

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika 3D tisku pro použití v průmyslové praxi

Autor: **Doaa Yahya**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: 21. 5. 2018

.....
podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milanu Edlovi, Ph.D., a konzultantům práce pan doc. Ing. Janu Horejcovi, Ph.D. a doc. Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a za pomoc při získávání dat pro praktickou část práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Yahva	Jméno Doaa	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Edl, Ph.D.	Jméno Milan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Problematika 3D tisku pro použití v průmyslové praxi		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	72	TEXTOVÁ ČÁST	71	GRAFICKÁ ČÁST	1
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zaměřuje na konkrétní disruptivní technologie (3D tisk) v průmyslové praxi. Tématem práce je problematika uplatnění potenciálních disruptivních technologií v oblasti průmyslového inženýrství. V práci se budu zabývat 3D tiskem, jeho rozdílem ve využití, druhu materiálu a v nákladech.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Průmysl 4.0, Disruptivní technologie, SLM, SLS, Stereolitografie, Laser sintering, SLA, DMLS, EBM, FDM

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Yahya	Name Doaa	
FIELD OF STUDY	2301T007 “Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Edl, Ph.D.	Name Milan	
INSTITUTION	West Bohemia University – Faculty of Mechanical Engineering – Department of Industrial Engineering and Management		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	3D printing issues for use in industrial practice		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	72	TEXT PART	71	GRAPHICAL PART	1
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis focuses on specific disruptive technologies (3D printing) in industrial practice. The theme of thesis is issues of application of potential disruptive technologies in the field of industrial engineering. In my work I will deal with 3D printing, its difference in usage, kind of material and in cost.
KEY WORDS	Industry 4.0, Disruptive technologies, SLM, SLS, Stereolitografy, Laser sintering, SLA, DMLS, EBM, FDM

Obsah

1	ÚVOD	9
2	DISRUPTIVNÍ TECHNOLOGIE	10
3	INOVACE	11
3.1	DEFINICE	11
3.2	DRUHY INOVACÍ.....	12
4	GARTNEROVA KŘIVKA (HYPE CYKLUS)	14
4.1	POPIS	14
4.2	FÁZE GARTNEROVY KŘIVKY	14
4.2.1	<i>Počáteční zájem (Technology Trigger)</i>	14
4.2.2	<i>Vrchol očekávání (Peak of Inflated Expectations)</i>	15
4.2.3	<i>Deziluze (Trough of Disillusionment)</i>	15
4.2.4	<i>Obnova zájmu (Slope of Enlightenment)</i>	15
4.2.5	<i>Přijetí technologie (Plateau of Productivity)</i>	15
5	PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE	16
5.1	POPIS	16
5.2	FÁZE PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE	16
5.2.1	<i>První průmyslová revoluce</i>	17
5.2.2	<i>Druhá průmyslová revoluce</i>	17
5.2.3	<i>Třetí průmyslová revoluce</i>	18
5.2.4	<i>Čtvrtá průmyslová revoluce</i>	18
5.3	PRŮMYSL 4.0 V PRAXI – PŘÍKLADY MODERNÍCH DISRUPTIVNÍCH TECHNOLOGIÍ.....	18
6	HISTORIE 3D TISKU	21
7	SOUČASNÉ TRENDY	22
8	TECHNICKÝ POPIS 3D TISKU	23
9	PRINCIPY 3D TISKU	24
10	TECHNOLOGIE 3D TISKU KOVŮ	26
10.1	3D TISK KOVŮ	26
10.2	FUNKČNÍ SOUČÁSTKY	27
10.2.1	<i>Plnobarevné součástky</i>	28
10.2.2	<i>Extrémně detailní součástky</i>	29
11	SOUHRN TECHNOLOGIÍ	30
11.1	HARDWARE.....	30
11.1.1	<i>FFF (nebo FDM) – tisk funkčních modelů roztaveným plastem</i>	30
11.1.2	<i>Stereolitografie</i>	31
11.1.3	<i>Laser sintering</i>	32
11.1.4	<i>SLA</i>	33
11.1.5	<i>SLS</i>	34
11.1.6	<i>Direct Metal Sintering (DMLS)</i>	34
11.1.7	<i>Electron Beam Melting (Ebm)</i>	34
11.1.8	<i>Technologie Selective Laser Melting (SLM)</i>	35
11.1.9	<i>Technologie společnosti Concept Laser Cusing (LC)</i>	43
11.2	SOFTWARE	43
11.3	3D SKENERY	44
12	VÝHODY NEVÝHODY 3D TISKU KOVŮ	44
12.1	VÝHODY 3D TISKU KOVŮ.....	44
12.2	NEVÝHODY 3D TISKU KOVŮ	44
13	APLIKACE 3D TISKU KOVŮ	45
14	PRAKTICKÉ UPLATNĚNÍ 3D TISKU	47

14.1	TISK NÁHRADNÍCH DÍLŮ.....	47
14.2	OPRAVA POŠKOZENÍ DÍLŮ	48
14.3	VÝROBA MODELU PRO PŘÍPRAVU KONTROLNÍHO PRACOVÍŠTĚ.....	49
15	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ VÝROBY PROTOTYPŮ	51
15.1	EKONOMICKÁ ANALÝZA	51
15.2	ZHODNOCENÍ.....	53
15.3	3D TISK SNIŽUJE NÁKLADY A ZVYŠUJE KONKURENCESCHOPNOST	54
15.3.1	<i>Využití 3D tisku v ČR: rapidní růst.....</i>	55
15.3.2	<i>3D tisk ovlivní obchodní model společnosti.....</i>	55
16	PŘÍPADOVÁ STUDIE V PRAXI	56
16.1	BLACK AND DECKER.....	56
16.2	PEL POUŽÍVÁ 3D TISK PRO VÝROBU MONTÁŽNÍCH PŘÍPRAVKŮ	56
16.3	PŘÍNOSY VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING V OBLASTI ŘÍZENÍ KVALITY	57
16.4	VÝROBA AURIKULÁRNÍ NÁHRADY – PROTÉZA UCHA.....	60
16.5	RAPID PROTOTYPING V MEDICÍNĚ.....	61
16.6	TISK JÍDLA.....	61
17	PŘÍKLADOVÁ STUDIE – VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	62
17.1	PŘÍPRAVA EXPERIMENTŮ	62
17.2	PRINCIP OPRAVY POŠKOZENÉ ČELISTI	63
17.3	POUŽITÝ MATERIÁL PRO OPRAVU ČELISTI.....	65
17.4	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	66
18	ZÁVĚR	67
19	LITERATURA.....	68
	EVIDENČNÍ LIST	73

1 Úvod

Tématem diplomové práce je zaměření na disruptivní technologie, konkrétně na problematiku (3D tisku) a jejího využití k tvorbě fyzických modelů mechanismů. V práci je popsána technologie 3D tisku od historie, její principy, rozdělení a popis jednotlivých metod až po postup výroby modelů touto technologií. Dále je v práci zmíněna problematika kinematik mechanismů, jejich rozdělení a stručný popis. Práce si klade za cíl výběr vhodné 3D tiskárny pro domácí použití. Na této tiskárně poté bude provedena optimalizace tisku takovým způsobem, aby bylo dosaženo uspokojivé kvality tištěných součástí. Pro tiskárnu budou navrženy vhodné softwarové a konstrukční úpravy. Práce je zpracování rešerše na téma 3D tisku a použití 3D tisku v oblasti procesní techniky. Následně bude v části práce metoda využita SLM, a to na příkladu opravy čelisti svěráku.

Jedním z hlavních podnětů pro vznik a vývoj technologií 3D tisku byla snaha průmyslu o konstantní zvyšování produktivity. Z tohoto důvodu byla v minulých 30 letech patrná implementace automatizace výroby, Současný strojírenský průmysl je založen na konvenčních metodách výroby, jako jsou například klasické metody obrábění kovů, slévání, tváření za studena nebo za tepla, vstřikování plastů a jiné. Jednou velkou nevýhodou klasického průmyslu je to, že není schopen se přizpůsobit stále se zrychlujícímu pokroku a vývoji, který si vyžaduje rychlou výrobu prototypů, jejich odzkoušení, a následné uvedení do sériové výroby či další vylepšení. Zde do hry vstupuje technologie 3D tisku, jak plastu, tak i kovu. V současné době nejčastějšími zástupci 3D tisku jsou technologie, které využívají metod: SLA (Stereolitografie – ang. stereolithography apparatus), FDM (tavené modelování depozice – ang. Fused deposition modeling) a SLS (selektivní laserové slinování – ang. Selective laser sintering), SLM (*Selective Laser Melting*). Samozřejmě tyto metody se dále větví na různé podtypy, ale princip bude vždy založen na jedné z výše uvedených metod.

2 Disruptivní technologie

Technologie je pojem, který se znamená souhrn výrobních prostředků pro danou pracovní činnost (k výrobě výrobky nebo poskytnutí služby). Technologie může rovněž znamenat souhrn prostředků dané organizace nebo její výrobní nebo podpůrné know-how. [31]

Nové technologie rychle mění tvář naší ekonomiky i náš způsob života a stále se objevují ve všech oblastech a ve velké části světa. A proto vstupujeme do čtvrté průmyslové revoluce. Tři předcházející průmyslové revoluce byly vyvolány postupným použitím výrobních zařízení pohaněných parou, zavedením hromadné výroby s využitím elektrické energie či využitím elektronických systémů a výpočetní techniky ve výrobě. Ta čtvrtá přináší změny pouze pro oblast průmyslové výroby. Jedná se o filozofii přinášející celospolečenskou změnu a zasahující celou radu oblastí od průmyslu, přes oblast technické standardizace, bezpečnosti, systému vzdělávání, právního rámce, vědy a výzkumu až po trh práce nebo sociální systém.

Nástup nových technologií mění celé hodnotové řetězce, vytváří příležitosti pro nové obchodní modely, ale i tlak na flexibilitu moderní průmyslové výroby

Disruptivní technologie může změnit status v takovém rozsahu, že to vede k zániku stávající infrastruktury. Proto by měly být položeny tři důležité otázky o nových technologiích: Které z nich by mohly být považovány za disruptivní? V jakém odvětví, oblasti nebo aplikaci by technologie byla disruptivní? Jaký je časový plán pro jejich zavedení?

Některé nové technologie způsobí změny, které mění svět; další zůstanou laboratorní zvědavostí, které nejsou nikdy vidět mimo základní výzkumná centra, ostatní pak budou něco mezi tím. Proto při zkoumání potenciálně rušivé technologie je třeba se snažit pochopit, jak důležitá je. Je užitečné ovlivnit rozsah šíření, aby bylo zajištěno, že technologie je opravdu rušivá. [32][9]

3 Inovace

3.1 Definice

Inovace znamená zdokonalení. Inovace představuje komplexní proces od nápadu, přes vývoj až po případnou realizaci. Inovace je tedy více než kreativita nebo invence, které jsou sice nutnou součástí inovací a přináší nové myšlenky, ale samy o sobě nepostačují k naplnění inovace. Řada nových nápadů nevede k inovacím, protože nejsou realizovatelné (z technického, praktického či ekonomického hlediska). Výsledkem inovací je zlepšený proces, výrobek, služba či cokoliv dalšího. Obvykle se rozlišují tyto typy inovací:

- Inovace produktu nebo služby
- Inovace procesu
- Organizační inovace
- Marketingové inovace

Inovace v praxi: Inovace jsou klíčovým hybným faktorem evoluce (či dokonce revoluce) všech organizací. Díky inovacím dochází k zavádění nových produktů, jejich zdokonalování a vývoji, ke zvyšování efektivnosti práce, snižování nákladů či zlepšování kvality. Povzbuzování inovací v podnicích je nedílnou součástí dobrého řízení a je součástí přístupů k řízení kvality.

Technologické inovace jsou klíčovými příčinami překvapení, a to zejména ty disruptivní, které mají potenciál ovlivňovat lidi a společnosti. Disruptivní technologie je revoluční technologií, která náhle a často neočekávaně změní zavedenou technologii. Důvodem radikálních změn mohou být například disruptivní inovace. [37]

V článku z roku 1995 (Disruptive Technologies: „Catching the waves“) Harvard Business School Profesor Joseph a Clayton Christensenovi definují dvě kategorie nových technologií: Udržovací technologie a disruptivní technologie.

Udržovací technologie závisí na přírůstkových vylepšeních již zavedené technologie, příkladem je benzinový motor používaný v automobilech, princip, na kterém pracuje, však nebyl změněn na více než sto let, ale moderní motor auta je mnohem spolehlivější a účinnější než u modelu 1908 T-Ford. [35] [36]

3.2 Druhy Inovací

Inovace může mít různý rozsah, dobu realizace a organizační a společenský dopad. Oslo Manual rozlišuje čtyři typy inovací: produktová inovace, procesní inovace, marketingová inovace a organizační inovace.[46] [47]

1. Produktová inovace: je zavedením nového výrobku nebo služby, jehož charakteristiky nebo možné užití jsou nové nebo výrazně zlepšené. Patří sem výrazná zlepšení technických specifikací, komponent a materiálu, zabudovaného software, uživatelského rozhraní a dalších funkčních charakteristik.

Příklady produktových inovací: první přenosný MP3 přehrávač; zavedení brzdového systému ABS, navigačního systému GPS a další zlepšené subsystemy v automobilech.

2. Procesní inovace: je zavedením nové nebo podstatně zlepšené metody výroby nebo distribuce. Patří sem podstatné změny postupů, technologie, zařízení anebo softwaru. Příklady nových výrobních metod: zařazení nového automatizovaného stroje do výrobní linky, zavedení počítačové podpory konstruování apod.

Příklad nové metody distribuce: zavedení systému sledování zboží s pomocí čárových kódů nebo RFID (radiofrekvenční identifikace) atd.

3. Marketingová inovace: je zavedením nové marketingové metody včetně podstatných změn designu nebo balení výrobku, umístění výrobku na trhu, propagace výrobku nebo stanovení ceny. Marketingová inovace se zaměřuje na lepší splnění potřeb zákazníka, vstup na nové trhy nebo nalezení nového místa na trhu a jejím cílem je zvýšení objemu prodeje. Marketingová inovace se od dalších marketingových nástrojů firmy odlišuje zavedením marketingové metody, kterou dříve firma nepoužívala. Musí být součástí nové marketingové koncepce nebo strategie, která se výrazně odlišuje od stávajících marketingových metod. Nová marketingová metoda může být použita jak pro nové, tak pro stávající produkty.

Např. první použití podstatně odlišného media nebo techniky – jako propagace výrobku ve filmu nebo televizním programu – je marketingovou inovací.[46]

4. Organizační inovace: je zavedením nové organizační metody do podnikových postupů, pracovních míst, organizačních a vnějších vztahů. Organizační inovace může být zaměřena na zvýšení výkonnosti podniku snížením administrativních nákladů,

zlepšením pracovního prostředí (které vede ke zvýšení produktivity), získáním přístupu k neobchodovatelným aktivům (např. nekodifikované, tacitní znalosti) nebo snížením cen dodávek. Organizační inovace se od dalších organizačních změn ve firmě odlišuje tím, že jde o organizační metodu, kterou dříve firma nepoužívala.

Příklady: první zavedení postupů rozvoje pracovníků (systémy vzdělávání a výcviku), vedoucí mj. ke snížení fluktuace; první zavedení systémů řízení výrobních nebo dodavatelských operací (systémy řízení dodavatelských řetězců, podnikový reinženýring, štihlá výroba a systémy řízení jakosti). [46]

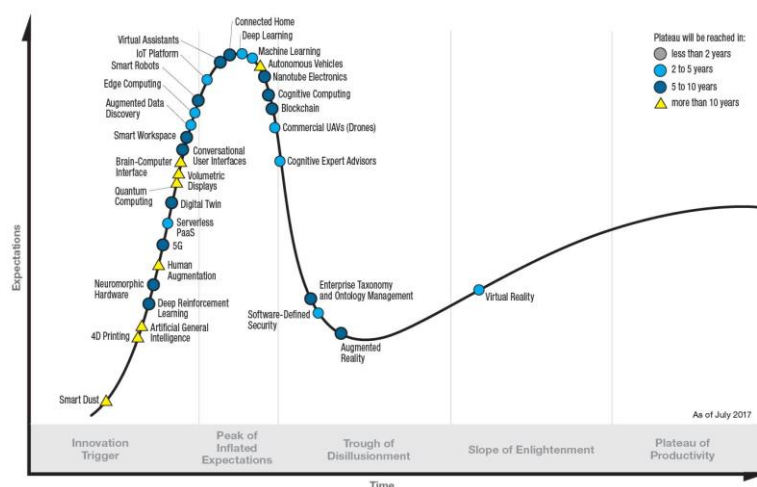
4 Gartnerova křivka (Hype Cyklus)

4.1 Popis

Hype cyklus je značková grafická prezentace, vyvinutá a používaná americkou výzkumnou, poradenskou a informační společností Gartner, která představuje zastaralost, adopci a sociální uplatnění specifických technologií.

4.2 Fáze Gartnerovy křivky

Křivka má pět základních fází: počáteční zájem, vrchol očekávání, deziluze, obnova zájmu a přijetí technologie (jde o volný překlad anglických termínů). Pro každou z nových technologií je určena pozice na křivce. Na ose x je vynášena vyspělost (maturity), na ose y viditelnost (visibility). V místě špičky (Peak of Inflated Expectations) se nyní nachází například cloud computing, e-knihy (souvisí se čtečkami od Amazonu a Sony) a internetové televizní projekty (například Hulu.com), zatímco mikroblogování (například Twitter) a sociální software zařazuje společnost Gartner na křivce do oblasti deziluze a zklamání.



Obrázek 1: Obecný hype cyklus pro technologii [48]

4.2.1 Počáteční zájem (Technology Trigger)

Potenciální technologický průlom nakopává věci. Včasné důkazy o konceptu a zájem médií vyvolávají významnou publicitu. Často neexistují použitelné výrobky a komerční životaschopnost není prokázána. [48]

4.2.2 Vrchol očekávání (Peak of Inflated Expectations)

Časná publicita přináší řadu úspěchů - často doprovázených mnoha neúspěchy. Některé společnosti podniknou kroky; většina z nich ne.

4.2.3 Deziluze (Trough of Disillusionment)

Zájem ztrácí, jelikož pokusy a implementace se nezdaří. Výrobci této technologie se otřásají nebo selhávají. Investice pokračuje pouze v případě, že přeživší poskytovatelé vylepšují své produkty ke spokojenosti prvotních uživatelů.

4.2.4 Obnova zájmu (Slope of Enlightenment)

Další příklady toho, jak může technologie přinést prospěch podniku, začíná krystalizovat a stává se všeobecnější. Druhá a třetí generace produktů pochází od poskytovatelů technologií. Více podniků financuje pilotní projekty; konzervativní společnosti zůstávají opatrné.

4.2.5 Přijetí technologie (Plateau of Productivity)

Hlavní adopce začne růst. Kritéria pro posouzení životaschopnosti poskytovatele jsou jasněji definována. Široká tržní použitelnost a relevantnost této technologie jsou jednoznačně splaceny. [48]

Metodika společnosti Gartner Hype Cycle vám poskytuje přehled o tom, jak se technologie nebo aplikace budou vyvíjet v průběhu času. Poskytuje vám názorný zdroj informací, který vám pomůže řídit její nasazení v kontextu vašich konkrétních obchodních cílů. [43], [44]

5 Průmyslové Revoluce

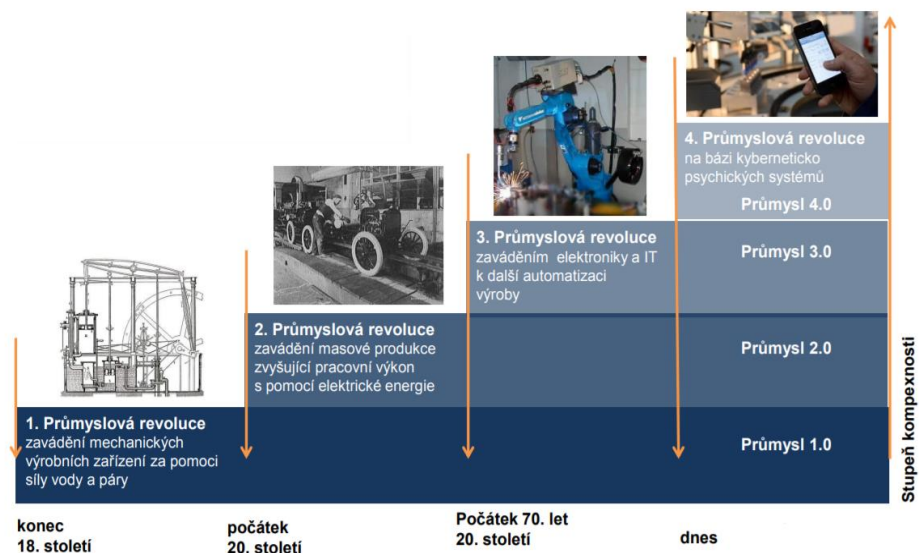
5.1 Popis

V poslední době se mnoho hovoří o čtvrté průmyslové revoluci nebo „Internet of things (IoT)“ - internetu věcí. Pojem Industrie 4.0 byl poprvé propagován před několika lety na veletrhu v Hannoveru. Co nám tato „revoluce“ přinese? Především to není „revoluce“, ale organická fáze ve vývoji průmyslové technologie. Nejdůležitějším cílem (a prostředkem zároveň) je změna v myšlení a chování celé společnosti. Internet se stává důležitým integračním prvkem a s jeho pomocí komunikují i stroje, zařízení a čidla, čímž umožňují, aby každý prvek procesu byl samostatný a soběstačný.

Internet je průlomová technologie, ale největší a nejsložitější síť na světě nosíme ve své nervové soustavě a dodnes je podstatně nevyužitá. Digitalizace, umělá inteligence, automatizace a robotizace je přirozenou této evoluční fáze a označovat ji za čtvrtou průmyslovou revoluci je poněkud zavádějící.

5.2 Fáze průmyslové revoluce

Obecně se za první průmyslovou revoluci označuje období, kdy začala mechanizace a využití energie vody a páry. Po parním stroji přišla druhá průmyslová revoluce, která přinesla hromadnou výrobu, kdy elektřina, výrobní pásy, dokonalá organizace a dělba práce umožnily obrovské zvýšení produktivity a snížení nákladů. Třetí průmyslová revoluce přichází s elektronikou, počítači a automatizací, které dodaly výrobě vysokou pružnost, rychlost a další zvyšování produktivity. Nestojíme před nekonečným řetězcem takových průmyslových „revolucí“, ale před dalším přesunem pracovní síly do nového sektoru, který smazává rozdíly mezi zemědělstvím, průmyslem a službami v lokálních a regionálních podmínkách.



Obrázek 2: Průmyslová Revoluce [39]

Německé marketingové označování „Industrie 4.0“ tedy není revoluce, ale přirozená fáze technologického vývoje směrem k robotizaci, automatizaci, digitalizaci, internetu věcí atp.. a to nejen v průmyslu, ale hlavně i v zemědělství a ve službách. Jejím klíčovým znakem je vyšší produktivita, snížená potřeba zaměstnanců a nižší náklady na jednotku. (Revoluce by to byla, kdyby potřeba zaměstnanců v novém sektoru byla vyšší, nikoliv prudce nižší). „Revolučním“ se může jevit účelové německé lpění na průmyslu a průmyslové sféře. [38]-[40]

5.2.1 První průmyslová revoluce

Parní stroj je klíčovým pojmem tohoto období je industrializace. Dopad průmyslové revoluce na společnost byl obrovský, zásadně se změnila všechny obory hospodářství. Co do významu je tento převrat srovnatelný s neolitickou revolucí, která znamenala proměnu společnosti od lovců a sběračů k zemědělské společnosti. S tím souviselo zakládání sídel, kompletní změna životního stylu a vznik soukromého vlastnictví. [42]

5.2.2 Druhá průmyslová revoluce

Slovo „revoluce“ je dobré, poněvadž podněcuje zvědavost, vzbuzuje emoce a šokuje. Proto i další výraznější změny, ke kterým došlo v průmyslu, začaly být zpětně nazývány „revolucemi“. To je případ i tzv. 2. průmyslové revoluce, která je spojována s elektrifikací a se vznikem montážních linek. Toto období navazuje v podstatě bezprostředně na období 1. průmyslové revoluce, tzn., že se datuje od konce 19. století. Většinou se spojuje se dvěma daty: s rokem 1879, kdy T. A. Edison vynalezl žárovku, nebo s rokem 1870, kdy společnost

Cincinnati instalovala ve svém závodě první montážní linku a začala s dělbou práce, později elektrifikovanou, která přinesla další prudký rozvoj masové výroby.

5.2.3 Třetí průmyslová revoluce

Ta bývá nejčastěji spojována s automatizací, elektronikou a rozmachem informačních technologií. Její datování je však ještě spornější než u její předchůdkyně. Stejně jako byl přechod od uhlí a páry k elektřině poměrně spojitý a logický, tak i přechod od mechanismů k automatům byl spíše výsledkem přirozené evoluce než skutečnou revolucí. Za její počátek se nejčastěji uvádí rok 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat čili PLC. Jedná se vlastně o malý průmyslový počítač, řídicí jednotku, pro automatizaci procesů v reálném čase. Pro PLC je charakteristické, že program se vykonává v tzv. cyklech.

5.2.4 Čtvrtá průmyslová revoluce

Tu prožíváme právě teď a trvat by měla dalších minimálně 10 – 30 let. Je charakterizována masovým rozšířením internetu a jeho průnikem do doslova všech oblastí lidské činnosti. Internet je tady ale již poměrně dlouho; dá se říct, že v podstatě od roku 1962, kdy vznikl projekt počítačového výzkumu agentury ARPA, která dostala v souvislosti se studenou válkou v USA zadání, aby vyvinula komunikační síť pro počítače s decentralizovaným řízením, resp. od roku 1969, kdy úkol splnila a do provozu byla uvedena první experimentální síť ARPANET. Pojem „Internet“ vznikl v roce 1987 a k jeho komercializaci došlo v roce 1994. Od konce 90. let pak sledujeme extrémní nárůst uživatelů internetu, který v dnešní době již dosahuje řádu miliard. Tím to ale nekončí. K síti se připojují kromě lidí také stroje a věci obecně. Reálné a virtuální světy se začínají prolínat a do hry vstupují tzv. kyberfyzické systémy. [42]

5.3 Průmysl 4.0 v praxi – příklady moderních disruptivních technologií

Průlomovou či disruptivní technologií nebo inovací- se označuje technologie nebo její radikální změna, která překonává a vytlačuje technologii stávající. Autorem tohoto pojmu je profesor Clayton M. Christensen. Průlomová inovace přináší nová řešení pro zákazníka, která zpočátku nemají výkonnost stávajících produktů, služeb nebo podnikatelských modelů, ale postupně je překonávají a snižují nebo úplně eliminují jejich význam a podíl na trhu.

Industrie 4.0 představuje základní změnu ve výrobě. IT a internetové technologie se používají stále více a více značně v produktech a v továrnách. Lidé, stroje a výrobní prostředky komunikují po celém hodnotovém řetězci. Tyto změny se však nestávají přes noc.

Vývoj směrem k Industrie 4.0 je mnohem více než revoluce, například společnost VDMA doprovází a podporuje své členy mnoha způsoby, jak zajistit úspěšnou realizaci krok za krokem.

Mnoho malých kousků skládačky se shromáždí, aby vytvořili větší obrázek. Čtvrtá průmyslová revoluce 4.0 je odhodlána přeměnit vizi Industrie 4.0 do praktických doporučení pro činnost v oblasti výrobních strojů a zařízení. [48]

- **Inteligentní mobilní asistent (KUKA) optimalizuje výrobní procesy**

Výchozí situace:

KUKA nabízí pokročilé řešení v automatizaci robotů svým zákazníkům po celém světě. Industrie 4.0 přináší digitalizaci továren. Požadavky na výrobu rostou a životní cyklus výrobku se zkracuje, zatímco počet produktů se neustále zvyšuje. To vyžaduje flexibilní systémy schopné komunikovat mezi sebou a fungovat autonomně.

Modernizace vlastní výroby robotů v Augsburgu probíhá za použití efektivní štihlé výroby. KUKA zavedla just-in-pořadí dodávky montážního materiálu a automatizovaných logistických procesů.



Obrázek 3: Inteligentní mobilní asistent optimalizuje výrobní procesy [48]

Výhody na první pohled:

- Maximální ekonomická účinnost
- "Internet věcí": obrobky, materiály a roboty rozpoznávají, kde jsou potřebné
- Spolupráce člověka s roboty kombinuje potenciál lidí a strojů

- **Čidla pro udržování stavu na bázi**

Výchozí situace:

Jako celosvětový dodavatel má společnost Parker Hannifin řadu snímačů, elektroniky, pohonů a měřicí techniky pro sledování a řízení procesů v technologii tekutin, jakož i automatizační a řídicí technologie.

Touha po rychlém a snadném přístupu k těmto datům senzorů mohla být v minulosti realizována pouze v omezené míře pomocí stávajících systémů fieldbus. Mezitím, kromě klasických senzorů, přešla produkce na využití pokročilejších a stanovená pravidla jejich inbtegrace a komunikace.



Obrázek 4: Čidla pro udržování stavu na bázi [48]

Výhody na první pohled:

Výhody přinášejí (kromě čistého zaznamenávání údajů o měřených datech) interpretace založené na pravidlech:

- Údržbu lze provádět na vyžádání (Parker Total Health Management).
- Doby výpadku jsou minimalizovány, lze plánovat údržbu a optimalizovat intervaly údržby.

Díky kombinaci širokého spektra snímačů a širokého aplikačního know-how poskytuje společnost Parker svým zákazníkům základ pro vlastní "Prediktivní údržbu" pro své aplikace.

6 Historie 3D tisku

Zpočátku se 3D tisk primárně označoval jako Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů) a dodnes se s tímto označením můžeme setkat. Před příchodem dostupných tiskáren se totiž výlučně používal pro výrobu prototypů. Například chcete vyrábět dálkový ovladač pro televizi. Základní příprava výroby se pohybuje ve stovkách tisíc Kč (výroba forem, zadání výroby, testovací série,...), firma ale před takto velkou investicí potřebuje vyzkoušet, zda se tato verze ovladače pohodlně drží v ruce a uživatel dosáhne na všechna tlačítka. Proto, aby se snížily náklady, vytiskne si prototyp. Od toho se také později odvíjela cena high-end tiskáren. I v případě, že výtisk ovladače stál 20 000 Kč, stejně se ušetřily stovky tisíc korun. Technologie však neměla šanci dostat do rukou normálních lidí a nebyl tlak na to, učinit ji dostupnou. To se naštěstí změnilo.

➤ VYNÁLEZ STEREOLITOGRAFIE

Inkoustový tisk, který položil základ pro technologie 3D tisku, byl vynalezen už v roce 1976. 3D tisk jako takový vznikl v roce 1984, kdy byla patentována první technologie stereolitografie pozdějším zakladatelem společnosti 3D Systems Charlesem W. Hullem. Poprvé tak byla vytisknuta digitální 3D data. Tato technologie je běžně označována jako SLA a používá se dodnes. Detailní popis bude následovat v kapitole o technologiích 3D tisku.

➤ PRVNÍ KOMERČNÍ 3D TISKÁRNA

V roce 1992 začala firma 3D Systems vyrábět a prodávat první komerčně dostupnou 3D tiskárnu na technologii SLA.

➤ ZAČÁTEK PROJEKTU REPRAP

Rok 2005 byl pravděpodobně nejdůležitějším rokem v novodobé historii 3D tisku. Na University of Bath byl doktorem Adrianem Bowyerem založen projekt RepRap. Idea byla navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástí. Od začátku byl projekt Open Source, což umožnilo zapojit se do spolupráce nadšencům z celého světa. Díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším druhem tiskáren na celém světě a jim také vděčíme za všechny dnešní tiskárny v hobby a polo-profílovém segmentu (do 100 tisíc Kč za tiskárnu).

7 Současné trendy

Za posledních několik let jsme svědky obrovského boomu 3D tiskáren. Jak bylo již uvedeno dříve, vše mělo svůj historický vývoj, ale teprve několik posledních let znamenalo doslova revoluci. Využití 3D tisku se nejen rozvíjí technicky, ale hledají se různé způsoby provedení, velikosti a druhu materiálu, použitého pro tisk.

Ptáme se jaké použití je vhodné pro 3D tisk? Na tuto otázku lze jistě dle znalosti dnešních technologií relativně snadno odpovědět, ale tím hledáme věci známé. Skutečnost je trochu jiná. Jistě na počátku byla myšlenka o vytisknutí si jakéhokoliv náhradního dílu, popřípadě celého zařízení.

V tomto ohledu lze jít v zásadě dvěma směry. Jeden je celkem logický, vyrobíme příslušné díly a následně je sestavíme. To je to klasické, co napadne mnohé. Druhý způsob je pro většinu lidí nemyslitelný a zní tak trochu jako z románu Julese Verna: Jedná o možnost tisku celého zařízení najednou. Veškeré díly jsou tak tištěny společně v jednom systému a po vyjmutí z tiskárny jsou funkční.

8 Technický popis 3D tisku

3D tisk je technologie, která využívá digitálních dat 3D modelů. Tato data jsou zpracována a je z nich vytištěn požadovaný fyzický 3D model. 3D model je možné vytvořit pomocí 3D grafického software nebo využitím dalšího zařízení, tzv. 3D skeneru, které dokáže skenováním fyzického objektu vytvořit jeho virtuální 3D model.

Vytvořený 3D model je nutné připravit pro 3D tisk. Kromě vhodně zvolených rozměrů modelu, v případě tisku více předmětů, které ve výsledku tvoří sestavu, je pro jejich snadné sestavení vhodné zvolit ideální toleranční hodnoty.

Dalším krokem je rozřezání modelu na vrstvy, pomocí kterých bude model tisknut. Výška vrstev záleží na požadavcích pro tisknutý model a také na technologii, kterou daná 3D tiskárna využívá, a na technických parametrech 3D tiskárny. Nejčastěji používaným formátem pro ukládání 3D modelů již připravených pro 3D tisk je formát *. STL (stereolitografie).

9 Principy 3D tisku

Princip 1

Na tiskovou podložku je nanášen tiskový materiál po vrstvách. Vždy po dokončení tisku vrstvy se posune tisková hlava (nebo podložka) o jednu vrstvu a zahájí se tisk další vrstvy. Typickým zástupcem této technologie tisku tavenou strunou - filamentem (FDM, FFF, PJP a další). Nespornou výhodou je nízká pořizovací cena 3D tiskárny a nízké náklady na stavební materiál modelu.

Také spektrum stavebních materiálů je široké a stále se zvětšuje – viz materiály. Nevýhodou je dlouhý čas tisku, značný rozptyl v tiskové přesnosti, volbě orientace tisku modelu, způsobu a konstrukce podpěr a další.

V profesionální sféře se využívá technologie MJP (Multi Jet Printing). Tiskový materiál tryská pomocí tisíců otvorů tiskové hlavy, která zároveň vytváří voskové podpěry. Výtisk má velmi vysokou přesnost detailu a rozměru. Odplavení voskových podpěr probíhá automaticky v příslušné jednotce. Následné dokončovací operace jsou minimální nebo žádné.

Princip 2

V nádobě s tekutým polymerem je umístěna tisková deska, jejíž úroveň proti hladině polymeru určuje výšku požadované tiskové vrstvy. Světelný paprsek vykreslí požadovaný tvar vrstvy a tím dojde k vytvrzení polymeru v příslušném tvaru. Následně se tisková deska posune a světelný paprsek vykreslí a vytvrdí další požadovaný tvar. Typickým příkladem je SLA (stereo litografie) - je nejstarší technologií 3D tisku. Vyvinul jí zakladatel společnosti 3D Systems, pan Chuck Hull. Na konci osmdesátých let 20. století spatřila světlo světa první komerční 3D tiskárna SLA. Tiskovým materiálem je tekutý polymer, který je vytvrzován světlem (laser nebo DLP projektor). Zhotovený výtisk je následně třeba omýt v izopropylalkoholu a dodatečným UV světlem definitivně vytvrdit. Dodnes je SLA jednou z nejpresnějších technologií s nabídkou desítek různých druhů polymerů.

Princip 3

Na tiskové desce je rozprostřen stavební materiál ve formě prášku. Tvar požadované vrstvy modelu je vytvrzen pomocí laseru nebo lepidla. Tisková deska se posune o úroveň

definované výšky, nanese se další vrstva prášku a laser či lepidlo vytvrdí požadovaný tvar. Tento princip je hojně využíván technologiemi SLS (selective laser sintering), CJP (color jet printing) a DMP (direct metal printing). Stavebním materiálem je dle technologie celá škála plastů, kovů a prášků na bázi sádry. Technologie CJP je v současnosti nejrychlejší a jedinou, která dokáže vytisknout téměř fotorealistický 3D model.

Princip 4

Je výrobcí nejméně aplikován. Technologie LOM (Laminated Object Manufacturing) využívá jako stavební materiál zpravidla papír nebo folii. Tvar vrstvy „tištěného“ modelu je vyříznut z materiálu nožem a následně je další vrstva přilepena na předchozí. Podání nové vrstvy materiálu je zajištěno odvinutím z role nebo podáním ze zásobníku např. formátu A4, A3 apod. Po dotištění / vyříznutí vrstvy může být tato ještě pomocí principu inkoustové hlavy obarvena. Lze tak dosáhnout i barevných efektů finálního modelu. Vzhledem k tomu, že se model vlastně netiskne, ale vyřezává, je trochu zvláštní hovořit o 3D tisku. Nic méně – materiál (v roli nebo v zásobníku papíru) se bezesporu přidává, proto je tato technologie rovněž aditivní a má v tomto výčtu své místo.

10 Technologie 3D tisku kovů

Tisk, neboli též aditivní výroba (**Additive Manufacturing**, AM), je proces, který se používá pro výrobu trojrozměrných objektů z digitálních dat. Využitím technologie nanášení nebo tuhnutí tenkých vrstev materiálu je možné vytvořit i složité tvary, které nelze vyrobit konvenčními metodami jako je třískové obrábění či odlévání.

3D tisk tvoří velký podíl v nastupujícím Průmyslu 4.0 (čtvrté průmyslové revoluci), pro který je typický trend digitalizace a automatizace výroby. První 3D tiskárny byly vynalezeny již na konci 80. let, skutečný boom nastal však až po vypršení jednoho z klíčových patentů v roce 2009, kdy se díky zvýšené konkurenci staly 3D tiskárny levnějšími a dostupnějšími.

Současným trendem je přechod od rychlého prototypování (**Rapid Prototyping**, RP), které slouží k rychlé výrobě prototypových dílů z kovu, k aditivní výrobě (**Additive Manufacturing**, AM) a také rostoucí využití 3D tisku kovů v různých průmyslových odvětvích. I přes poměrně vysoké investiční náklady na zařízení, má 3D tisk kovů již své zavedené místo v automobilovém, leteckém a lékařském průmyslu a v dalších odvětvích - viz obrázek 5.



Obrázek 5: Technologie 3D tisku

10.1 3D tisk kovů

Zařízení pro **3D tisk kovů** (Metal 3D printing) se dělí dle technologie, kterou využívají, přičemž každá z technologií má své silné i slabé stránky. Jedná se o velmi podobné principy, které se liší v technických detailech a názvech technologií, jež si firmy původně nechaly patentovat.

Nejpopulárnější je skupina pracující s principem laserového spékání kovů (**Laser sintering**, LS).

Do této skupiny se řadí:

- selektivní laserové tání (**Selective Laser Melting, SLM**)
- selektivní laserové spékání (**Selective Laser Sintering, SLS**)
- přímé kovové laserové spékání (**Direct Metal Laser Sintering, DMLS**)
- technologie společnosti Concept Laser (**Laser Cusing, LC**)

Dalším využívaným způsobem je tavení elektronovým paprskem (**Electron Beam Melting, EBM**), které se používá pro ještě detailnější a přesnější strukturu obrobku.

10.2 Funkční součástky

Funkční součástkou je myšlen výtisk, který má okamžitě po dotisknutí finální mechanické vlastnosti. Tento výtisk není křehký a vydrží mechanické namáhání.

Pro příklad na tiskárnách RepRap jsou z velké části zastoupeny tisknuté součástky. Převodovka (viz obrázek 6) používaná při vytlačování horkého plastu je ihned po vytisknutí osaditelná na finální tiskárnu a bez problému vydrží fungovat i několik let.



Obrázek 6: Převodovka po několika měsících aktivního užívání.

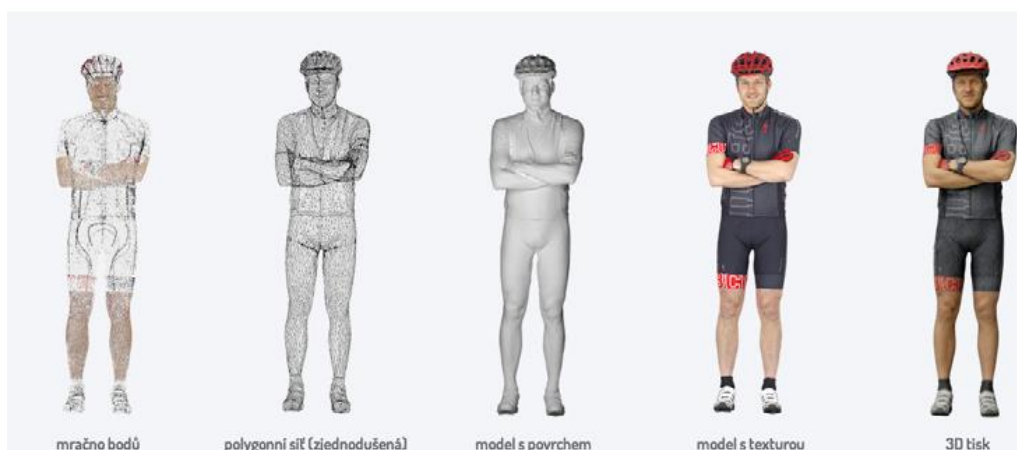
Hlavní technologie, která poskytuje takovéto výtisky, je FFF, známá také jako FDM (registrovaná značka firmy Stratasys). Bohužel nezvládne plnobarevný tisk a rozlišení použitelné například pro design klasických šperků. Obrovskou výhodou je variace různých materiálů, které tyto tiskárny umožňují používat, a také stále aktivní vývoj nových materiálů. Proces tisku je bezpečný, a není problém tyto tiskárny provozovat doma nebo v běžné kanceláři. Materiál se prodává jako tisková struna, plastové vlákno jedné barvy namotané na cívce, a to je také důvod, proč jsou hotové objekty většinou pouze jednobarevné. I tato

nevýhoda se dá obejít – např. použitím více trysek, kdy každá tiskne jinou barvu, nebo pokud se model tisknutého objektu vhodně upraví, aby šlo tisknout v různé vrstvě různými barvami. Cenové rozmezí takovýchto komerčních tiskáren je od 20 tisíc Kč až po miliony Kč. Další technologie pro tvorbu funkčních součástek se jmenuje SLS - laserem se sintruje (spéká, materiál se neroztaví do tekuté podoby) nylonový prach. Technologie umožňuje tisk objektu pouze z jedné barvy, výhodou ale je, že na výsledném objektu není tak výrazné vrstvení materiálu. Principem je velice podobná DMLS, o které se zmíním dále.

SLS tiskárny jsou primárně vyráběné firmou EOS a základní model začíná na ceně okolo 5 milionu Kč. Během několika příštích let se dá očekávat výrazné zlevnění, jelikož dobíhají patenty na základní technologii.

10.2.1 Plnobarevné součástky

Plnobarevný tisk je nejvíce používán u prezentačních modelů nebo například u postaviček. Příklad - pořídíte 3D scanner a na zakázku budete vytvářet modely lidí a tisknout plnobarevné postavičky - viz obrázek 7.



Obrázek 7: 3D modely lidí

V této oblasti existují dvě technologie, a to ProJet od 3D Systems a technologie firmy Mcor. ProJet používá kompozitní prach na určených místech, spojený pojídlem a barvami. Mcor objekt staví lepením a řezáním obyčejného kancelářského papíru. Nevýhoda těchto součástek je složitý postup při ručním dokončování modelu, např. impregnace pryskyřicí pro větší pevnost nebo u Mcor odstraňování zbytků kancelářského papíru. Součástky nejsou vhodné pro jiné použití než prezentační. Kvůli mikroskopickému prachu u ProJet-procesu, který se snadno dostane do vzduchu, je třeba být extrémně obezřetný před jeho vdechnutím. Paleta materiálů je u obou technologií omezena pouze na jeden - u ProJet kompozitní prach a papír pro Mcor. Cena tiskárny přibližně od 400 tisíc Kč až miliony Kč.

10.2.2 Extrémně detailní součástky

Vznikají osvitem fotocitlivé pryskyřice, tzv. stereo litografií, popřípadě SLA, primárně DLP projektorem nebo laserem. Vznikají tak extrémně detailní součástky. Pryskyřice v nevytvrzené formě je silně toxická a při špatné manipulaci rychle vyvolává vyrážky. Vyžaduje tedy profesionální obsluhu a speciální pracoviště. Cena se pohybuje od cca 80 tisíc Kč až po stovky tisíc korun - viz obrázek 8.



Obrázek 8: Objekty vytisknuté na tiskárně Form1

11 Souhrn technologií

11.1 Hardware

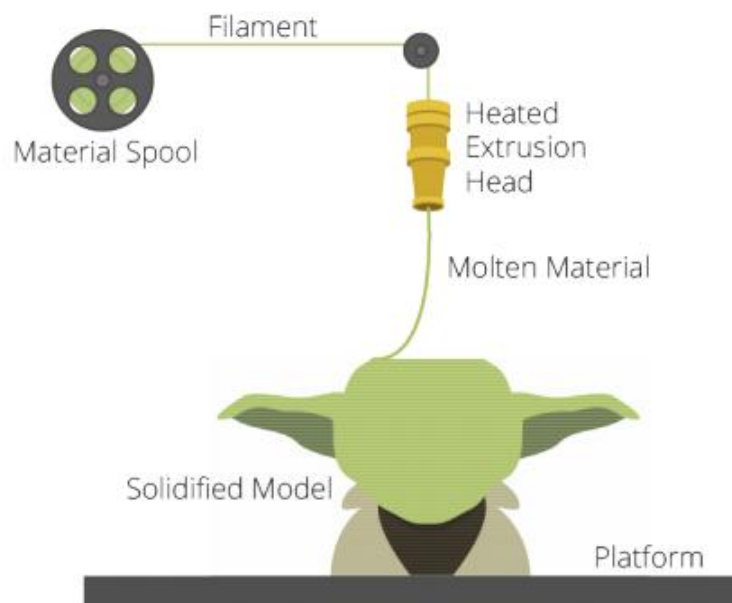
Technologie 3D tisku se dělí do tří kategorií, technologie na tekuté bázi, technologie na práškové bázi a technologie na pevné/tuhé bázi. Technologii na tekuté bázi představuje Stereolitografie a PolyJet. Mezi technologie na práškové bázi patří 3DP a SLS a mezi technologie na pevné bázi LOM, FDM a MJM. Vývoj 3D tiskáren neustále pokračuje, a tak jsou představovány neustále nové a nové technologie. Základem se ale vždy podobají svým předchůdcům, a proto zde nebudu vyjmenovávat všechny, ale vyberu ty nejdůležitější a nejpoužívanější.

11.1.1 FFF (nebo FDM) – tisk funkčních modelů roztaveným plastem

3D tisk za pomoci vytlačování termoplastického materiálu je nejpoužívanější, a tím pádem nejznámější 3D tisková technologie. Nejpoužívanějším termínem pro tento proces je Fused Deposition Modeling (FDM). Tento název je však registrovanou obchodní značkou společnosti Stratasys, která technologii vyvinula.

Proces probíhá tavením plastového materiálu, který je veden skrze vyhřívanou tavící hlavu. Tavený plast se nanáší po vrstvách na pracovní desku v závislosti na 3D modelu, který jsme tiskárně poskytli. Každá vrstva po jejím nanesení ztuhne a spojí se s předchozí vrstvou. Společnost Stratasys vyvinula řadu průmyslových materiálů pro tuto technologii, které jsou vhodné pro různé výrobní postupy. Ze začátku byl výběr materiálů značně omezený, ale nabídka stále roste. Nejpoužívanějším materiálem je však ABS a PLA.

FDM technologie často vyžaduje podpurné konstrukce pro tvorbu složitých geometrií, kde je vytvořen například velký převis stavebního materiálu. Využívá se tedy druhého, podpurného materiálu, který je ve vodě rozpustný a umožňuje tak jednoduché odstranění, jakmile je 3D tisk dokončen. Alternativou jsou podpurné materiály, které při dokončení tisku lze odlomit od modelu - viz obrázek 9.



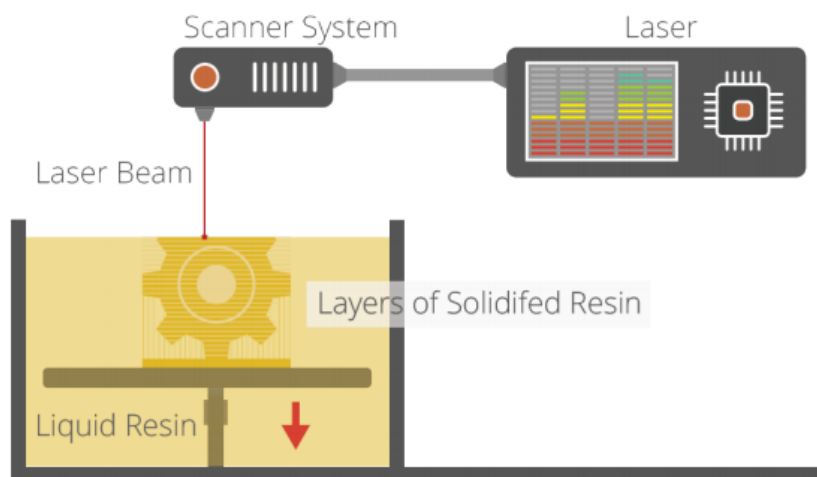
Obrázek 9: Princip technologie FDM

11.1.2 Stereolitografie

Stereolitografie je známá jako vůbec první technologie 3D tisku. Tato technologie je založena na laserovém procesu, který pracuje s na světlo citlivou pryskyřicí. Ta reaguje na laserový paprsek a je vytvrzována do požadovaného tvaru s velmi vysokou přesností. Je to složitý proces, ale jednoduše řečeno, pryskyřice je držena v nádrži s pohyblivou platformou uvnitř. Laserový paprsek je směřován v osách X-Y po povrchu pryskyřice v závislosti na poskytnutých datech 3D modelu. Materiál je vytvrzován přesně v místě, kde se nachází laserový paprsek. Jakmile je vrstva dokončena, posouvá se platforma hlouběji do nádrže (po ose Z) a následně je vytvrzována další vrstva. Takto proces pokračuje až do dokončení celého objektu a platforma může být z nádrže vyjmuta.

Vzhledem k povaze procesu stereolitografie je často vyžadován tisk podpurných částí, které je po dokončení tisku nutné manuálně odstranit. Pokud jde o další kroky zpracování, tak 3D modely je často nutné očistit a dodatečně vytvrdit. Vytvrzování spočívá ve vystavení modelu na intenzivní světlo v přístroji připomínajícím troubu, aby došlo k úplnému vytvrzení materiálu.

Stereolitografie je obecně známá jako jedna z nejpřesnějších technologií 3D tisku s výbornou povrchovou úpravou. Nicméně omezujícími faktory jsou vyžadované post-procesní kroky a stabilita materiálu po nějaké době, kdy materiál může zkřehnout - viz obrázek 10.



Obrázek 10: Princip technologie Stereolitografie

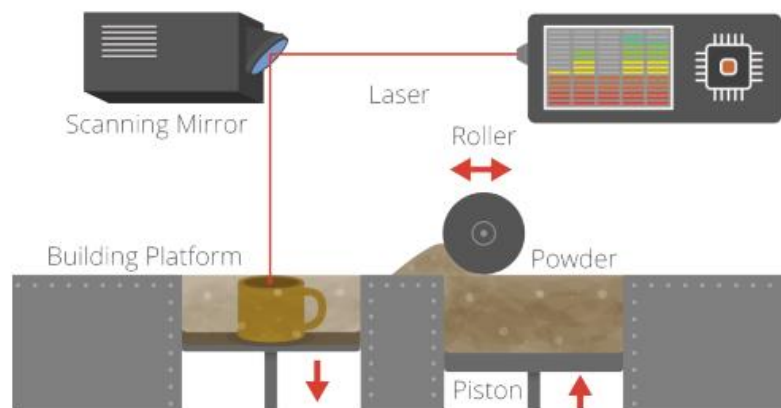
11.1.3 Laser sintering

Laser sintering je termín, který odkazuje na 3D tiskový proces, jenž pracuje s práškovými materiály. Laser se pohybuje v osách X-Y přes práškové lože s naneseným práškovým materiálem v závislosti na datech 3D modelu, které jsme tiskárně poskytli. Jakmile se laser dostane do kontaktu s práškovým materiálem, je materiál spečen a tvoří tak pevnou formu. Jakmile je tištěná vrstva dokončena, posune se tiskové lože níž a na již spečenou vrstvu je nanášena další vrstva prášku, která je připravena ke spečení s předchozí vrstvou.

Pracovní komora je kompletně uzavřena, protože je nutné dodržovat konkrétní teploty specifické pro bod tání práškového materiálu. Po dokončení je práškové lože vyjmuta ze stroje a přebytečný prášek může být odstraněn a co zůstane, je požadovaný model. Jednou z hlavních výhod této technologie je, že práškové lože slouží zároveň jako podpora pro tištěné převisy a složité geometrie, a je tak možné docílit složitých tvarů, které by nemohly být vyrobeny jiným způsobem.

Nicméně na druhou stranu, protože je vyžadováno vysokých teplot, je nutné počítat s časem pro vychladnutí. Kromě toho, pórovitost je historickým problémem v této technologii, a zatímco došlo k značným vylepšením v oblasti hustoty tisknutých dílů, některé aplikace stále vyžadují smíchání s jiným materiálem pro zlepšení mechanických vlastností.

Tato technologie je schopna pracovat jak s plastovými, tak s kovovými materiály, i když spékání kovových materiálů vyžaduje mnohem vyšší teploty a výkonnější laser. Díly vyráběné touto technologií jsou mnohem pevnější, ale obecně povrchová úprava a přesnost není na tak dobré úrovni - viz obrázek 11.



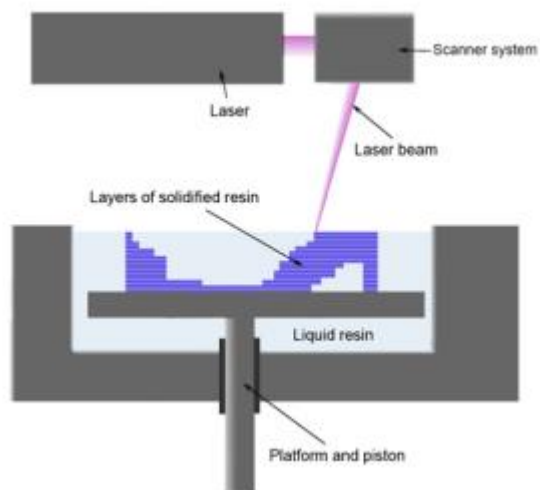
Obrázek 11: Princip technologie Laser sintering

11.1.4 SLA

Je metoda vytváření objektů pomocí postupného vytvrzování polymerů působením záření různých vlnových délek, nejčastěji UV záření. Zaměřením záření na konkrétní místo pak vzniká vrstva částečně vytvrzeného polymeru. Na ni se nanáší další vrstvy. Předmět je tedy vytvářen z vrstev - viz obrázek 12.

Přesnost výsledného modelu je závislá na (seřazeno dle významnosti):

- hustotě polymeru
- šířce paprsku
- délce a intenzitě ozařování



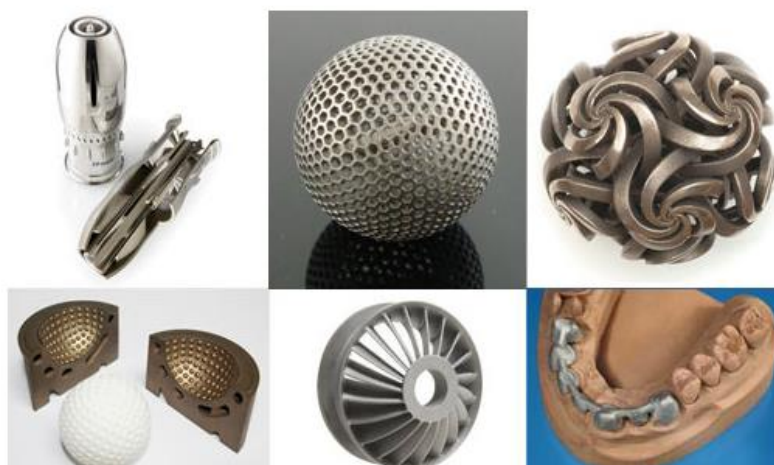
Obrázek 12 : Stereolitografie

11.1.5 SLS

Selective Laser Sintering, metoda založená na zapékání práškového materiálu laserovým paprskem, tloušťka vrstvy je cca 0,1 mm, výhodou je nízká cena používaného materiálu a možnost jeho výběru (plast, kov, či sklo v práškové formě), nevýhodou je naopak vysoká cena za pořízení stroje.

11.1.6 Direct Metal Sintering (DMLS)

Direct Metal Laser Sintering (*přímé kovové laserové spékání*) je generativní technologie, jež vytváří výrobek po jednotlivých vrstvách (*layer by layer*). Libovolné geometrické tvary mohou být stavěny efektivně a rychle bez použití nástrojů či klasického obrábění. Nezbytným předpokladem jsou 3D CAD data dílu. V průběhu výroby je 3D CAD model rozdělen na vrstvy, pak technologie DMLS staví požadovanou geometrii vrstvu po vrstvě. Energie laseru taví kovový materiál v podobě jemného prášku pouze v oblasti geometrie dílu. Proces DMLS umožňuje výrobu několika tvarově odlišných výrobků zároveň - viz obrázek 13.



Obrázek 13: 3D tisk v dnešní praxi

11.1.7 Electron Beam Melting (Ebm)

EBM je metoda nabízená firmou ARCAM pocházející ze Švédska. Technologie se podobá metodě Laser Sintering zpracovávající kovový prášek, ale na rozdíl od této metody je místo laseru používán elektronový paprsek. Díly jsou stavěny ve vakuu při teplotě 1000 °C. Vlivem těchto podmínek se eliminuje vnitřní napjatost a celkově se docílí lepších materiálových vlastností stavěného dílu. Chlazení součásti je řízeno tak, aby se dosáhlo velmi

dobrého zpevnění, a to zejména na povrchu. Metoda EBM umožňuje zpracovat především slitiny titanu a kobalt-chromu, které jsou vhodné na aplikace v leteckém průmyslu a zhotovení implantátů v oblasti lékařství

11.1.8 Technologie Selective Laser Melting (SLM)

Selektivní laserové tavení práškových kovů je jednou z populárních technologií rychlého prototypování kovových součástí. Zdrojem tepla pro tavení prášků jsou vysoce výkonný laser (CO₂) nebo elektronový paprsek, které taví rovnoměrně nanesený prášek na základní desce (platformě). Velikost paprsku se pohybuje okolo 70 mikrometrů. Tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí 20 až 100 mikrometrů, volíme ji podle použitého práškového kovu - viz obrázek 14.

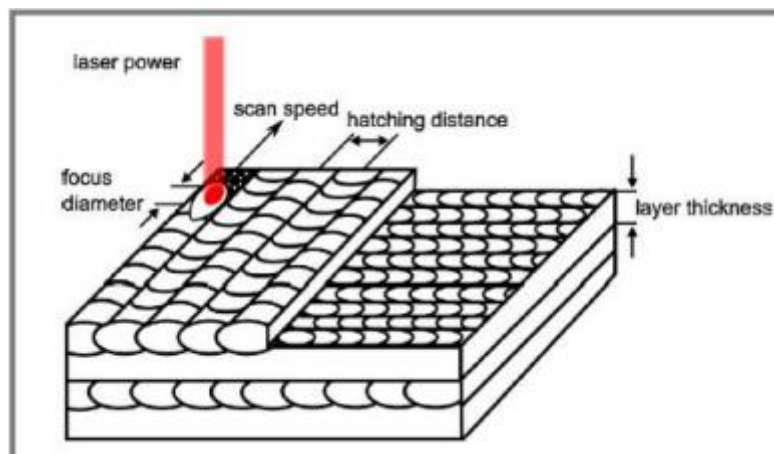


Obrázek 14: Selective Laser Melting

11.1.8.1 Základní parametry

V softwaru pro přípravu výroby můžeme nastavovat parametry, a tím měnit strategii výroby. Tyto parametry mohou značně ovlivnit mechanické vlastnosti součástí, kvalitu povrchu a čas výroby. Významné parametry jsou dále uvedeny:

- Výkon laseru (laser power)
- Rychlost pohybu laseru (scan speed)
- Průměr laserového paprsku (focus diameter/laser beam spot size)
- Tloušťka vrstvy (layer thickness/slice thickness)
- Šrafovací vzdálenost (hatching distance/scan spacing)
- Míra překrytí (overlap rate)
- Strategie šrafování (scanning strategy)
- Orientace součásti (building direction) - viz obrázek 15.



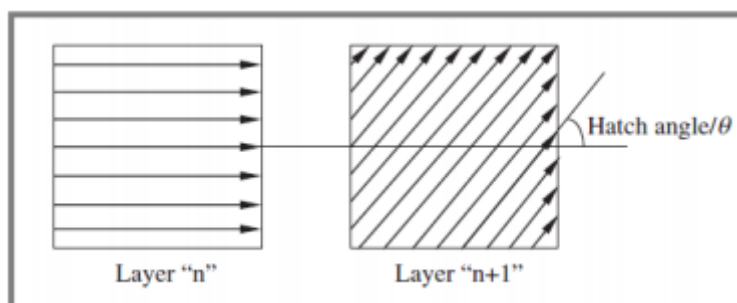
Obrázek 15: Parametry výroby SLM [2]

Míra překrytí

Je procentuální vyjádření překrytí dvou sousedících návarů. Je závislá na šrafovací vzdálenosti a šířce laserem roztaveného návaru.

Strategie šrafování

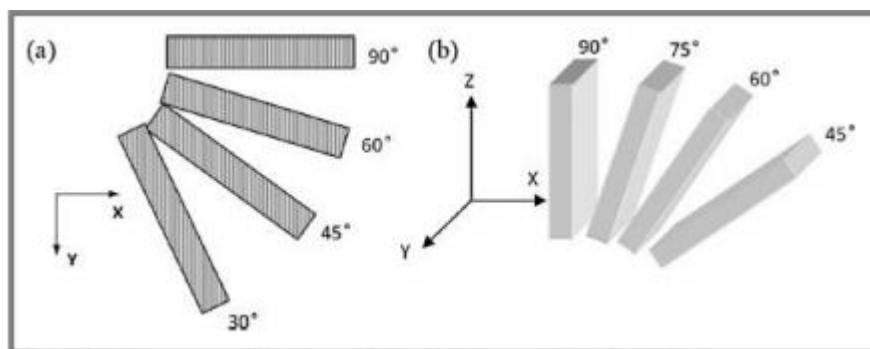
Pro tisk může být zvolen více stylů strategií šrafování. Vždy záleží, jaké možnosti nastavení dovoluje dané SLM zařízení. Nejznámější a nejjednodušší je kontinuální šrafování, kde jednotlivé směry jsou rovnoběžné. Vektory mohou mít stejný směr nebo vždy sousedící vektory mají směr opačný. To se nazývá „Bidirectional“ nebo tzv. „Zigzag“ princip [7], nebo také „Meander“, záleží na výrobcu zařízení. Když následující vrstva má pootočený směr šrafování vůči předchozí, tak se jedná o tzv. úhel šrafování (hatch angle), jak zobrazuje obrázek 16.



Obrázek 16: Úhel šrafování [3]

Orientace součásti

Je určena natočením součásti vůči směru tvoření vrstev – viz obrázek 17.



Obrázek 17: Orientace součásti v rovině XY (a), v rovině XZ (b) [4]

Hustota energie laseru

Je v mnoha studiích považována za klíčový faktor, který ovlivňuje vlastnosti vyrobených součástí pomocí SLM. Udává průměrnou užitou energii na objem materiálu během pohybu laseru: [5]

$$E = \frac{LP}{LS \cdot h \cdot t} \text{ [j} \cdot \text{mm}^{-3}\text{]}$$

kde LP je výkon laseru [W], LS je rychlost pohybu laseru [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$], h je šrafovací vzdálenost [mm] a t je tloušťka vrstvy [mm]. Při pulzním módu laseru lze rychlost pohybu vyjádřit jako podíl vzdálenosti dvou po sobě jdoucích zásahů laseru (point distance) a době působení laseru (exposure time) [6].

Ve studii [7] použili výpočet hustoty energie laseru jednoho návaru, kde místo se šrafovací vzdáleností počítali s průměrem laserového paprsku.

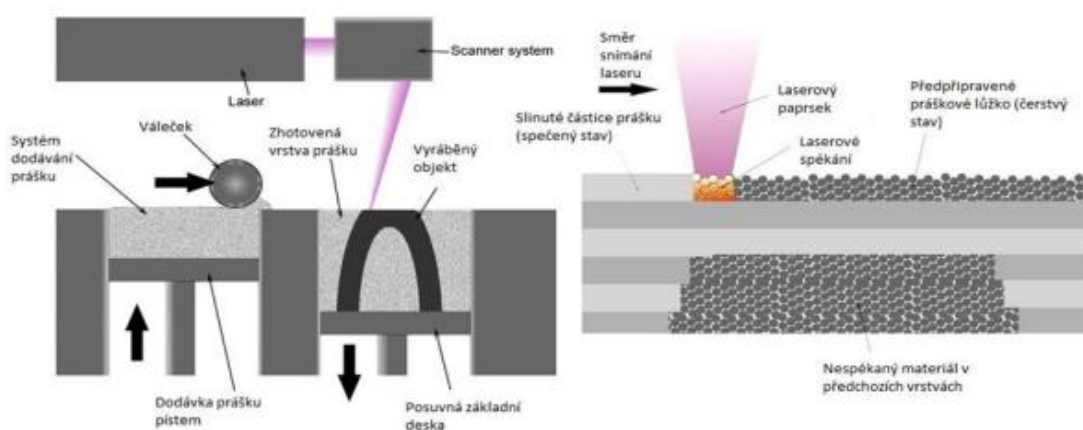
$$E = \frac{LP}{LS \cdot d} \text{ [j} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]}$$

Další vlivy na výrobu

Značný vliv na SLM proces mají vlastnosti kovového prášku. Jeho chemické složení, mikrostruktura, velikost a tvar částic, tekutost a chování prášku při nanášení [1]. Dále ovlivňuje druh atmosféry v komoře, předehřátí nebo pomalé ochlazování součásti, případně typ podpor, a jejich správné umístění.

11.1.8.2 Princip selektivního laserového tavení práškových kovů

Na podkladovou desku je nanесena první vrstva práškového materiálu. Prášek je působením laseru nataven – dochází k jeho spékání pouze v požadovaném místě. Okolní materiál zůstává nespečen a slouží jako podpora. Tímto způsobem je dokončena jedna vrstva. Nosná deska je posunuta o tloušťku jedné vrstvy dolů a další vrstva prášku je nanесena speciálním válečkovým mechanismem – proces spékání se opakuje do vzniku prototypu. Materiálem prototypových součástí je prášek ve formě: kovu, plastu, pryže, keramiky a speciálního písku. Materiál je ve formě velmi jemného prášku – (částice 20 až 100 μm) - viz obrázek 18.



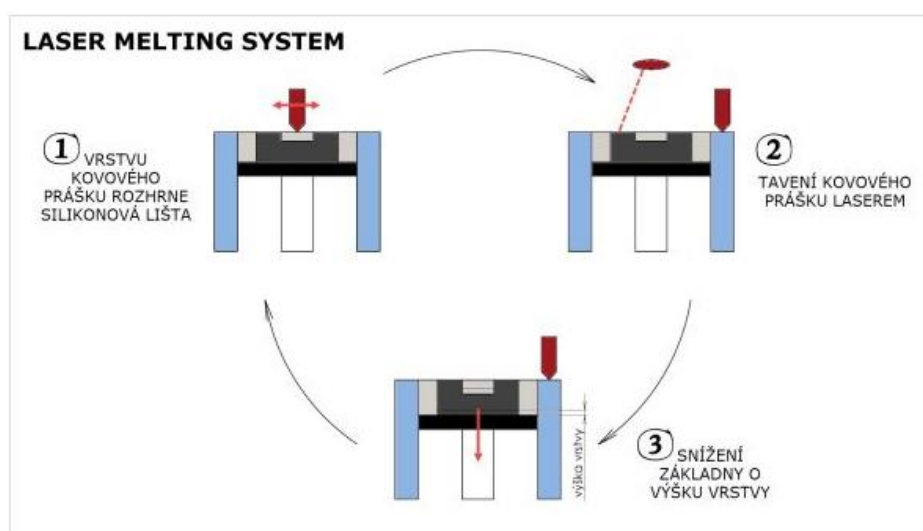
Obrázek 18: Schéma metody SLM

11.1.8.3 Pracovní proces metodou SLM

K procesu tavení dochází v přísně regulované atmosféře. Pracovní komora je před zahájením procesu zbavena vzduchu a vlhkosti (prostor tvoří téměř stoprocentní vakuum). Následně je vyplněna inertním plynem argonem, alternativně dusíkem. S ohledem na vyšší účinnost je výhodnější použít argon, který má vyšší protonové číslo a je těžší než dusík. Díky větší váze dochází k vytlačení zbytkového vzduchu s koncentrací kyslíku pod 0,1 %, při stavbě titanu a jiných reaktivních materiálů je koncentrace kyslíku pod 0,01 %. Průměrná spotřeba plynného argonu je pod hranicí 50 litrů za hodinu.

Po přípravné fázi a kalibraci desky před 3D tiskem je ze zásobníku nasypan kovový prášek, který je na platformu rovnoměrně nanесen planžetou se silikonovou lištou. V další části výrobního procesu dochází k tavení vrstvy práškového kovu laserem podle předem připraveného programu.

Výška vrstvy souvisí s nastavením parametrů a použitého kovového prášku. Pro korozivzdornou ocel se standardně uvádí výška vrstvy 50 mikrometrů. Laserový paprsek je směřován v osách X a Y dvěma vysokofrekvenčními snímacími zrcátky. Laserová energie je dostatečně silná, aby umožnila úplné roztavení kovových částic. V případě zařízení Renishaw AM 400 je výkon laseru 400 W. Po dokončení každé vrstvy se platforma posune níže v ose Z přesně o výšku další vrstvy – a celý proces se opakuje do doby, než je dokončena stavba celého modelu - viz obrázek 19.



Obrázek 19:Schéma procesu tavení práškového kovu metodou Selective Laser Melting

11.1.8.4 Materiály pro výrobu technologií SLM

SLM systém umožňuje zpracování široké škály kovových materiálů, jako jsou nerezové oceli, nástrojové oceli, kobalt-chrom nebo super slitiny. Navíc zařízení při využití inertní atmosféry Argonu umožňuje pracovat i s reaktivními kovovými prášky, jako jsou hliníkové a titanové slitiny. Mechanické vlastnosti těchto materiálů jsou díky své jemné struktuře lepší než mechanické vlastnosti litých materiálů. Nejběžnějšími materiály jsou slitiny hliníku (AlSi10Mg, AlSi12), nerezová ocel 316L a slitiny titanu (Ti6Al4V). Výroba kovových prášků s velmi malou velikostí částic a definovaným tvarem je složitý a utajovaný proces, který se skládá z několika částí. Ty se mohou lišit s technologií:

Základní parametry částic prášku jsou

- kulovitý tvar,
- homogenní mikrostruktura,
- vysoká čistota materiálu,
- rychlé tuhnutí.

Kovové pěny

Kovová pěna je struktura, která se skládá z pevného kovu, často hliníku, který ovšem obsahuje velký objemový podíl pórů naplněných plynem. Póry mohou být uzavřeny (closed – cell foam) nebo mohou vytvářet propojenou síť (open – cell foam). Charakteristickým znakem kovových pěn je velmi vysoká pórovitost, typicky 75 – 90%. Vznik pórů ale není přesně řízen a porézní struktura je nepravidelná. Proto se při výpočtu tuhosti těchto struktur používá teoretický pravidelně se opakující tvar. Studie prokázaly, že porézní kovové struktury, jako je například pěna titanu, umožňují zarůstání kosti do porézní oblasti protézy.

Výroba

Kovové pěny jsou kovové materiály, které v sobě obsahují otvory vyplněné plynem. Kovové pěny se vyrábějí tak, že v tekutém stavu kovu je do taveniny přiveden plyn, který uvnitř taveniny vytvoří dutiny. Plyn má tendenci vlivem vysokých vztlakových sil stoupat vzhůru k povrchu taveniny. Tomu je zabráněno zvýšením viskozity taveniny pomocí keramických prášků nebo legujících prvků. [9], [10]

Způsoby výroby kovové pěny

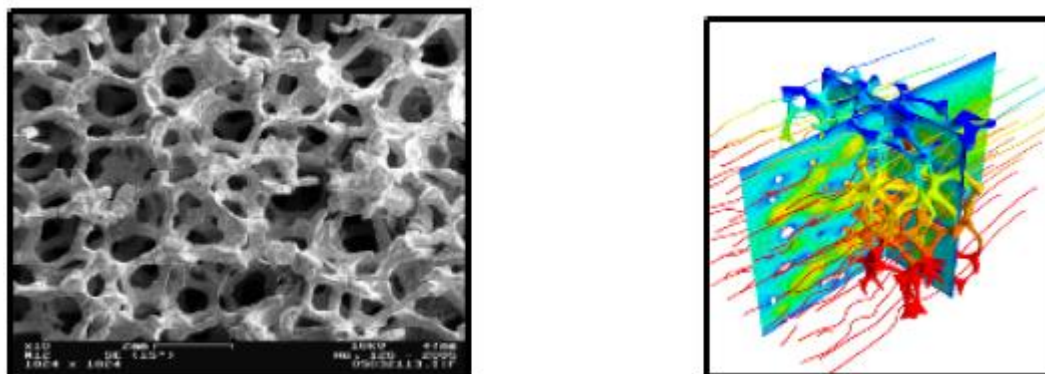
- Přivedení plynu do taveniny z externího zdroje
- Přidáním látek do taveniny, které způsobují tvorbu plynu

Využití

Close – cell foams se využívají zejména na výplň konstrukčních materiálů, které jsou lehčí než plné profily a jejich mechanické vlastnosti jsou velmi blízké plnému materiálu. Slouží také jako deformační zóny při absorpci energie.

Open – cell foams (viz obrázek 20) se využívají jako kompaktní výměníky tepla, kde díky svoji struktuře zvyšují efektivitu procesu. Open – cell foams je možné využít také jako filtrační materiály. Speciální využití open – cell foams vyrobené z titanové slitiny jsou části

implantátů, kde díky pórovitosti kovové pěny dochází k zarůstání kosti do kovové struktury.[9], [10]



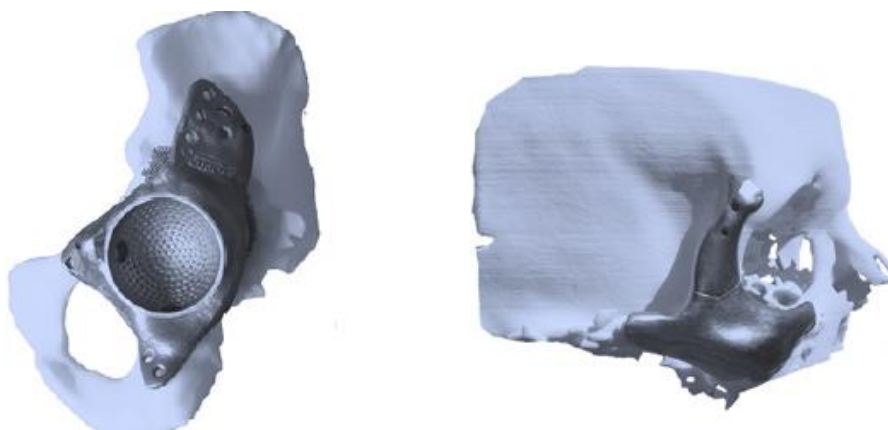
Obrázek 20: Open - cell kovová pěna (vlevo); Simulace přestupu tepla (vpravo).

11.1.8.5 Využití technologie SLM v praxi

Lékařství

Na základě 3D modelu pacienta, získaného pomocí CT nebo optického skenování, je navržen 3D model implantátu, který přesně odpovídá potřebám pacienta. Na závěr lékař pouze připevní a doopraví implantát při operaci.

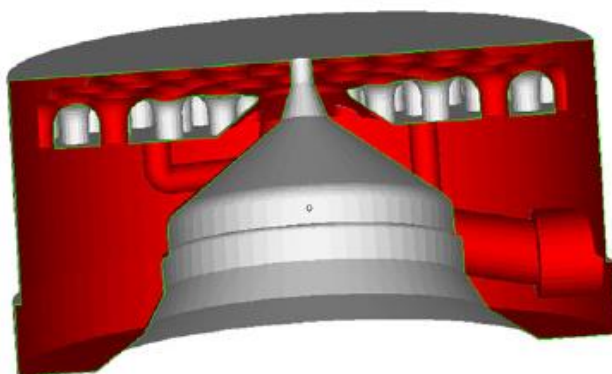
V minulosti byly implantáty vyrobené ze součástí, které měly univerzální tvar. Například části protézy, které ji mají fixovat, byly z rovných plochých částí. Takové části byly přímo při operaci ohýbány podle okolních kostí (pomocí hrubé síly) - viz obrázek 21.



Obrázek 21: Příklady implantátů

Formy na plastové výlisky

Příklad využití SLM technologie pro potřeby vstřikovacích forem je na obrázku 22. Díky aditivnímu výrobnímu procesu bylo možné tuto součást chladicího okruhu formy vyrobit s úsporou 75% hmotnosti a se zachováním potřebné tuhosti. Díky využití obecných tvarů při použití aditivních technologií byli konstruktéři schopni snížit odpor kapaliny. To mělo za následek zlepšení cirkulace kapaliny až o 80%. [10]



Obrázek 22: Součást chladicího okruhu formy

Náhrada složitých malých sestav

Kovová aditivní technologie nachází využití při výrobě tvarově složitých dílů s vnitřními dutinami. Takové díly jsou jinou technologií prakticky nevyrobitelné (viz obrázek 23). V praxi jsou tyto součástky nahrazovány množstvím velmi malých součástek, které jsou konvenčními způsoby opracované a poskládané do jedné sestavy. Při využití SLM na tento typ součástí jsou odstraněny výrobní nepřesnosti jednotlivých komponent a případné problémy se složitou montáží. [10]



Obrázek 23: Speciální plynový hořák

11.1.9 Technologie společnosti Concept Laser Cusing (LC)

Concept Laser jsou systémy pro laserové spékání kovových prášků, jako např. korozivzdorné, nástrojové oceli, slitiny titanu, hliníku, CoCr, Inconel nebo drahé kovy (Au, Ag, Pt). Systém vyrábí součásti aditivní technologií, známou také jako rapid prototyping, kdy dochází k lokálnímu natavení ve vrstvách nanášeného kovového prášku pomocí laseru.

Uplatnění nachází při výrobě hotových dílů, které nelze běžnými výrobními metodami zhotovit (např. s konformním vnitřním chlazením, porézní struktury, bezešvě zřetězené díly, atd.) nebo při prototypové výrobě odlitků bez nutnosti výroby formy. Stroj lze využít v oblasti automobilového, leteckého, lékařského, dentálního, šperkařského průmyslu a v oblasti výroby vstříkovacích forem.

11.2 Software

Jelikož žádná 3D tiskárna nemůže pracovat bez digitálního 3D modelu, je nutné si na tomto místě krátce představit dostupné 3D modelovací programy. Všechny takové můžeme zařadit do kategorie CAx, jak se souhrnně označují Computer Aided Technologies, z nichž jsou pro nás nejdůležitější CAD (Computer Aided Design) a CAM (Computer Aided Manufacturing). Existuje jich ale mnohem více, jako například CAE (Computer Aided Engineering) nebo CAID (Computer Aided Industrial Design), patří sem ale i zkratky mající jiná počáteční písmena jako FEA (Finite Element Analysis) nebo PDM (Product Data Management).

11.3 3D skenery

3D skenery jsou zařízení pro zachycení tvarů a textur fyzických objektů a následného převedení do digitální podoby pro další zpracování v počítači. Ve většině případů je princip metody založený na snímání jednotlivých bodů na povrchu objektu a vytvoření velkého počtu těchto bodů, tj. mračna bodů. Poté se využitím těchto bodů zrekonstruuje (extrapoluje z jednotlivých bodů) prostorový počítačový model použitím vhodné polygonové sítě. K získání těchto bodů se využívá mnoho různých technologií: kamery, rentgeny, magnetické mikrotomografy, lasery, dotykové snímače apod. Od použitých technologií se pak i odvozují názvy jednotlivých metod skenování, tzn. například rentgenové, ultrazvukové, laserové, optické nebo mechanické 3D skenery. Nejčastěji se používají nedestruktivní metody, které snímanou součástku nezničí. Každá metoda má ovšem svoje omezení, výhody a nevýhody, včetně celé škály cen. Výstupy, tj. 3D počítačové modely, mají mnohé využití od filmových efektů a počítačových her přes průmyslový design, ortotiku a protetiku, reverzní inženýrství až po kontrolu kvality nebo dokumentaci kulturních památek.

12 Výhody nevýhody 3D tisku kovů

12.1 Výhody 3D tisku kovů

- Redukce nákladů na nástroje a zařízení – součásti mohou být vyrobeny přímo bez použití dalších speciálních nástrojů a obráběcích strojů
- Ekologicky šetrný proces – dochází k celkovému snížení nároků na množství materiálu, na rozdíl od klasických metod využije 3D tisk až 98% materiálu
- Rychlejší výroba – 3D tiskem kovů lze dosáhnout vyšší efektivity využití času
- Nové konstrukční možnosti – výroba vysoce komplexních geometrických tvarů
- Vysoká pevnost a kvalita tištěné součásti.
- Čistá a uživatelsky snadná technologie
- Bezproblémová výroba geometricky náročných dílů

12.2 Nevýhody 3D tisku kovů

- Problémy s duševním vlastnictvím - jednoduchost, kterou přináší 3D tisk k tvorbě replik a kopií, vyvolává otázky nad právy k duševnímu vlastnictví. Z důvodu snadné dostupnosti výkresů zdarma online na různých serverech je otázkou, zda-li i dosud neziskové organizace nebudou chtít vytvářet zisk za pomoci této technologie.

- Nekontrolovaná výroba nebezpečných věcí - "Liberator", světově první funkční zbraň vyrobená pomocí 3D tisku ukázala, jak jednoduché je vyrobit zbraň, pokud má někdo přístup k výkresům a 3D tiskárně. Vlády by mohly vymyslet způsoby a prostředky ke kontrole tohoto trendu.
- Omezená velikost - technologie 3D tisku je aktuálně omezena velikostí jednotlivých výrobků. Velmi velké objekty je stále nemožné vytvořit pomocí 3D tisku.
- Omezený počet použitelných materiálů - v současnosti dokáží 3D tiskárny pracovat se zhruba 100 materiály. To je vcelku zanedbatelné číslo ve srovnání s materiály použitelnými v tradičním výrobním průmyslu. Je zapotřebí dalších výzkumů, které by nám ukázaly metody, které by umožnily 3D výtiskům být více odolné a robustní.
- Pořizovací cena tiskáren - počáteční pořizovací cena 3D tiskáren stále není na takové úrovni, aby si je mohla dovolit průměrná domácnost. Stejně tak pro různé druhy objektů je vhodné volit různé druhy 3D tiskáren. Navíc, tiskárny, které umožňují vícebarevný tisk, jsou dražší než ty, které využívají pouze jednu barvu.[1]

13 Aplikace 3D tisku kovů

3D tisk začínal jako nástroj pro výrobu rychlých a levných prototypů. S uvolněním řady patentů a příchodem levnějších technologií došlo k lepší finanční dostupnosti a došlo tak i k jeho dalšímu využití. Jedním z nich je například malosériová výroba. Pokud firma plánuje vyrábět sérii produktů, která je příliš malá a má tak vysoké náklady spojené s přípravou výroby, pak je 3D tisk těchto produktů finančně výhodnější. Velkou výhodou této technologie je personalizovaná výroba, kdy může být každý díl přizpůsoben přání zákazníka. Pokud se od zákazníků podaří získat zpětnou vazbu na prototypy a je nutné provádět u produktu změny, tak není nutné znovu investovat do přípravy výroby. Využití AM se nabízí při opravě starožitností a veteránů, kde nejsou náhradní díly dostupné často už desítky let. 3D tisk je mladá technologie, a tak se další využití objevují každý den:

- **Automobilový průmysl:** prototypová výroba se v současnosti rozšiřuje do sériové výroby (výroba komponentů motoru, karosérie, chladicích kanálů, nosných dílů, dílů vnitřního prostoru, atd.)
- **Letecký průmysl:** technologie již využívána pro opravy a sériovou výrobu (výroba odlehčených součástí (úspora hmotnosti = úspora paliva) jako jsou lopatky turbín motorů, části palivových systémů atd.)

- **Výroba forem:** vytvoření chladicích kanálů, které kopírují tvar vylisku a následná větší produktivita výroby, delší životnost formy a nižší zmetkovitost díky lepšímu chlazení formy
- **Zdravotnictví:** výroba vysoce kvalitních zubních komponent (korunek, šroubů, můstků), kostních náhrad, netypických prototypů implantátů a nástrojů atd.
- **Umělecké obory:** využití v průmyslových oborech jako je architektura, šperkařství a zábavní průmysl díky novým možnostem designu

14 Praktické uplatnění 3d tisku

Individuální výrobci nejsou jediní, kdo pomocí technologie 3D tisku dosahuje pokroků ve všech životních oblastech. Také firmy a jiné organizace nasazují prvky 3D tisku, aby rozšířily svou nabídku, zlepšily stávající produkty a služby, a dokonce vytvářely nové. Nové technologie ovlivňují realitu hlavně tehdy, když se uplatňují v každodenním životě. V této kapitole stručně projdeme některé inovativní aplikace 3D tisku, které v současnosti nabízejí různí jednotlivci i organizace, a vysvětlíme, proč se tato technologie dynamicky rozvíjí.

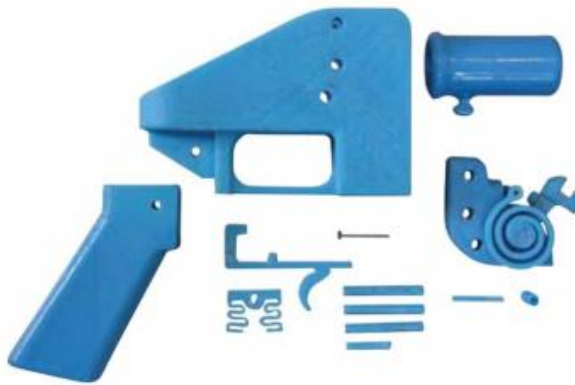
14.1 Tisk náhradních dílů

Investice do vývoje lze mnohem více spatřit v případě vojenského sektoru nebo při dobývání zemských pólů nebo dokonce i vesmíru. Nakonec se stačí poohlédnout do historie, kde za většinou vynálezů a konstrukcí stály armády všech možných zemí světa.

Tisk náhradních dílů

Ne jinak je tomu i v dnešní době. Jedná se především o pokusy s kovem. Především se jedná o zjednodušení zásobovací logistiky náhradními díly. Pro běžnou firmu jistě není problém v případě potřeby objednat náhradní díl, ale pokud máte vojenské operace daleko od domova, není rozhodně jednoduché takové jednotky zásobovat náhradními díly.

Myšlenka mnoha vojenských velitelů je, aby si takové vzdálené jednotky potřebné díly vyráběly sami. Bohužel v dnešní době máme dobře zmapované technologie tisku s plastem a relativně i s kovem. Bohužel největší překážkou v tisku kovu jsou jeho zpravidla odlišné mechanické vlastnosti od požadavků. Není problém vytisknout kovovou součástku potřebného chemického složení, ale problém je dodržet správnou strukturu a ta je značně rozhodující v mechanických vlastnostech. Typickým příkladem může být lopatka turbíny proudového motoru nadzvukového letounu. Díky otáčkám v řádu desítek tisíc za minutu není současná technologie 3D tisku schopná toto zvládnout – viz obrázek 24.



Obrázek 24: jednoranná plastová pistole

Z pohledu zvládnutí tisku kovu se nejedná o zásadní problém, nejedná se ani o zásadní problém v případě složení kovu, ale ovlivnit dostatečně strukturu ještě neumíme. Zde se do budoucna dá očekávat značný vývoj.

V souvislosti s armádou a informacemi pro ni, je největší problém, jak se k potřebným informacím dostat. Netřeba zdůrazňovat, že firmy a instituce pracující pro armády nám rozhodně nic neřeknou a zpravidla nic nezveřejňují. Informace jsou tak mnohdy kusé a jejich relevance je těžko ověřitelná.

14.2 Oprava poškození dílů

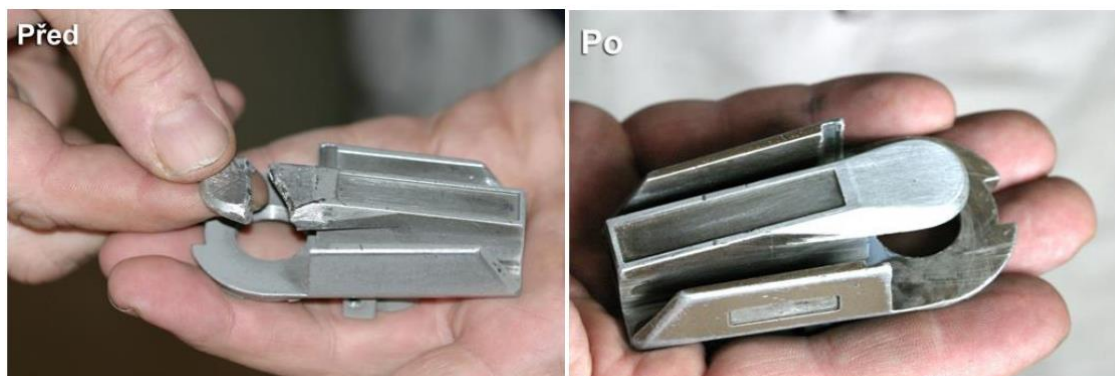
DMLS nachází uplatnění také při opravách forem. Vhodné je zejména v případech, kdy již pro rozsah poškození nelze využít navařování laserem, tedy tam, kde je nutné doplnit určitý objem chybějícího materiálu (například poškozené hrany a rohy).

Doplněný nebo tzv. dosintrovaný materiál má v základním stavu mez pevnosti 1100 MPa a povrchovou tvrdost 36 až 39 HRC. Jeho tepelným zušlechťením je možné dosáhnout meze pevnosti až 1950 MPa a tvrdosti 50 až 54 HRC. Díky využití relativně nízké teploty se nezmění povrchová tvrdost původního dílu, přičemž je doplněna hmota o požadované tvrdosti. [11], [12]

ÚPRAVA 3D MODELU

Pokud si zákazník bude přát, můžeme v CAD systému (SolidWorks) provést úpravy tvarů. Tento postup je výhodný zejména pro renovace poškozených tvarů, pro které nejsou k dispozici výkresy. Takové díly oskenujeme, vytvoříme 3D model, navaříme např. laserem, 3D

model upravíme do původního, nepoškozeného tvaru, v CAM softwaru vygenerujeme frézovací dráhy a obrobíme či vyjiskříme dle 3D modelu. [11], [12] - viz obrázek 25.



Obrázek 25: Oprava poškozeného tvaru: svařování prasklých tvarových dílů

14.3 Výroba modelu pro přípravu kontrolního pracoviště

Možnosti uplatnění vytištěných 3D dílů jsou široké. Jednou z možností je získat rychle fyzický díl, kde nezáleží, z jakého materiálu bude vyroben, ani na jeho dokonalé přesnosti. Důležité je získat fyzický díl dříve než bude k dispozici skutečný díl z výroby. K tomu stačí pouze mít virtuální 3D data a z nich lze daný díl přímo vytisknout.

Tento postup využití byl uplatněn ve spolupráci s firmou vyrábějící vstříkované výrobky z plastů s plastovými a kovovými záložkami (viz obrázek 26). Pro firmu bylo důležité získat model vyjadřující obálku skutečného dílu.



Obrázek 26: Díl s konektory (Zdroj: [38])

Díl byl vytištěn na základě 3D dat včetně kovových konektorů, které byly ovšem ve vytištěném modelu nahrazeny tímž plastem, ze kterého byl vyroben celý díl. Pracovníci kontroly pak použili vytištěný díl pro naprogramování 3D měřicího zařízení. Měřicí zařízení tak bylo připraveno kontrolovat přesnost vyráběných dílů ještě dříve, než byl k dispozici první reálný výrobek. To umožnilo urychlit celý proces kontroly vyráběných dílů. Pracovníci kontroly měli také více času vyladit postup kontroly, tak aby byl co možná nejkratší.

15 Ekonomické porovnání výroby prototypů

V této kapitole je porovnávána ekonomická náročnost výroby dílů metodou DMLS oproti technologii tváření. Porovnání probíhalo pro 1, 2 a 4 kusy součástí, protože v těchto počtech byly porovnávány díly vyráběny - někdy je potřeba pouze 1 kus na ověření smontovatelnosti a jindy se využívá více kusů, např. pro testovací účely. Výrobním materiálem metody DMLS byla nástrojová ocel (MS1) - 1 kg této práškové oceli stojí cca 4300,- Kč. Materiál, který byl použit pro technologii tváření je ocel S355MC .

15.1 Ekonomická analýza

Finanční srovnání každého prototypového dílu s oběma výrobními metodami je uvedeno v tab. 16.1 - tab. 16.5. Je vždy uvedena cena dílu pro jednotlivé počty kusů, cena nářadí potřebného k výrobě a také časové rozmezí, za jaké jsou dané díly vyrobeny. Cena za kus byla stanovena součtem ceny nářadí s cenou dílu.

Prototyp 01

	DMLS			TVÁŘENÍ		
	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)
Cena dílu	1 ks	25 680,-	25 680,-	1 ks	4 800,-	83 200,-
	2 ks	34 200,-	17 100,-	2 ks	6 400,-	42 400,-
	4 ks	50 800,-	12 700,-	4 ks	7 200,-	21 400,-
Cena nářadí	-			78 400 Kč		
Termín dodání	2 - 3 dny			3 - 5 týdnů		

Tab. 16.1: Ekonomické porovnání výroby prototypu 01.

Příklad výpočtu ceny za jeden kus pro technologii tváření při výrobě dvou dílů:

$$(78\,400\text{ Kč} + 6\,400\text{ Kč}) / 2 = 42\,400\text{ Kč}$$

Jak jde názorně vidět z porovnání cen, metoda DMLS je výrazně levnější, zejména pokud je třeba vyrobit pouze jeden prototypový kus, ale i při 4 kusech je stále velký cenový rozdíl. Největší předností metody DMLS je doba, za kterou je díl vyroben.

Prototyp 02

	DMLS			TVÁŘENÍ		
	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)
Cena dílu	1 ks	21 360,-	21 360,-	1 ks	5 650,-	93 150,-
	2 ks	32 400,-	16 200,-	2 ks	7 100,-	47 300,-
	4 ks	43 950,-	11 000,-	4 ks	8 900,-	24 100,-
Cena nářadí	-			87 500 Kč		
Termín dodání	2 - 3 dny			5 - 7 týdnů		

Tab. 16.2: Ekonomické porovnání výroby prototypu 02

Opět je zde vidět až několika násobný rozdíl cen ve všech porovnávaných počtech kusů, a to ve prospěch metody DMLS. Tento závěs přední kapoty vyráběný pro automobilku ŠKODA AUTO a.s. byl obzvlášť tvarově složitý, a proto jsou ceny výroby technologií tváření tak vysoké.

Prototyp 03

	DMLS			TVÁŘENÍ		
	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)
Cena dílu	1 ks	15 880,-	15 880,-	1 ks	1 480,-	20 180,-
	2 ks	21 000,-	10 500,-	2 ks	2 050,-	10 380,-
	4 ks	28 700,-	7 180,-	4 ks	2 940,-	5 410,-
Cena nářadí	-			18 700 Kč		
Termín dodání	2 dny			2 týdny		

Tab. 16.3: Ekonomické porovnání výroby prototypu 03

U tohoto vyráběného prototypu došlo k obratu a od počtu 2 kusů a více se ho vyplatí vyrábět tvářecí technologií. Cenový rozdíl u 2 kusů je 120 Kč, ale u 4 kusů už 1770 Kč. Je to dáno zejména jednoduchou tvarovou geometrií dílu, díky které není třeba vyrábět náročné přípravky a nářadí. Ovšem, pokud jde o rychlost dodání, tak je na tom metoda DMLS stále lépe.

Prototyp 04

	DMLS			TVÁŘENÍ		
	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)
Cena dílu	1 ks	13 140,-	13 140,-	1 ks	5 880,-	98 980,-
	2 ks	16 500,-	8 250,-	2 ks	7 950,-	50 530,-
	4 ks	24 700,-	6 180,-	4 ks	9 300,-	25 600,-
Cena nářadí	-			93 100 Kč		
Termín dodání	2 dny			5 - 7 týdnů		

Tab. 16.4: Ekonomické porovnání výroby prototypu 04

Prototyp 05

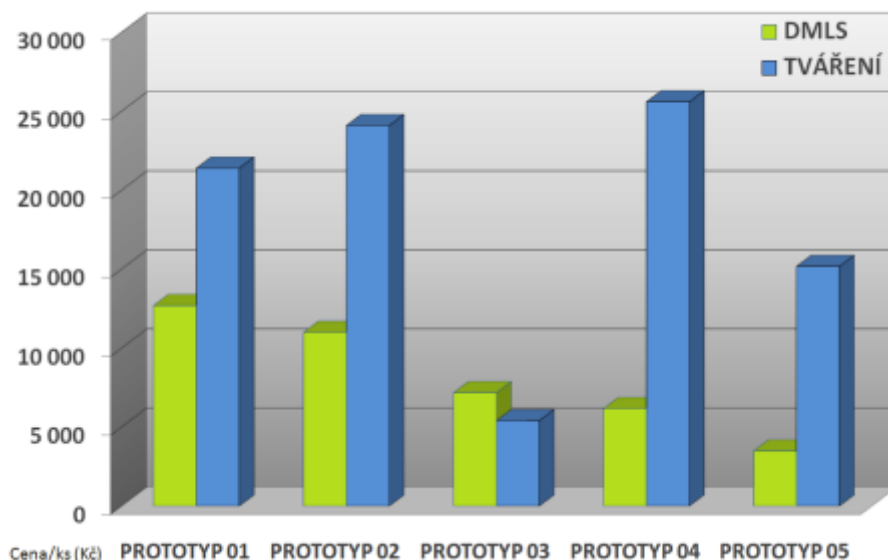
	DMLS			TVÁŘENÍ		
	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)	Kusy	Cena (Kč)	Cena/ks (Kč)
Cena dílu	1 ks	8 080,-	8 080,-	1 ks	2 450,-	58 250,-
	2 ks	9 340,-	4 670,-	2 ks	3 920,-	29 860,-
	4 ks	13 950,-	3 490,-	4 ks	4 900,-	15 175,-
Cena nářadí	-			55 800 Kč		
Termín dodání	2 dny			3 - 5 týdnů		

Tab. 16.5: Ekonomické porovnání výroby prototypu 05

15.2 ZHODNOCENÍ

Z celkového porovnání výroby prototypů vyšla vítězně metoda DMLS. Její hlavní výhodou je skoro neomezená tvarová složitost při výrobě dílů, což je naopak velký problém u tvářecí technologie. Tváření má ale při výrobě prototypů své nezastupitelné místo, protože může použít stejný materiál, který bude aplikován v sériové výrobě. Na obrázek 27 lze krásně vidět, jaké jsou finanční rozdíly v cenách prototypů za kus při výrobě čtyř dílů. U metody DMLS ovlivňuje cenu vyráběných dílů zejména správná volba podpůrných prvků, orientace součásti a také vhodné rozmístění více dílů na platformu. To jsou nejdůležitější faktory, které

mohou srazit cenu i v řádu tisíců korun. DMLS je vhodná jednak pro výrobu prototypů, tak i pro kusovou nebo malosériovou výrobu menších součástí. V dnešní době je pro většinu firem velmi důležitý čas dodání hotového dílu, v čemž spočívá nesporná výhoda metody DMLS oproti většině konvenčních technologií.



Obrázek 27: Porovnání ceny prototypů za kus při výrobě 5 dílů

15.3 3D tisk snižuje náklady a zvyšuje konkurenceschopnost

V České republice je 3D tisk stále populárnější, a to zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Více než polovina (56 %) výrobních společností již dnes aktivně využívá technologii 3D tisku nebo ji v příštích pěti letech plánuje využívat. Firmy chtějí s 3D tiskárnami dosáhnout snížení výrobních nákladů, zvýšení rychlosti zajištění nízkoobrátkových položek či lepší přizpůsobení výrobků potřebám zákazníků.

České výrobní společnosti vnímají 3D tisk jako významný faktor přispívající ke konkurenceschopnosti. Snížení výrobních nákladů (49 % respondentů), rychlost zajištění nízkoobrátkových položek (46 %) nebo přizpůsobení výrobků zákaznickým potřebám (38 %) – to vše nejčastěji skloňovali jako hlavní přínos implementace 3D tisku respondenti nového průzkumu „3D tisk v českém výrobním prostředí“, kteří 3D tisk již využívají nebo plánují využívat. Průzkum provedla poradenská společnost Ernst Young Consulting (EY) ve spolupráci s Centrem digitální transformace na Fakultě podnikohospodářské Vysoké školy ekonomické mezi 71 významnými českými výrobními společnostmi.

České výrobní společnosti se na zavádění technologie 3D tisku výrazně orientují, a to i v globálním srovnání. Aktivně využívá technologii 3D tisku nebo ji v příštích pěti letech plánuje využívat až 56 % respondentů průzkumu. V globálním průzkumu společnosti EY, kterého se zúčastnilo 900 společností, je tento poměr nižší (36 %).

15.3.1 Využití 3D tisku v ČR: rapidní růst

Technologii 3D tisku aktivně využívají především české společnosti v automobilovém a leteckém průmyslu (75 %). V horizontu příštích pěti let ji plánují ve větší míře zavádět také firmy orientující se na výrobu strojů a zařízení.

Významnými faktory přispívajícími k rozšiřování technologie 3D tisku jsou tlak ze strany konkurence i vliv sesterských a mateřských společností. Čtvrtina subjektů v okolí respondentů již totiž 3D tisk využívá. V případě automobilového průmyslu a letectví je to dokonce polovina konkurenčních společností, což odpovídá aktuálnímu zájmu těchto odvětví o pokračující rozvoj využívání technologie 3D tisku.

15.3.2 3D tisk ovlivní obchodní model společností

Více než dvě třetiny respondentů, kteří využívají nebo plánují využívat 3D tisk, předpokládá, že 3D tisk ovlivní jejich obchodní model. Jak uvádějí představitelé jedné z výrobních společností: „V rámci leteckého průmyslu se 3D tisk již posunul od výroby jednoduchých ke komplexním dílům...více než 10 dílů v novém motoru ATP vyrobených aditivní výrobou snižuje hmotnost, zjednodušuje a urychluje design a výrobu, finálně zvyšuje výkon a odolnost. 3D tisk definitivně mění nejen podobu výrobního procesu, ale bude mít vliv na dodavatelský řetězec celého odvětví.“

Technologie 3D tisku by již mohla být v českém výrobním prostředí ještě rozšířenější, firmám ale často chybí potřebné know-how. Respondenti, kteří již 3D tisk využívají či se ho chystají využít v příštích pěti letech, považují za hlavní překážky implementace 3D tisku právě nedostatek know-how (38 %), technologické překážky, nevhodný materiál (35 %), vysoké investice (28 %) a vysoké provozní náklady (20 %). České firmy tak při implementaci 3D tisku bojují s podobnými překážkami jako společnosti z globálního průzkumu EY.

16 Případová studie v praxi

16.1 Black and Decker

Firma Black and Decker vyrábí kvalitní nářadí, příslušenství, bezpečnostní systémy a technické vybavení pro domácnosti, elektrické sekačky a zahradní techniku. Díky 3D tisku součástek se zvýšila rychlost produkce a také se snížily náklady. Firma byla jedna z prvních, která se začala o technologii 3D tisku zajímat. Po dlouhém hledání se firma rozhodla pro model 3D tiskárny Zprinter 310 Plus od společnosti Zcorporation. Důvody, proč se rozhodla pro tento systém, byly vysoká rychlost tisku, příznivá pořizovací cena, nízká nákladovost provozu a snadnost obsluhy. Investice do tohoto systému přinesla firmě zkrácení designerského cyklu, vylepšenou estetičnost a ergonomii produktu. Nyní společnost produkuje více konceptů s menšími náklady, 3D tisk umožňuje designérům optimalizovat proces vývoje produktu, což ve výsledku znamená vyšší kvalitu výrobků. Např. společnost Digis, spol. s r. o. vytiskla pouzdro pro bezpečnostní senzor (viz obrázek 28).



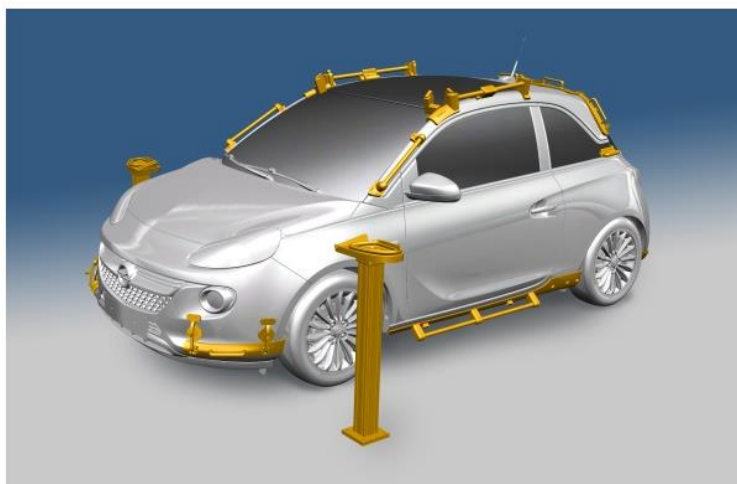
Obrázek 28: Pouzdro pro bezpečnostní senzor (Zdroj: [13])

16.2 Opel používá 3D tisk pro výrobu montážních přípravků

Výrobky z 3D tiskáren jsou používány i jako montážní prvky. Právě automobilka Opel používá 3D tisk pro výrobu přípravků čím dál častěji. Výrobky se tisknou v továrně v Rüsselsheimu a posílají se do všech výrobních závodů automobilky.

V továrně Risenachu se zavádějí tyto pomůcky do výroby speciální edice vozu Adam Rocks. Jedná se o přípravky, s jejichž pomocí se na výrobní lince umísťují jednotlivé části vozu. Celkově je na tomto vozu použito kolem čtyřiceti nástrojů vytisknutých na 3D tiskárnách.

Velkou výhodou je možnost flexibilně reagovat na změny designu vozidla. Návrhy konstruktéři upraví ve 3D CAD modelu velice jednoduše. Opel používá technologii FDM, která v tomto případě produkuje modely z plastu. Díky 3D tisku firma snížila náklady na výrobu těchto přípravků o 90 % a přípravky jsou o více než 70 % lehčí než dříve. Firma používá tyto přípravky také u modelu Insignia, Cascada a připravuje se také rozšíření do typu Corsa, Vivaro a Mokka. Mírou využití 3D tiskáren Opel vyniká nad ostatními značkami ve skupině General Motors - viz obrázek 29 (Homola, 2014). [13]



Obrázek 29: Při montáži Opelu Adam Rocks je použito kolem čtyřiceti přípravků vyrobených na 3D tiskárně.

16.3 Přínosy využití technologie Rapid Prototyping v oblasti řízení kvality

Největším přínosem pro podnik jsou neomezené možnosti tisku. Na 3D tiskárně lze vytisknout prakticky cokoliv, přitom podniky stále ještě nemají reálný přehled o tom, jak opravdu 3D tisk funguje. Firmy se musí naučit pracovat s návrhem výrobku tak, aby využily všechny výhody technologie 3D tisku, podstatné je především naučit konstruktéry pracovat jinak se samotným návrhem a teprve poté s tiskem jednotlivé součástky. Při konstrukci výrobku na 3D tiskárně již není potřeba myslet na omezení, která přináší tradiční výrobní technologie, nemusí se řešit upnutí výrobku do stroje či lití do forem. Mezi firmy, které používají tuto technologii jako nedílnou součást svého výrobního procesu, patří největší česká automobilka Škoda Auto. Právě tato firma má využití 3D tisku jako jednu z důležitých strategií do budoucna. Očekává se, že nastane doba, kdy si zákazník bude moci objednat svůj automobil na zakázku se speciálními součástkami, které se přímo na lince vyrobí pomocí 3D

tiskárny. Mezi tyto součástky patří na míru vyrobená řadicí páka nebo volant. Použití technologie 3D tisku už není jen součástí vývoje, ale figuruje i přímo ve výrobě. Pro podniky již dnes není revoluční tisk z plastu pomocí metody SLM, ale revolucí je dostupnost 3D tisku z kovového prášku pro výrobu součástek z plnohodnotného kovu.

Mezi firmy, které již v současnosti používají 3D tisk při vývoji každého svého výrobku je TESCO. Tato společnost patří k průkopníkům praktického využití 3D tisku v České republice. První 3D tiskárnu si firma pořídila již před patnácti lety, a to tiskárnu Stratasys Prodigy. Díky schopnosti vytvářet modely v kratším čase nahradil 3D tisk tradiční CNC obrábění. V současnosti firma nemá jediný výrobek, který by za sebou neměl vývoj v podobě mnoha testovacích prototypů vyrobených na 3D tiskárně. SLM modely v Tescomě použili i jako matrice pro výrobu forem výrobků z keramiky a porcelánu. Firma v současnosti vlastní zařízení Stratasys Fortus 400 mc, Dimension Elite, Uprint Plus a tiskárny Objet Eden a Connex 500 s technologií PolyJet, která umožňuje tisk materiálů od tvrdých po elastické. Tescoma vlastní také tiskárnu Uprint Plus, díky které může tisknout produkty na cestách. Tento typ tiskárny se díky malým rozměrům stal skvělým pomocníkem při pracovních pobytech zaměstnanců v zahraničí. Celková doba vývoje produktu od nápadu po vyjmutí kusu zabere přibližně 6 měsíců až 1 rok. Díky využití 3D technologii, umožňujících velmi rychlé reakce na jakékoliv změny, je Tescoma schopna produkovat ročně až tři sta novinek (Homola, 2015).

V již zmíněných případových studiích se 3D tisk uchytil právě díky snížení hmotnosti a snížení nákladů. V případové studii, která popisuje vývoj nového typu osobní filtrační jednotky, je zřejmý přínos v urychlení vývoje této filtrační jednotky. V případě výroby modelu pro přípravu kontrolního pracoviště měli zaměstnanci díky dílu, vytištěném na 3D tiskárně, možnost použít rozměrově identický díl pro naprogramování 3D měřicího zařízení ještě předtím, než byl k dispozici první reálný výrobek. V případové studii společnosti Rambol Group potřebovala tato firma vytisknout model dvanáctipodlažní budovy. Díky 3D tisku firma ušetřila dvě třetiny nákladů oproti klasickému postupu, kdy model vyrábí modeláři.

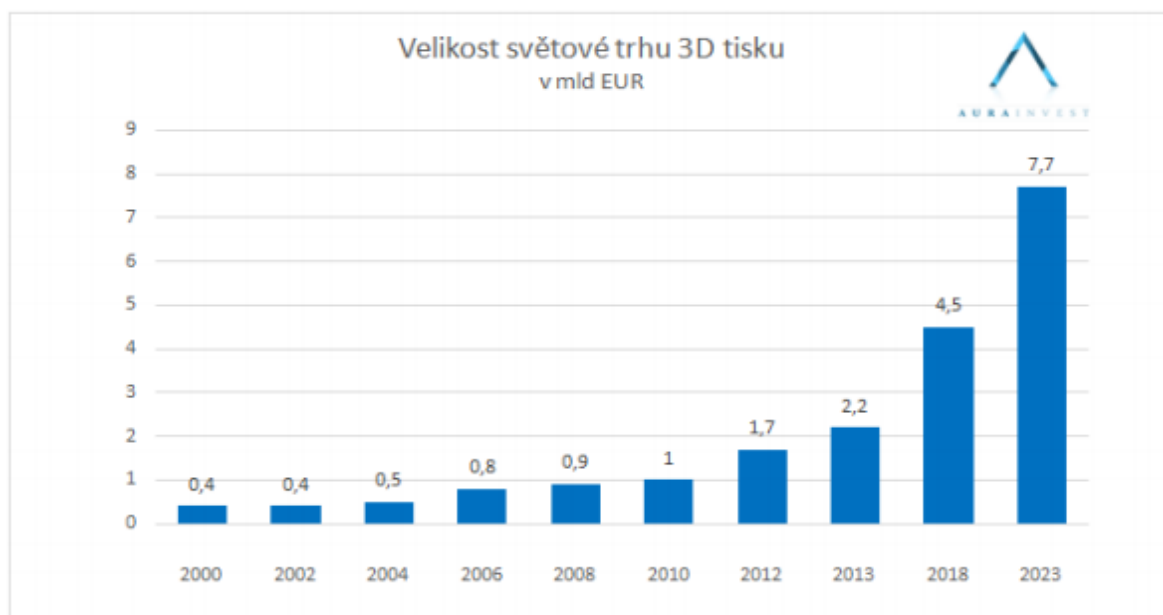
Významným odvětvím průmyslu, které moderní technologii 3D tisku používá, je letecký průmysl, ve kterém díky rozmachu 3D tisku dochází k výrazným úsporám. Vzhledem k tomu, že letecké přepravy využívá čím dál tím více osob, roste konkurence a letecké společnosti hledají způsoby, jak na přepravě ušetřit. Vědci v Notrhwesternské univerzitě prokázali, že součástky do letadla, které se vyrobí právě pomocí 3D tisku, mohou snížit svou hmotnost až o 7 %. Díky tomu také sníží dopad na životní prostředí, protože se uspoří velká

část odpadu, kterou jinak představuje hliník, titan či nikl. Aby mohla být vyrobena součástka o hmotnosti 1 kg, musí být použito téměř 10 kg surového materiálu, který se postupně opracuje a generuje odpad. 3D tiskem lze u takovéto součástky dosáhnout 38 redukce hmotnosti z původního 1 kilogramu na 300 gramů. Takto snížená hmotnost o již dříve zmiňovaných 7 % je na letadle, které váží několik tun, významný úbytek a rozhodně se projeví na spotřebě paliva, na tomto konkrétním příkladu až o 6,4 %. Mezi největší letecké firmy, které využívají 3D tisk k výrobě součástek, patří firma Airbus, která spolupracuje s firmou Stratasys. Airbus A350 je letadlo, které obsahuje na tisícovku dílů vyráběných na 3D tiskárnách (viz obrázek 30). [13]



Obrázek 30: Airbus A350 XWB

Velikost trhu a jeho prognózu zobrazuje graf níže (viz obrázek 31). Odhaduje se, že 3D tisk dokáže zkrátit dobu vývoje výrobku o více než polovinu a redukuje mzdové náklady až o 80 % . [13]



Obrázek 31: Velikost světového trhu 3D tisku

Velké firmy, které se zabývají 3D tiskem, vstoupily i na trh s cennými papíry. Tyto firmy v oboru rostou o desítky procent, ale jejich akcie za poslední rok naopak výrazně ztratily:

- Stratasys (SSYS): - 69,81 %
- 3D Systems (DDD): - 65,23 %
- Voxeljet (VJET): - 47,89 %
- Materialise (MTLS): - 14,72 %

Důvodem je především zklamání z tempa (ne)dobývání domácností. Očekávání zkrátka byla příliš vysoká a nerealistická. Laici i investoři měli představu, že bude možné jednoduše tisknout cokoliv. To se nepotvrdilo. Výprodej akcií nastal na začátku roku 2015 díky tomu, že firma Stratasys oznámila, že prodej domácích tiskáren MakerBot zůstanou za očekáváním (Černý, 2015).

16.4 Výroba aurikulární náhrady – protéza ucha

Trojrozměrný tisk neslouží nejen k digitalizačním technologiím, ale i k výrobě protetických pomůcek. 3D tisk dokáže vyrobit vysoce kvalitní ušní protézu, nepoznatelnou od živého ucha. Ze zdravého ucha se vyrobí sádrový odlitek, který přesně kopíruje ucho. Odlitek je pak digitalizován optickým skenerem. Tloušťka vrstvy se pohybuje kolem 0,08 mm. Tento model je pak zpracován pomocí odlévání do silikonových forem. Model je nakonec odlit materiálem s vhodnými vlastnostmi pro kontakt s lidským tělem (3DLaboratory, 2012). [13]

16.5 Rapid Prototyping v medicíně

Metody Rapid Prototypingu se úspěšně používají nejen k výrobě protéz, ale i v širší medicíně. 3D tisk se začíná používat k výrobě biomodelů, chirurgických nástrojů, implantátů, zdravotnických zařízení a modelů ke školení. Vše muselo být zkoumáno a vyrobeno do posledního detailu. Mnohokrát výrobky byly přezkoumány a opravovány. Lékařský 3D tisk byl aplikován do více oblastí medicíny – zubní chirurgie, neurochirurgie, ortopedie, problematiky ortéz a tkání apod. Tato technologie umožňuje lékařům tisk jednotlivých přípravků na zakázku. V současné době je možné vytisknout různé implantáty a chirurgické nástroje přesně podle potřeb pacienta. Díky tomu dokáží být lékaři přesnější, operace se stávají bezpečnější, rychlejší a méně složitější (Hieu, 2010). [13]

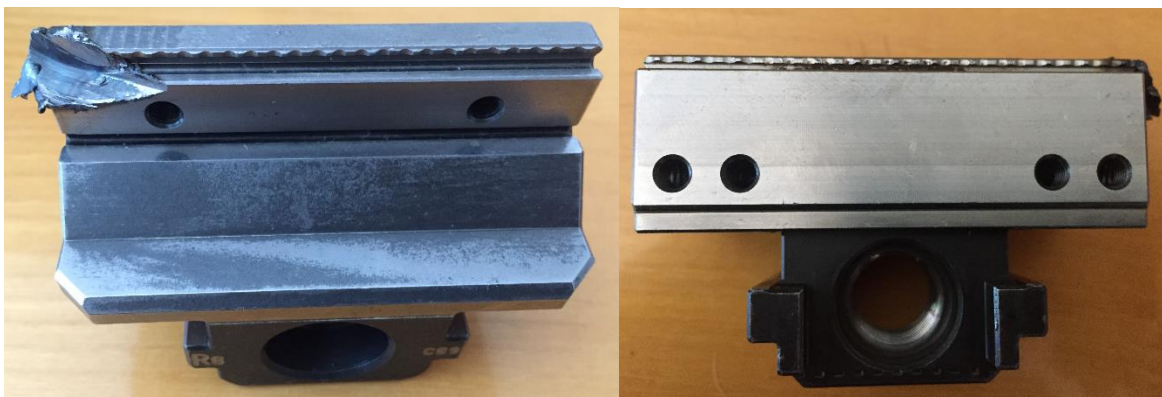
16.6 Tisk jídla

Informace o tisknutí jídla se rozšířila díky vesmírné americké agentuře NASA, která dala povolení k výzkumnému programu, který má umožnit tisk jídla ve vesmíru. Tato představa je ovšem nepřesná. Program NASA je založen na replikování vlastností jídla. Jde o to umožnit 3D tiskárnám tisk z materiálů, které budou obsahovat dostatek nejpodobnějších kalorií a organických molekul, které jsou obsažené v klasickém jídle. Prohlášení o tom, že by se tímto způsobem dal vyřešit světový hlad, nejsou správné. Důležitým parametrem je totiž i cena zařízení, proto k utišení světového hladu existují mnohem efektivnější projekty.

3D tisk se používá v potravinářském prostředí, ale pouze pro speciální techniky. Je možné tisknout z čokolády, která se působením tepla roztaví a chlazením opět tuhne. V USA tiskne dvojice architektů 3D objekty z cukru, které tisknou na běžné 3D tiskárně s upraveným nastavením a k tvrzení používají alkohol (ITbiz.cz, 2013).

17 Příkladová studie – vlastní řešení

Technologie 3D tisku se také hodí k opravě poškozených komponent. Například ji můžeme využít k opravě čelisti svěráku, díly jsou mnohdy cenově náročné, v tomto případě kolem 14 000 Kč. Důvodem této ceny je, že plochy je nutné brousit s vysokou přesností. Čelist svěráku se používá pro upnutí lopatek turbín. Díky technologii 3D tisku bylo možné provést výměnu komponent za několik hodin, zatímco kdyby se měly obrábět klasickým způsobem z kovového polotovaru, celý proces by trval téměř týden s tím, že potřebný čas pro zařazení do výroby je běžně udáván v řádu 6 - 8 týdnů. Takto tvarově složité díly totiž nelze klasicky vyrobit najednou, ale musejí se obrábět po částech. Naproti tomu technologie 3D tisku z hlediska tvarů v podstatě žádná omezení nemá. V tom spočívá jedna z jejích hlavních předností - viz obrázek 32.



Obrázek 32: Poškozená čelist

17.1 Příprava experimentů

Tato stěžejní kapitola je zaměřena na vlastní práci v oblasti 3D tisku a na naplnění vytyčených cílů v oblasti použití AM technologie. Praktická část práce mohla vzniknout díky možnosti využívání zařízení a vybavení laboratoří Regionálního technologického institutu při Fakultě strojní na Západočeské univerzitě v Plzni a díky spolupráci mezi jednotlivými pracovišti, a to především Laboratoře experimentálního obrábění a Katedry průmyslového inženýrství. Pro výrobu (tisk), resp. repasování poškozených čelistí bylo použito zařízení EOS M290 - viz obrázek 33. Velikost pracovního prostoru je 250 x 250 x 325 mm.



Obrázek 33: Zařízení EOS M290 Laboratoře experimentálního obrábění

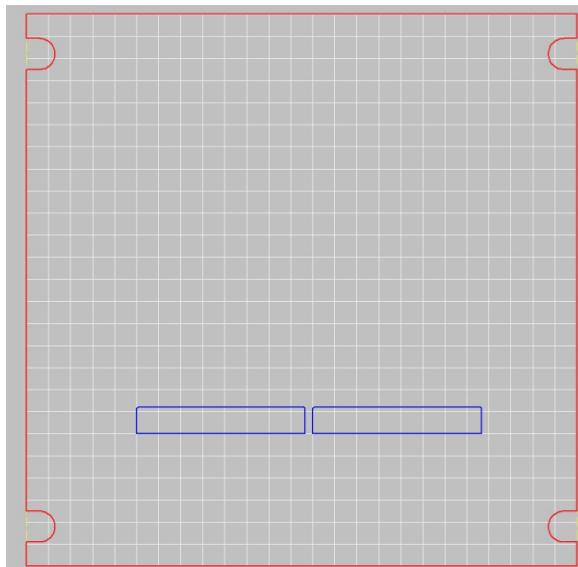
17.2 Princip opravy poškozené čelisti

- 1) **Příprava stavěcí platformy pro přesné polohování repasovaných dílů** – za účelem dodržení přesných rozměrů při opětovném navaření poškozené části je nutné upravit stavěcí platformu, tak, aby bylo možné opravované díly vždy přesně a opakovatelně umístit na své místo a spustit bezpečně tisk. To však s sebou přináší nutnost poškozené díly, resp. část dílu před vlastním tiskem připravit do požadovaného tvaru pro navařování. Tedy je nutné díl zapolohovat, poškozenou část odfrézovat a dle zjištěného stavu povrchu případně ještě vzniklou plochu přebrousit. V našem případě stačilo díl frézovat rovinnou frézou a získaný povrch odpovídal předepsaným tolerancím. Díky tomu, že díly byly obráběny již na stavěcí platformě, po jejich obrobění stačilo platformu a díly odmastit a upnout do 3D tiskárny standardním způsobem - viz obrázek 34.



Obrázek 34: Příprava platformy pro 3D tisk

- 2) **Příprava tiskové úlohy** – na základě velikosti poškození se musí model čelisti v definovaném místě předělit v SW Megics v souladu s obráběním (plochy musejí sobě odpovídat). Díky tomu získáme potřebnou část, která se bude tisknout na připravenou plochu čelisti. Zde je nutné na základě souřadného systému 3D tiskárny a známé polohy stavěcí platformy přesně zapolohovat model vůči skutečné poloze připravených dílů na platformě. V současné době, dosahovaná přesnost navaření je 0,05mm, což je v tomto případě dostačující - viz obrázek 35.



Obrázek 35: Polohování navařovaného dílu před vlastním tiskem

- 3) **Příprava stroje pro navaření** – před vlastním tiskem je nutné stavěcí platformu a připravené díly zasypat kovovým práškem, tak, aby byla vytvořena rovnoměrná a homogenní rovina. Na připravených plochách (díky již přesnému seřízení) musí vzniknout první vrstva prášku o tloušťce 40 μ m. Jakmile je vše takto připraveno, může být spuštěna tisková úloha. Po prvním projetí laseru se pouze vizuálně překontroluje, že poloha navařování je správná - viz obrázek 36.



Obrázek 36: Připravený pracovní prostor stroje a první navaření vrstvy

- 4) **Vyjmutí dílu a postprocesing** – po ukončení procesu je nutné veškerý kovový prášek odstranit z platformy, přesít ho za účelem dalšího použití a poté je možné platformu vyjmout. Díly se odepnou z platformy a následuje jejich případné doobrobení. V tomto případě bylo nutné pouze přefrézovat zoubkování v dané toleranci.

17.3 Použitý materiál pro opravu čelisti

Pro výrobu byla použita nástrojová ocel MS1, konkrétně DIN 1.4709, český ekvivalent Vaco 180. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel vhodnou ke svařování. Mechanické vlastnosti odpovídají konvenčnímu materiálu. Vzniklý svar – rozhraní mezi původní čelistí a navařenou částí vykazuje perfektní homogenitu a dle interních testů bylo dosaženo shodných mechanických vlastností zkušebních vzorků. Díky tomu je možné deklarovat spolehlivost a bezpečnost při daném provozu čelisti.

17.4 Ekonomické hodnocení

Tato kapitola má za cíl provést rozbor nutných nákladů na opravu poškozené čelisti. Jak bylo uvedeno, nová čelist stojí 14 000,- Kč a termín dodání bývá obvykle 4 – 6 týdnů, protože výrobce tento produkt nedrží skladem. V případě poškození čelisti při výrobě, tak již několikrát došlo k tomu, že uživatel již neměl náhradní čelist a musel řešit systém upnutí jiným způsobem do doby, než čelist přišla od dodavatele. To však s sebou přináší mnohé vícenáklady jako je především prostoj stroje (nejdražší položka), nový NC program, seřízení a odladění programu a protože se jedná o speciály, v improvizovaném upnutí nelze využít plného výkonu obrábění, tedy výroba je pomalejší.

Proces (operace)	Cena na 1 ks	Cena na 6 ks
Příprava stavěcí platformy	800 Kč	800 Kč
Frézování rovinné plochy do stanovené hodnoty	1560 Kč /75 min	2912 Kč/140 min
3D tisk	3045 Kč /2,1 hod	14 616Kč/1,3 hod
Postprocessing	1 100 Kč	1500 Kč
Suma výrobních nákladů	6505 Kč	19828 Kč

Tab. 16.5: Sumarizace nákladů na opravu poškozené čelisti na 1 ks/6ks

Z výrobních nákladů vyplývá, že i při výrobě jednoho kusu je možné výrazně ušetřit oproti nákupu celé jedné čelisti. Při výrobě 6 ks (vyplývá z možností navaření a upnutí na platformu v jednom procesu) je patrné, že cena výrazně klesne z 6 505 na 3304 Kč/ks.

Další výhodou použití 3D tisku (kromě výrazně nižší ceny) je termín dodání. V případě první série 1ks bylo nutné odladit celý proces, což znamenalo termín dodání do 2 týdnů. V současné době, kdy je vše odladěno je možné dodat opravený díl do druhého dne. To s sebou přináší značné úspory výrobních nákladů a je možné odstranit velké vedlejší časy.

18 Závěr

Předmětem této diplomové práce je představení technologie 3D tisku a získání relevantních poznatků o tom, jak je tato technologie aktuálně využívána v českých podmínkách a ve světě. V rámci práce byly využity získané poznatky, které vyhodnocují zájem a zkušenost vybraných českých podniků i světových producentů s touto technologií. Práce popisuje historický vývoj 3D tisku a technologický postup při jejím využití. V úvodní části jsou také uvedeny čtyři základní principy 3D tisku. Současně jsou představeny materiály, které se dají použít k tisku výrobků. Mezi nejčastěji používané patří metoda SLM. Závěrečná část práce se zabývá hlavně případovými studii, ve kterých se zcela jednoznačně projevila kladný přínos využití technologie 3D tisku. Ze získaných odpovědí jasně plyne, že zájem o technologii 3D tisku neustále roste. Tato technologie se stále více dostává do popředí zájmu českých podniků, firem a společností a dá se velmi reálně očekávat, že v budoucnu se bude 3D tisk využívat mnohem častěji než v současnosti.

19 Literatura

1. Advantages and Disadvantages of 3D Printing Technology and ChefJetTMPro. In: Oshup.com [online]. 2014 cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.oshup.com/advantages-and-disadvantages-of-3d-printing-technology/> 6, 5.
2. Tire-mold. Deshors Moulage [online]. [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.deshors-tiremold.com/fr/products/tire-mold/>
3. GUAN, Kai et al. Effects of processing parameters on tensile properties of selective laser melted 304 stainless steel. *Materials*. 2013, vol. 50, s. 581-586. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.03.056.
4. SHIFENG, Wen, et al. Effect of molten pool boundaries on the mechanical properties of selective laser melting parts. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014, vol. 214, issue 11, s. 2660-2667. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2014.06.002.
5. THIJS, Lore et al. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V. *Acta Materialia*. 2010, vol. 58, issue 9, s. 3303- 3312. DOI: 10.1016/j.actamat.2010.02.004
6. ABELE, Eberhard et al. Selective laser melting for manufacturing of thinwalled porous elements. *Journal of Materials Processing Technology*. 2015, vol. 215, s. 114-122. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2014.07.017
7. THIJS, Lore et al. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V. *Acta Materialia*. 2010, vol. 58, issue 9, s. 3303- 3312. DOI: 10.1016/j.actamat.2010.02.004.
8. ALD. *Metal Powder Technology* [online]. 2014 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://web.ald-vt.de/cms/fileadmin/pdf/prospekte/Metal_powder.pdf
9. KOPANIDIS, A., A. THEODORAKAKOS, E. GAVAISES a D. BOURIS. 3D numerical simulation of flow and conjugate heat transfer through a pore scale model of high porosity open cell metal foam. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010, vol. 53, 11-12, s. 2539-2550. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.12.067. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0017931009007388>.
10. SHIMIZU, T., K. MATSUZAKI, H. NAGAI a N. KANETAKE. Production of high porosity metal foams using EPS beads as space holders. *Materials Science*

and Engineering: A. 2012, vol. 558, s. 343-348. DOI: 10.1016/j.msea.2012.08.010.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921509312011173>

11. http://www.mepac.cz/files/katalogy/3d-mereni-a-modelovani_v3_6-1-2016-63-8632.pdf.
12. <https://www.3d-tisk.cz/technologie-dmls-pri-opravach-forem-prostrednictvim-3d-tisku-kovovym-materiale/>
13. <https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/18516/BP%2B%2BHolas.pdf?sequence1>
14. https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41825
15. Technologie 3D tisku. PK MODEL S.R.O., PKmodel.cz [online]. 2006 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: www.pkmodel.cz/3Dtisk.html
16. Informace o technologiích 3D tisku. 4ISP SPOL. S.R.O., Easycnc.cz [online]. 2012 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiech-3d-tisku/>.
17. 3D tisk. KOH-I-NOOR MLADÁ VOŽICE A.S., Kohinoor.cz [online]. 2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.kohinoor.cz/cz/3d-tisk/>.
18. 3D tisk. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk.
19. Protocom.cz: Použité materiály. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.protocom.cz/produkty/bits-from-bytes/pouzite-materialy/>.
20. Materiály. 3dtiskarna.cz [online]. 2010 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.3dtiskarna.cz/materialy/>.
21. <https://www.konstrukter.cz/2016/11/23/zaciname-s-3d-tiskem-kovu-2-technologie-3d-tisku-kovu-slm/>.
22. Stránky projektu REPRAP. Zapojení elektroniky. [vid. 13.8.2017]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4
23. <http://www.marekzloch.cz/book/vse-o-3d-tisku-technologie.pdf>.
24. HN, S. H., et al. Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyping Journal. 2002, roč. 8, č. 4., s. 248-257
25. HRONČOK, M., 3D tiskárny RepRap: Open-source mašinky, které vám usnadní život. [online]. 2012 [cit. 2016-04-22].
26. GAJDOŠÍK, D., Měření drsnosti povrchů se zaměřením na měřicí techniku Mytutoyo SJ 210. České Budějovice 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce PaedDr. Bedřich Veselý, PhD.

27. OHNSON, W., et al. Comparative evaluation of an open-source FDM system. Rapid Prototyping Journal. 2014, roč. 20, č. 3., s. 205-214.
28. POLZIN, CH., et al. Characterization and evaluation of a PMMA-based 3D printing process. Rapid Prototyping Journal. 2013, roč. 19, č. 1., s. 37-43.
29. BOWYER, A., et al., RepRap – the replicating rapid prototyper. Robotica. 2011. roč. 29, č. 1, s. 177-198
30. About: RepRapWiki. RepRap: RepRapWiki [online]. 2014, 12.12.2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/About>
31. ROBERT HOLMAN, Technologie(Technology). <https://managementmania.com/cs/technologie>. Praha 2015.
32. GILMAN G. LOUIE, Persistent Forecasting of Disruptive Technologies, Committee on Forecasting Future Disruptive. United States of America, 2009. ISBN: 0-309-11661-6
33. GILMAN G. LOUIE, Persistent Forecasting of Disruptive Technologies, Committee on Forecasting Future Disruptive. United States of America, 2009. ISBN: 0-309-11661-9
34. VAN PELT, M. Space Tethers and Space Elevators, Netherlands, 2008. ISBN: 978-0-387-76555-6.
35. THOMAS H. DAVENPORT, Vývojový cyklus procesně řízené organizace London: 2017. <https://managementmania.com/cs/vyvojovy-cyklus-procesne-rizene-organizace>.
36. ALOIS SCHUMPETER,J., Inovace (Innovation). <https://managementmania.com/cs/inovace>. Praha 2015.
37. ZELENÝ, M., KOŠTURIÁK, J., Průlomové technologie, automatizace a digitalizace. New York: 2013. <http://www.milanzeleny.com/cs-CZ/stranky/1/-/0/427/prulomove-technologie-automatiza>.
38. Průmysl 4.0 Digitalizovaná továrna, Bezirk Nordrhein-Westfalen
39. MLÁDEK, J., Průmysl 4.0 – revoluce probíhá IX. Hospodářská diskuze k tématu roku ČNOPK. Praha: Ministr Průmyslu A Obchodu 2015. <https://www.businessinfo.cz/app/content/files/dokumenty/Prumysl-4.pdf>
40. MINISTERSTVO MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, Iniciativa Prumysl 4.0. Praha: Ministr Průmyslu A Obchodu 2015 <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

41. Internet Of Things In Logistics. , Germany: 2015
https://www.dpdhl.com/content/dam/dpdhl/presse/pdf/2015/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf
42. https://en.wikipedia.org/wiki/Hype_cycle
43. <https://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
44. <http://whatis.techtarget.com/definition/smart-robot>
45. Oslo Manual, 3rd Edition. (2005). Guidelines for collecting and interpreting innovation data. OECD, Eurostat, Paris.
<http://www.oecd.org/sti/inno/oslomanualguidelinesforcollectingandinterpretinginnovationdata3rdedition.htm>
46. INNOSKILLS, Inovační dovednosti pro MSP. Praha: Trigon, 1995.
http://www.innosupport.net/uploads/media/1_Zaklady_inovaci_01.pdf
47. CEJNAROVÁ, .A. průmyslové revoluce ke 4.
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html. Praha. 2015
48. HANDL, J. Hype křivka od Gartnerů aneb úspěšnost nových technologií.
<https://www.lupa.cz/clanky/hype-krivka-od-gartneru-nove-technologie/>. Praha 2009
49. <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
50. ČERVENÝ, K. Průmyslová revoluce 4.0, 5.0, 6.0 nebo 7.0?
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/prumyslova-revoluce-4-0-5-0-6-0-nebo-7-0_35493.html. Praha 2016

..

Seznam obrázků

Obrázek 1: Obecný hype cyklus pro technologii [48].....	14
Obrázek 2: Průmyslová Revoluce [39].....	17
Obrázek 3: Inteligentní mobilní asistent optimalizuje výrobní procesy [48]	19
Obrázek 4: Čidla pro udržování stavu na bázi [48]	20
Obrázek 5: Technologie 3D tisku.....	26
Obrázek 6: Převodovka po několika měsících aktivního užívání.....	27
Obrázek 7: 3D modely lidí	28
Obrázek 8: Objekty vytisknuté na tiskárně Form1	29
Obrázek 9: Princip technologie FDM.....	31
Obrázek 10: Princip technologie Stereolitografie	32
Obrázek 11: Princip technologie Laser sintering	33
Obrázek 12 : Stereolitografie.....	33
Obrázek 13: 3D tisk v dnešní praxi	34
Obrázek 14: Selective Laser Melting	35
Obrázek 15: Parametry výroby SLM [2].....	36
Obrázek 16: Úhel šrafování [3]	36
Obrázek 17: Orientace součásti v rovině XY (a), v rovině XZ (b) [4].....	37
Obrázek 18: Schéma metody SLM.....	38
Obrázek 19: Schéma procesu tavení práškového kovu metodou Selective Laser Melting	39
Obrázek 20: Open - cell kovová pěna (vlevo); Simulace přestupu tepla (vpravo).....	41
Obrázek 21: Příklady implantátů.....	41
Obrázek 22: Součást chladicího okruhu formy	42
Obrázek 23: Speciální plynový hořák	43
Obrázek 24: jednoranná plastová pistole.....	48
Obrázek 25: Oprava poškozeného tvaru: svařování prasklých tvarových dílů	49
Obrázek 26: Díl s konektory (Zdroj: [38])	49
Obrázek 27: Porovnání ceny prototypů za kus při výrobě 5 dílů	54
Obrázek 28: Pouzdro pro bezpečnostní senzor (Zdroj: [13])	56
Obrázek 29: Při montáži Opelu Adam Rocks je použito kolem čtyřiceti přípravků vyrobených na 3D tiskárně.....	57
Obrázek 30: Airbus A350 XWB	59
Obrázek 31: Velikost světového trhu 3D tisku.....	60
Obrázek 32: Poškozená čelist.....	62
Obrázek 33: Zařízení EOS M290 Laboratoře experimentálního obrábění.....	63
Obrázek 34: Příprava platformy pro 3D tisk	64
Obrázek 35: Polohování navařovaného dílu před vlastním tiskem	64
Obrázek 36: Připravený pracovní prostor stroje a první navaření vrstvy.....	65

