



Pedagogická
fakulta

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Pedagogická fakulta

Katedra technické a informační výchovy

Petr Pazour

Obor: Základy technických věd a informačních technologií pro vzdělávání

3D tisk a jeho aplikace v sekundárním vzdělávání

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Michal Mrázek, Ph.D.

Olomouc 2021

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a použil jen prameny vedené v seznamu literatury. Souhlasím, aby tato práce byla uložena na Univerzitě Palackého v Olomouci v knihovně Pedagogické fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům.

Ve Vikýřovicích dne 20. 4. 2021

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, díky kterým mohla tato práce vzniknout.

Především však Mgr. et Mgr. Michalu Mrázkovi, Ph.D., za jeho odborné vedení a cenné rady.

OBSAH

Úvod	6
1 Technologie 3D tisku	7
1.1 Historie a vývoj 3D tisku	7
1.2 Princip 3D tisku.....	9
1.3 Typologie aditivní výroby	11
1.3.1 Binder Jetting	12
1.3.2 Directed Energy Deposition	13
1.3.3 Material extrusion	14
1.3.4 Material Jetting.....	15
1.3.5 Powder Bed Fusion	16
1.3.6 Sheet Lamination.....	17
1.3.7 Vat Photopolymerisation.....	18
1.4 Tisknutelné materiály	19
1.4.1 ABS	19
1.4.2 Fotopolymer	21
1.4.3 Nerezová ocel	22
1.4.4 Nylon.....	23
1.4.5 Titan	24
1.4.6 Zlato a stříbro	26
1.4.7 Keramika	28
1.4.8 Polymerní tiskové materiály.....	29
1.4.9 Biomedicínské tiskové materiály	29
1.4.10 Vlastnosti tiskových materiálů	29
2 Aplikace 3D tisku	31
2.1 Obecný postup tvorby 3D objektu	31

2.1 3D tisk v průmyslu	33
3. 3D tisk v sekundárním školství	35
3.1 2. Stupeň základních škol.....	35
3.2 Střední školy.....	36
Výzkumná část	
9 Výzkumné šetření.....	38
9.1 Výzkumný problém a cíle	38
9.2 Výzkumné předpoklady	39
9.3 Výzkumný vzorek	40
9.4 Analýza zjištěných dat	40
9.5 Interpretace získaných poznatků	50
Závěr.....	52
Seznam tabulek.....	53
Seznam grafů	54
Seznam obrázků	55
Literatura a použité zdroje.....	56

ÚVOD

Pro řešení a zpracování bakalářské práce jsem si zvolil aktuální problematiku v oblasti technologie 3D tisku se zaměřením na jeho využití v rámci výuky technické výchovy. 3D tisk je jedna z technologií, u které se teprve rozvíjí její kvantitativní potenciál. Mimo využití v technickém, zdravotnickém a designovém průmyslu, nachází také uplatnění na středních školách především technického typu. Je jasné, že v dnešní době ne všechny školy v republice disponují 3D tiskárnou a mají ji nějakým způsobem začleněnou do výuky. Pro optimální řešení bakalářské práce bylo žádoucí stanovit splnitelné cíle sledující dvě stěžejní roviny. První rovinou je teoretické vymezení klíčových poznatků ve zvolené problematice. Druhou rovinou, která vychází s teoretického vymezení práce, je zpracování výzkumného šetření. Vzhledem ke stanoveným cílům je struktura práce rozdělena na část teoretickou a výzkumnou.

Cílem bakalářské práce je zpracovat problematiku klíčových oblastí technologie 3D tisku pro začínající učitele technické výchovy, kteří se mohou v rámci svého povolání s touto technologií setkat ve škole. Sekundárním cílem práce je provést výzkumné šetření, kterým bude zjišťováno aktuální stav implementace 3D tisku na úrovni sekundárního školství. V teoretické části budou představeny technické principy 3D tisku, různé typy tiskáren a tisknutelných materiálů a možnosti využití 3D tisku, a to nejen ve školství.

V praktické části pak bude provedeno dotazníkové šetření, které si dává za cíl zkoumat současný stav využívání 3D tisku na vybraných základních a středních školách v Olomouckém kraji. Dílčí cíle směřující k dosažení hlavního cíle výzkumné části, které lze formulovat v podobě dílčích kroků výzkumného šetření, tedy: stanovení cílů, metod a výzkumných otázek, realizace samotného šetření, zpracování a analýza získaných dat, shrnutí a interpretace získaných poznatků.

1 TECHNOLOGIE 3D TISKU

1.1 HISTORIE A VÝVOJ 3D TISKU

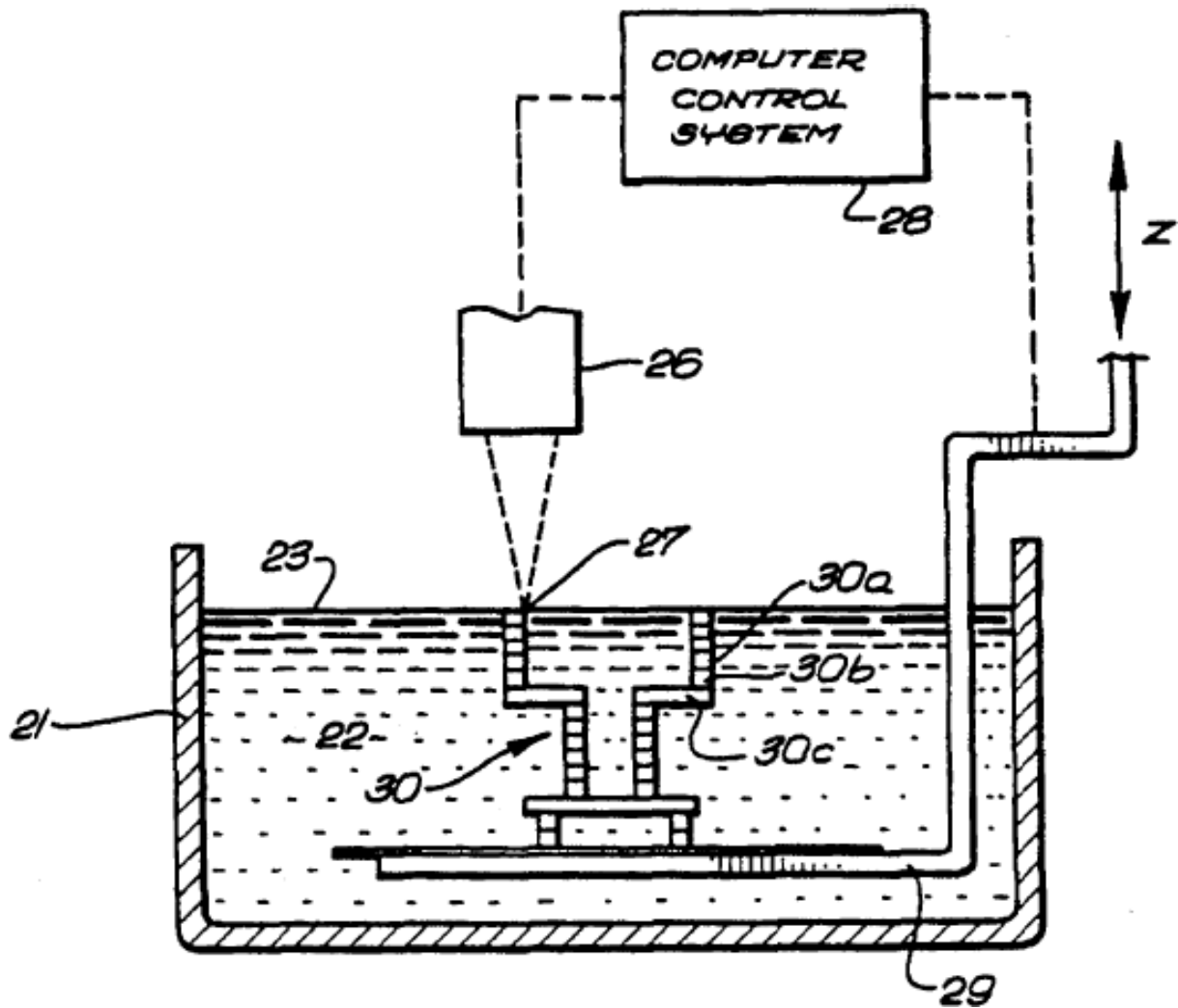
Při pokusu o získání vhledu do historie 3D tisku je třeba si uvědomit, jak vypadaly počítače v době vzniku prvních trojrozměrných modelů. Kupříkladu první verze CAD software Catia, využívaná firmami jako Boeing, Honda, Peugeot, Renault a dalšími, vznikla v roce 1977. Byla pro sálové počítače a cena strojového času pro dnešní zdánlivě triviální výpočty proveditelné na mobilním telefonu byla velmi vysoká. Grafická reprezentace i ukládání dat nutných pro tisk 3D modelu byly velmi problematické. První osobní počítač IBM PC byl uveden na trh v roce 1981 a vytvoření verze Catia pro osobní počítače proběhlo až v roce 1988 (Bernard, 2013).

Z toho důvodu se jeví jako obdivuhodné, že první stroj schopný aditivní výroby vytvořil Japonec Hideo Kodama a jeho tým v roce 1981. Kodama svůj vynález uvedl slovy: „*Představuji novou metodu automatické výroby trojrozměrného plastového objektu. Pevný model je vytvářen vystavováním tekutého světlem vytvrzovaného polymeru ultrafialovému záření a vrstvením vytvrzených vrstev. Byl získán transparentní model s viditelnou vnitřní strukturou. Provozní operace stroje jsou jednoduché a mohou být snadno automatizovány.*“ (Kodama, 1981) Kodamův vynález byl prvním z řady pokusů, který dokázal poskytovat stabilní výsledky. Pracoval na principu osvětlování pryskyřice UV světlem přes masku specifického tvaru (Gibson a Bártolo, 2011).

Následovníky Kodamy, kteří se pokusili v roce 1984 patentovat metodu dnes zvanou stereolitografie pro komerční využití, byli Francouzi Alain Le Méhauté, Olivier de Witte, a Jean Claude André. Avšak jejich žádost o patent byla francouzskými autoritami zamítnuta (Mendoza, 2015).

Ve stejném roce, pouze o pár týdnů později, podává žádost o patent Američan Charles Hull. Když je v roce 1986 jeho žádost schválena, zakládá firmu 3D Systems, první společnost, která se zabývala 3D tiskem na trhu. V roce 1987 je pak uvedena na trh první komerčně dostupná tiskárna SLA-1 (stereolithography apparatus), jejíž výkres je na obrázku 1. Právě Charles Hull je zodpovědný za vytvoření termínu stereolitografie užívaného pro metodu vytvrzování fotocitlivé pryskyřice směřovanými paprsky UV laseru – zde tedy není potřebná maska (Gibson a Bártolo, 2011). Hull a jeho kolegové dále rozvinuli technologii, za zmínku stojí zejména jejich autorství principu převodu digitálního 3D modelu do formátu zpracovatelného

3D tiskárnou pomocí triangulace, jehož výstupem je souborový formát .stl a rozdělení objektu na jednotlivé tiskové vrstvy – slicing, slicování, řezání (Shellabear a Nyrhilla, 2004).



Obrázek 1 Výkres první Hullovy tiskárny (Gibson a Bártolo, 2011)

Ačkoli stereolitografie je považována za první aditivní technologii, ve stejné době vznikly i další. Roku 1987 totiž požádal Carl Deckard z University of Texas o patent pro selektivní laserové spékání (Selective laser sintering, SLS). Jedná se o spékání prášků na bázi polyamidů, kovové či keramické hmoty (Lindstrom, 2012).

O dva roky později, 1989, si Scott Crump, zakladatel firmy Stratasys nechal patentovat FDM technologii (fused deposition modelling, modelování uložením taveniny). FDM je registrovaná ochranná známka firmy Stratasys, proto tento termín nemohou používat ostatní firmy, avšak princip fungování je stejný jako u tiskáren typu Rep-Rap, Průša atd. (Gibson et al. 2015). Byl zaveden alternativní termín, kterým je FFF Fused Filament Fabrication – český ekvivalent není ustálen, mluví se o vytlačování filamentu (Homola, 2019).

V Evropě Hans Langer založil společnost EOS, která vyvinula technologii DMLS – Direct Metal Laser Sintering (přímé laserové spékání kovů). Jejím základem je laserové tavení kovového prášku v oblasti geometrie modelu, je tedy obdobou SLS (The Free Beginner's Guide, 2019).

Později vývoj pokračoval, se zvětšující se dostupností nástrojů a materiálů nutných pro aditivní výrobu, stejně jako s rostoucím zájmem průmyslových firem o využívání těchto technologií při výrobě. Vzhledem k různým terminologiím užívaným v Evropě, USA nebo Japonsku byl na přelomu tisíciletí ustanoven zastřešující termín Aditivní výroba. Definován byl pomocí standardu F2792–12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies společností ASTM International (ekvivalent organizace ISO) (Gibson et al. 2015).

1.2 PRINCIP 3D TISKU

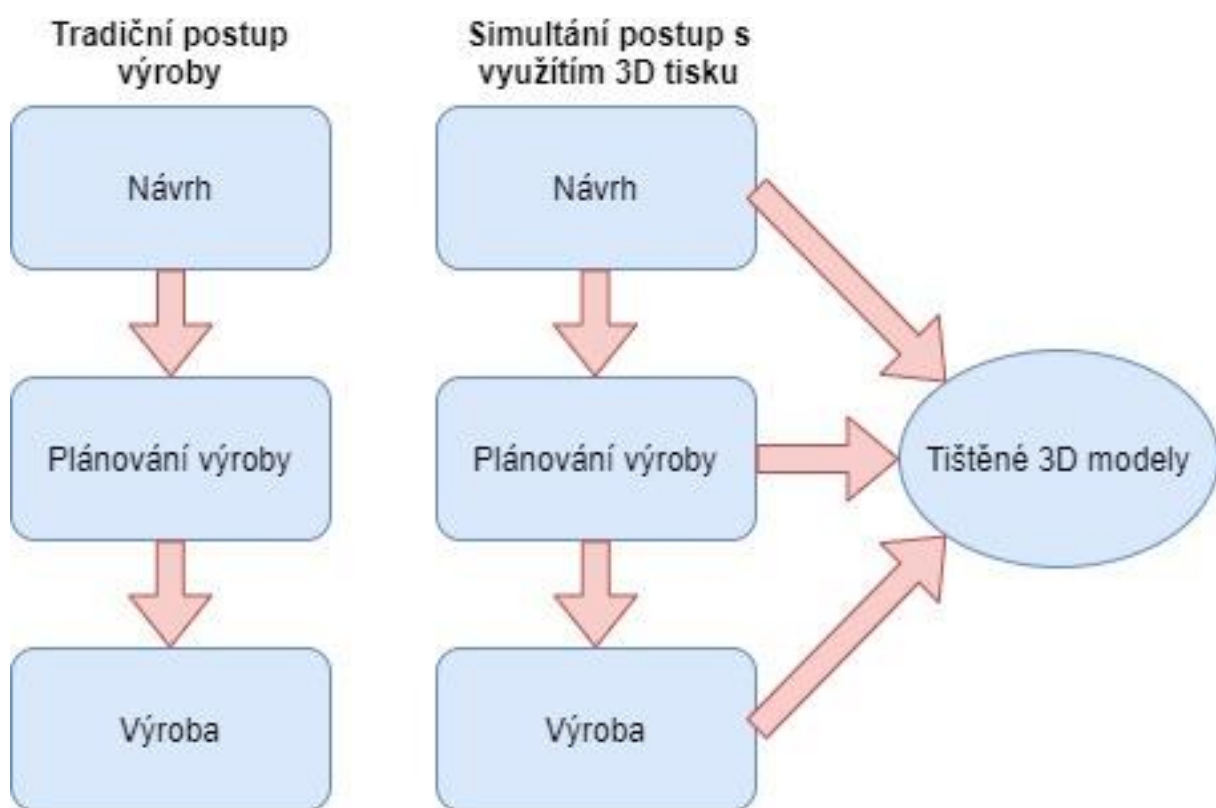
Průběh 3D tisku sestává ze dvou částí, tvorby trojrozměrného proporcionálního digitálního modelu a poté převádění do fyzické podoby nanášením vrstev materiálu v tiskárně na základě dat získaných zpracováním modelu (Kloski a Kloski, 2017).

Současné automatizované výrobní procesy jako obrábění, odlévání, tváření a vstřikování jsou relativně nové komplexní procesy, které vyžadují stroje, počítače a roboty. Všechny tyto technologie však vyžadují odebrání materiálu z většího bloku, ať už kvůli získání koncového produktu samotného, nebo při vytváření nástrojů nutných k procesu výroby, což je významné omezení. V mnoha případech představuje tradiční návrh a výrobní procesy větší počet překážek, mimo jiné drahé nástroje a přípravky, stejně jako nutnost kompletace složitějších dílů. Dále,

v subtraktivních výrobních procesech, jako například při obrábění, může dojít ke vzniku až 90 % odpadu (The Free Beginner's Guide, 2019).

Naproti tomu aditivní výroba je průlomová zejména kvůli úplné absenci, nebo malému množství odpadu a přímému vzniku výrobku bez potřeby forem nebo pomocných nástrojů. Tištěné komponenty zároveň mohou být navrhovány tak, aby nebylo nutné je skládat a složitá geometrie nebo ozdobnější provedení nezvyšují cenu (The Free Beginner's Guide, 2019; Kloski a Kloski, 2017).

Zcela se také mění proces návrhu výrobku a ověřování jeho funkčnosti, vzhledem k možnostem využívání metod rapid prototypingu, viz obrázek 2.

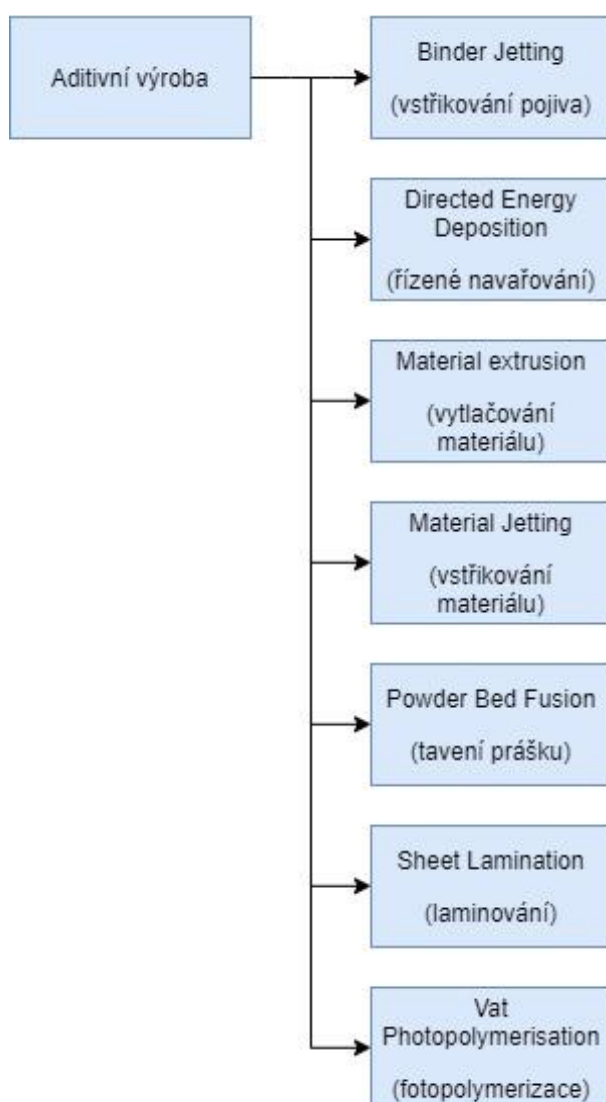


Obrázek 2 Srovnání tradičního a postupu výroby s využitím 3D tisku (vytvořeno podle Kochan a Chua, 1995)

1.3 TYPOLOGIE ADITIVNÍ VÝROBY

I když se spojení 3D tisk používá jako synonymum pro všechny typy aditivní výroby, ve skutečnosti existuje mnoho odlišných procesů přidávání vrstev (viz obrázek 3). Liší se tiskovými materiály a používanou technologií. Nejrozšířenější používanou klasifikací je standard F2792–12a: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies společnosti ASTM International, který dělí procesy aditivní výroby do sedmi kategorií.

Jelikož v češtině neexistují ustálené ekvivalenty, rozhodl jsem se pro popis použít názvy dle Homoly (2019). Ty uvádí takto: fotonpolymerizace, vstřikování materiálu, vstřikování pojiva, vytlačování materiálu, tavení prášku, laminování a řízené navařování.

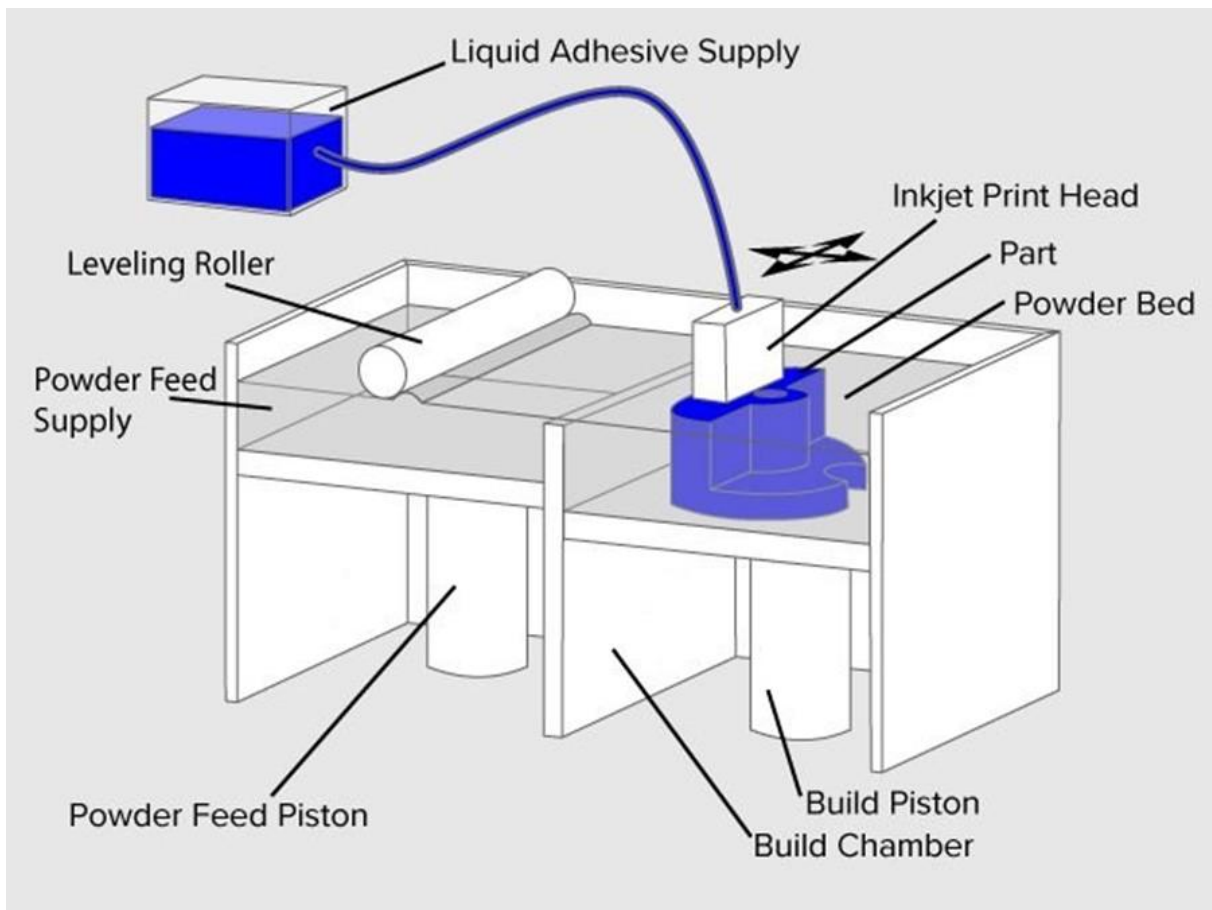


Obrázek 3 Přehled technologií aditivní výroby (vytvořeno autorem podle Homoly, 2019)

1.3.1 BINDER JETTING

Při tomto procesu se používají dvě složky, kterými jsou práškový nosný materiál a pojivo v tekutém stavu. Tiskárna pracuje ve dvou fázích. V první se rozprostře vrstva prášku po celé tiskové ploše, v druhé fázi tisková hlava nanáší pojivo v oblasti geometrie modelu, jak je znázorněno na obrázku 4. Po dokončení tisku se model očistí a zbylý prášek se dá opět využít. Výška tiskové vrstvy se pohybuje mezi 50-400 mikronů (Gibson et al., 2015).

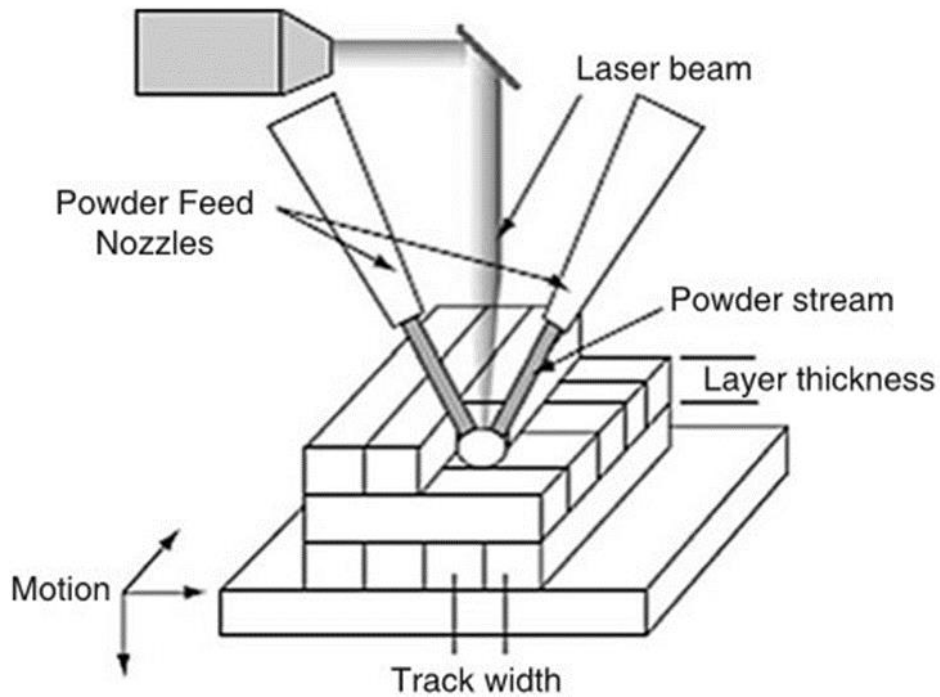
Tento typ aditivní výroby se nejčastěji používá pro výrobu pískových forem na odlévání kovů, dají se tak získat tvary, které by se jiným způsobem získat nedaly. Podle 3D Hubs (2019), je časová a finanční úspora oproti tradičním způsobům výroby významná i přes to, že jsou formy použity pouze jednou a rozbity při vyjímání odlitku.



Obrázek 4 Princip technologie binder jetting (3D Printing, 2019)

1.3.2 DIRECTED ENERGY DEPOSITION

Řízené navařování je proces používaný k opravám nebo přidávání materiálu na již existující objekty. Děje se tak pomocí trysky připevněné na pohyblivé paži, která přidává materiál na určený povrch, kde materiál ztuhne. Nejčastěji se takto zpracovávají kovy ve formě prášku či drátu. Tavení může probíhat pomocí laseru, elektronového paprsku nebo plazmového oblouku (F2792–12a, 2012).

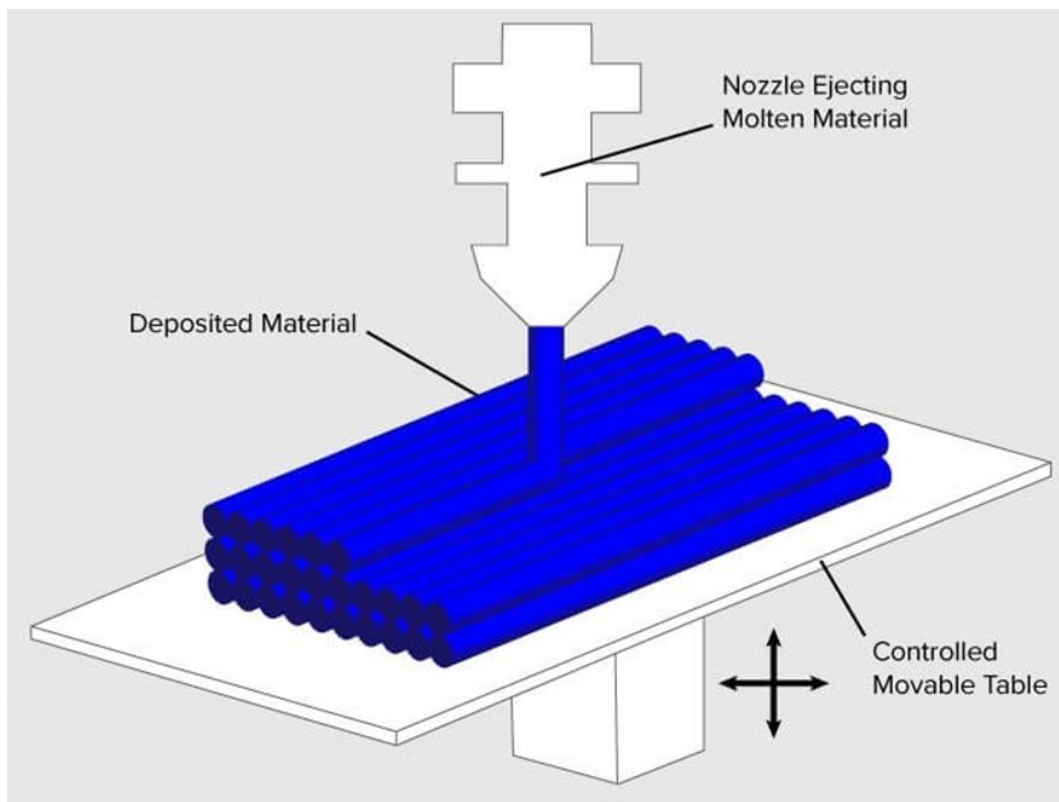


Obrázek 5 Princip technologie directed energy deposition (Gibson, 2015)

1.3.3 MATERIAL EXTRUSION

V současnosti je vytlačování materiálu nejpopulárnější a nejdostupnější způsob 3D tisku mezi domácími a hobby uživateli. Filament odvíjený z cívky prochází extrudérem, kde se zahřívá a skrze trysku se nanáší ve vrstvách na určené pozice, viz obrázek 6. Pro tento proces existují dva termíny, Fuse deposition modelling (FDM) patentovaný společností Stratasys, a Fused filament fabrication (FFF) užívaný v souvislosti s hnutím RepRap (Gibson et al. 2015, Loughborough University, 2019). Výška tiskové vrstvy je zde limitována pouze průměrem trysky, kterých je na trhu široké množství od 0,1 mm k 1 mm a dále.

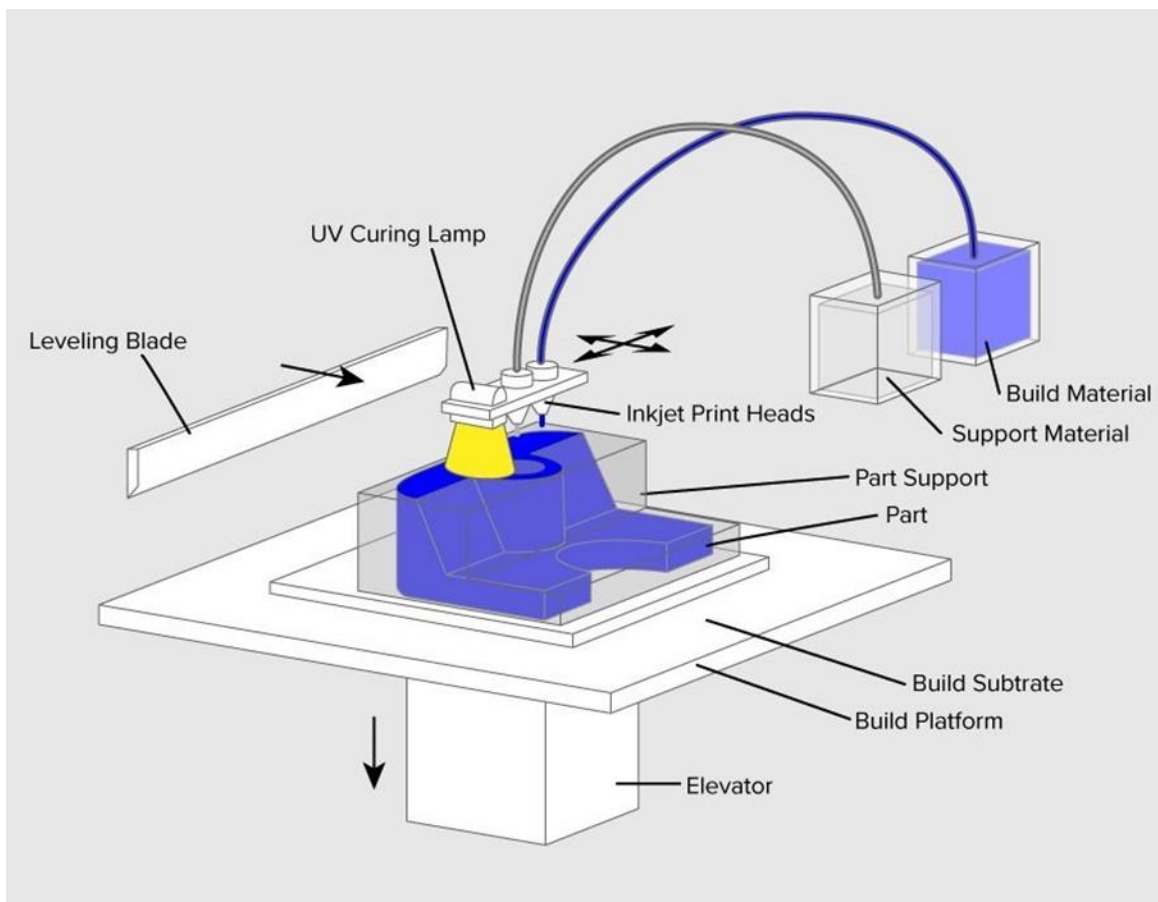
Specifickým případem jsou zařízení fungujícího na principu vytlačování materiálu, které nazýváme 3D pera. Ta se dají přirovnat ke zjednodušené ruční verzi 3D tiskárny. Zpravidla je složeno ze tří hlavních prvků. Části zodpovědné za odvíjení filamentu, části, která filament rozpouští a tlačítka řídicího celý proces vypouštění materiálu z pera. Do pera se vkládají krátké kousky filamentu. Místo počítačově řízeného pohybu tiskové hlavy, jaký používá 3D tiskárna, 3D pero je ovládáno pouze pohybem ruky (Mashambanhaka, 2019).



Obrázek 6 Princip technologie material extrusion (3D Printing, 2019)

1.3.4 MATERIAL JETTING

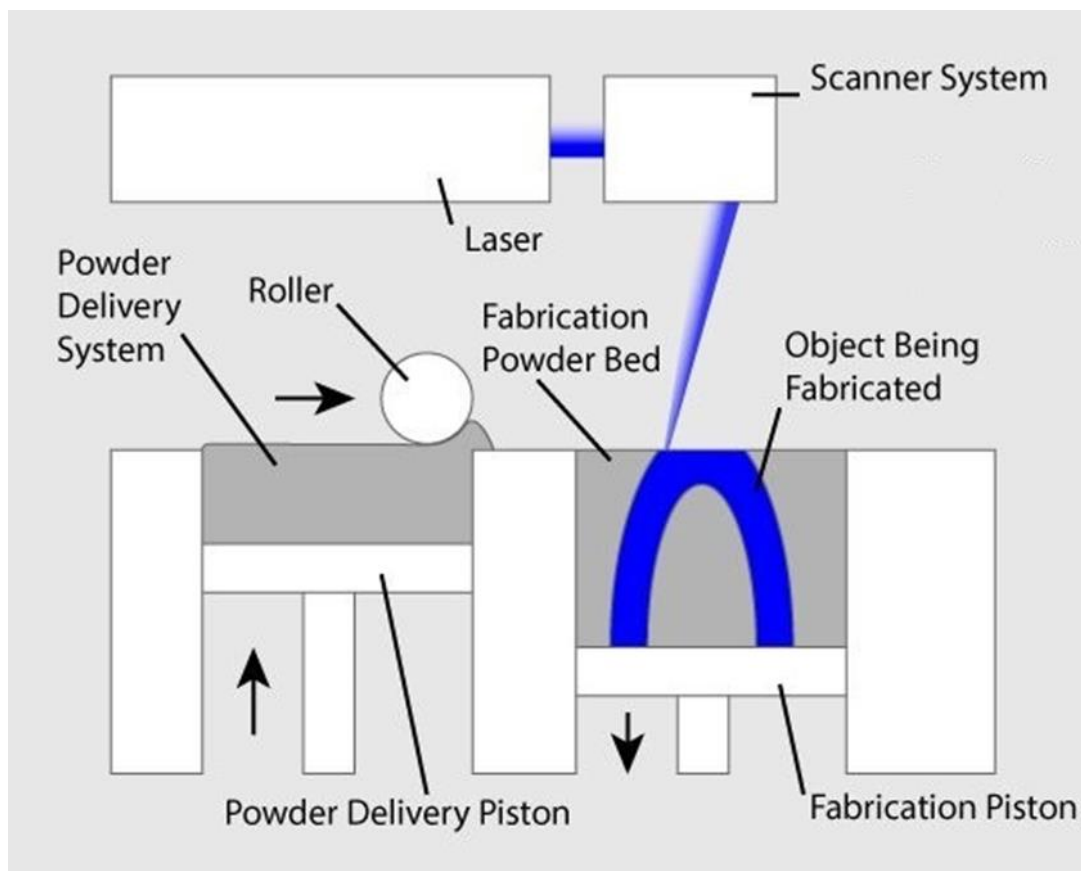
Principem funkce se podobá klasickým inkoustovým tiskárnám. Víceru tiskových hlav vystrikuje kapky materiálu do vrstev, které se následně vytvrzují UV světlem, jak ukazuje schéma na obrázku 7. Jelikož se podpůrné struktury tisknou z rozpustných materiálů, není nutné je složitě odlamovat (Gibson et al., 2015). Výška tiskové vrstvy se pohybuje v rozmezí 16-32 mikronů. Jako tiskový materiál zde slouží tekuté termosety, nejčastěji akryly. S dobrými výsledky se zde dají aplikovat vícebarevné i multimateriálové tisky (3D Hubs, 2019).



Obrázek 7 Princip technologie material jetting (3D Printing 2019)

1.3.5 POWDER BED FUSION

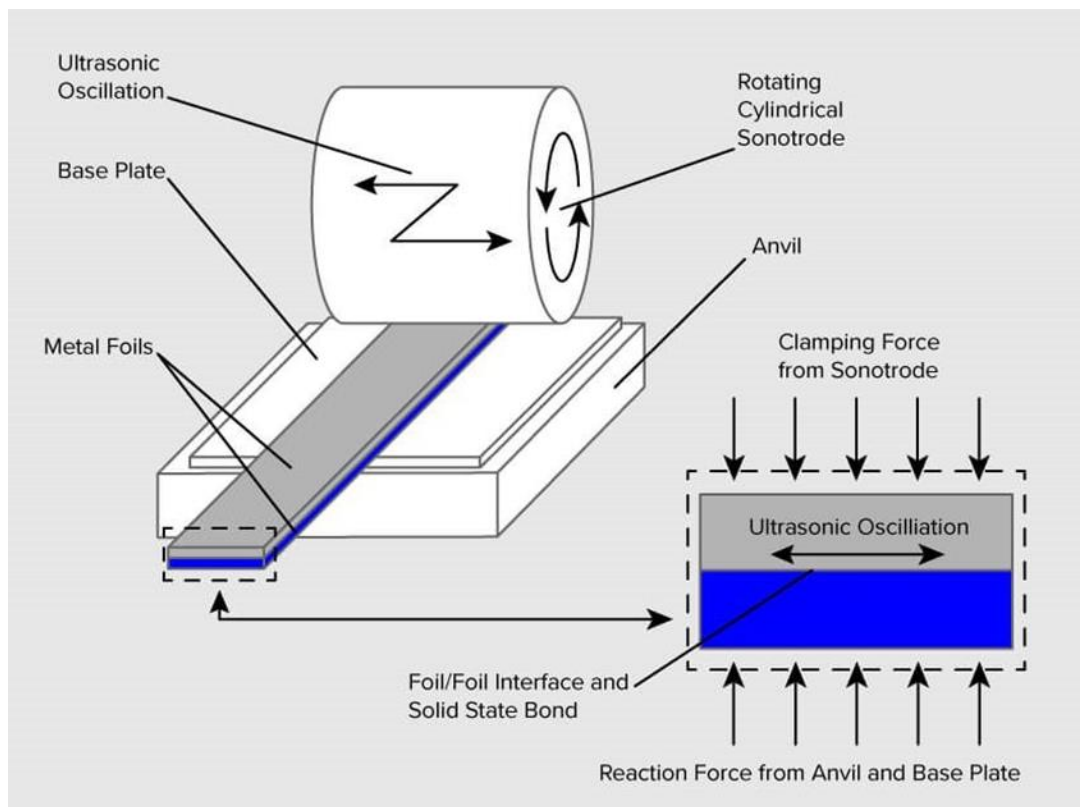
Tavení prášků je technologie, která využívá buď energie laseru anebo elektronového paprsku ke spékání tenkých vrstev kovů nebo jejich slitin za vysokých teplot. Často se tomu tak děje ve speciální atmosféře nebo vakuu. Tiskárny fungují ve dvou fázích. Nejprve se plošně nanese tenká vrstva prášku, ta se následně selektivně speče v oblasti geometrie modelu. Proces se opakuje, dokud není výrobek hotov, jak je znázorněno na obrázku 8. Nadbytečný prášek je možné po očištění modelu znovu použít. Tato technologie se využívá pro tvorbu leteckých součástí nebo kloubních náhrad (3D Printing, 2019, Gibson et al., 2015).



Obrázek 8 Princip powder bed fusion (3D Printing, 2019)

1.3.6 SHEET LAMINATION

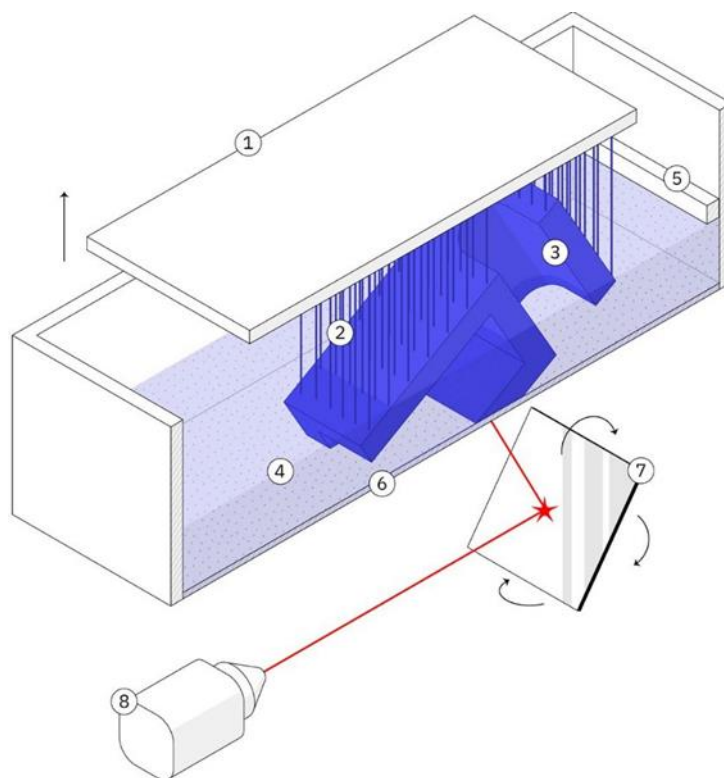
Laminování spočívá ve spojování plátek materiálu. Podle typu spojování se dělí na: ultrasonic additive manufacturing (UAM) a laminated object manufacturing (LOM). UAM využívá tenké plátky kovů, které jsou pomocí ultrazvuku svařovány k sobě. Za účelem získání modelu je následně potřeba odstranit nesvařené části, nejčastěji pomocí CNC. LOM technologie využívá listy papíru a lepidlo. Přebytečný materiál je pak ořezáván noži. Odstraňování přebytečného materiálu je při obou způsobech možno provádět buď během výroby nebo až po dokončení modelu (Loughborough University, 2019).



Obrázek 9 Princip technologie UAM, (3D Printing, 2019)

1.3.7 VAT PHOTOPOLYMERISATION

Fotopolymerizace (stereolitografie) je označení pro vytvrzování objektu nasvětlování nádrže fotocitlivé pryskyřice ultrafialovým laserovým paprskem (obrázek 10). Na tomto principu fungovaly vůbec první 3D tiskárny. Většina tiskových parametrů u tohoto typu tisku je nastavena od výroby a není možné ji změnit. Nastavitelná je pouze výška vrstvy a orientace modelu. Typická výška vrstvy se pohybuje mezi 25 až 100 mikrony a někdy je potřeba používat tiskové podpory, které jsou následně odstraněny (Loughborough University, 2019). Vytvrzování modelu není dokončené vyjmutím z tiskárny. Často se model musí ještě vložit do vytvrzovací komory, kde je osvětlován UV zářením a získává na pevnosti (3D Hubs, 2019).



Obrázek 10 Princip fotopolymerizace (3D Hubs, 2018)

1.4 TISKNUTELNÉ MATERIÁLY

Společnost 3D Printing (2019) uvádí šest hlavních typů tiskových materiálů pro běžné použití: polymery (plasty), beton, kovy, keramické materiály, papír i některé potraviny (čokoláda, těsto). Tyto materiály jsou nejčastěji dostupné ve formě filamentů, prášků nebo tekuté pryskyřice. Každá ze sedmi tiskových technologií zmíněných v předchozí kapitole je vhodná pouze pro některé materiály. Nejběžnější je obecně využití polymerních materiálů (Loughborough University, 2019). Mimo materiálů konstrukčních je třeba ještě zmínit materiály podpůrné, které se po dokončení výtisku odstraňují. Těmi jsou například HIPS (houževnatý polystyren) rozpustný v d-limonenu, nebo PVA (polyvinylalkohol), rozpustný ve vodě (Materiál pro 3D, 2019).

1.4.1 ABS

ABS je lehký a má dobrou pevnost, je odolný proti nárazu a cenově dostupný. Navíc jsou polymery ABS chemicky odolné. Teplota přechodu z pevné látky na kapalnou je u ABS 105 °C, což je ideální pro použití v přístrojích, které se používají v domácnostech.

Materiál ABS má nízkou teplotu tání, což z něj činí materiál, který neodolává vysokým teplotám. Tato nízká teplota tání však umožňuje snadné obrábění ABS na stolních 3D tiskárnách nebo během procesu vstřikování do formy.

Akrylonitril-butadien-styren (ABS) se používá u 3D tiskáren, které pracují na principu FDM nebo FFF a má formu dlouhého vlákna navinutého na cívce. Ovládání těchto 3D tiskáren je jednoduché: vlákno ABS je vedeno do vytlačovací hlavy nebo extruderu, který ohřívá plast ABS na jeho bod tání, aby jej zkapalnil. Po zkapalnění se materiál nanáší vrstvu po vrstvě na tiskovou platformu (která může, ale nemusí být zahřívána). Použitím tak jednoduchého výrobního procesu je tvorba plastových výrobků velice snadná.

Výhodou tohoto druhu technologie aditivní výroby je její cenová dostupnost. Díky zaniknutí určitých patentů souvisejících s technologií FDM (Fused Deposition modeling) v roce 2009 se náklady na 3D tisk v ABS výrazně snížily. Základní tiskárny stojí mezi několika stovkami až několika tisíci eur. Plastové materiály jsou také cenově dostupné, například ABS vlákno, jehož cena je nižší než 50 EUR za kg.

Z tohoto důvodu jsou plasty ABS a tiskárny 3D FDM / FFF (Fused Filament Fabrication) velmi oblíbenou kombinací pro mnoho aplikací. Fyzické vlastnosti tohoto typu plastu, jako je odolnost proti nárazu, pevnost v tahu, tuhost a teplota tepelného vychýlení, jsou skutečnými

výhodami. Může být také použit pro mechanické účely nebo pro jeho elektrické vlastnosti (izolant).

Kromě své chemické odolnosti a mechanických vlastností má materiál ABS dobrou kvalitu povrchu a odolný vůči hoření. Barva suroviny je bílá, ale oxidace polymerů může vést k zažloutnutí barvy. Kromě toho je snadné lepit a malovat plastové výrobky potištěné materiálem ABS, což nabízí možnosti pro další práci s výrobkem.

Existuje několik možností použití pro výrobu plastů s ABS. Tento plastový materiál se například používá k výrobě hraček, jako jsou kostky Lego. Lze jej však také použít k tisku krabiček pro elektrické nebo elektronické sestavy, sportovní vybavení, díly pro automobilový průmysl nebo zdravotnický průmysl. Ve skutečnosti je to ideální materiál pro výrobu levných prototypů a architektonických modelů pro inženýry nebo výzkumná oddělení, stejně jako pro vytvoření levných lékařských protéz. Mnoho plastových koncových produktů lze vyrobit z materiálu ABS.

Jedním z hlavních konkurentů ABS je PLA (kyselina polyléččná). Na rozdíl od ABS je PLA plast derivovaný z kukuřičného škrobu, který se taví při nižší teplotě. Je tedy biologicky odbouratelný, zatímco plastová fólie z ABS je pouze biologicky kompatibilní. Stejně jako mnoho jiných materiálů v průmyslu plastu je však ABS recyklovatelné.

Zatímco většina tištěných dílů se provádí ve 3D FDM nebo FFF, ABS a PLA nejsou jedinými materiály, které lze na těchto strojích tisknout. Výrobce tiskáren 3D Stratasys, původní držitel patentu na tuto technologii, prodává stroje speciálně navržené pro 3D tisk vysoce výkonných plastů, jako je PC-ABS nebo ULTEM. Tyto technické plasty mají velkou tepelnou odolnost a odolnost proti nárazu.

Nedávno se objevily obavy z toxicity materiálu ABS použitého při tisku, když je uveden do bodu tání. Některé studie skutečně naznačují, že by ABS mohl emitovat škodlivé výpary, když opouští vytlačovací hlavu při své teplotě tání (Sculpteo 2019).

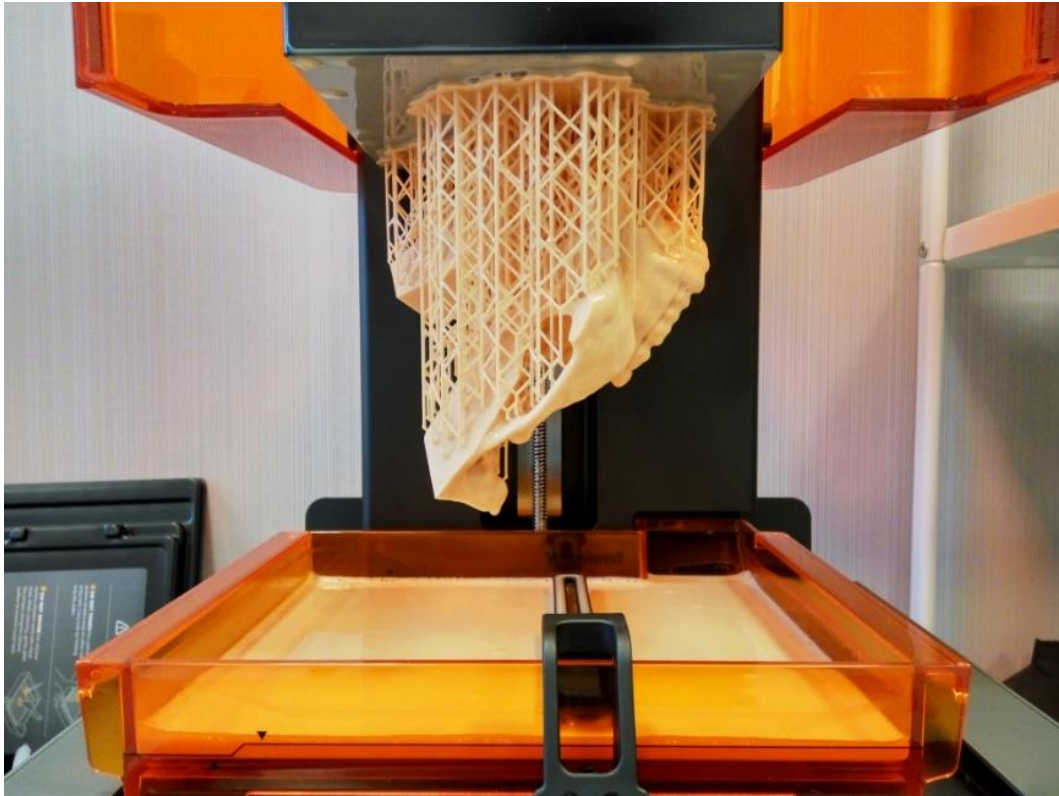


Obrázek 11 ABS (xyzprinting.com)

1.4.2 FOTOPOLYMER

Fotopolymer je druh polymeru, který při vystavení světlu mění své fyzikální vlastnosti. V případě 3D tisku se obvykle jedná o kapalné plastové pryskyřice, které po zavedení do zdroje světla, jako je laser, lampa, projektor nebo světelné diody (LED), ztvrdnou. Zatímco většina z těchto světelných zdrojů vyzařuje ultrafialové (UV) světlo, není tomu tak vždy, u některých velmi vzrušujících chemických metod materiálů, které umožňují vytvrzování viditelným světlem. Na rozdíl od termoplastů používaných v technologiích vytlačování materiálů, jako je modelování taveného nanášení, jsou fotopolymery termosety, což znamená, že jakmile dojde k chemické reakci za účelem vytvrzení materiálu, nelze ji přetavit. I když mohou zahrnovat řadu přísad, jako jsou změkčovadla a barviva, klíčovými prvky nezbytnými pro proces fotopolymerace jsou fotoiniciátory, oligomery a / nebo monomery. Když jsou zasaženy světelným zdrojem, fotoiniciátory transformují světelnou energii na chemickou energii, což způsobí, že směs oligomerů (označovaná také jako „pojiva“) a monomer vytvoří trojrozměrné polymerní síť. Ke změně fyzikálních vlastností materiálu, jako je tuhost nebo viskozita, mohou

přispívát i další chemické látky obsahující různé oligomery a monomery, jako jsou epoxidy, uretany a polyestery. Do směsi lze navíc přimíchát plniva, pigmenty a další pomocné chemikálie pro změnu barvy materiálu nebo pro další rozšíření funkčnosti tištěného dílu. Ze všech kategorií 3D tiskových materiálů představují fotopolymery největší tržní segment na trhu materiálů pro aditivní výrobu. To je částečně způsobeno skutečností, že prvními komerčními systémy byly právě tiskárny SLA od společnosti 3D Systems (Engineering.com).



Obrázek 12 3D tiskárna pracující na bázi fotopolymerizace

(<https://3dprintingcenter.net/what-will-happen-when-we-put-photopolymer-resin-to-daylight/>)

1.4.3 NEREZOVÁ OCEL

Nerezová ocel je materiál, který se vyznačuje silnou odolností proti korozi a vysokou odolností v tahu. Tyto vlastnosti z něj činí skvělého kandidáta na implementaci v několika průmyslových odvětvích, jako je obor lékařství (chirurgické nástroje), endoskopickou chirurgií nebo ortopedií; v leteckém a kosmickém průmyslu pro výrobu mechanických dílů; v automobilovém průmyslu pro součástky odolné proti korozi; ale také na výrobu hodinek a šperků.

Tisk z nerezové oceli je velmi přesný díky jemnému rozlišení povlaku a přesnosti laseru. Na rozdíl od slinování z polymerního prášku vyžaduje tisk z nerezové oceli prostřednictvím DMLS

přidání základních struktur, aby bylo možné díl připevnit k desce a posílit výrazné geometrie, jako jsou převisy. Samotné základny jsou vyrobeny ze stejného prášku jako kus a poté budou odstraněny.

Materiál po tisku nemá žádnou zvláštní povrchovou úpravu a má zrnitý a hrubý vzhled, který vyhovuje většině aplikací. Hladké a lesklé povrchy lze získat po tisku pomocí dokončovacích kroků.

Vzhledem k tomu, že se nerezová ocel taví při velmi vysoké teplotě, vyžaduje proces aditivní výroby s využitím kovů rozsáhlé technické znalosti pro počáteční studium tepelných a mechanických účinků. Vyžaduje také vynikající znalosti dokončovacích technik pro dokončení objektu. Úspěšná aditivní výroba dílů z nerezové oceli často představuje projekty, u nichž je použití 3D tisku zcela na místě, jelikož je nejlepší alternativou ve srovnání s jinými výrobními metodami (slévárství, obrábění, soustružení).

Nerezová ocel je dobrý materiál pro tisk funkčních i náhradních dílů. Materiál se snadno udržuje a přítomnost chromu mu dodává další výhodu- nikdy nezreziví.

3D tisk z nerezové oceli probíhá fúzí nebo laserovým slinováním. Pro tento materiál existují dvě možné technologie: DMLS a SLM. Častěji se využívá technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering), což je technika laserového slinování, při které laserový paprsek přivádí kovový prášek blízko vrstvy tavného bodu postupně po vrstvách, aby byl vytvořen žádaný objekt (Stainless Steel Material for 3D Printing: 3D Printing Metal 2009).

1.4.4 NYLON

Nylon je pevný, flexibilní, bílý plastový materiál zvaný polyamid. Minimální doporučená tloušťka vytištěné stěny z tohoto materiálu je 1mm. Na výsledný 1mm naneseného nylonového materiálu je potřeba zhruba 10 tištěných vrstev. Přírodní nylon je bílé barvy, je ale samozřejmě možné jej zakoupit v různých barvách. Dále se můžeme setkat s výrazem Alumide (Aluminium+Polyamid), jedná se tedy o směs polyamidu s hliníkovým práškem, který poskytuje výslednému výrobku větší tepelnou odolnost na rozdíl od samotného polyamidu. U modelů tištěných z tohoto materiálu je možné dosáhnout jejich pohyblivosti ihned po vytištění - např. řetěz je vytištěn bez potřeby kompletace každého článku zvlášť (Materialpro3d.cz)



Obrázek 13 Nylon (Nylon: 3D Printing Materials Overview)

1.4.5 TITAN

Titan má vynikající materiálové vlastnosti, ale jeho vysoká cena omezila použití na vysoce hodnotné aplikace v letectví. Nyní, když je 3D tisk kovů stále více uznáván jako životaschopná výrobní metoda, titan se zpřístupňuje mnoha průmyslovým odvětvím, jako je lékařství, automobilový průmysl a motosport.

Titan je známý svými vynikajícími materiálovými vlastnostmi - pevnými jako ocel, ale pouze s 60% své hustoty. Díky vysokému poměru pevnosti a hustoty titanu, dobré odolnosti proti korozi a chemické odolnosti je zvláště vhodný pro vysoce výkonná odvětví, jako je letecký a kosmický průmysl a obrana. Zde se slitiny titanu používají v aplikacích, které vyžadují lehké součásti schopné zachovat si své mechanické vlastnosti při vysokých teplotách. Titan je také známý svou biokompatibilitou, což z něj činí ideální volbu pro lékařské aplikace, jako jsou implantáty. Přestože titan nabízí řadu výhod, zůstává relativně nákladným materiálem. Je to proto, že kov se těžší v relativně malém množství a zpracování

surového titanu zůstává složitým úkolem, což činí tento materiál podstatně dražším než alternativní kovy, jako je ocel.

S titanem může být obtížné pracovat, zvláště pokud jde o obrábění. Titan má jednak nízkou tepelnou vodivost, což znamená, že při obrábění, například na CNC stroji, se generované teplo ukládá do CNC nástroje. To by mohlo způsobit rychlé opotřebení nástroje. Navíc, protože obrábění zahrnuje řezání a odebrání materiálu, může tento proces vést k produkci velkého množství materiálového odpadu. Mnoho společností proto hledá lepší alternativy k výrobě titanových dílů. 3D tisk kovů se ukazuje jako dobrá alternativa. U kovového 3D tisku je nejčastěji používanou třídou titanu slitina Ti6Al4V (Ti64). Kromě Ti64 je také možné 3D tisk s čistým titanem.

Titan jako materiál pro 3D tisk má mnoho výhod. U aplikací v leteckém průmyslu použití titanových a 3D tiskových dílů často pomáhá snížit poměr buy-to-fly. Termín, který pochází z leteckého průmyslu, odkazuje na korelaci mezi hmotností původně zakoupeného materiálu a hmotností hotového dílu. Například v konvenční výrobě mohou mít titanové součásti letadel poměr buy-to-fly mezi 12:1 a 25:1. To znamená, že k výrobě 1 kg dílů je potřeba 12–25 kg suroviny. 3D tisk kovů může tento poměr u titanových komponent snížit na 3:1 až 12:1. Důvodem je, že kovové 3D tiskárny obvykle používají pouze nezbytné množství materiálu potřebného k vytvoření dílu a vytvářejí jen malý odpad z nosných konstrukcí. U nákladného materiálu, jako je titan, může být úspora nákladů z tohoto sníženého poměru buy-to-fly poměrně významná. Aditivní výroba může také vylepšit vlastnosti titanu díky optimalizaci topologie. Pomocí softwaru pro optimalizaci topologie inženýři stanovili určité požadavky, například omezení zatížení a tuhosti, a poté nechali softwarový nástroj optimalizovat počáteční návrh tak, aby tyto požadavky splňoval. Díky této optimalizaci je z designu odstraněn veškerý zbytečný materiál a vytváří lehčí, ale pevnou součást. Topologicky optimalizované návrhy lze často vyrábět pouze pomocí aditivních technologií výroby. Tuto výhodu ocení zejména letecký a kosmický průmysl, kde lehké titanové díly mohou vést k úsporám hmotnosti a lepšímu výkonu strojů (A Guide to 3D Printing With Titanium - AMFG).



Obrázek 14 3D výrobky z titanu (all3dp.com)

1.4.6 ZLATO A STŘÍBRO

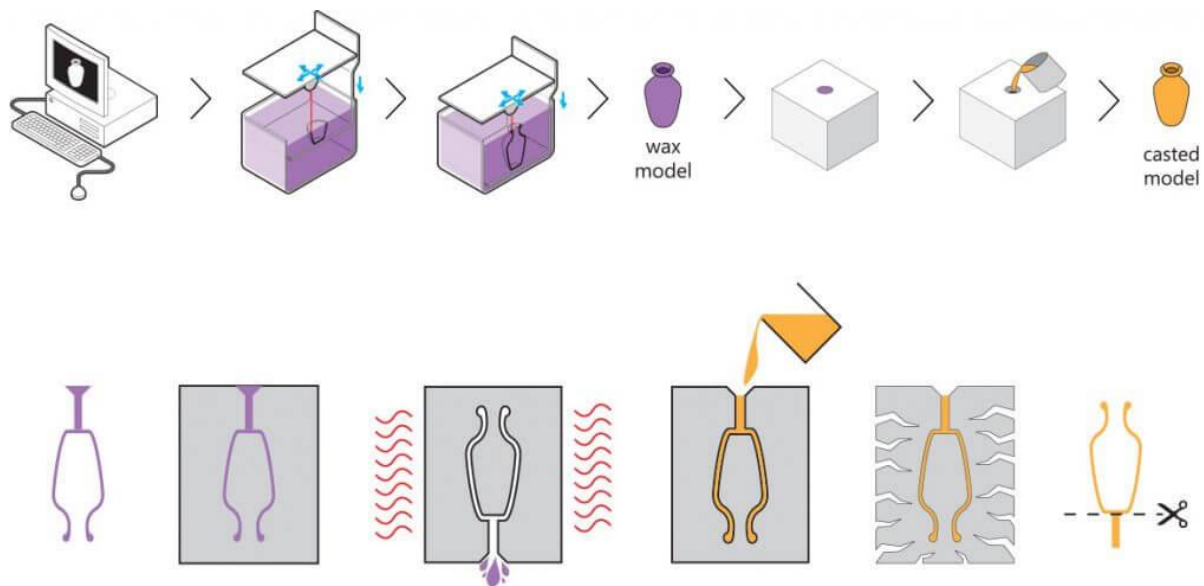
Na rozdíl od mnoha jiných tiskových materiálů, které lze použít s typickou stolní FDM 3D tiskárnou, 3D tisk zlata a stříbra není tak jednoduchý. Na trhu je možné získat řadu PLA vláken od různých značek nabízejících možnosti zlaté barvy nebo některé směsi pravého zlata. Žádné z těchto vláken však není schopné konkurovat skutečným zlatým šperkům vytvořeným konvenčními metodami.

Tiskárny FDM tedy nejsou vhodné pro výrobu šperků. Doposud ale existují dva aditivní výrobní procesy, které se často používají pro zlatý 3D tisk.

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) technologie využívá vrstvy zlatého prášku, který později ztuhne pomocí laseru k vytvoření finálního modelu. Model se poté extrahuje ze zbylého prášku. Pro další zvýšení kvality koncového modelu je výrobek vyčištěn a vyleštěn pro zvýšení jeho lesku a atraktivity.

SLA pomohla mnoha firmám zřídit samostatná střediska, která přímo uspokojují potřeby koncových zákazníků. Pomocí SLA se zlaté položky tisknou spíše nepřímo než přímo z 3D tiskárny. Tato technologie využívá konečný návrh pomocí 3D tisku pryskyřici na bázi vosku a odlévání do formy. Kapalná pryskyřice se vytvrzuje pomocí laseru a spojuje vrstvy dohromady. Tyto modely vždy vyžadují podpurné struktury, které těmto modelům pomáhají zůstat celistvé. Později jsou tyto podpurné struktury odstraněny ručně. K vytvoření formy se používá jemná sádra. Touto sádrrou se voskový model pokryje a jakmile sádra ztuhne, celá

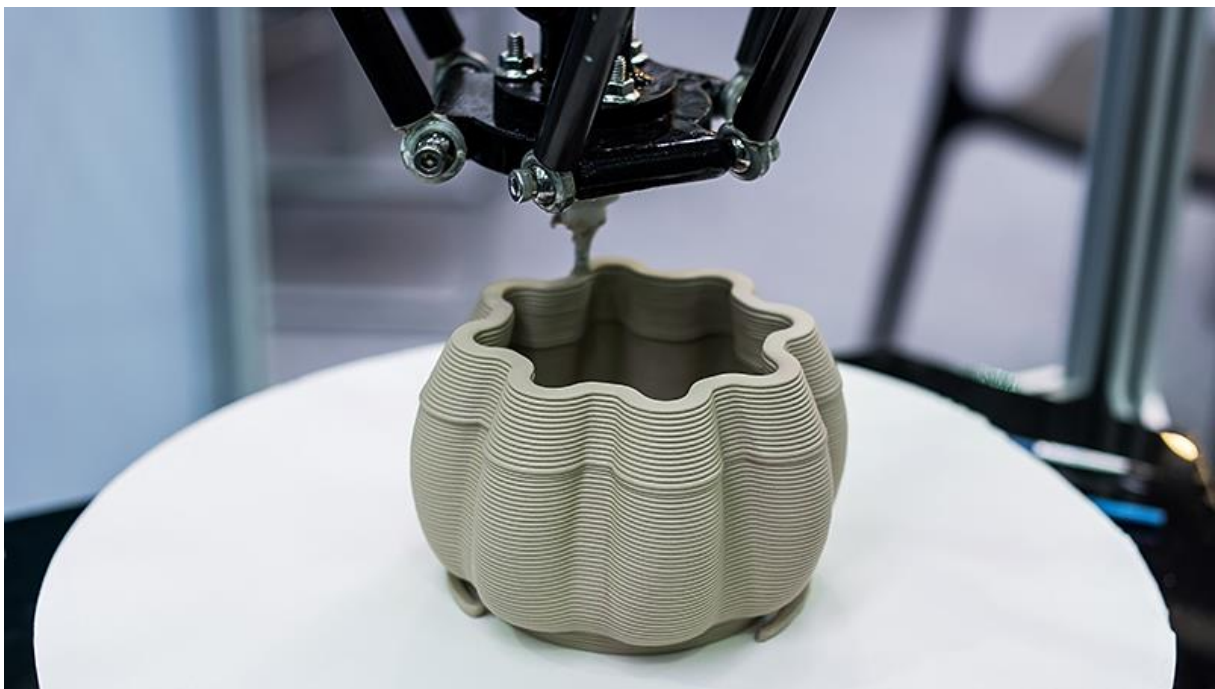
forma se zahřeje na velmi vysokou teplotu, obvykle uvnitř trouby. Tento proces rozpustí vosk který se snadno odstraní z formy. Dalším krokem je nalití roztaveného zlata nebo stříbra do vzniklé formy. Po ztuhnutí se produkt vyjme a očistí (Everything you Need to Know About Gold 3D Printing 2009).



Obrázek 15 Postup práce se zlatem nebo stříbrem (materialise.com)

1.4.7 KERAMIKA

Díky svým vynikajícím vlastnostem se keramika používá v široké škále aplikací, včetně chemického průmyslu, strojírenství, elektroniky, letectví a biomedicínského inženýrství. Vlastnosti, díky nimž je tak univerzální zahrnují vysokou mechanickou pevnost, tvrdost a dobrou tepelnou a chemickou stabilitu. Keramické komponenty se obvykle formují do požadovaných tvarů, počínaje směsí prášku s pojivem nebo bez nich a dalších přísad, za použití konvenčních technologií, čili vstřikováním do formy nebo lisování atd. K dosažení ztuhnutí je dále zapotřebí spékání při vyšších teplotách. Tyto techniky tvarování keramiky však přinášejí limity v podobě dlouhé doby zpracování a vysokých nákladů. Struktury s vysoce složitými geometriemi a vzájemně propojenými otvory nelze tímto způsobem vyrobit. Navíc je obrábění keramických komponent velmi obtížné vzhledem k jejich extrémní tvrdosti a křehkosti. Nejen, že jsou řezné nástroje vystaveny silnému opotřebení, ale také mohou na keramických součástech vznikat defekty, jako jsou praskliny, nemluvě o obtížnosti dosažení dobré kvality povrchu a rozměrové přesnosti (3D printing of ceramics: A review – ScienceDirect 2018).



Obrázek 16 3D výrobek z keramiky (<https://www.imeche.org/news/news-article/feature-%27without-ceramics-almost-nothing-would-function%27-barriers-to-3d-printing>)

1.4.8 POLYMERNÍ TISKOVÉ MATERIÁLY

Z celé skupiny polymerů jsou nejznámější materiály termoplastické, jelikož se používají v domácích a hobby 3D tiskárnách. Termoplasty se mohou opakovaně zahřívat bez vážné degradace a jejich typickými vlastnostmi je pevnost, tvrdost a odolnost, v tenčích vrstvách křehkost. Běžně se používají: biologicky odbouratelná kyselina polymléčná (PLA), akrylonitril-butadien-styren (ABS), polyethylentereftalát (PET) (Groover, 2017).

Za zmínku stojí i materiály jako jsou woodfill, bronzefill, aramidové a karbonové kompozity, založené na PLA jako nosiči, do kterého je přidávána příslušná příměs (Prusa research, 2019).

1.4.9 BIOMEDICÍNSKÉ TISKOVÉ MATERIÁLY

3D tisk v mnoha směrech umožnil výrobu dosud nedosažitelných projektů. Stejně tomu tak je i v medicíně.

Nejvýznamnějším materiálem pro medicínské užití je práškový wolfram, který se využívá jako hlavní surovina pro výrobu dílů k zobrazovacím systémům, které pracují s ionizujícím zářením (Miller a kol., 2011).

Dalším prvkem v této oblasti je titan a jeho slitiny, které se pro svou biokompatibilitu používají na kloubní náhrady a další typy implantátů (Sidambe, 2014).

V roce 2016 publikovali Kang a jeho kolegové článek popisující speciální tiskárnu: integrated tissue- organ printer (ITOP). Tato je schopna tisknout z hydrogelů s kmenovými buňkami a biodegradabilních polymerů tkáně.

1.4.10 VLASTNOSTI TISKOVÝCH MATERIÁLŮ

Vzhledem k velké šíři technologií aditivní výroby jsou i tiskové materiály velmi rozsáhlou oblastí. Nicméně, různí autoři nabízí možnosti, jak tyto materiály třídít a vybrat z nich nejvhodnější pro daný účel.

Organizace 3D Hubs v publikaci Knowledge base (2019) uvádí pro tiskový materiál tato kritéria: Snadnost tisku, přilnavost na tiskovou desku, maximální rychlost tisku, stálost průtoku tiskovou hlavou, jednoduchost vkládání, tedy vlastnosti související přímo s obsluhou tiskáren.

Dle Gibsona et al. (2015) jsou významné: Pohledová kvalita – jak dobře vypadá dokončený objekt a je-li třeba ještě postprocessing, resp. povrchové dokončení výrobku. Pevnost, pružnost, tepelná odolnost a rázová houževnatost, stejně jako i další materiálové zkoušky, indikující

vhodnost zejména pro průmyslová a medicínská využití. Přílnavost vrstev (izotropie), čím více k sobě tiskové vrstvy vzájemně přilnou, tím je objekt izotropnější (jeho vlastnosti ve všech směrech jsou stejné). Dále zmiňují ještě odolnost proti vzdušné vlhkosti, nebo toxicitu výparů. Tedy vlastnosti související nejen s průběhem tisku, ale i s vlastnostmi hotového objektu.

2 APLIKACE 3D TISKU

2.1 OBECNÝ POSTUP TVORBY 3D OBJEKTU

Při přípravě 3D objektů je napřed třeba ujasnit si cíl, s jakým bude objekt využíván. Gibson, Rosen a Stucker (2015) stanovují jako současné hlavní směry využití aditivní výroby tyto:

- Fyzické testování předem vytvořeného CAD modelu
- Testování tvaru, lícování a funkce objektu
- Tvorba modelů bez ohledu na úhly úkosu, dělicí roviny atd.
- Prezentace prototypů a revize návrhů
- Výroba forem a jader pro odlévání
- Výroba anatomicky přesných modelů na základě dat z počítačové tomografie (CT), s využitím v ortopedii, protetice atd.
- Výroba reliéfních modelů pro geografické užití
- Tvorba trojrozměrných podobizen na základě dat získaných 3D skenováním.

Na základě určení je pak nejen modelován tvar objektu, ale i stanoven materiál a určena nejvhodnější tisková technologie. Bez ohledu na zvolenou technologii Gibson a Bártolo (2011) uvádí další kroky shodné pro všech 7 výše uvedených druhů 3D tisku.

1. Tvorba objemového nebo povrchového digitálního modelu v libovolném CAD softwaru.
2. Export zdrojového souboru do formátu zpracovatelného softwarem tiskárny. Tímto souborovým formátem je nejčastěji .stl, základní formát pro 3D tisk, který obsahuje pouze informace o velikosti a tvaru, případně .obj, který může obsahovat i sofistikovanější informace o barvě, výplni atd.
3. Tvorba podpor, jsou-li k modelu potřeba. Podpůrné struktury je možné tisknout ze stejného materiálu jako model a později jsou odstraněny. Nebo jsou ze speciálních materiálů, a to rozpustných ve vodě, acetonu nebo jiných substancích.

4. Nastavení parametrů důležitých pro nařezání (slicing) objektu do tiskových vrstev. Volitelná je zpravidla výška tiskové vrstvy, hustota výplně objektu, tisková rychlost a jiné.
5. Samotné řezání (slicing) modelu. Tento proces tvoří g-code, tedy prováděcí strojový kód určený pro danou 3D tiskárnu.
6. Tisk modelu, při tomto procesu tiskárna provádí instrukce z g-code získaného v předchozím kroku. G-code je pro konkrétní typ tiskárny.
7. Očištění a následné opracování výtisku (postprocessing).
8. Dokončení procesu vytvrzování u materiálů, které to vyžadují (například epoxidové pryskyřice).

Z tohoto postupu vyplývá nutnost použití nejméně dvou různých programů. Jedním z nich je software tiskárny, ten může být zároveň slicerem datového modelu (souboru .stl), a zároveň řídicím softwarem, který vykonává g-code. Druhým pak je program typu CAD, určený k modelování. Jejich vzájemný vztah je znázorněn na obrázku 17. CAD je možné vynechat, v případě že je trojrozměrný model získán z jiných zdrojů.



Obrázek 17 Posloupnost datových formátů v návaznosti na software

2.1 3D TISK V PRŮMYSLU

Vývoj 3D tisku je v první řadě zaměřen na tisk různých druhů plastu, jelikož se jedná o lehce zvládnutelné technologie nenáročné na finance. Druhým případem je oblast tisku s kovy. V tomto případě je náročnost na finance a technologie mnohem vyšší, tudíž nejsou tyto tiskárny dostupné pro většinu firem a lidí, kteří by se mohli na jejich vývoji potenciálně podílet.

Samotné používání tiskáren v průmyslu je zaměřené převážně na výrobu náhradních dílů, u kterých se nepředpokládají vysoké nároky na mechanické vlastnosti. Princip takového způsobu výroby tkví v minimalizaci logistiky. Kupříkladu poškozený díl domácího spotřebiče nebude potřeba objednávat, ale vyrobí se na 3D tiskárně přímo v daném servisu. Stejným způsobem pak může fungovat tisk kovových součástí v servisech automobilů. Možností je široké spektrum. Jistou překážkou může být obchodní politika prodejců tzv. plánovaná obsolescence, kdy jsou produkty záměrně designovány tak, aby se po určitém čase užívání porouchaly a díky finanční nákladnosti opravy jsou spotřebitelé nuceni koupit si zcela nový produkt. Protože touha výrobců je prodávat a ne opravovat, nemuseli by být této myšlence nakloněni.

3D tisk je technologie, která si sama hledá využití, nemusíme se omezovat jen na výrobu náhradních dílů, jsou zde možnosti vyrobit celé funkční zařízení jako jeden kus. Čili žádné jednotlivé tisknutí dílů, ale od rýsovacího prkna (v tomto případě z modelovacího softwaru) k hotovému produktu v jednom kroku. Na výrobě bývá zpravidla nejdražší lidská práce. Pokud vytiskneme sestavu dílů, budeme potřebovat někoho, kdo je následně dá dohromady. Tudíž se nabízí možnost finančních úspor v případě, kdy si celé zařízení vytiskneme rovnou celé.

Jednoduchým příkladem může být planetový převod, který je na obrázku číslo 18. Jestliže vyrobíme jednotlivé díly se správnou rozměrovou tolerancí, půjde vše smontovat bez problémů. Kolečka je poté potřeba zafixovat, aby nevypadávala ven, k čemuž slouží další doplňující zařízení.

Ale v případě našeho obrázku je tomu jinak. Když bychom na kolečkách použili šípové ozubení, technicky není možné soukolí složit, jelikož poslední kolo nevsadíme mezi ostatní. Pouze v případě, kdy by byl materiál dostatečně pružný na to, aby toto povolil, jenže o takové mechanické vlastnosti v daném případě určitě nestojíme.

Na obrázku avšak můžeme vidět použití právě šípových zubů. Podstatou bylo vytvořit celé soukolí naráz jako jeden tiskový kus. Díky přesnosti tisku dosahujeme efektu, kdy se jednotlivá kola nespojí dohromady. Výsledkem toho je celá převod ihned po vyjmutí z tiskárny funkční.



Obrázek 18 Planetový převod (MyMiniFactory)

3. 3D TISK V SEKUNDÁRNÍM ŠKOLSTVÍ

3.1 2. STUPEŇ ZÁKLADNÍCH ŠKOL

Oblast potenciálního využití 3D tisku je zde daleko širší než na prvním stupni. Kromě využití v rámci výuky výtvarné výchovy se daleko víc otevírají možnosti jeho použití jednak v technické výchově, tak i v rámci výuky informatiky, kde se lze hlouběji zabývat 3D modelováním.

Technická výchova

Technická výchova je realizována dle RVP ZV (2017) v rámci vzdělávací oblasti Člověk a svět práce. V rámci této oblasti můžeme identifikovat vhodné vzdělávací okruhy jako Využití digitálních technologií, Design a konstruování, Práce s technickými materiály, kam lze zařadit výuku se zaměřením na 3D tisk (RVP ZV 2017).

Díky modelovacím programům, které jsou dostupné i zdarma mohou žáci vytvářet jednoduché a později i náročnější útvary. Posléze se tyto modely mohou nahrát do 3D tiskárny a žáci si je mohou vytisknout.

Samotná činnost s 3D tiskárnou a předchozí modelování objektu mohou mít za cíl mimo jiné výrobu náhradních součástek, které se mohly být poškozeny. Typicky se jedná o drobné opravy v domácnosti. Ale nejedná se výhradně o tisk náhradních dílů. Žáci mají možnost vymýšlet a modelovat zcela originální předměty. Osobně vidím velký potenciál v tvorbě vlastních dílků na bázi slavné stavebnice LEGO. Studenti si mohou namodelovat zařízení, které je složeno z více dílků, ty pak vytisknout a model si sestavit.

V rámci výroby nových zařízení ale není nutné omezovat pouze na výrobu dílů, ze kterých pak konkrétní zařízení sestaví. Je tady možnost vytisknout celý funkční systém naráz, který bude plně funkční ihned po vytažení z tiskárny.

Informatika

Předmět informatika je realizován dle RVP ZV (2017) v rámci vzdělávací oblasti Informační a komunikační technologie. V rámci této vzdělávací oblasti je možné 3D začlenit do částí zpracování a využití informací a počítačové grafiky (RVP ZV 2017).

V rámci tohoto předmětu by se měla výuka zaměřovat spíše na princip tiskárny, její funkce, ovládání a software.

Samotný pohyb motorků tiskárny, zajišťující pohyb tiskové hlavy, vytlačování materiálu, to vše je zajištěno pohony. Co ale zajišťuje jejich ovládání? Tady už přecházíme to informačních technologií. V neposlední řadě také výběr vhodného softwaru. Výuka pravděpodobně bude zaměřena na pochopení přenosu dat, řízení tisku a zpracování informací z modelovacího programu, o samotný proces tisku zde nepůjde.

Dnes už není školy, která by vyučovala informatiku teoreticky bez výpočetní techniky. Stejně tak to bude i v případě 3D tiskáren. A jelikož tiskárny budou využívány napříč předměty, vstupní náklady nebudou tak drastické.

Výtvarná výchova

Výtvarná výchova je realizována dle RVP ZV (2017) v rámci vzdělávací oblasti Umění a kultura. V rámci této oblasti můžeme identifikovat vhodné vzdělávací okruhy jako Rozvíjení smyslové citlivosti a uplatňování subjektivity (RVP ZV 2017).

U tohoto předmětu se v rámci vyučování zaměříme na vznik plastik s použitím vhodného modelovacího programu. Fundovanějšího využití patrně nepůjde dosáhnout.

Studenti budou mít možnost vytvářet kopie uměleckých výtvorům, jako jsou sochy busty a podobně. Samozřejmě lze i zde pracovat s jejich představivostí a nechat je tvořit vlastní návrhy. V tom jim pomůže kromě modelovacího softwaru i 3D skenování

3.2 STŘEDNÍ ŠKOLY

Pravděpodobně právě zde najdou 3D tiskárny nejširší uplatnění. I když bude míra uplatnění přímo záviset na oborovém zaměření školy, jelikož jich existuje velké množství, a u některých se bude uplatnění hledat stěží. Vzhledem k širokému spektru odborných škol, pro které jsou vypracovány specifické RVP, budou možnosti implementace 3D tisku do středoškolského vzdělávání popsány obecně vzhledem k zaměření škol.

Technicky zaměřené školy

Výuka zde bude navazovat na výuku na ZŠ, hlavně v oblasti předmětů informatika a technika. Míra technického využití se bude odvíjet hlavně od toho, jestli bude daná škola vyučovat pouze teoretické znalosti nebo se bude jednat o odborný výcvik. Nabízí se zde činnosti v rámci opravy a údržby strojů, kde půjde hlavně o výrobu náhradních součástí. V případě oborů strojních je potenciální využití v oblasti konstruování.

Humanitně zaměřené školy

Školy se zaměřením na ekonomické a administrativní záležitosti budou uplatnění 3D tiskáren hledat stěží. Ovšem jako seznámení se s novou technologií s velkým potenciálem by se dalo uvažovat o nějakém okrajovém zařazení do výuky, avšak je třeba mít na paměti, jestli pak má investice do techniky vůbec smysl v poměru k reálnému přínosu k výuce.

Gymnázia

Gymnázia jsou specifickou součástí vzdělávacího aparátu. Jedná se v podstatě o „nadstavbu“ na základní školy v podobě všeobecného vzdělání na středoškolské úrovni, které má studenty připravit na studium na VŠ. Technickou výuky zde ale prakticky nenajdeme. Nabízí se tedy možnost zakomponovat 3D tisk do výuky informatiky, ale ve výsledku bude vzdělání v této oblasti tihnout k spíš k porozumění principu ovládání tiskáren, nikoliv z pohledu vlastního tisku.

Výzkumná část

9 VÝZKUMNÉ ŠETŘENÍ

Tato část práce se zabývá realizací výzkumu zjišťujícího stav využívání 3D tisku na základních a středních školách.

Jednotlivými kroky realizace byly:

- stanovení cílů, metod a výzkumných otázek
- realizace dotazníkového šetření
- analýza získaných dat
- shrnutí a interpretace poznatků

9.1 VÝZKUMNÝ PROBLÉM A CÍLE

Hlavním cílem výzkumu je zjistit, do jaké míry je technologie 3D tisku zařazená do výuky na základních a středních školách. Pro naplnění hlavního cíle byla použita dotazníková metoda. Zvolená metoda je časově a finančně poměrně nenáročná a umožňuje efektivně analyzovat získaná data (Chráska 2016). Jejimi nevýhodami jsou ale mimo jiné možné zkreslení odpovědi následkem špatného porozumění otázce nebo nízká návratnost dotazníku. Dotazník byl vytvořen v aplikaci Survio. Přistoupit k němu se dá pouze pomocí unikátního odkazu, což eliminuje možnost náhodného vyplnění dotazníku osobami mimo výzkumný vzorek.

Dotazník obsahuje celkem 15 otázek, které jsou rozdělené do dvou sekcí. Jedenáct je zaměřeno na vybrané aspekty 3D tisku ve výuce, zbytek jsou otázky sloužící k získání údajů charakterizujících vzorek respondentů. V dotazníku jsou použity otázky otevřené, polootevřené a uzavřené. Uzavřené otázky jako nejčastější typ otázek v dotaznících používaných jsou jednoduché na vyplnění a data z nich se snadno zpracovávají. Polootevřené otázky, kombinaci otázek otevřených a uzavřených, byly použity tam, kde existovala možnost, že otázka nepokrývá všechny potenciální možnosti odpovědí. Otevřené otázky jsou sice nejobtížněji zpracovatelné, ale umožňují také získání názorů, které otevírají prostor pro korekci našich vlastních představ o problematice. Po první otázce se dotazník větví tak, aby respondenti mohli odpovídat pouze na otázky pro ně relevantní.

Data byla sesbírána v průběhu měsíce května 2021 na základních a středních školách. Šíření dotazníku probíhalo formou elektronické komunikace se zástupci třiceti základních škol, návratnost dotazníku byla 43,33 %, tedy 13 respondentů z řad učitelů.

Výsledky byly zpracovány do ucelené podoby pomocí tabulkového editoru, získané informace jsou pak prezentovány ve formě tabulek, grafů a textů.

9.2 VÝZKUMNÉ PŘEDPOKLADY

Ke stanoveným otázkám byly pro interpretaci dat stanoveny výzkumné předpoklady, vycházející ze studia odborné literatury a vlastních znalostí procesu 3D tisku a jeho aplikací ve vzdělávacím kontextu.

Výzkumný předpoklad 1

Dá se předpokládat, že 3D tiskárny vlastní více škol středních než základních, a to ze dvou důvodů-jednak kognitivní schopnosti žáků základních škol ještě nemusí umožňovat hlubší pochopení problematiky a jednak střední školy mohou jednodušeji zakomponovat 3D tisk do výuky odborných předmětů, zejména na školách technického či uměleckého zaměření.

VP1: 3D tiskárny vlastní více středních škol než základních.

Výzkumný předpoklad 2

Díky rozdílu v cenách, různých nárocích na obsluhu a cenové dostupnosti jednotlivých typů 3D tiskáren se dá předpokládat, že nejširší zastoupení budou mít tiskárny pracující na principu vytlačování materiálu.

VP2: Na školách jsou nejvíce zastoupeny 3D tiskárny pracujících na principu vytlačování materiálu.

Výzkumný předpoklad 3

V návaznosti na předpoklad 2, a v souvislosti s energetickými a jinými nároky na tisk různých filamentů předpokládáme, že nejčastěji používaným tiskovým materiálem je PLA.

VP3: Nejčastěji používaným materiálem je PLA.

Výzkumný předpoklad 4

Šíře možností využití 3D tiskárny zasahuje do mnoha částí fungování školy – tisk pomůcek pro výuku, žákovských modelů či náhradních dílů jsou jen některé oblasti, kde se dá 3D tisk aplikovat. Z toho důvodu se dá předpokládat, že školy vlastníci 3D tiskárny je využívají nejméně každý týden.

VP4: Školy využívají 3D tiskárnu alespoň jedenkrát týdně.

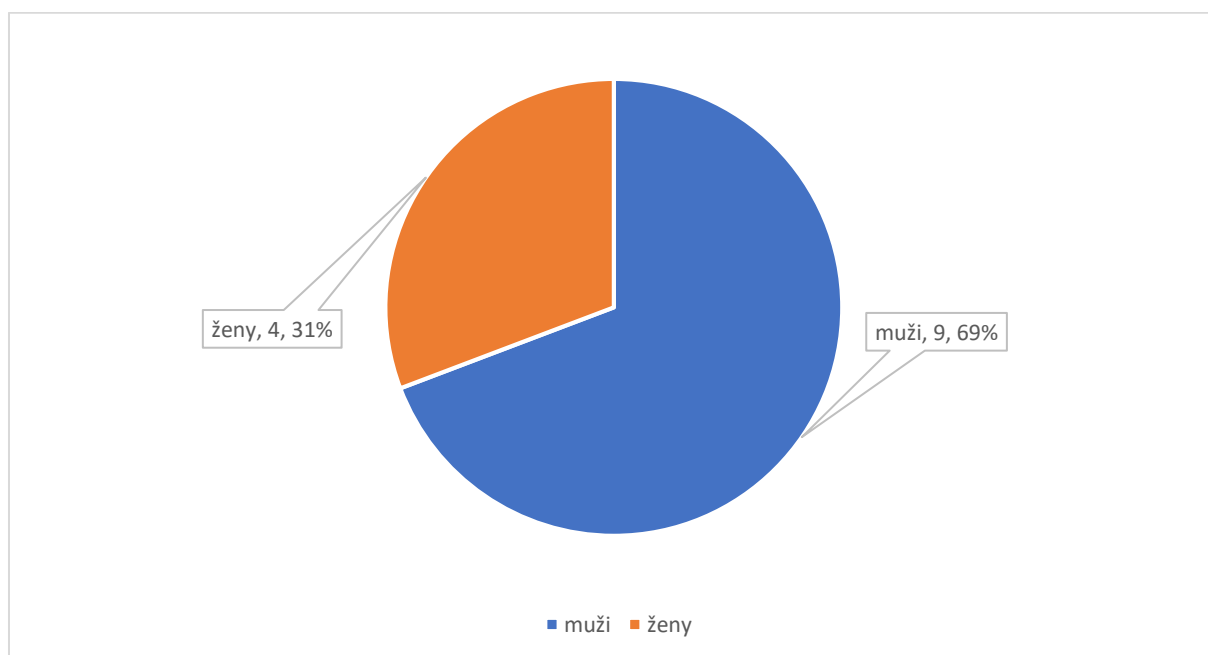
9.3 VÝZKUMNÝ VZOREK

V rámci výzkumného šetření bylo osloveno emailem 30 ředitelů ze 30 škol, kteří byli požádáni o předání dotazníků dál některému ze svých učitelů, který by mohl ve výuce svého předmětu využívat 3D tisk. Jednalo se o 15 škol základních a 15 škol středních. Všechny školy jsou situovány v Olomouckém regionu (kraji). Celkem se výzkumu zúčastnilo 13 respondentů. Výběr výzkumného vzorku byl záměrný. Kritérium výběru bylo stanoveno podle regionu. Bližší charakteristika výzkumného vzorku je uvedena v následující podkapitole dle provedené analýzy odpovědí respondentů.

9.4 ANALÝZA ZJIŠTĚNÝCH DAT

Otázka 1 Jakého jste pohlaví?

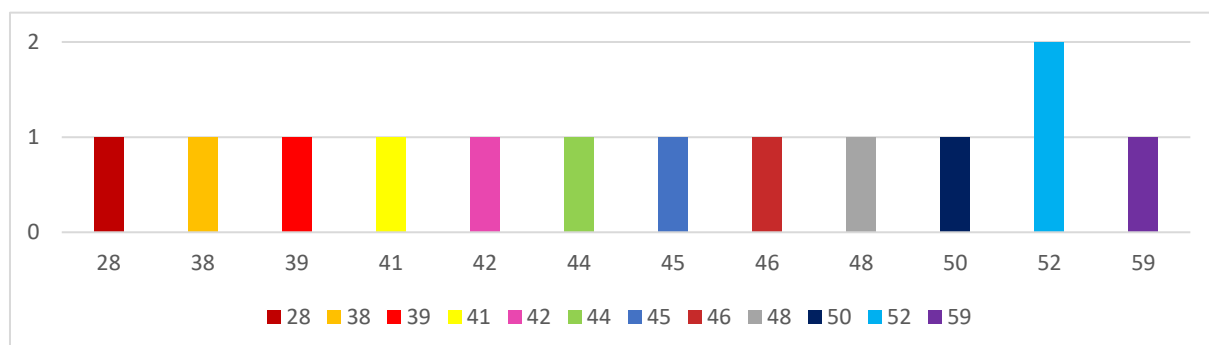
Charakteristiku pohlaví respondentů reprezentuje obrázek.



Graf 1 Odpovědi na otázku 1

Otázka 2 Kolik vám je let?

Věkovou strukturu všech dotazovaných v době vyplňování dotazníku prezentuje následující obrázek.



Graf 2 Odpovědi na otázku 2

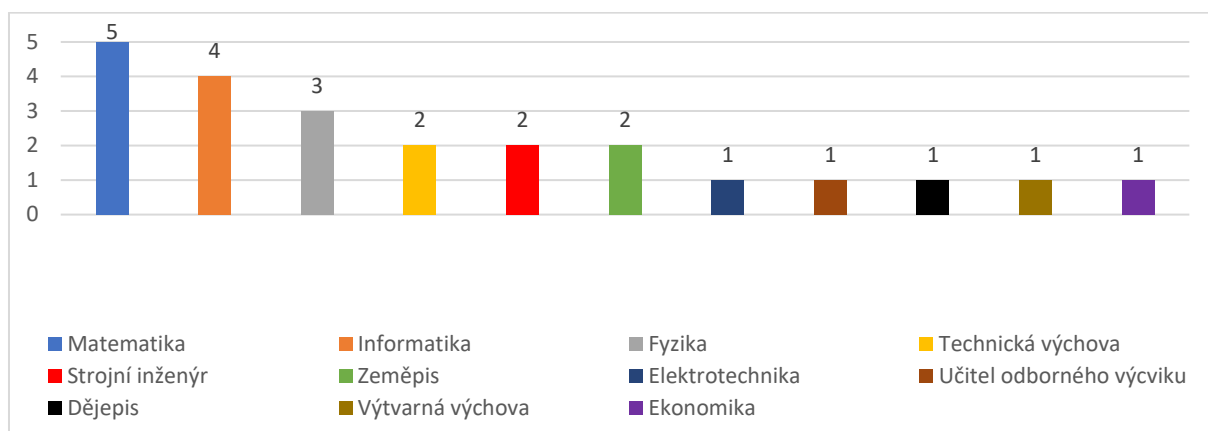
Otázka 3 Jaká je vaše aprobace?

Zaměření jednotlivých respondentů uvádí následující tabulka. Nejčastější mezi dotazovanými byly aprobace matematika a informatika.

Tabulka 1 Odpovědi na otázku 3

Jaká je vaše aprobace?	<i>Matematika - Fyzika - Informatika</i>
	<i>Matematika - Technická výchova</i>
	<i>Strojní inženýrka- konstrukce robotů</i>
	<i>Matematika - Informatika</i>
	<i>Fyzika - Informatika</i>
	<i>Elektrotechnika</i>
	<i>Učitel odborného výcviku</i>
	<i>Strojní inženýrka</i>
	<i>Zeměpis - Dějepis</i>
	<i>Výtvarná výchova – Technická výchova - Informatika</i>
	<i>Matematika - Fyzika</i>
	<i>Matematika - Zeměpis</i>
	<i>Ekonomika</i>

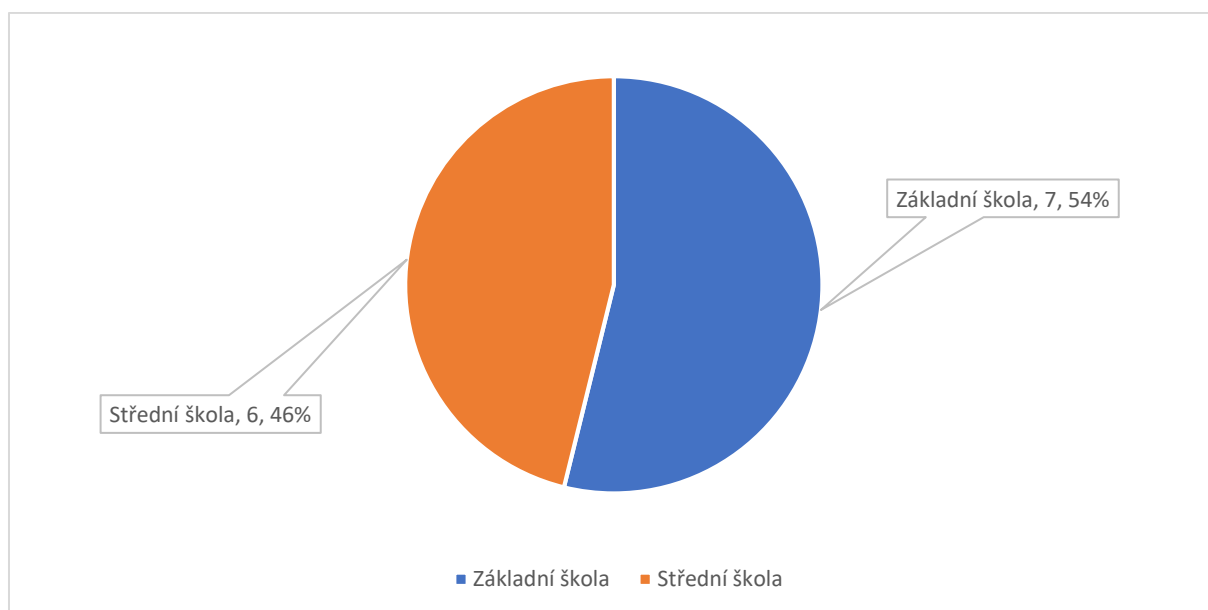
Přestože bylo záměrem uvést autentické odpovědi uváděných aprobačních učitelů, někteří uváděli aprobaci zkratkami, proto jsem se rozhodl aprobace vypsát celými názvy, aby byly informace v tabulce přehledné a jasné.



Graf 3 Odpovědi na otázku 3

Otázka 4 Na jakém typu školy učíte?

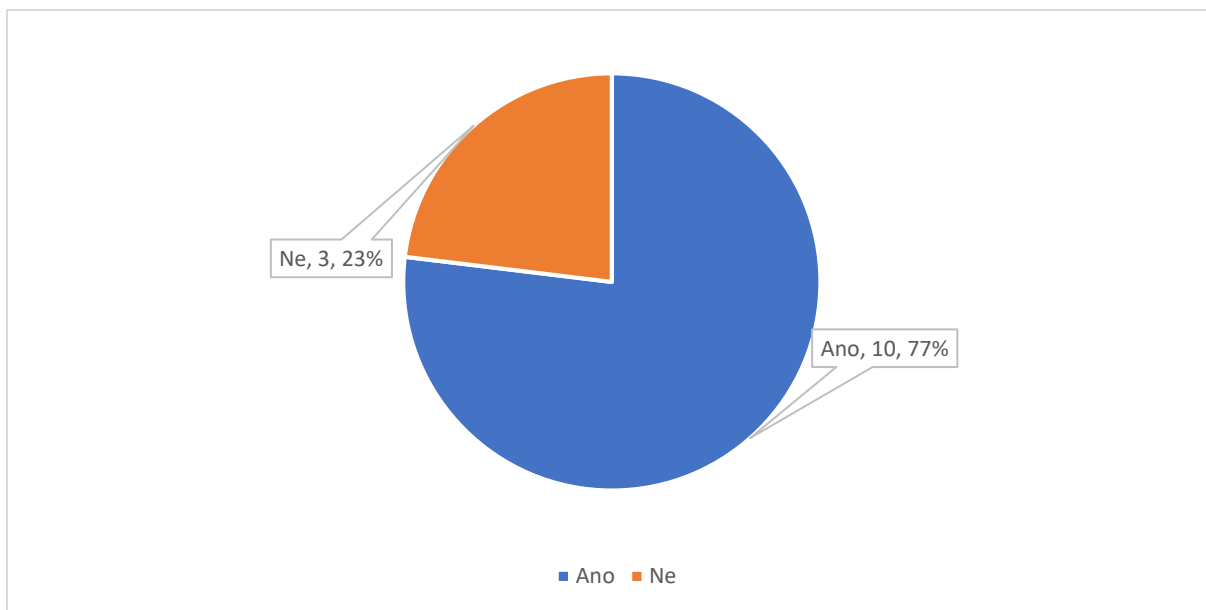
Učitelů ze základní školy bylo 7, tj. 53,8 %, ze střední pak 6, tj. 46,2 %.



Graf 4 Odpovědi na otázku 4

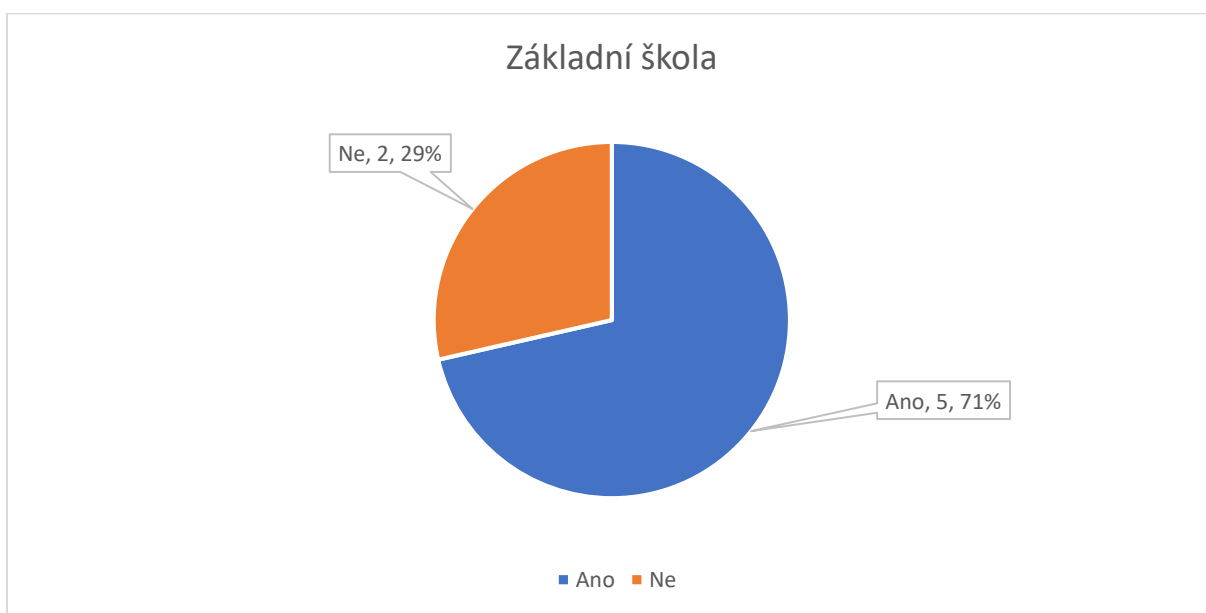
Otázka 5 Využíváte ve výuce obecně technického předmětu na ZŠ či SŠ 3D tisk? (Praktické činnosti, dílny apod.)?

Z celkového počtu respondentů deset (tj. 76,9 %) uvedlo, že 3D tisk ve výuce využívají, 3 (tj. 23,1 %) pak odpověděli záporně.

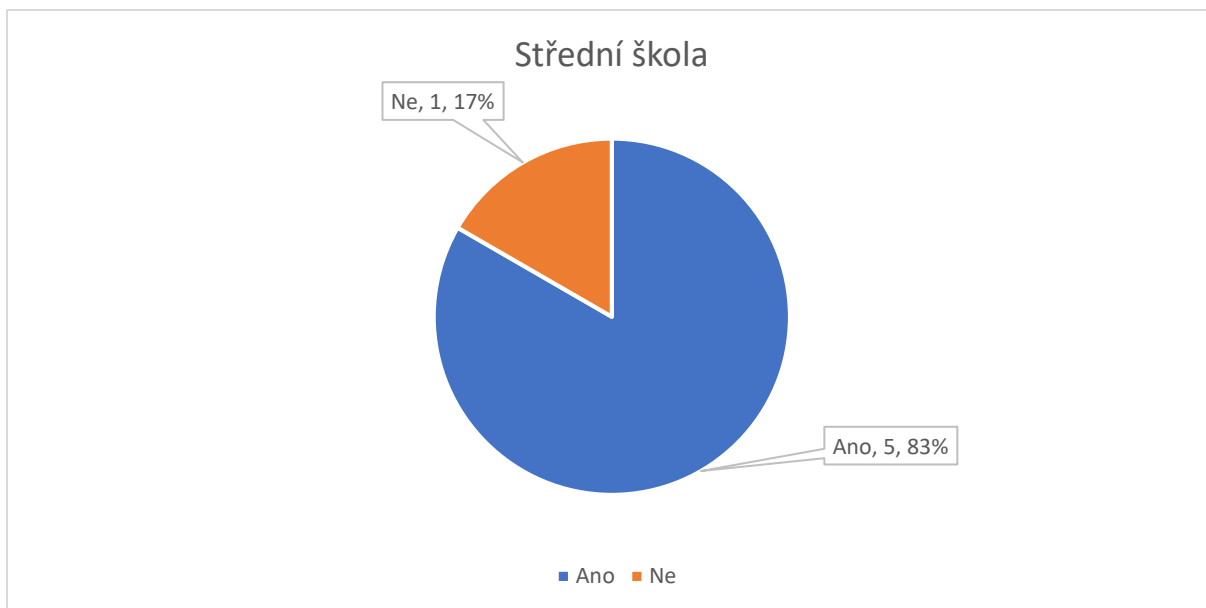


Graf 5 Odpovědi na otázku 5

Ze 7 respondentů ze základních škol 5 (tj.71,4 %) uvedlo, že 3D tisk využívají a z 6 respondentů ze škol středních 5 (tj. 83,3 %) uvedlo, že jejich škola 3D tisk využívá.



Graf 6 Odpovědi na otázku 5 (základní školy)



Graf 7 Odpovědi na otázku 5 (střední školy)

Otázka 6 Pokud ne, uveďte prosím proč.

Tato otázka zahrnuje pouze ty respondenty, kteří zvolili možnost, že na škole 3D tisk nevyužívají.

Dva respondenti uvedli, že důvodem nevyužívání technologie 3D tisku je fakt, že jejich škola nedisponuje 3D tiskárnami. Jeden respondent uvedl, že „zatím nebylo třeba“.

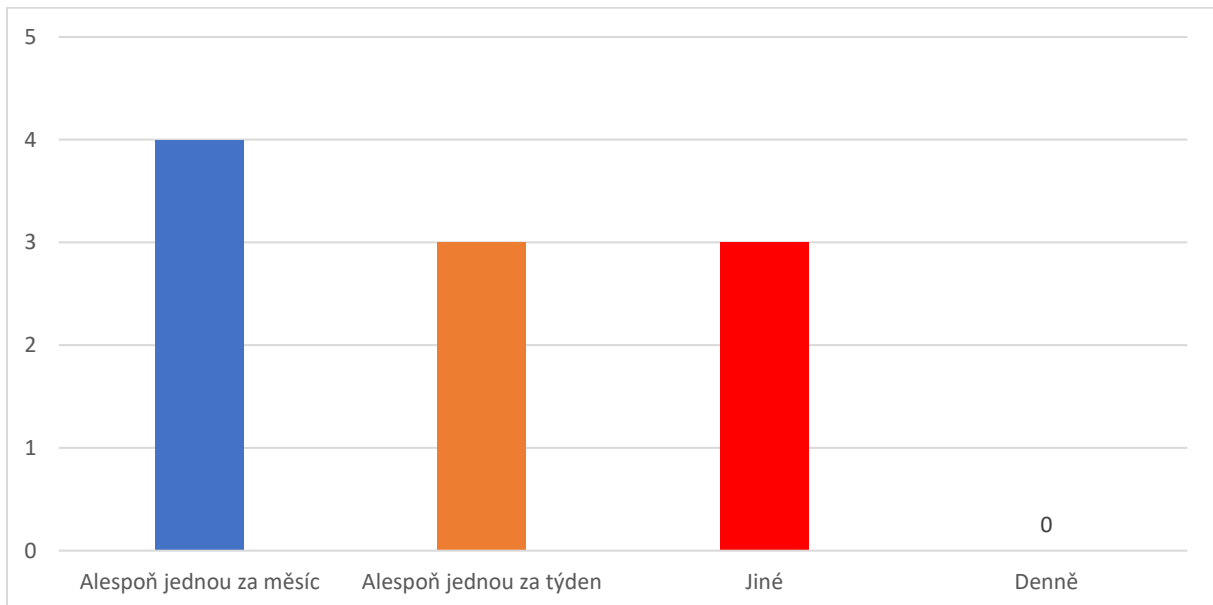
Tabulka 2 Odpovědi na otázku 6

Pokud ne, uveďte prosím proč.	<i>Zatím nebylo třeba</i>
	<i>Nemáme 3d tiskárnu.</i>
	<i>Žádnou 3D tiskárnu zatím nemáme.</i>

Následujících devět otázek vyplňovali pouze respondenti, kteří zvolili možnost, že na své škole 3D tisk využívají.

Otázka 7 Pokud ano, jak často?

Žádný z dotazovaných nezvolil možnost, že 3D tisk využívá denně. Tři respondenti odpověděli, že tisk využívají alespoň jednou týdně, čtyři uvedli, že alespoň jednou za měsíc.



Graf 8 Odpovědi na otázku 7

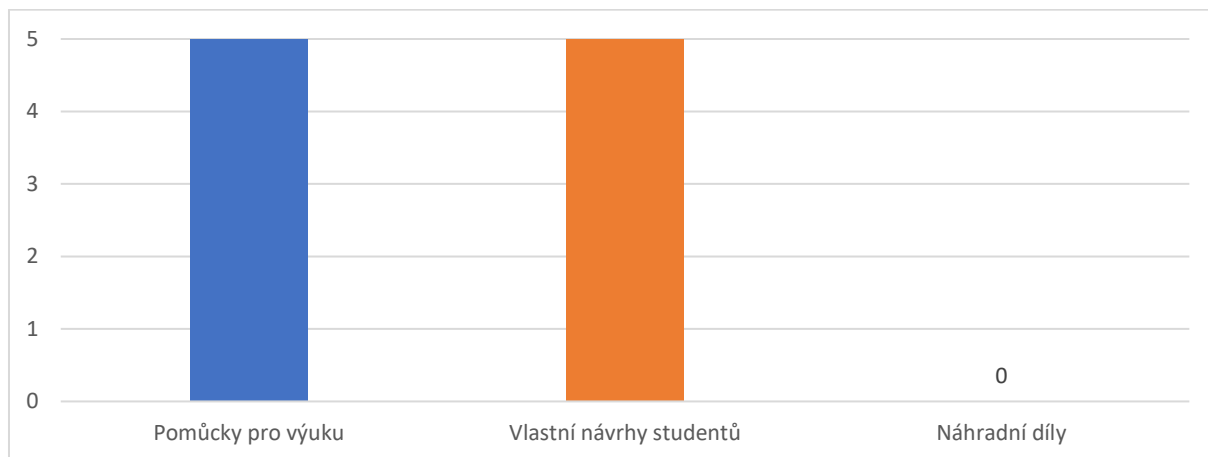
Tři zvolili segment jiné. Jejich konkrétní odpovědi charakterizuje následující tabulka.

Tabulka 3 Volné odpovědi k otázce 7

Jiné (doplňte prosím)	<i>Dle potřeby a času připravit modely pro tisk</i>
	<i>Nepravidelně</i>
	<i>Nárazově</i>

Otázka 8 Jaké objekty nejčastěji tisknete?

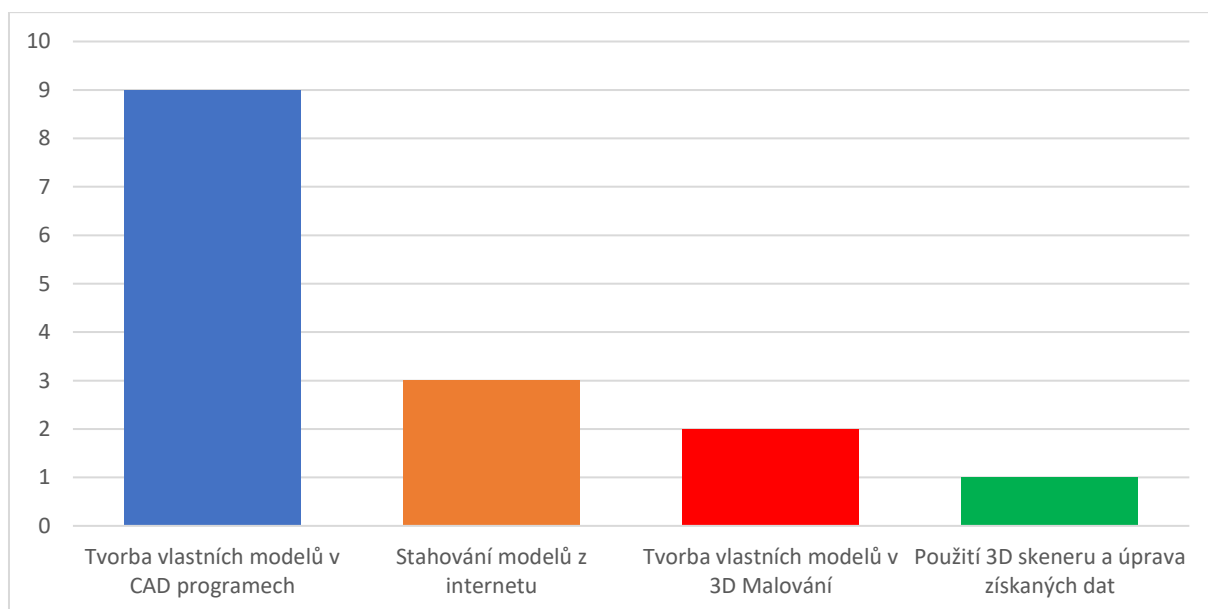
Z dotazovaných 5 uvedlo, že nejčastěji tisknou pomůcky pro výuku, 5 zvolilo tisk vlastních návrhů studentů. Nikdo neuvedl, že tiskne náhradní díly.



Graf 9 Odpovědi na otázku 8

Otázka 9 Jakým způsobem získáváte modely pro tisk?

Ze způsobu získávání modelů 9 respondentů zvolilo možnost tvorby vlastních modelů v CAD programech, 2 tvorbu vlastních modelů v 3D malování, 3 uvedli, že stahují modely z internetu a jeden použití 3D skeneru.



Graf 10 Odpovědi na otázku 9

Otázka 10 Jaký typ tiskárny máte?

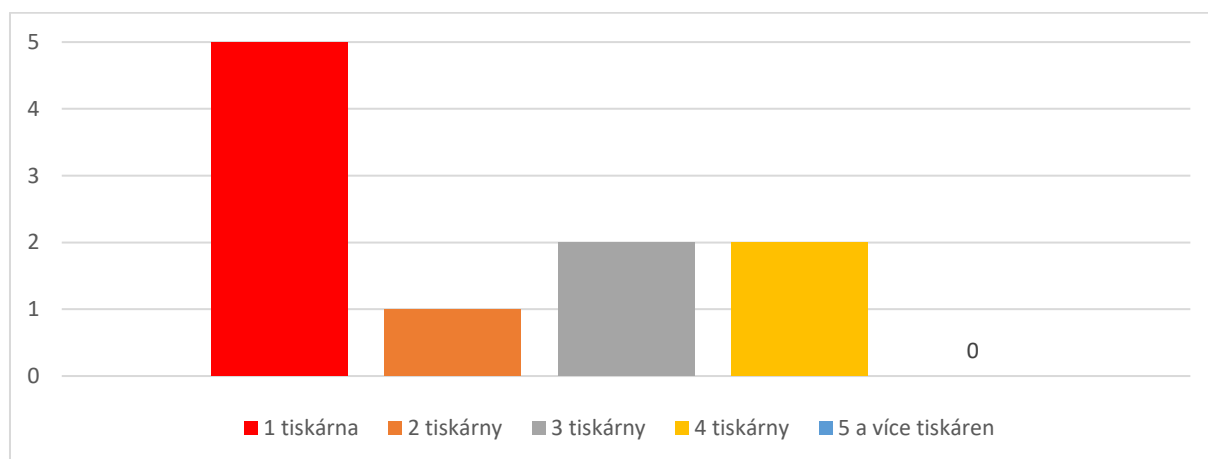
Všech devět respondentů uvedlo, že na své škole využívají 3D tiskárny na bázi vytlačování materiálu. Jeden respondent, který tiskárnu vlastní, na tuto otázku neodpověděl.

Tabulka 4 Odpovědi na otázku 10

Možnost odpovědi	Četnost
SL (vytvrzování fotocitlivé pryskyřice pomocí světla)	0
SLS (spékání prášku pomocí laseru)	0
FDM (tisknutí filamentem vytlačovaným z trysky)	10

Otázka 11 Kolik kusů tiskáren máte?

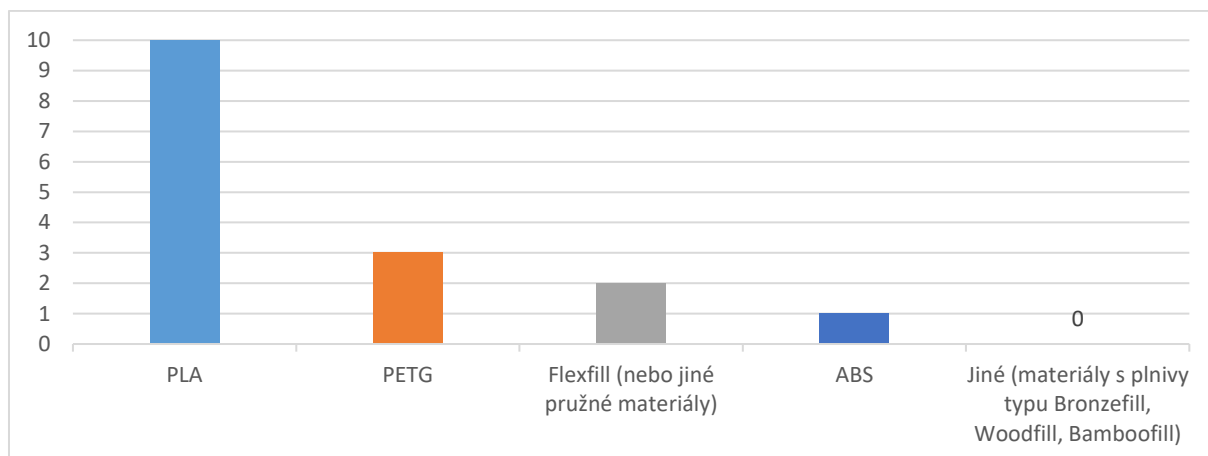
Pět dotazovaných uvedlo, že mají k dispozici 1 tiskárnu, jeden dotazovaný vlastní 2 tiskárny a dva dotazování uvádí, že používají 3 tiskárny. Dva dotázaní vlastní 4 tiskárny. Žádný z dotazovaných nevlastní 5 a více tiskáren.



Graf 11 Odpovědi na otázku 11

Otázka 12 Jaké tiskové materiály využíváte (Vyberte libovolný počet)?

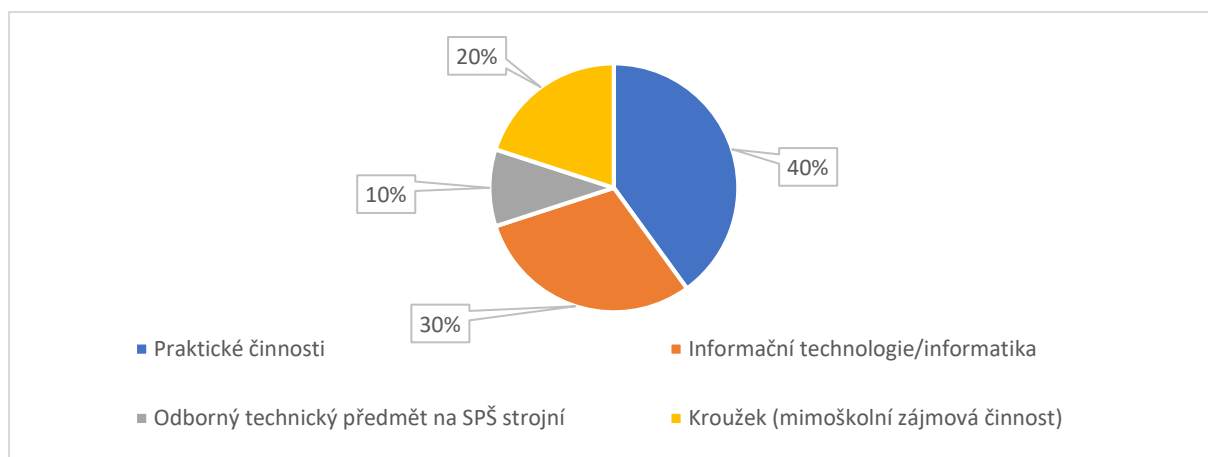
Ve výčtu tiskových materiálů dotazovaní uváděli, že používají PLA – 10 respondentů, ABS 1 respondent, PETG 3 respondenti a materiály typu Flexfill zvolili dva dotazovaní. Žádný respondent nevedl, že využívá materiály s plnivem typu Bronzefill, Woodfill, Bamboofill.



Graf 12 Odpovědi na otázku 12

Otázka 13 Do jakého předmětu nejčastěji 3D tisk začleňujete?

Na otázku, do jaké výuky učitelé 3D tisk nejčastěji zařazují, 4 respondenti uvedli, že do praktických činností, 3 jej pak zařazují do informatiky. Do kroužků 3D zařazují dva respondenti, do odborného technického předmětu na SPŠ strojní pouze jeden.



Graf 13 Odpovědi na otázku 13

Otázka 14 Uved'te prosím, zda se domníváte, že technologie 3D tisku vaše žáky zajímá.

Všichni respondenti odpověděli kladně, jejich přesné odpovědi jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5 Odpovědi na otázku 14

Uved'te prosím, zda se domníváte, že technologie 3D tisku vaše žáky zajímá.	<i>ano (2x)</i>
	<i>Určitě</i>
	<i>Ano (2x)</i>
	<i>určitě ano, baví je to</i>
	<i>ANO</i>
	<i>ano zajímá</i>
	<i>ANO mají velký zájem.</i>

Otázka 15 V čem spatřujete hlavní výhody a nevýhody zapojení 3D tisku do výuky?

Nejvýraznější zmiňované nevýhody jsou časová náročnost a náročnost na přípravu pro učitele. Jako výhody jsou zmiňovány kreativita a praktické využití teoretických znalostí. Plné znění odpovědí vystihuje následující tabulka.

Tabulka 6 Odpovědi na otázku 15

V čem spatřujete výhody a nevýhody zapojení 3D tisku do výuky?	<i>čas</i>
	<i>Výhoda - kreativita Nevýhoda - delší doba tisku</i>
	<i>Praktické využití teoretických znalostí</i>
	<i>výhoda - něco nového nevýhoda - větší náročnost pro učitele na přípravu a poté tisk</i>
	<i>+ Snadnost tvorby výrobku i pro méně zručné studenty. - Malá rychlost => častý tisk přes noc, bez dohledu a s rizikem selhání.</i>
	<i>Výhoda je lepší představivost a realizace vlastních nápadů.</i>
	<i>zajímavá forma a poutavá forma výuky</i>
	<i>Návaznost na aktuální požadavky firem a moderních trendů</i>
	<i>Praktická ukázka a jistý výsledek</i>

9.5 INTERPRETACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

V této části práce jsou data z dotazníků porovnána se stanovenými výzkumnými předpoklady.

Zhodnocení výzkumného předpokladu 1

VP₁: 3D tiskárny vlastní více středních škol než základních.

Výzkumný předpoklad VP₁ byl potvrzen. Podle odpovědí u otázky 5 bylo procento respondentů, kteří využívají na střední škole 3D větší než procento vyučujících využívající 3D tisk na školách základních. Je ovšem nutné zohlednit velikost zkoumaného vzorku. V případě většího vzorku by bylo možné, že výsledky by byly odlišné. Při stanovení výzkumného předpokladu bylo uvažováno, že 3D tiskárny mohou střední školy vhodněji implementovat v rámci odborných předmětů. Tato predikce se nevyplnila, jelikož podle odpovědí na otázku 13 pouze jeden respondent 3D zařazuje do odborného technického předmětu na SPŠ strojní.

Zhodnocení výzkumného předpokladu 2

VP₂: Na školách jsou nejvíce zastoupeny 3D tiskárny pracujících na principu vytlačování materiálu.

Výzkumný předpoklad VP₂ byl potvrzen. V rámci zkoumání druhého výzkumného předpokladu bylo zjištěno, že všechny školy, které využívají 3D tisk, mají tiskárnu pracující na principu vytlačování materiálu. Dá se předpokládat, že je tomu tak díky vysoké popularitě těchto tiskáren mezi malými firmami a domácími uživateli. Faktory hrajícími při pořízení právě této tiskárny mohou být i nízká pořizovací cena, variace tiskových materiálů a nenáročnost jejich skladování.

Zhodnocení výzkumného předpokladu 3

VP₃: Nejčastěji používaným materiálem je PLA.

Výzkumný předpoklad VP₃ byl potvrzen. Zjištěná data třetí výzkumný předpoklad potvrdila, tedy že nejvíce používaným materiálem bude PLA. Respondenti dotazníku však uvádějí, že vlastní víc typů filamentu. PLA používá 100 % dotazovaných, PETG pak 30 %, Flexfill 20 % a ABS 10 %.

Zhodnocení výzkumného předpokladu 4

VP₄: Školy používají 3D tiskárnu alespoň jedenkrát týdně.

Výzkumný předpoklad VP₃ nebyl potvrzen. Většina škol 3D tiskárny tak často nepoužívá. Důvody, které znemožňují častější využívání tiskáren jsou, podle odpovědí na otázku 15, velká náročnost na přípravu tisku a jeho časová náročnost. Díky těmto faktorům nebyl předpoklad, který odhadoval využívání tisku na škola na aspoň jedenkrát do týdne potvrzen- podle odpovědí v otázce 7 školy využívají 3D tisk méně často než jednou za týden.

Ze získaných dat vyplývá, že se vyplnily předpoklady jedna, dva a tři. Čtvrtý předpoklad se nevyplnil.

ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřená na popis problematiky využívání 3D tisku na základních a středních školách.

V rámci teoretické části byl vytvořen ucelený přehled, který usnadní čtenáři této práce vstup do problematiky 3D tisku. Na základě tohoto přehled byl posléze vytvořen dotazník určený pedagogům základních a středních škol, kteří vyučují obecně technické předměty, jako jsou například pracovní činnosti, dílny a ostatní technické předměty využívající 3D tisk. Byl zde popsán historický vývoj technologie aditivní výroby, jednotlivé typy tiskáren a tiskových materiálů.

V praktické části bylo realizováno dotazníkové šetření dokumentující stav využívání 3D tisku na vybraných základních a středních školách v Olomouckém kraji. Cílem výzkumné části nebylo statisticky ověřit věcné hypotézy. Výzkumné šetření bylo koncipováno explorativně se záměrem zodpovědět na stanovené výzkumné předpoklady. Je ovšem nutné zohlednit velikost zkoumaného vzorku. V případě většího vzorku by bylo možné, že výsledky by byly odlišné. Ze získaných dat vyplynulo, že, oslovení pedagogové převážně hodnotí 3D tisk jako přínosnou technologii pro výuku obecně technického předmětu. Tiskárny jsou na školách nejčastěji využívány pro tisk studentských modelů a pomůcek pro výuku. Díky vysoké náročnosti potřebné přípravy a délce tisku bylo zjištěno, že v průměru školy využívají 3D tisk méně často než jednou za týden.

Postupně v práci byly naplněny všechny stanovené cíle a vzniklá práce tak může sloužit jako přehled pro orientaci v klíčových oblastech technologie 3D tisku pro vzdělávací účely.

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Odpovědi na otázku 3</i>	41
<i>Tabulka 2 Odpovědi na otázku 6</i>	44
<i>Tabulka 3 Volné odpovědi k otázce 7</i>	45
<i>Tabulka 4 Odpovědi na otázku 10</i>	47
<i>Tabulka 5 Odpovědi na otázku 14</i>	49
<i>Tabulka 6 Odpovědi na otázku 15</i>	49

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 Odpovědi na otázku 1</i>	40
<i>Graf 2 Odpovědi na otázku 2</i>	41
<i>Graf 3 Odpovědi na otázku 3</i>	42
<i>Graf 4 Odpovědi na otázku 4</i>	42
<i>Graf 5 Odpovědi na otázku 5</i>	43
<i>Graf 6 Odpovědi na otázku 5 (základní školy)</i>	43
<i>Graf 7 Odpovědi na otázku 5 (střední školy)</i>	44
<i>Graf 8 Odpovědi na otázku 7</i>	45
<i>Graf 9 Odpovědi na otázku 8</i>	46
<i>Graf 10 Odpovědi na otázku 9</i>	46
<i>Graf 11 Odpovědi na otázku 11</i>	47
<i>Graf 12 Odpovědi na otázku 12</i>	48
<i>Graf 13 Odpovědi na otázku 13</i>	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1</i> Výkres první Hullovy tiskárny (Gibson a Bártolo, 2011)	8
<i>Obrázek 2</i> Srovnání tradičního a postupu výroby s využitím 3D tisku (vytvořeno podle Kochan a Chua, 1995).....	10
<i>Obrázek 3</i> Přehled technologií aditivní výroby (vytvořeno autorem podle Homoly, 2019)	11
<i>Obrázek 4</i> Princip technologie binder jetting (3D Printing, 2019)	12
<i>Obrázek 5</i> Princip technologie directed energy deposition (Gibson, 2015).....	13
<i>Obrázek 6</i> Princip technologie material extrusion (3D Printing, 2019)	14
<i>Obrázek 7</i> Princip technologie material jetting (3D Printing 2019).....	15
<i>Obrázek 8</i> Princip powder bed fusion (3D Printing, 2019).....	16
<i>Obrázek 9</i> Princip technologie UAM, (3D Printing, 2019)	17
<i>Obrázek 10</i> Princip fotopolymerizace (3D Hubs, 2018).....	18
<i>Obrázek 11</i> ABS (xyzprinting.com)	21
<i>Obrázek 12</i> 3D tiskárna pracující na bázi fotopolymerizace (https://3dprintingcenter.net/what-will-happen-when-we-put-photopolymer-resin-to-daylight/).....	22
<i>Obrázek 13</i> Nylon (Nylon: 3D Printing Materials Overview)	24
<i>Obrázek 14</i> 3D výrobky z titanu (all3dp.com)	26
<i>Obrázek 15</i> Postup práce se zlatem nebo stříbrem (materialise.com).....	27
<i>Obrázek 16</i> 3D výrobek z keramiky (https://www.imeche.org/news/news-article/feature-%27without-ceramics-almost-nothing-would-function%27-barriers-to-3d-printing).....	28
<i>Obrázek 17</i> Posloupnost datových formátů v návaznosti na software	32
<i>Obrázek 18</i> Planetový převod (MyMiniFactory)	34

LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE

3D HUBS. *Knowledge Base: Manufacturing processes explained* [online]. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base>

3D HUBS. *What is 3D printing? The definitive guide* [online]. 2018 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>

3D printing of ceramics: A review - ScienceDirect. *ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books.* [online]. Copyright © 2018 The Author [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221918306782?via%3Dihub>

3D tiskni.cz. *Historie 3D tisku* | 3d-tiskni.cz [online]. Copyright © Copyright 2020. 3D [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://3d-tiskni.cz/zkusebni-prispevek-lorem-ipsium-dolor-amet-sit/>

A Guide to 3D Printing With Titanium - AMFG. *AMFG - Industry's Leading Additive Manufacturing Workflow Software* [online]. Copyright © AMFG 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://amfg.ai/2019/06/18/titanium-3d-printing-guide/>

ABS Plastic Material for 3D Printing: FDM Thermoplastic Material. [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/abs-definition/>

BERNARD, Francis. *A history of CATIA* [online]. 2013, 33 s., [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <http://ridwan.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/8426/history-catia.pdf>

Discover STL files for 3D printing ideas and high-quality 3D printer models. | MyMiniFactory [online]. Dostupné z: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-huge-planetary-gear-groSses-planetengetriebe-in-one-print-76537>

Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/7/12/8168>

Everything you Need to Know About Gold 3D Printing [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://pick3dprinter.com/gold-3d-printing/>

F2792–12a: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. 2. West Conshohocken, USA: ASTM International, 2012.

FEATURE: 'Without ceramics almost nothing would function' – barriers to 3D printing. *Institution of Mechanical Engineers - IMechE* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2021.].

Dostupné z: <https://www.imeche.org/news/news-article/feature-%27without-ceramics-almost-nothing-would-function%27-barriers-to-3d-printing>

GIBSON, Ian a Paulo BÁRTOLO. History of Stereolithographic Processes. In: BÁRTOLO, Paule Jorge, ed. *Stereolithography: Materials, Processes and Applications* [online]. Boston, MA: Springer US, 2011, s. 37-56 [cit. 20.04.2021.]. DOI: 10.1007/978-0-387-92904-0. ISBN 978-0-387-92903-3.

GIBSON, Ian, David W. ROSEN a Brent STUCKER. *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing*. Second edition. London: Springer, 2015. ISBN 978-1493921126.

GIBSON, Ian, David W. ROSEN a Brent STUCKER. *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing*. Second edition. London: Springer, 2015. ISBN 978-1493921126.

GROOVER, Mikell P. *Groover's principles of modern manufacturing: materials, processes, and systems :SI version*. Global edition. USA: Wiley, 2017. ISBN 978-1-119-24912-2.

HOMOLA, Jan. *Aditivní výroba*. In: *3d-tisk.cz* [online]. 15.2. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/wiki/aditivni-vyroba/>

HOMOLA, Jan. *Encyklopedie 3D tisku: Aditivní výroba* [online]. 26. 2. 2013 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/aditivni-vyroba/>

CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. 2., aktualizované vydání. Praha: Grada, 2016. Pedagogika (Grada). ISBN 978-80-247-5326-3.

KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978- 80-251-4876-1.

KODAMA, Hideo. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo- hardening polymer. *Review of Scientific Instruments* [online]. 1981, 52(11), 1770-1773 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1136492>

KOCHAN, Detlef a Chee K. CHUA. State-of-the-art and future trends in advanced rapid prototyping and manufacturing. *International Journal of Information Technology*, 1, 173–184, 1995

LINDSTROM, Ashley. *Selective Laser Sintering, Birth of an Industry* [online]. 6. 12. 2012 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

LOUGBOROUGH UNIVERSITY. *About Additive Manufacturing*. Loughborough University: Additive Manufacturing Research Group [online]. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/>

MASHAMBANHAKA, Farai. *Is a 3D Printing Pen a Toy or a Serious Tool?* [online]. 30. 1. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/is-a-3d-printing-pen-a-toy-or-a-serious-tool/>

MATERIÁL PRO 3D. Materiálový slovník. *Materiál pro 3D* [online]. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/>

MENDOZA, Alain Le Méhauté, *The Man Who Submitted Patent For SLA 3D Printing Before Chuck Hull - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*. 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing [online]. Copyright © 2021 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://3dprint.com/65466/reflections-alain-le-mehaute/>

MILLER, Brian W., Jared W. MOORE, Harrison H. BARRETT, Teresa FRYÉ, Steven ADLER, Joe SERVY a Lars R. FURENLID. *3D printing in X-ray and gamma-ray imaging: A novel method for fabricating high-density imaging apertures. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2011, 659(1), 262-268. DOI: 10.1016/j.nima.2011.08.051. ISSN 01689002. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168900211017116>

Nylon (PA) materiál pro 3D tisk. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. Copyright © Materialpro3d.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/nylon/>

Nylon: 3D Printing Materials Overview | by Zmorph SA | Medium. *Medium – Where good ideas find you*. [online]. Dostupné z: <https://medium.com/@ZMorph/nylon-3d-printing-materials-overview-b482246ff7a6>

PRUSA RESEARCH. Česká 3D tiskárna Prusa i3 MK2 je nejlepší na světě. Ocenil ji časopis MAKE i 3DHubs.com. *Prusa Research* [online]. 22.11.2016 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/ceska-3d-tiskarna-prusa-i3-mk2-nejlepsi-svete-ocenil-casopis-make-i-3dhubs-com/>

PRUSA RESEARCH. Průvodce materiály. *Prusa Research* [online]. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání[online]. Praha: MŠMT, 2017 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.msmt.cz/file/41216/>

SHELLABEAR, Martin a Olaph NYRHILLA. DMLS - Development, History and State of the Art. In: GEIGER, Manfred, ed. *Laser Assisted Net Shape Engineering* [online]. Bamberg, Germany: Meisenbach, 2004, s. 393-404 [cit. 20.04.2021.]. ISBN 3875252020. Dostupné z: http://bettamachinetools.com.au/dls/HistoryanddevelopmentofDMLS_net.pdf

SIDAMBE, Alfred. *Biocompatibility of Advanced Manufactured Titanium Implants—A Review. Materials*. 2014, 7(12), 8168-8188. DOI: 10.3390/ma7128168. ISSN 1996-1944.

Stainless Steel Material for 3D Printing: 3D Printing Metal. [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/materials/dmls-material/dmls-stainless-steel-material/>

The Best and Most Unique 3D Printer Materials: Photopolymer Edition | Engineering.com. *Engineering.com* [online]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/the-best-and-most-unique-3d-printer-materials-photopolymer-edition>

The Free Beginner's Guide. 3D printing industry [online]. 2019 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>

What will happen when we put photopolymer resin to daylight...? - 3DPC | *We Speak 3D Printing - Additive Manufacturing Solutions* [online]. Copyright © 2020 [cit. 20.04.2021.]. Dostupné z: <https://3dprintingcenter.net/what-will-happen-when-we-put-photopolymer-resin-to-daylight/>