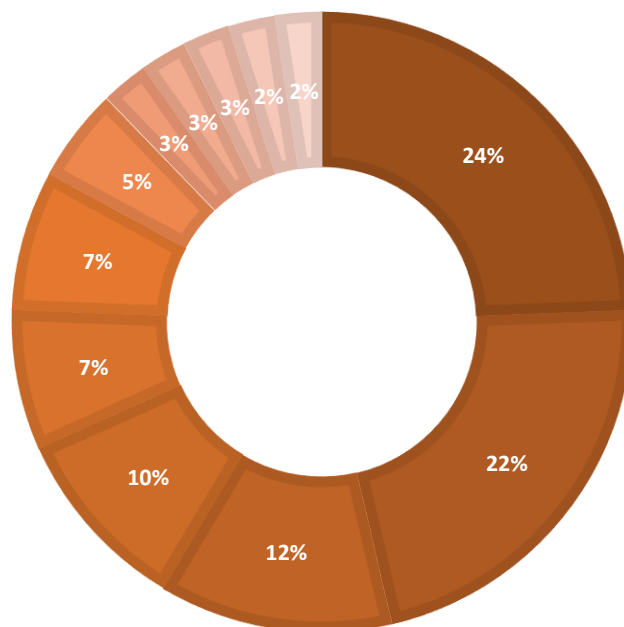
Některé tiskárny jsou navrženy tak, aby bylo možné si tisknout náhradní díly při jejich poruše. Nejedná se však o výhodu rozšířenou mezi všemi tiskárnami, a tak této výhody využívá momentálně 41 % respondentů.

Přestože aditivní technologie je neustále popisována jako velmi rychlá technologie (u tisku prototypů se o něm hovoří jako o *rapid prototyping-u*) a rychlost tisku a šetření časem je zmiňována snad v každém článku a případové studii, tak nejvíce zmiňovanou komplikací byla právě příliš dlouhá doba tisku, kterou uvedlo 46 % respondentů. Byť oproti konvenčním metodám je možné mít „na stole“ model už další den, může to také znamenat 24-hodinovou dobu tisku. A to pouze na jeden výtisk. Tento problém jde ruku v ruce s druhým nejčastěji zmiňovaným problémem, kterým je malá přesnost konečného produktu. U 3D tisku je základem správně balancovat, přičemž na jedné straně máme kvalitu a na druhé čas a cenu. Pokud zvolíme vrstvu o tloušťce 0,1 mm bude tisk trvat čtyřikrát déle než při tloušťce 0,4 mm. Na druhou stranu ale bude výrazně přesnější. Máme tu pak na výběr velmi přesný tisk v délce 40 hodin versus nepřesný tisk v délce 10 hodin. Stejně tak fixní cena za kus za každých okolností je dvojsečná zbraň. Pokud potřebujeme malý počet kvalitních výrobků, 3D tisk nebude mít konkurenci, i když se bude jednat o dvoudenní tištění jednoho modelu. Ale s každým totožným kusem navíc, který potřebujeme, se stávají konvenční metody výhodnějšími.

Ne mnoho zmiňovaným tématem je výběr materiálů. Někteří dodavatelé 3D tiskáren nepovolují jejich koupi od jiných firem. Nejen, že byste porušili licenci, tiskárna materiál ani nezpracuje. V takové situaci máme svázané ruce a náš dodavatel zcela řídí cenu nakoupeného materiálu bez konkurence, ale co je možná horší, omezuje náš výběr. Až 23,8 % respondentů uvedlo tuto skutečnost. Na druhou stranu výsledky ukazují 0 % výskyt nedostupnosti materiálů. Z toho vyplývá, že dodavatelé pečlivě dbají na dostatečnou zásobu materiálů pro své uživatele.

Tyto a zbylé zmíněné komplikace uvádím v grafu 6. Důležité je zmínit, že z bezpečnostní stránky lze slavit úspěch, neboť nikdo neuvedl zranění jakkoliv související s 3D tiskem.

KOMPLIKACE



- příliš dlouhá doba tisku
- malá přesnost konečného produktu
- nemožnost koupit materiály od jiných firem než je firma, od které tiskárnu vlastníme
- častá chybovost 3D tiskáren
- časté poruchy 3D tiskáren
- příliš vysoká počáteční investice oproti konvenčním metodám
- málo výkonná tiskárna
- chybějící nebo špatný servis od dodavatelů 3D tiskáren
- porezita vytisknutého dílu
- změna tvaru dílu v čase

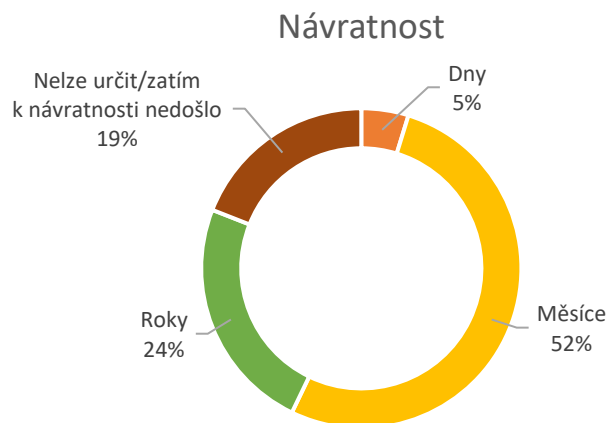
Graf 6 Komplikace při užívání 3D tiskáren

Co jsem předpokládala a nakonec se i potvrdilo, byla skutečnost, že i přes to, že šetření životního prostředí je často zmiňovaným tématem u aditivních technologií, pouze necelá třetina respondentů uvedla, že dávají důraz na ekologičnost a recyklovatelnost použitých materiálů. Téma je zatím pořád jen výhledem do budoucna a ne praxí. Ekologické materiály jsou v procesu vývinu, neovládají trh, jak by si mnozí přáli. Nakonec se ale dá zmíněný výsledek považovat za velký úspěch. Přeci jen dokonce třetina využije možnosti používání ekologických materiálů, pokud je tato možnost dostupná na

trhu (za rozumnou cenu). Je ale jasné, že pokud tato možnost chybí, průmysl se rozhodně nezastaví.

Návratnost a vyhlídky

Návratnost investice do 3D tiskárny (tiskáren) byla nejčastěji uvedena v řádu měsíců. Výsledky dotazníku uvádím v grafu 7.



Graf 7 Návratnost investice do aditivních technologií v průmyslu

Z dat nebylo možné vyčíst žádný trend (např. že by se návratnost v řádu let netýkala prototypů apod.). Ve všech typech a kombinacích produkce výrobků a prototypů se vyskytovaly všechny zmíněné možné doby návratnosti. Jedinou zajímavostí je, že při tisku pouze prototypů byla návratnost vždy v řádu měsíců. Nicméně vzorek byl příliš malý na to, aby bylo možné cokoliv prohlásit za obecně platné tvrzení.

A na závěr z průzkumu vyplývá, že téměř polovina, přesněji 47,6 % firem, plánuje další nákup 3D tiskáren.

7.1.3 Návrh předpokladů pro zvýšení míry a efektivnosti využívání 3D tisku v průmyslu

Často zmíněným, a přitom řešitelným problémem, byla častá chybovost tiskáren. Respondenti vždy uvedli, že tento problém vyřešili a už ho nemají. Příčina vzniku chyb u 3D tiskáren může být způsobena nevhodným zvolením metody tisku, jeho parametrů, použitých materiálů, a dalších. Proto bych se při koupi zaměřovala na co nejlepší informovanost, kterou můžeme nejjednodušeji získat od dodavatelů.

Na českém trhu je momentálně metoda LOM zcela nedostupná. Mohlo by tak být výhodné její zavedení, neboť by neměla konkurenci.

Dále se nabízí možná spolupráce s jinou lokální průmyslovou firmou. Každá by si pořídila jiný typ 3D tiskárny, ale obě by byly prospěšné pro obě firmy. Navzájem by si nabídly výhodnou cenu za výtisk a mohly by tak využívat výhod obou metod při investici pouze do jedné z nich.

O rozšiřování 3D tisku do českých (nejen) průmyslových firem se usiluje už delší dobu a má to úspěch. Z vlastní zkušenosti ale mohu potvrdit, že mi chyběla konkrétní čísla, ideálně i u konkrétních modelů výrobků na to, abych mohla posoudit skutečný potenciál aditivních technologií. Dodavatelé 3D tiskáren uvádějí mnoho případových studií, ale v rámci zachování soukromí firem jsou obvykle zmíněny jen procentuální hodnoty úspor, ať už finančních, či časových. Myslím, že případy s konkrétními čísly a konkrétními modely by otevřely více možností na rozšiřování aditivních technologií. Využití v domácnosti má přeci jen diametrálně jiný nádech než pořizování 3D tiskáren do průmyslové firmy, které může být i 500krát nákladnější a nemůžeme si tak dovolit jít „do neznáma“.

7.2 Modelový případ

Tato část bakalářské práce se bude věnovat zhodnocení aplikace aditivních technologií ve firmě 2N TELEKOMUNIKACE a.s.

O společnosti a důvod pro zavedení 3D tiskáren

Firma vyrábí moderní a vysoce zabezpečené IP interkomy, odpovídací jednotky, nebo i výtahová a telekomunikační zařízení. Při vytváření nového konceptu potřebují návrh vyhotovit, aby mohli docílit požadovaného designu, včetně ověření smontovatelnosti sestav a správnosti funkcí navržených mechanismů. Prototypy měli dříve vyráběné pouze frézováním, dodávané z ciziny. Výroba každého prototypu je touto cestou nákladná a doba doručení trvá 1 až 2 týdny.

Při vývoji dochází k mnoha iteracím, kdy se upravuje a doladuje původní návrh. Konvenčními metodami každý nový návrh stojí významnou sumu peněz a zhruba dva týdny času. Firma se proto vydala cestou 3D tisku.

Dynamičnost aditivních technologií společnosti umožňuje dotáhnout výroby k dokonalosti. Konvenčními metodami pro ni nebylo možné vyrobit stejně velké množství prototypů, jako při 3D tisku. To mohlo vést k tomu, že se neodhalily některé chyby dostatečně brzy nebo se nevyzkoušelo (a tím pádem i neaplikovalo do praxe) takové množství nápadů a zlepšení, jako to umožňují aditivní technologie.

Společnost si pořídila tři 3D tiskárny. Dvě z nich jsou na principu stereolitografie, konkrétně Formlabs Form 3+ a Formlabs Form 3L, třetí, Ultimaker S5, používá k tisku metodu FDM.

Na českém trhu je model Formlabs Form 3+ dostupný za zhruba 91 000 Kč bez DPH, Formlabs Form 3L za 285 000 Kč bez DPH a Ultimaker S5 za 165 000 Kč bez DPH.

Konkrétním modelovým příkladem nám budou 4 díly u jednoho z jejich projektů. Níže přikládám tabulku (tab.1) dodanou od společnosti, ve které můžeme vidět porovnání cen tisku a frézovaných dílů vyráběných od externího dodavatele (tzv. „frézovanců“). Počítáme s kurzem aktuálním pro 6.7.2022, 1 USD = 24,11 CZK.

Tab. 1 Přehled cen za jednotlivé díly [2N TELEKOMUNIKACE a.s.]

Název dílu	Způsob výroby	Tiskový objem (ml;g)	Cena USD	Cena CZK	Délka tisku (h)	doba dodání
Díl 1 - přední panel materiál frézovance hliník	Frézovanec	–	150.00	3617	–	1-2 týdny
	Tisk Ultimaker	47	1.09	26	14	do druhého dne
	Tisk Formlabs	68	13.04	314	10	do druhého dne
Díl 2 - zadní kryt materiál frézovance hliník	Frézovanec	–	198.00	4774	–	1-2 týdny
	Tisk Ultimaker	85	1.97	48	26	do třetího dne
	Tisk Formlabs	72	13.81	333	10	do druhého dne
Díl 3 - upínák materiál frézovance hliník	Frézovanec	–	22.00	530	–	1-2 týdny
	Tisk Ultimaker	1	0.02	1	0.5	v den puštění tisku
	Tisk Formlabs	2	0.38	9	1.5	v den puštění tisku
Díl 4 - část tlačítka materiál frézovance Polykarbonát	Frézovanec	–	48.40	1167	–	1-2 týdny
	Tisk Ultimaker	10	0.23	6	3	v den puštění tisku
	Tisk Formlabs	10.5	2.01	49	2.5	v den puštění tisku

Tiskárny Formlabs umožňují obvykle rychlejší tisk zároveň při vyšší kvalitě výtisku. Ultimaker firma využívá na levný koncepční tisk modelů, které jsou například hodně duté a není potřeba u nich dodržovat žádnou výjimečnou přesnost.

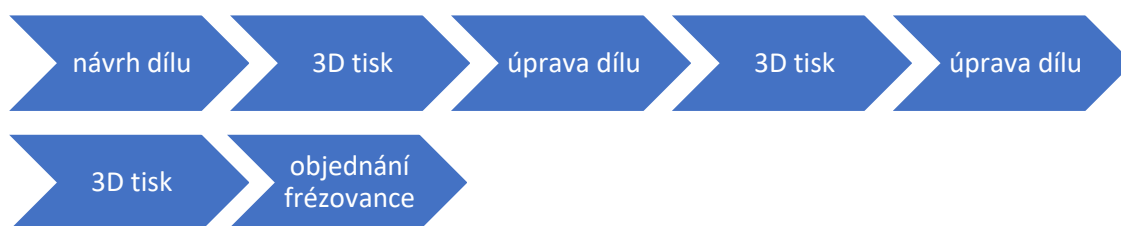
Postup návrhu dílu je složený z několika iterací. Každá iterace obsahuje určitý počet vyhotovených tištěnců, na jejímž konci je objednání jednoho frézovaného dílu. Frézované díly slouží k finálnímu otestování funkčnosti i mechanických vlastností, které se na tištěncích ověřit nedají. V tab. 2 je uvedený počet iterací, vytištěných 3D dílů a objednaných frézovaných prototypů při použití 3D tiskáren i bez nich. Přehledný postup návrhu uvádím v obr. 10 pro díl 3.

Tab. 2 Přehled počtu vyráběných dílů

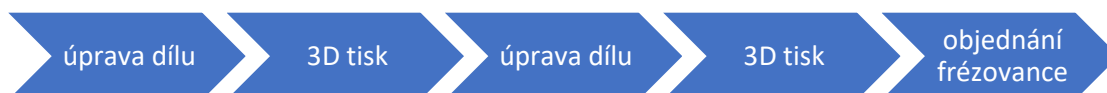
Díl	Při použití 3D tiskáren			Bez 3D tiskáren
	Počet iterací	Celkový počet tištěnců	Celkový počet frézovaných prototypů	Celkový počet frézovaných prototypů
1	10	10 (SLA) + 2 (FDM)	10	22
2	4	6 (SLA)	4	10
3	2	5 (SLA)	2	7
4	6	27 (SLA)	6	33

Tab. 2

1. iterace



2. iterace



Obr. 10 Schéma postupu návrhu dílu 3

Ekonomické dopady

V této části porovnám (v tabulce 3) finanční výdaje při použití 3D tisku na kompletní navržení čtyř zmíněných dílů versus při výrobě pouze konvenčními metodami.

Kromě zmíněné ceny za materiál je potřeba u SLA tiskáren uvažovat i cenu za vaničku, ve které tisk probíhá. U modelu Formlabs Form 3 je cena vaničky 3800 Kč bez DPH, u Form 3L pak 7800 Kč bez DPH. Ve vaničkách by se mělo tisknout maximálně 250 hodin. Při výpočtech budu uvažovat jejich maximální využití. Pro obě tiskárny dohromady vychází 235 hodin tisku, tudíž na každou zhruba 117,5 h. Každou vaničku tak využijeme z 47% její kapacity. Neboť firma využívá tisk i na další projekty, nevyužitá kapacita v tomto projektu může být využita v některém dalším. Proto spočítám výdaje za vaničky poměrně k času tisku.

Dalším časovým i finančním výdajem jsou příprava tisku a následný post-processing, které u každého tištěnce zabírají průměrně 1 hodinu. Při výpočtu nákladů za obsluhu budu vycházet z průměrného platu konstruktéra v Praze 44 455 Kč²⁸ a klasické pracovní doby 8 hodin denně 5 dní v týdnu, celkově tak 160 h měsíčně. Cena za hodinu je pak zhruba 278 Kč. Celkový počet tištěnců v tomto projektu je 50 (viz tab. 2).

Tab. 3 Porovnání cen při využití aditivních technologií a pouze konvenční výrobě

Díl	Cena [CZK]	
	3D tisk + konvenčně	Pouze konvenčně
1	39 362	79 574
2	21 094	47 740
3	1 105	3 710
4	8 325	38 511
Vaničky	5 452	-
Obsluha	13 900	-
Celkem	89 238	169 535
Celkové časové úspory při použití technologie 3D tisku [CZK]		80 297

Jak můžeme vidět v tab. 3, už jen z tohoto jediného projektu mají bez zhruba 10 000 Kč splněnou návratnost tiskárny Formlabs Form 3+. Firma uvedla, že 3D tiskárny využívá na většinu svých projektů, které probíhají téměř neustále. Nelze tak pochybovat o správnosti rozhodnutí vydat se směrem aditivních technologií.

Celkové ekonomické úspory by lehce klesly spotřebou elektřiny. Tu bychom mohli vypočítat pomocí následujícího vzorce

$$\text{Cena za elektřinu} = \text{spotřebované kWh} \cdot \text{cena za 1 kWh} \cdot \text{počet hodin}$$

Pokud bychom chtěli zjistit ekonomické dopady zcela podrobně, museli bychom uvažovat výdaje za prostor, na kterém se 3D tiskárny nachází, servis, a to včetně ztracených příležitostí při poruše tiskárny a další. Na druhou stranu by úspory významně vzrostly při úvaze, že se výrazně zkracuje doba vývoje, vytváří se schopnost uvést na trh lepší produkty a reagovat dynamičtěji, což v podstatě nelze vyčíslit.

Časové dopady

Velkým důvodem pro uvažování nad 3D tiskem byla pro společnost časová prodleva dodání prototypů. Nyní tisknou vše, co není potřeba testovat mechanicky, a externě objednávají pouze finální prototypy.

Vzhledem k tomu, že firma má dvě tiskárny Formlabs, je možné tisknout paralelně více kusů stejnou technologií. Pokud budeme u dílů 1 a 2 uvažovat nepřerušovaný tisk i během noci (neboť tisk u těchto dílů trvá i nad 10 hodin), dostaneme celkové časové úspory sepsané v tabulce 4. Zahrnula jsem časové výdaje věnované přípravě k tisku a post-processingu, které dohromady činí zmíněnou 1 hodinu za každý tištěnec. Dobu doručení u frézovaných dílů jsem z uvedených 1 až 2 týdnů pro přehled zaokrouhlila na 11 dní.

Tab. 4 Porovnání časové náročnosti na výrobu

Díl	Čas [dny]		Kolikrát 3D tisk urychluje proces
	3D tisk + konvenčně	Pouze konvenčně	
1	113,75	242	2,13 krát
2	45,50	110	2,42 krát
3	22,40	77	3,44 krát
4	68,54	363	5,30 krát
Celkové časové úspory při použití technologie 3D tisku			V průměru 3,3 krát rychlejší

Nemuset čekat na výrobu každého prototypu ve fázi vývoje zkrátí společnosti proces v průměru až 3,3 krát.

Souhrn

Závěrem je, že 2N TELEKOMUNIKACE a.s. využívají plný potenciál aditivních technologií a šetří nejen čas a peníze, ale také se posouvají ještě o krok dále ve vývoji.

8 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit přehled o aditivních technologiích a sesumírovat informace o jejich zavedení do průmyslu. Text má posloužit jako kompletní a stručné představení 3D tisku pro ty, kteří s ním ještě nejsou seznámeni.

V teoretické části jsem se zabývala nejčastěji využívanými aditivními technologiemi ve světě, podrobně popsala jejich princip, specifické parametry, nutnost post-processingu a případně o jaké procesy konkrétně se jedná, k jakému typu výroby se využívají, jejich výhody i překážky. Zmínila jsem se i o současných trendech a směrech, kam se 3D tisk ubírá.

V praktické části jsem se potom zaměřila na ověřování teoretických tvrzení pomocí šetření dat, která jsem získala díky dotazníku. Pro co největší dostupnost byl vytvořen na internetu a dostupný online. Zaměřila jsem se přitom na dopady při zavedení aditivních technologií do průmyslových firem, které dříve vyráběly pouze konvenčními způsoby (ať už externě či v rámci firmy). Výsledky potvrdily mnohá teoretická tvrzení, ale v některých případech se praxe výrazně lišila. K problémům, které byly očekávané, nedocházelo a obráceně. Všechny aspekty dotazníku byly prozkoumány a sepsány a následně z nich byly vyvozeny možné předpoklady pro zvýšení míry a efektivnosti využívání 3D tisku v průmyslu.

Na závěr byl zpracován modelový případ výroby čtyř dílů jednoho z projektů společnosti 2N TELEKOMUNIKACE a.s. a jejich konkrétní dopady při zavedení a využívání FDM a SLA 3D tiskáren.

Seznam použité literatury

- [1] GEBHARDT, Andreas a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Cincinnati: Hanser Publications, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1
- [2] WIMPENNY, David Ian, PANDEY, Pulak M. a L. Jyothish KUMAR. *Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies*. Singapore: Springer Science + Business Media Singapore Pte Ltd., 2017. ISBN 78-981-10-0811-5
- [3] GIBSON, Ian. *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2014. ISBN 9781493921126
- [4] When Was 3D Printing Invented? The History of 3D Printing. *BCN3D Technologies* [online]. [cit. 2022-7-1]. Dostupné z: <https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>
- [5] Alain Le Méhauté, The Man Who Submitted Patent For SLA 3D Printing Before Chuck Hull [online]. Copyright © 2016 [cit. 2022-6-1]. Dostupné z: <https://3dprint.com/65466/reflections-alain-le-mehaute/>
- [6] Rencontre avec Alain Le Méhauté : le véritable inventeur de l'impression 3D. Impression 3D et imprimante 3D [online]. Copyright ©PRIMANTE3D [cit. 2022-6-3]. Dostupné z: <https://www.primante3d.com/inventeur/>
- [7] Printing off the paper. *Massachusetts Institute of Technology* [online]. [cit. 2022-7-5]. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2011/3d-printing-0914>
- [8] ARANDA, Sean. *3D Printing Failures: How to Diagnose and Repair All 3D Printing Issues*. Columbia, SC, 2018. ISBN 9781547202386
- [9] Stereolithography: Everything You Need To Know About SLA 3D Printing. *3DSourced*. [online]. Copyright © 2022 3DSourced [cit. 2022-7-15]. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/guides/stereolithography-sla/>
- [10] FDM 3D tisk – pokládání roztaveného termoplastu [online]. Copyright © 2014 [cit. 2022-7-14]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/fdm-3d-tisk/>

- [11] Chloride Diffusion by Build Orientation of Cementitious Material-Based Binder Jetting 3D Printing Mortar. [online]. [cit. 2022-7-1]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustrations-of-binder-jetting-3D-printing-BJ3DP-a-BJ3DP-system-and-b_fig1_356803235
- [12] KUMAR, Sanjay. *Additive Manufacturing Processes*. Springer Cham, 2020. ISBN 978-3-030-45088-5
- [13] Prášková metalurgie [online]. [cit. 2022-6-20] Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160703074833/http://jhamernik.sweb.cz/Metalurgie.htm>
- [14] FDM. *ČVUT Fakulta strojní* [online]. Copyright © 2014 [cit. 2022-6-1]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/fdm-3dtisk/>
- [15] The potential of FDM additive manufacturing [online]. [cit. 2022-7-2] Dostupné z: <https://blog.trimech.com/the-potential-of-fdm-additive-manufacturing>
- [16] Basics of Fused Deposition Modelling (FDM) [online]. [cit. 2022-7-2] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7257444/>
- [17] [online]. Copyright © 2022 Copyright 3D Printerly [cit. 2022-7-2]. Dostupné z: <https://3dprinterly.com/pla-abs-petg-shrinkagecompensation-in-3d-printing/>
- [18] Vrstvy a perimetry [online]. Copyright © Prusa Research a.s. [cit. 2022-7-15]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetry_1748
- [19] *ScienceDirect*. [online]. Copyright © [cit. 2022-7-10]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laminated-objectmanufacturing>
- [20] [online]. [cit. 2022-7-10]. Dostupné z: <https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1717916>
- [21] High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals [online]. Copyright © Formlabs [cit. 2022-7-10]. Dostupné z: <https://formlabs.com/uk/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
- [22] [online]. [cit. 2022-7-10]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/additive-manufacturing-market>

- [23] Recycling of Selective Laser Sintering Waste Nylon Powders into Fused Filament Fabrication Parts Reinforced with Mg Particles. MDPI - *Publisher of Open Access Journals* [online]. Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. [cit. 2022-7-12]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/13/2046/htm>
- [24] Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing [pdf]. Copyright © [cit. 2022-7-12]. Dostupné z: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1176.pdf>
- [25] HOPKINSON, Neil, and Phill M. DICKENS. Analysis of Rapid Manufacturing – Using Layer Manufacturing Processes for Production. *Journal of Mechanical Engineering Science* [online]. [cit. 2022-7-12]. Dostupné z: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/3561>
- [26] České dráhy si budou vyrábět náhradní díly na 3D tiskárnách [online]. Copyright © 2022 Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. a dodavatelé obsahu. [cit. 2022-7-12]. Dostupné z: <https://connect.zive.cz/clanky/ceske-drahy-si-budou-vyrabet-nahradni-dily-na-3dtiskarnach/sc-320-a-214319/default.aspx>
- [27] 3D tisk fotopolymerizací. [online]. Copyright © 2022 [cit. 2022-7-15]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/151/3d-tisk-fotopolymerizaci>
- [28] Plat na pozici Strojní Konstruktor v lokalitě Hlavní město Praha. *Indeed* [online]. Copyright © [cit. 2022-7-18]. Dostupné z: <https://cz.indeed.com/career/strojn%C3%AD-konstruktor/salaries/Hlavn%C3%AD-m%C4%9Bsto-Praha>
- [29] Fused deposition modeling [online]. [cit. 2022-7-18]. Dostupné z: <https://www.additive-3d.com/materiels-fused-deposition-modeling.html>
- [30] [online]. [cit. 2022-7-18]. Dostupné z: <https://3dprint.com/221896/fdm-3d-print-parameters-research/>
- [31] MWEMA, Fredrick M. a Esther T. AKINLABI. Basics of Fused Deposition Modeling [online]. [cit. 2022-7-18]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7257444/>
- [32] [online]. Copyright © Formlabs [cit. 2022-7-15]. Dostupné z: <https://formlabs.com/uk/blog/what-is-selectivelaser-sintering/>

[33] What is SLS 3D printing? *Hubs* [online]. Copyright © 2022 3D HUBS B.V. All rights reserved. [cit. 2022-7-1]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/#:~:text=Three%20to%203.5%25%20shrinkage%20is%20typical%20in%20SLS%2C,flat%20surfaces%20are%20the%20most%20likely%20to%20warp.>

Seznam obrázků

Obr. 1 Vizualizace principu 3D tisku [1]	10
Obr. 2 Způsob tisku pomocí stereolitografie [9]	12
Obr. 3 Schéma běžné 3D tiskárny s technologií FDM [10]	12
Obr. 4 Schematické znázornění LLM [3].....	13
Obr. 5 Schematické znázornění principu 3DP [11].....	15
Obr. 6 Mikrostruktura vytvořená procesem LCVD [1]	20
Obr. 7 Funkční prototyp ovládání klimatizace v autě [1]	25
Obr. 8 Porovnání tradičního a aditivního dodavatelského řetězce [24]	31
Obr. 9 První testovací raketový vstřikovač (NASA) [2]	36
Obr. 10 Schéma postupu návrhu dílu 3.....	52

Seznam grafů

Graf 1 Srovnání aditivní technologie (AM) s konvenční metodou vstřikováním [25]	34
Graf 2 Využití 3D tiskáren.....	43
Graf 3 Výhody pro zavedení 3D tiskáren do výroby.....	44
Graf 4 Vennův diagram pro znázornění využití tisku prototypů ve firmách	45
Graf 5 Důvody pro zavedení 3D tiskáren k tisku prototypů.....	46
Graf 6 Komplikace při užívání 3D tiskáren	48
Graf 7 Návržnost investice do aditivních technologií v průmyslu	49

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled cen za jednotlivé díly [2N TELEKOMUNIKACE a.s.]	51
Tab. 2 Přehled počtu vyráběných dílů.....	52
Tab. 3 Porovnání cen při využití aditivních technologií a pouze konvenční výrobě	53
Tab. 4 Porovnání časové náročnosti na výrobu	54

Seznam příloh

Příloha 1 - Dotazník	62
----------------------------	----

Přílohy

Příloha 1 – dotazník

Aditivní technologie v průmyslu

Dobrý den, mé jméno je Anja Gladović a studuji obor Teoretický základ strojního inženýrství na ČVUT. Tento dotazník slouží jako praktická část mé bakalářské práce Hodnocení dopadů aditivních technologií v průmyslu.

Dotazník je anonymní a žádné otázky nejsou povinné. Je velmi krátký a vyplnění Vám nezabere více než 5 minut.

Děkuji Vám, že se do tohoto malého projektu zapojujete.

Otázka č.1: 3D tiskárny využívá Vaše společnost na tisk:

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- Výrobků
 Prototypů
 Jiné: _____

Pokud jste zaškrtnli "Výrobky" v otázce č.1, vyplňte prosím tuto sekci. Pokud ne, přeskočte ji.

Konkrétně byly 3D tiskárny pořízeny za účelem:

Označte jen jednu elipsu.

- malovýroby či středně velké výroby
 velkovýroby
 výroby ojedinělých kusů

Důvodem pro zavedení 3D tiskáren jsou:

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- nižší náklady než u konvenčních metod
 díly jsou jinak na trhu nedostupné nebo mají dlouhou dodací lhůtu
 dosažení vyšší kvality
 rychlejší výroba než u konvenčních metod
 zmenšení skladišť a výdajů s nimi spojených
 vyšší možnost customizace
 Jiné: _____

Došlo ke změně kvality vašich výrobků?

Označte jen jednu elipsu.

- ne, zůstala přibližně stejná
 ano, významně se zvýšila
 ano, významně se snížila

Došlo ke změně ceny vašich výrobků?

Označte jen jednu elipsu.

- ne, zůstala přibližně stejná
 ano, zvýšila se
 ano, snížila se

Pokud jste zaškrtnuli "Prototypů" v otázce č.1, vyplňte prosím tuto sekci. Pokud ne, přeskočte ji.

Na jaké typy prototypů využíváte 3D tiskárny?

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- funkční prototypy
- prezentační prototypy
- designové prototypy
- Jiné: _____

Důvodem pro zavedení 3D tiskáren pro tisk prototypů jsou:

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- nižší náklady než u konvenčních metod
- dosažení vyšší kvality
- rychlejší výroba než u konvenčních metod
- skvělé napodobení mechanických a/nebo vzhledových vlastností finálního produktu
- Jiné: _____

Pokračování otázek pro všechny

Otázka č.2: Kterou/které technologie aditivních technologií využíváte?

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- FDM (fused deposition modeling)
- SLA (stereolitografie)
- LOM (laminated object manufacturing)
- SLS (selective laser sintering)
- 3DP (3D printing)
- Jiné: _____

Otázka č.3: Jsou vaše aktuální výdaje spojené s post-processingem takové, jaké jste očekávali?

Označte jen jednu elipsu.

- ano
- ne

Otázka č.4: Vyžaduje obsluhování 3D tiskáren zaškolení pracovníků?

Označte jen jednu elipsu.

- ano
- ne

Otázka č.5: Zaškrtněte prosím všechny komplikace, na které jste v souvislosti s užíváním 3D tiskáren narazili:

Zaškrtněte všechny platné možnosti.

- málo výkonná tiskárna
- malá přesnost konečného produktu
- příliš dlouhá doba tisku
- příliš vysoká počáteční investice oproti konvenčním metodám
- častá chybovost 3D tiskáren
- nedostupnost materiálů
- nemožnost koupit materiály od jiných firem než je firma od které tiskárnu vlastníme
- časté poruchy 3D tiskáren
- chybějící nebo špatný servis od dodavatelů 3D tiskáren
- zranění v souvislosti s obsluhou 3D tiskáren nebo manipulací s výtisky
- Jiné: _____

Otázka č.6: Dáváte důraz při výběru materiálu na 3D tisk na jeho ekologičnost a recyklovatelnost?

Označte jen jednu elipsu.

- ano
- ne

Otázka č.7: Jaká byla přibližná doba návratnosti investice do 3D tiskáren (tiskárny)?

Označte jen jednu elipsu.

- v řádu dní
- v řádu měsíců
- v řádu let
- zatím k návratnosti nedošlo / nelze určit

Otázka č.8: Plánujete v budoucnu začlenit další 3D tiskárny?

Označte jen jednu elipsu.

- ano
- ne / zatím ne

Otázka č.9: Využíváte možnost tisknout náhradní díly při poruše 3D tiskárny?

Označte jen jednu elipsu.

- ano
- ne