

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**Využití 3D tisku v architektuře**

**Ondřej Horálek**

© 2020 ČZU v Praze



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Horálek

Informatika

Název práce

**Využití 3D tisku v architektuře**

Název anglicky

**Usage of 3D print in architecture**

---

### Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku 3D tisku.

Hlavním cílem práce je zhodnotit použitelnost 3D tisku v architektonickém modelování.

Díličí cíle práce jsou:

- charakterizovat problematiku tvorby architektonického modelu,
- analyzovat klíčové požadavky na tvorbu architektonického modelu technologií 3D tisku a konvenční metodou,
- zhodnotit vybrané aspekty tvorby architektonického modelu technologií 3D tisku a konvenční metodou.

### Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a rešerši odborných zdrojů. V praktické části práce bude na základě poznatků zjištěných z teoretické části zhodnocena tvorba architektonického modelu konvenční metodou a metodou 3D tisku. Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce.

## Doporučený rozsah práce

30-40

## Klíčová slova

3D, Print, Tisk, Architektonický, Architectural, Model

---

## Doporučené zdroje informací

Ben Redwood: The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications

<https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Liza Wallach Kloski, Nick Kloski: Getting Started with 3D Printing: A Hands-on Guide to the Hardware, Software, and Services Behind the New Manufacturing Revolution

Nick Dunn: Architectural Modelmaking 2nd Edition

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 11. 10. 2019

**Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 10. 2019

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 13. 11. 2019

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití 3D tisku v architektuře" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 3. 2020

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky, čas a ochotu, kterou investoval do naší spolupráce, aby mohla vzniknout předkládaná bakalářská práce. Děkuji projekční kanceláři KFJ s.r.o. za poskytnutí modelu rodinného domu pro účely bakalářské práce. Velký dík patří celé mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

# Využití 3D tisku v architektuře

## Abstrakt

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku 3D tisku. Hlavním cílem práce je zhodnotit použitelnost 3D tisku v architektonickém modelování, dále posoudit vybrané aspekty tvorby architektonického modelu technologií 3D tisku a konvenční metodou.

Teoretická část bakalářské práce je založena na definování technologií 3D tisku, typů tiskáren, principech fungování jednotlivých technologií a uvedení do procesu tvorby architektonických modelů konvenčními metodami.

V praktické části práce jsou na základě poznatků z teoretické části vybrány technologie 3D tisku a metoda klasického modelování. Na základě řízeného rozhovoru s odborníky z praxe je zhodnocena tvorba architektonického modelu konvenční metodou a metodou 3D tisku.

Z výsledků této práce plyne, že 3D technologie v architektonickém modelování mají vysoký potenciál využití a v mnoha aspektech překonávají konvenční metody modelování.

**Klíčová slova:** 3D, tisk, použitelnost, architektonický model, konvenční modelování, porovnání

# Usage of 3D print in architecture

## Abstract

The bachelor thesis is concentrated on the issue of 3D printing. The main focus of the thesis is to evaluate the usage of 3D printing in architectural model making and to assess chosen aspects of model making using 3D printing technology and a conventional method.

The theoretical part defines 3D printing technologies, types of printers, working principles, and introducing the process of architectural model making by the conventional methods.

The practical part of the thesis presents the conventional method and 3D printing technologies which were chosen based on theoretical knowledge from the theoretical part. As far as the architectural model making by the conventional method and by 3D printing technology is concerned, the evaluation was made in reference to a structured interview with experienced professionals.

Outcomes of this bachelor paper show 3D printing technology in many aspects overcome conventional methods and that it has great potential for usage in architectural modeling.

**Keywords:** 3D, print, usage, architectural model, conventional model making, comparison



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>14</b>
2.1 Cíl práce .....	14
2.2 Metodika .....	14
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>15</b>
3.1 Vývoj 3D tisku .....	15
3.2 Technologie 3D tisku .....	16
3.2.1 Fused deposition modeling (FDM).....	16
3.2.2 Stereolitografie (SLA) .....	21
3.2.3 Digital light processing (DLP).....	21
3.2.4 Selective laser sintering (SLS).....	23
3.2.5 Material jetting (MJ).....	24
3.2.6 Drop on demand (DOD) .....	25
3.2.7 Sand binder jetting .....	25
3.2.8 Metal binder jetting.....	26
3.2.9 Direct metal laser sintering (DMLS) / Selective laser melting (SLM).....	27
3.2.10 Electronic beam melting (EBM).....	28
3.3 Možnosti využití 3D tisku .....	29
3.3.1 Umění a móda .....	29
3.3.2 Medicína .....	29
3.3.3 Architektura a konstrukce .....	30
3.3.4 Automobilita, letectví a kosmonautika .....	31
3.4 Konvenční architektonické modelování.....	32
3.4.1 Materiál .....	32
3.4.2 Spoje .....	34
3.4.3 Dělení materiálu.....	35
<b>4 Vlastní práce .....</b>	<b>37</b>
4.1 Zkoumané technologie .....	37
4.1.1 3D tisk.....	37
4.1.2 Konvenční metoda modelování .....	38
4.2 Referenční model rodinného domu .....	38
4.3 Výběr aspektů tvorby fyzického modelu .....	39
4.4 Doplnující otázky řízeného rozhovoru .....	40
4.5 Řízený rozhovor s odborníky .....	41

<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse .....</b>	<b>42</b>
5.1	Srovnání klíčových aspektů tvorby fyzického modelu .....	42
5.2	Doplňující otázky řízeného rozhovoru – odpovědi .....	43
5.2.1	3D tisk.....	43
5.2.2	Konvenční metody modelování .....	44
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>47</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sestava tiskové hlavy .....	17
Obrázek 2 - 3D tiskárna kartézského typu od Průši (model i3).....	18
Obrázek 3 – Tiskárna typu core XY (TronXY X5S).....	18
Obrázek 4 - Tiskárna typu Delta (Anycubic Kossel Linear Plus) .....	19
Obrázek 5 - Tiskárna typu Polar (Polar 3D) .....	19
Obrázek 6 – Tiskárna typu Scara (FLX.ARM.S16) .....	20
Obrázek 7 - Princip tisku SLA.....	21
Obrázek 8 - Princip tisku DLP.....	22
Obrázek 9 - Princip tisku technologií SLS .....	23
Obrázek 10 - Princip tisku technologií MJ .....	24
Obrázek 11 - Vizualizace DOD tiskárny .....	25
Obrázek 12 - Princip tisku pomocí technologie sand binder jetting.....	26
Obrázek 13 - Schéma DMLS/SLM tiskárny.....	27
Obrázek 14 - Schéma EBM tiskárny .....	28
Obrázek 15 - Vytisknutý most nad kanál v Amsterdamu.....	30
Obrázek 16 - Sendvičová deska v řezu.....	32
Obrázek 17 - OSB desky .....	33
Obrázek 18 - Balsa.....	33
Obrázek 19 – Tesařské spoje; A- zapuštění, B- překlátování, C- napojení .....	34
Obrázek 20 – Zařízení na řezání polystyrenu pomocí tavné struny .....	35
Obrázek 21 – Náhled 3D modelu v SW Archicad 18.....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tabulka porovnání hodnocených aspektů na referenčním modelu rodinného domu .....	42
--	----

## Seznam použitých zkratek

- 3D – Three-dimensional (trojrozměrný)
- ABS – Acrylonitrile butadiene styrene (Akrylonitrilbutadienstyren)
- BIM – Building information modeling (Informační model budovy)
- CAD – Computer aided design (Počítačem podporované projektování)
- DLP – Digital light processing (Digitální projekce světla)
- DMD – Digital micromirror device (Digitální mikrozrcadlové zařízení)
- DMLS – Direct metal laser sintering (Přímé spékání kovového prášku laserem)
- DOD – Drop on demand (Vyžádané dávkování)
- EBM – Electronic beam melting (Tavení elektronovým paprskem)
- FDM/FFF – Fused deposit modeling / Fused filament fabrication (Vytvrzování roztaveného filamentu)
- MJ – Material jetting (Tryskání materiálu)
- PC – Polycarbonate (Polykarbonát)
- PET – Polyethylene terephthalate (Polyethylentereftalát)
- PETG – Polyethylene terephthalate glycol-modified
- PETT – Polyethylene-co-trimethylene terephthalate (Polyethylen-co-trimethylen tereftalát)
- PLA – Polylactic acid (Polymléčná kyselina)
- PTFE – Polytetrafluorethylen
- SLA – Stereolitografie
- SLM – Selective laser melting (Selektivní laserové tavení)
- SLS – Selective laser sintering (Selektivní laserové spékání)
- TPC – Thermoplastic copolyester (Termoplastický kopolyester)
- TPE – Thermoplastic elastomer (Termoplastický elastomer)
- TPU – Thermoplastic polyurethane (Termoplastický polyuretan)
- UV – Ultraviolet (Ultrafialové)

# 1 Úvod

3D tisk se v posledních letech stává velmi populární technologií, a to díky jeho všestrannosti a možnosti vytisknout libovolný fyzický objekt na základě jakékoliv vymodelované předlohy. V České republice lze za velkou popularizaci 3D tisku, konkrétně technologie FDM/FFF, vděčit vývojáři Josefu Průšovi, jehož tiskárna dobývá trh téměř po celém světě.

3D tiskárny se pomalu ale jistě dostávají do různých odvětví, kde by je před pár lety nikdo ani nečekal. Osobně jsem se o toto téma okrajově zajímal od doby, kdy se dostalo do širšího podvědomí veřejnosti a sledoval, kde všude nachází technologie 3D tisku uplatnění.

Jelikož pracuji v projekční a architektonické kanceláři, čekal jsem, kdy se 3D tisk dostane masově do architektury. Nic takové se ovšem na rozdíl od jiných oborů nestalo, a to mi právě vnuklo myšlenku proč.

Dnes je již běžnou součástí návrhu budovy 3D model vytvořený v CAD programu, na jehož základě se tvoří vizualizace pro investory. Tyto CAD programy umožňují poměrně snadný výstup do formátů podporovaných 3D tiskárnami. Otázkou tedy bylo, zda je na vině vyšší cena oproti běžnému modelování nebo jiný aspekt jako úroveň detailů, případně čas apod.

Bakalářská práce obsahuje data získaná z praxe profesionálů v oboru 3D tisku a architektonického konvenčního modelování.

V teoretické části práce je na základě dostupných zdrojů zjištěno co nejvíce informací o existujících technologiích 3D tisku a metodách konvenčního modelování pro následné porovnání jednotlivých aspektů.

V praktické části práce je popsáno, jaké byly vybrány technologie 3D tisku a konvenční metody a jak byly určeny důležité aspekty pro porovnání 3D tisku a konvenčního modelování.

Výsledky a diskuze obsahují vyhodnocení zjištěných poznatků, porovnání aspektů a získaná doplňující data. Ta by mohla být užitečnými pro projekční a architektonické kanceláře, které uvažují o pořízení 3D tiskárny.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku 3D tisku. Hlavním cílem práce je zhodnotit použitelnost 3D tisku v architektonickém modelování.

Dílčí cíle práce jsou:

- charakterizovat problematiku tvorby architektonického modelu,
- analyzovat klíčové požadavky na tvorbu architektonického modelu technologií 3D tisku a konvenční metodou,
- zhodnotit vybrané aspekty tvorby architektonického modelu technologií 3D tisk a konvenční metodou.

### **2.2 Metodika**

Teoretická část bakalářské práce je založena na analýze a rešerši odborných zdrojů. V praktické části práce je na základě poznatků zjištěných z teoretické části a řízeného rozhovoru s odborníky z praxe zhodnocena tvorba architektonického modelu konvenční metodou a metodou 3D tisku. Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků jsou zpracovány závěry bakalářské práce.

### 3 Teoretická východiska

Teoretická východiska pojednávají o analýze a řešení technologií 3D tisku a metodách konvenčního modelování architektonických modelů. V teoretické části bude nastíněn stručný vývoj 3D tisku, rozdělení podle technologií, možnosti využití v současnosti a principy klasického modelování architektonických modelů. Poznatky a informace v teoretické části dále budou sloužit jako podklad pro volbu technologií a metod modelování pro vlastní práci a následnou komparaci jednotlivých aspektů u vybraných technologií 3D tisku s konvenčním modelováním.

#### 3.1 Vývoj 3D tisku

3D tisk je proces, při kterém se vytváří fyzický model na základě digitální předlohy, která byla vytvořena v programu pro tvorbu 3D modelů (Stříteský, 2019).

Idea a technologie 3D tisku se objevila prvně na konci 80. let pod technologickým názvem Rapid Prototyping (RP) (Kováčik, c2018).

Technologie byla využívána v průmyslu pro rychlé a méně nákladné prototypování, aby se výrobek před samotným uvedením do výroby mohl dobře otestovat z hlediska ergonomie apod. Přestože byla tato technologie pro širokou veřejnost drahá, pro průmysl to bylo mnoho ušetřených peněz (Stříteský, 2019).

Roku 1983 Charles Hull poprvé představil svůj stereolitografický přístroj (SLA). Roku 1986 Charles Hull získal patent pro svůj přístroj SLA. 3D Systems corporation je společnost založená Charlesem Hullem, který ji založil po získání patentu pro SLA přístroj. Společnost prosperuje v oboru 3D tisku dodnes (Kováčik, c2018).

Kolem konce 80. let se objevily ještě tyto technologie 3D tisku:

- Ballistic Particle Manufacturing (BPM) – William Masters
- Laminated Object Manufacturing (LOM) – Michael Feygin
- Solid Grounding Curing (SGC) – Itzchak Pomerantz
- Trojrozměrný tisk (3DP) – Emanuel Sachs (Kováčik, c2018)

V rozmezí let 2000 až 2009 se začal sektor 3D tisku diverzifikovat na dvě specifické oblasti, jež jsou jasně definovány až dnes. Prvním odvětvím byl high end 3D tisk, který se zaměřil na složité součástky a byl drahý. Jeho výsledky v současné době můžeme vidět

v leteckém, automobilovém, šperkařském a lékařském průmyslu. Druhé odvětví bylo označováno jako „koncepční modelářství“. Zaměření 3D tiskáren mělo za cíl zlepšení koncepčního vývoje funkčních prototypů, ty byly záměrně vyvíjeny jako nízkonákladové a uživatelsky přívětivé pro malé výrobce. Toto odvětví se dá považovat za předchůdce dnešních stolních tiskáren, nicméně v té době byly stále spíše průmyslové (Stříteský, 2019).

Roku 2007 přišla na trh první tiskárna s cenovkou pod 10 000 dolarů pod značkou společnosti 3D Systems. Tato tiskárna přesto nebyla na trhu tak úspěšná, jak se očekávalo a jedním z příčin byla právě jiná tiskárna na trhu s cenovkou pod 5 000 dolarů. Rok 2007 je zpětně považován za zlomový, kdy se technologie 3D tisku zpřístupnila širší veřejnosti (Kováčik, c2018).

Následoval open source projekt RepRap doktora Adriana Bowyera a jeho týmu. Myšlenka projektu RepRap byla navrhnout tiskárnu, která by dokázala vytisknout co nejvíce vlastních součástí, a tak by tiskárny mohly tisknout další tiskárny. V České republice je pravděpodobně neznámější představitel open source projektu RepRap Josef Průša s jeho neznámější 3D tiskárnou i3, která je v době psaní této práce třetí nejpoužívanější na světě (Stříteský, 2019).

## **3.2 Technologie 3D tisku**

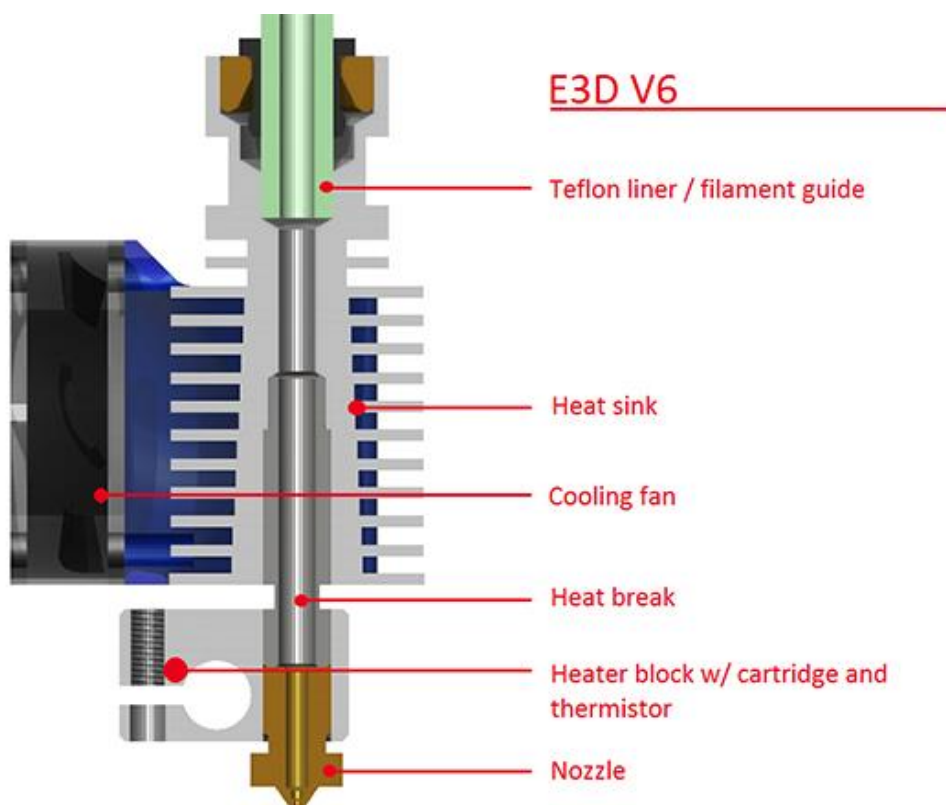
### **3.2.1 Fused deposition modeling (FDM)**

Způsob tisku je také někdy označován názvem Fused Filament Fabrication (FFF). Technologie je založena na extrudování materiálu. Tato technologie 3D tisku je obecně nejdostupnější a také nejlevnější. Principem je tavení plastové struny tiskovou hlavou při požadované teplotě (závisí na typu filamentu). Filament je extrudován do tiskové hlavy, která pevnou strunu roztaví a následně za pohybu hlavy po tiskové podložce vytlačuje filament, který po opuštění tiskové hlavy tvrdne a vytváří tak fyzický model. Tisk probíhá tak, že tisková hlava postupně vrství tenké vrstvy filamentu na sebe. Jelikož je u této technologie nemožné tisknout ve vzduchu, vždy je potřeba nějaký podklad, na který se vrstva klade, v případě konzol a přesahů modelu je nutné tisknout i podpory, které se po dokončení tisku odstraňují (Redwood, 2017; All3DP, [2019]; Kloski, 2016).



### ***Tisková hlava***

Tzv. „hotend“ (obr. 1) je primární část tiskové hlavy, pro kvalitní tisk je logicky kvalitní hotend velmi důležitý. Hotend je sestavou různých dílů, které se starají o chlazení a tavení filamentu. Pro správný tisk je důležité, aby filament, který je extrudován do tiskové hlavy v teflonové trubičce, nebyl taven dříve než na samotném konci sestavy hotendu, jinak by došlo k ucpání tiskové hlavy. O chlazení se stará heat sink, který je oddělený od heater blocku pomocí heat break. Toto místo je dimenzováno tak, aby docházelo k minimální tepelné vodivosti od heat block k heat sink. Na samotném konci sestavy hotendu se nachází nozzle (tryska), z které je tavený materiál vytlačován. Tryska je kovová, ale je možné použít trysku s PTFE trubičkou, což je teflon. Trubička teflonu má nízký koeficient tření, a tak nedochází k ulpívání taveného materiálu v trysce, nicméně je důležité dát pozor, jaký typ filamentu se používá, jelikož teflon při teplotách vyšších než 250 °C měkne a uvolňuje toxické plyny (Redakce SHW, c1998-2020).



Obrázek 1 - Sestava tiskové hlavy  
Zdroj: Redakce SHW, c1998-2020

### **Typy FDM tiskáren**

**Kartézská 3D tiskárna** – nejdostupnější 3D tiskárna v dnešní době, založená na pohybu v osách X,Y,Z (obr. 2). Každý z výrobců nabízí jiné řešení pohybu, někteří nabízejí s pohybem podložky po ose Y a extrudérem v ose X a Z, jiní nabízejí verzi s fixní podložkou. Verze s fixní podložkou jsou ovšem dražším řešením 3D tisku. Co se týče tiskové plochy, dnešní tiskárny se pohybují v rozsahu 20-30 cm po všech osách (Redakce SHW, c1998-2020).



Obrázek 2 - 3D tiskárna kartézského typu od Průši (model i3)  
Zdroj: GEG Sušice, [2016]

**Core XY** – typ vychází z typu kartézské 3D tiskárny, ovšem může nabídnout větší tiskové rychlosti, jelikož nepohybuje modelem v ose Y, a tak nedochází ke kmitání modelu, a tím vznikajícím nepřesnostem kladení vrstev jako u kartézského typu (obr. 3) (Redakce SHW, c1998-2020).



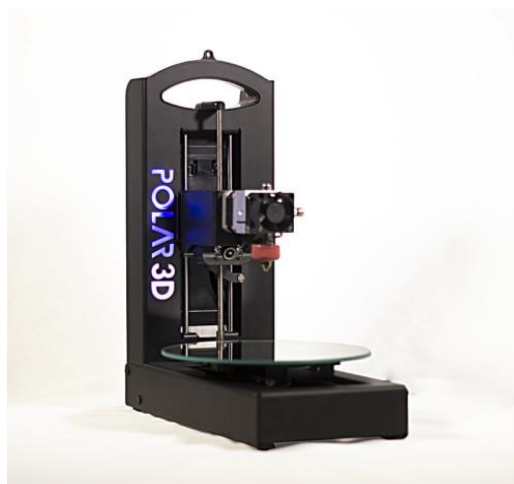
Obrázek 3 – Tiskárna typu core XY (TronXY X5S)  
Zdroj: Sham, [2017]

**Delta typ** – tiskárna pracuje opět s kartézskou soustavou, nicméně u tohoto typu je hlava zavěšena na třech pohyblivých ramenech (obr. 4) a ty obstarávají všechny pohyby v osách X, Y, Z. Tento typ tiskárny je dominantní ve směru osy Z, protože dokáže vytisknout znatelně vyšší modely než tiskárny kartézského typu (Redakce SHW, c1998-2020).



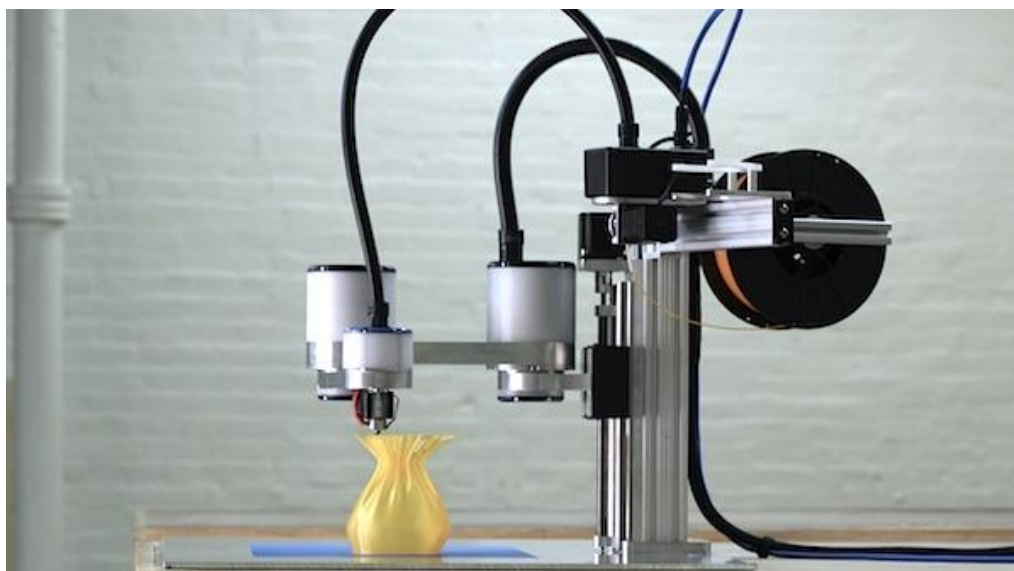
Obrázek 4 - Tiskárna typu Delta (Anycubic Kossel Linear Plus)  
Zdroj: 3D tlačiareň Anycubic Kossel Linear Plus, c2019

**Polar typ** – je typ tiskárny, který ukazuje velmi zajímavé řešení, nicméně i to má své nevýhody. Tento typ je založený na fixní tiskové hlavě v osách X,Y, hlava se pohybuje pouze v ose Z (obr. 5). Krokový motor pod tiskovou plochou ji otáčí, zde pramení nevýhoda toho, že podložka nemůže být vyhřívána, jelikož by se kvůli jejímu otáčení překroutila kabeláž k podložce. Na základě webových stránek výrobce se zdá, že tento typ řešení byl ukončen (Redakce SHW, c1998-2020).



Obrázek 5 - Tiskárna typu Polar (Polar 3D)  
Zdroj: Polar, [2016]

**Scara** – spadá do okrajové kategorie, která je pro nadšence. Principem tohoto typu jsou dvě mechanické paže, které drží tiskovou hlavu, se kterou také pohybují. Celý mechanismus s pažemi následně stoupá v Z ose (obr. 6) (Redakce SHW, c1998-2020).



Obrázek 6 – Tiskárna typu Scara (FLX.ARM.S16)  
Zdroj: 3ders, c2011-2019

### ***Filament***

Filament je materiál, který se používá pro 3D tisk metodou FDM/FFF. Běžně je to plastová struna, která se extruduje do tiskové hlavy, kde dojde k tavení a následně vytlačení tryskou na požadované místo. Filament má běžnou tloušťku struny 1,75 mm a 3 mm. Dalo by se popsat přibližně 25 druhů filamentu, od základních až po profesionální. Mezi nejznámější a pro domácí účely nejpoužívanější patří například: PLA, ABS, PETG (PET, PETT), Nylon, TPE, TPU, TPC, PC. Tyto druhy mají pochopitelně různé vlastnosti užití a různé teploty tavení, se kterými se vždy musí počítat pro správný tisk (Rohringer, 2019; Plastics for 3D Printing, 2016).

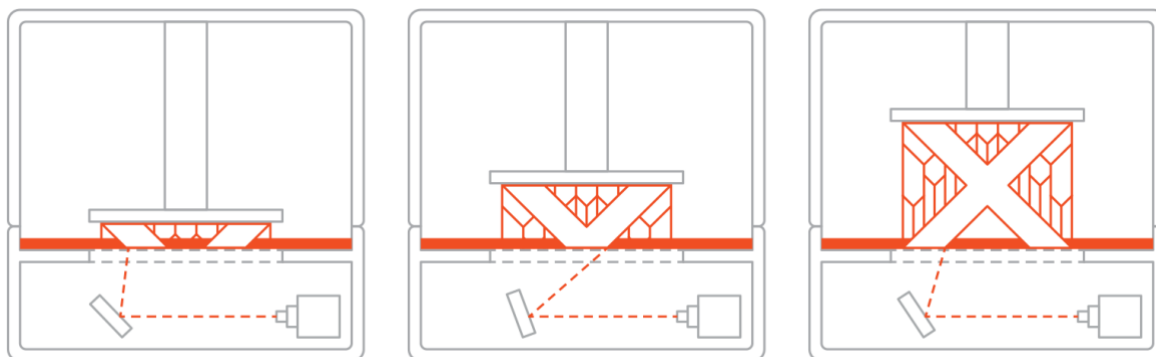
Vždy je dobré si o daném typu vyhledat všechny informace, některé totiž nejsou vhodné pro styk s potravinami a takový ABS filament při tavení uvolňuje škodlivý zápach, s tím vším je potřeba při tisku počítat (ABS, c2020).

### 3.2.2 Stereolitografie (SLA)

Stereolitografie byla vynalezena Chuckem Hullem v roce 1986, je tak první technologií 3D tisku na světě. SLA je založeno na polymerizaci v kádi (ENCYKLOPEDIE 3D TISKU, c2019).

Technologie funguje na principu vytvrzování pryskyřice v kádi pomocí laseru (obr. 7). Tiskárna používá zrcátka, která se nazývají galvanometry, přičemž jedno zrcátko je na ose X a druhé na ose Y. Tato zrcátka rychle směřují paprsek laseru skrz kád' pryskyřice a vytvrzují tak modelovaný objekt uvnitř tiskového prostoru, podobně jako u FDM, vrstvu po vrstvě. Nevýhodou této technologie je její větší časová náročnost oproti následující DLP technologii (ENCYKLOPEDIE 3D TISKU, c2019; Industrial Materials and Methods, 2016).

Technologie SLA umožňuje vytvářet větší modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi. Nevýhodou pak může být vyšší cena než samotné tiskárny, tak materiálů (ENCYKLOPEDIE 3D TISKU, c2019).



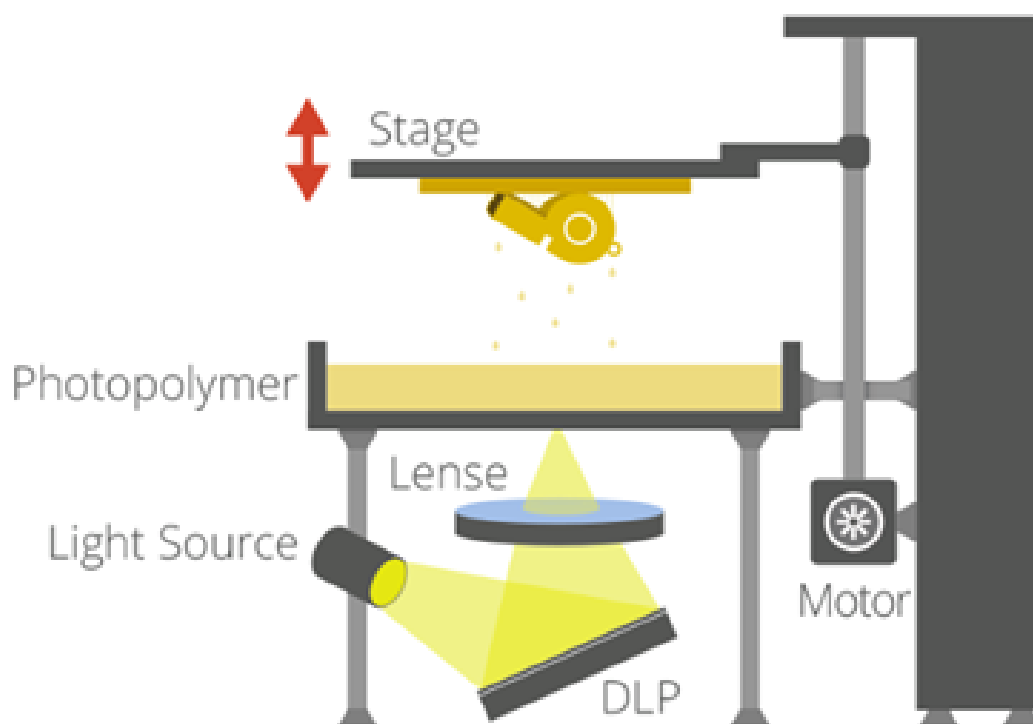
Obrázek 7 - Princip tisku SLA  
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019

### 3.2.3 Digital light processing (DLP)

Digital light processing (DLP) je velmi podobné technologii SLA, u DLP dochází také k vytvrzování vrstvy pryskyřice pomocí světelného paprsku. Nicméně u SLA se jedná o jeden světelný paprsek, zatímco u DLP je v jednu chvíli promítnuta celá právě tisknutá vrstva digitálním projektorem. Tak dochází k vytištění celé vrstvy v jednu chvíli, na rozdíl

od SLA, kde se vrstva tvoří postupně jedním paprskem. Jelikož je projektor digitální obrazovka, každá vrstva se skládá ze čtvercových pixelů, kterým se při formování tisku říká „voxely“ (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).

DLP je oproti SLA o poznání rychlejší technologií právě kvůli prosvícení celé tisknuté vrstvy. K projekci vrstvy do pryskyřice dochází pomocí LED diod obrazovky nebo UV lampou (obr. 8), jejíž svit je směřován pomocí Digital Micromirror Device (DMD). DMD je pole mikrozrcadel, která řídí směr svitu UV lampy (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).



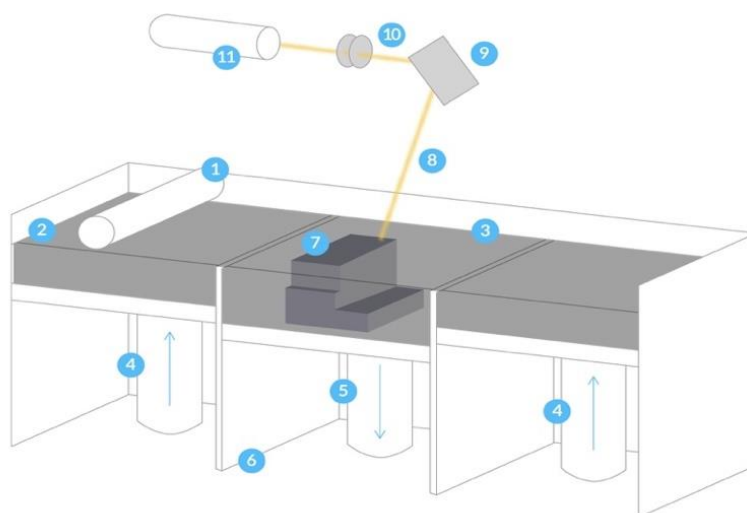
Obrázek 8 - Princip tisku DLP  
Zdroj: Prudhvi, c2014-2019

### 3.2.4 Selective laser sintering (SLS)

SLS (obr. 9) je založeno podobně jako SLA na vytvrzování materiálu paprskem laseru, nicméně jako materiál zde není použita pryskyřice, nýbrž polymerový prach (typicky Nylon), který je v nádobě zahřát lehce pod hranici tavení. Speciální nůž poté zarovná prach na tiskové ploše do dokonalé roviny, typicky 0,1 mm tlusté vrstvy, a podobně jako u SLA paprsek laseru pomocí odrazových zrcadel naskenuje plochu tisknuté vrstvy do prachu, a tím polymerový prach speče k sobě. Následně tisková plocha klesne o tloušťku vrstvy níže, zarovnávací nůž rozprostře novou vrstvu polymerového prachu do dokonalé roviny na již natištěnou vrstvu a paprsek laseru opět speče novou vrstvu.

Tento postup je opakován, dokud není celý model vytisknut. Po vytisknutí se objekt vyndá a očistí od zbytků polymerového prachu (Redwood, 2017; All3DP, [2019]; Industrial Materials and Methods, 2016).

## Selective Laser Sintering



### SLS Printer

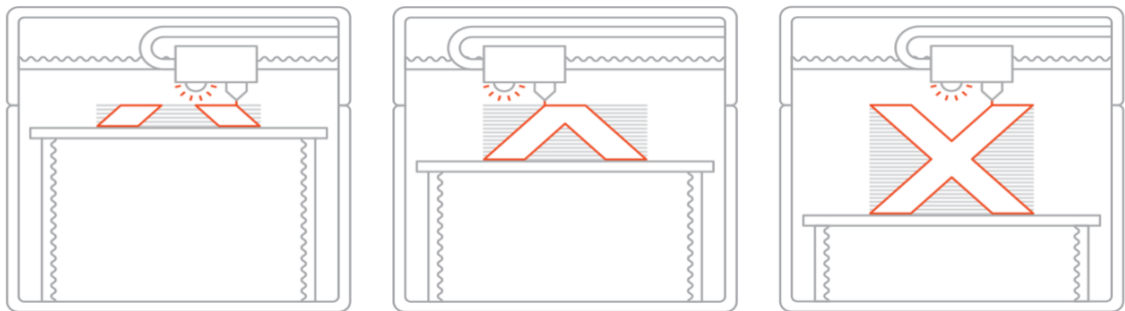
- 1 Leveling Roller
- 2 Powder Feed Supply
- 3 Powder Bed
- 4 Powder Feed Piston
- 5 Build Piston
- 6 Build Chamber
- 7 Sintered Part
- 8 Laser Beam
- 9 X-Y Scanning Mirror
- 10 Lenses
- 11 Laser



Obrázek 9 - Princip tisku technologií SLS  
Zdroj: Pinshape, c2017

### 3.2.5 Material jetting (MJ)

Material jetting je principem tisku velmi podobný klasické laserové tiskárně. Principem tisku jsou vrstvy tisknuté na sebe (obr. 10). Tisková hlava podobně jako u laserové tiskárny zanechá na požadovaných místech kapičky fotopolymeru, který reaguje na UV světlo. Součástí tiskové hlavy je i UV lampa, která ihned po zanechání kapiček na požadovaném místě vrstvu osvítlí a fotopolymer tak vytvrdí. Následně tisková plocha klesne o tloušťku vrstvy a tisková hlava provede celý proces znovu, opět zanechá kapičky fotopolymeru na již vytvrzené vrstvě a UV světlo novou vrstvu opět vytvrdí. Tímto způsobem se na sebe tisknuté vrstvy kupí až vznikne celý trojrozměrný objekt. Material jetting je od ostatních technologií odlišný v tom, že vrstvy nejsou kladeny bodově, ale lineárně. To nese tu výhodu, že takové tiskárny mohou tisknout v jedné ploše více modelů, aniž by to mělo dopad na rychlost tisku, a tak lze maximalizovat produkci. Podpory modelů jsou tisknuty souběžně s tiskem vytvrzených vrstev, avšak jsou tisknuty z rozpustných materiálů, které se následně odstraní po dokončení tisku při opracování (Redwood, 2017; All3DP, [2019]; Industrial Materials and Methods, 2016).

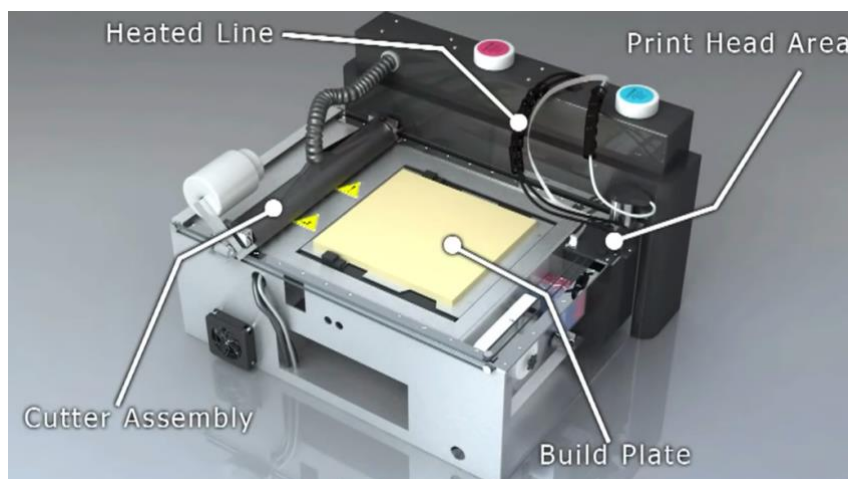


Obrázek 10 - Princip tisku technologií MJ  
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019



### 3.2.6 Drop on demand (DOD)

Tisk modelu metodou drop on demand probíhá za pomoci dvou trysek (obr. 11). Jedna tryška slouží k vytlačování tiskového materiálu a druhá tryška slouží pro vytlačování materiálu pro podpory, který je dobře rozpustitelný. Jako materiál pro tisk modelu se běžně používá materiál na bázi vosku. Kladení vrstev modelu probíhá bodově vrstvu po vrstvě. U této metody tisku se také používá speciální fréza, která před tiskem další vrstvy stávající vrstvu upraví do dokonalé roviny, aby se předešlo chybám způsobeným nerovností předchozí vrstvy (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).



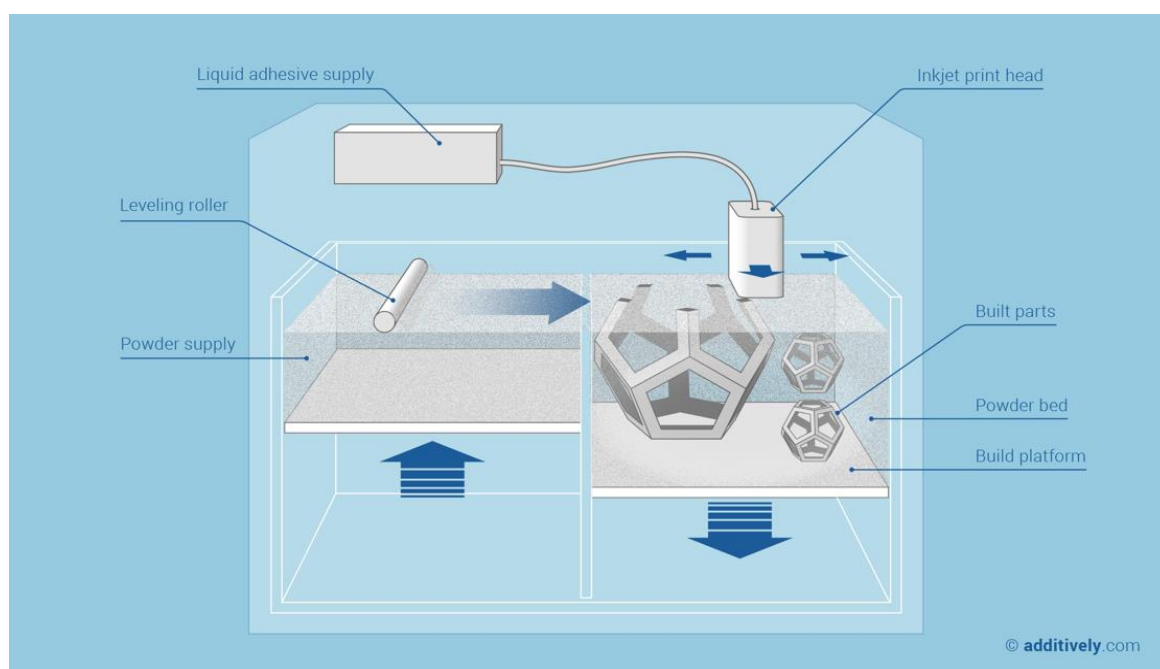
Obrázek 11 - Vizualizace DOD tiskárny  
Zdroj: SolidscapeInc, 2011

### 3.2.7 Sand binder jetting

U sand binder jetting technologie dochází ke spojování vrstev písku pomocí pojiva. Tato technologie umožňuje tisknout barevné modely. Proces (obr. 12) probíhá tak, že tisková hlava nanese na urovnaný písek pojivo a následně se vrstva překryje tenkou vrstvou čistého písku. Tisková hlava poté opět nanese pojivo na novou vrstvu a proces se opakuje stále dokola. Po dokončení tisku je potřeba výtisky vyndat z písku a důkladně je očistit od volného písku, který na modelu ulpěl (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).

Sand binder jetting je také velmi vhodnou metodou pro tvorbu forem pro odlévání. Formy se tisknou stejným způsobem jako v případě tisku samotného modelu. Části forem se po vytisknutí očistí od volných zrn písku a po složení jsou ihned připraveny pro odlévání.

Po odlití a zatvrdnutí materiálu se formy při rozebírání nenávratně zničí, nicméně i tak je tento způsob finančně výhodný, a navíc se tato technologie jednoduše zavádí do stávající výroby (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).



Obrázek 12 - Princip tisku pomocí technologie sand binder jetting  
Zdroj: Additively, c2019

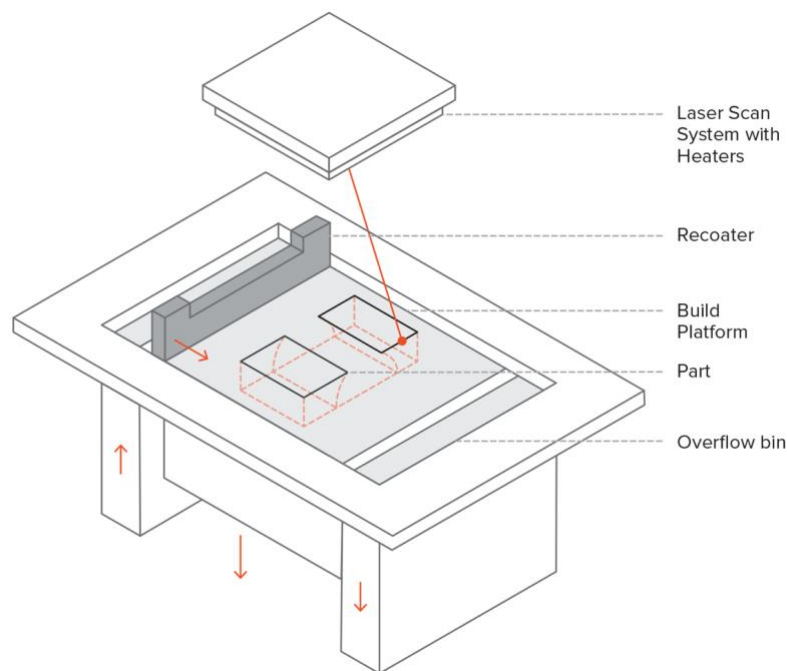
### 3.2.8 Metal binder jetting

U této technologie je princip stejný jako u technologie sand binder jetting, nicméně zde dochází ke spojování kovového prachu, díky čemuž lze vyrábět modely různých geometrických tvarů, kterých by nešlo klasickými metodami dosáhnout. Aby byl vytisknutý model použitelný, je nutné ho následně speciálně upravit, jelikož bez úpravy má model špatné mechanické vlastnosti. Po dokončení tisku se výtisky očistí od kovového prachu a dávají do trouby, kde dojde k vypálení pojícího materiálu. Po tomto kroku má výtisk přibližně 60% hustotu. Následuje úprava pomocí bronzu, kdy se výtisky zasypou bronzem, následně se zavřou do pece, kde se volné kapiláry výtisku vyplní bronzem a objekt tak získá přibližně 90% hustotu. Tyto výtisky nicméně nemají tak dobré mechanické vlastnosti jako součástky vyrobené pomocí technologie powder bed fusion (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).

### 3.2.9 Direct metal laser sintering (DMLS) / Selective laser melting (SLM)

Obě tyto technologie jsou si velmi podobné. Obě jsou navrženy na produkci kovových součástek a spadají pod technologii powder bed fusion (obr. 13). Jediný rozdíl mezi DMLS a SLM je ve způsobu pojení kovového prachu. Zatímco DMLS kovový prach netaví, pouze ho zahřívá na takovou teplotu, že se prach spojuje na molekulární úrovni, SLM technologie používá laser k dosažení úplného tavení kovového prachu a následně vytvoření homogenního dílu. Z toho plyne, že DMLS produkuje díly z kovových slitin a SLM jednotné materiály jako je titan (Redwood, 2017; All3DP, [2019]; Industrial Materials and Methods, 2016).

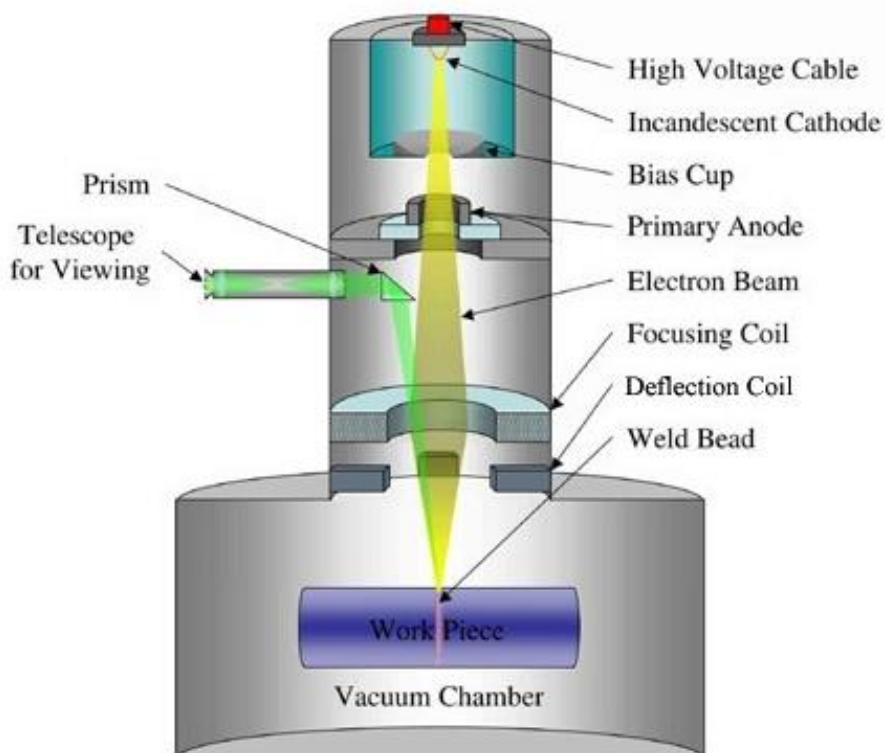
Nejen DMLS, ale i SLM procedury potřebují při tvoření skutečného prvku využívat podpory, a to i přestože okolní kovový prach vytváří přirozenou podporu. Nicméně je tu stále možnost malých deformací bez podpor. Následné výtisky jsou ohroženy deformací z důvodu vysokých teplot při tisku, které mohou ve výtisku zanechat zbytkové napětí. Z tohoto důvodu se díly tepelně upravují, aby došlo k odhalení případného zbytkového napětí v součástkách (Redwood, 2017; All3DP, [2019]; Industrial Materials and Methods, 2016).



Obrázek 13 - Schéma DMLS/SLM tiskárny  
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019

### 3.2.10 Electronic beam melting (EBM)

EBM technologie využívá vysokoenergetický nebo elektronový paprsek k indukci fúze mezi částicemi kovového prachu. Elektronový paprsek, který je soustředěný, přejíždí přes tenkou vrstvu kovového prachu a tím způsobuje lokální tavení a vytvrzení prachu v určité vrstvě, která se právě tiskne (obr. 14). Tyto vrstvy se na sebe postupně nanášejí a vytvářejí tak ucelený model. V porovnání s ostatními typy technologií 3D tisku, jako například DMLS a SLM, je EBM v rychlosti tisku lepší. Modely tisknuté technologií EBM jsou tisknuty ve vakuu a technologie jako taková může být použita pouze na vodivé materiály (Redwood, 2017; All3DP, [2019]).



Obrázek 14 - Schéma EBM tiskárny  
Zdroj: Whiteclouds, c2019

### 3.3 Možnosti využití 3D tisku

3D tisk má velký potenciál využití, je jen otázka, jak se k němu přistoupí. Nicméně už v současné době je vidět, jak široké využití tato technologie má a za předpokladu zdařilého vývoje se dá očekávat začlenění 3D tisku do mnoha odvětví průmyslu (Yeap, 2019).

Nejvyšší potenciál využití je očekáván v těchto odvětví průmyslu:

- Umění a móda
- Medicína
- Architektura a konstrukce
- Automobilita, letectví a kosmonautika (Yeap, 2019)

#### 3.3.1 Umění a móda

V tomto odvětví se začínají projevovat první náznaky využití 3D tisku, jedná se tak o návrhářské koncepty oděvních modelů, kdy návrháři například začleňují výtisk z 3D tiskárny do celkového modelu šatů nebo pomocí spojení jednotlivých dílů celé šaty vytváří. Avšak hlavní očekávaný vývoj v módě představuje pokročilá personalizace nejen oděvů, ale hlavně obuvi, jelikož možnost bot na míru je velmi lákavá. Co se týče umění, dá se uvažovat zejména o kovoprůmyslu a nábytku (Yeap, 2019; Petch, c2017).

#### 3.3.2 Medicína

**Bioprinting** – s technologií 3D tisku se nabízí možnosti tisku nových lidských částí těla jako jsou orgány apod., všechno je ovšem ve fázi výzkumu, stejně tak jako pokusy tisknout jednoduchou lidskou tkáň jako je třeba kůže. Rozhodně je to ale možný budoucí směr rozvoje 3D tisku a je více než logický, jelikož 3D tisk nabízí velkou míru přesnosti a detailu (Yeap, 2019; Petch, c2017).

**Protézy** – v tomto ohledu je vývoj již pokročilejší, v současnosti už existují projekty pro tisk protézy lidských částí těla jako třeba ruky nebo nohy. Výhoda je samozřejmě opět ve velké míře v návrhu protézy na míru postiženému, ale také ve sdílení modelů protézy. Zde je očekávaný rozvoj tisku velmi blízko (Yeap, 2019; Petch, c2017).

### 3.3.3 Architektura a konstrukce

Již nyní některá architektonická studia používají 3D tištěné modely k prezentaci svých záměrů urbanismu například pro širší veřejnost, investory, ale i pro své kolegy a tým k ověření svých návrhů (Yeap, 2019).

Dnes se lze setkat již i s prototypy tištěných konstrukcí (obr. 15) a domů životní velikosti, jedná se zde o 3D tisk z betonu, kde tryska vytlačuje beton a stejně tak jako v jiných případech po vrstvách staví celý objekt (Yeap, 2019).

Výhodou v oboru konstrukcí je také to, že 3D tiskem je možné docílit pouze tisku nosných částí jednotlivých konstrukcí, například dnes je klasické prolévání betonem nosných konstrukcí nutné, jelikož aktuální technologie nedokáže použít beton pouze tam, kde je potřeba. Řešením je ovšem 3D tisk, díky kterému jsme tryskou schopni betonovat pouze v daném místě, kde budou působit statické síly, a tak ušetřit peníze za použitý materiál (Yeap, 2019; Petch, c2017).



Obrázek 15 - Vytisknutý most nad kanál v Amsterdamu  
Zdroj: Stinson, c2019

### **3.3.4 Automobilita, letectví a kosmonautika**

V automobilovém průmyslu se s 3D tiskem můžeme setkat už nějakou dobu, využívá se hojně pro prototypování a v montáži, či jako finální komponenty, které jdou do provozu (podpory, nosiče, kola) (Yeap, 2019; Petch, c2017).

V kosmonautice se používá například 3D tisk na mezinárodní vesmírné stanici, kde si posádka tiskne některé nářadí, které by bylo drahé nebo riskantní co se dopravy týče (Yeap, 2019; Petch, c2017).



### 3.4 Konvenční architektonické modelování

Konvenční modelování se nedá dělit do technologií stejně jako to jde u 3D tisku. Vždy se jedná o výběr určitých materiálů pro tvorbu modelu, ke kterým se zvolí způsob dělení materiálu a následně vhodný způsob spojování. Pro účely bakalářské práce budou součástí teoretických východisek pouze základní druhy materiálů, spojů a dělení. Nicméně v praxi je možno se setkat s dalšími alternativami a mnoha způsoby finálních úprav.

#### 3.4.1 Materiál

**Papír a vlnitá lepenka** – patří mezi základní materiál pro architektonické modelování, a to především z důvodu snadné dostupnosti a široké variability. Na základě tloušťky papíru nebo lepenky je možné materiál pouze ohýbat, a tak odpadá nutnost dělení materiálu. Ohýbání je zároveň velmi výhodné v případě modelů s organickými tvary. Na základě tloušťky je možné také využít průsvitnost papíru u osvětlených modelů. Lepenka nabízí možnosti různých druhů, a hlavně přírodních barev, díky kterým model není nutno finálně upravovat, a lze tedy využít například kombinaci bílého papíru a hnědé lepenky. Využití přírodních barev však nese nevýhodu nebezpečí potřísnění materiálu lepidlem nebo mastnotou z prstů (Paper and cardboard, 2014; Chalupa, 2019; Pereira, c2008-2020).

**Sendvičová deska** – jedná se o sendvičový materiál na podobném principu jako vlnitá lepenka, jde o dvě vrstvy kartonu, mezi kterými je polyuretanové jádro (obr. 16). Tento materiál je k mání v různých tloušťkách. Má výhodu, že na rozdíl od vlnité lepenky a papíru je nenasákavý, ale za cenu zhoršené schopnosti ohýbání. Používá se primárně v základní barevné úpravě od výrobce (Paper and cardboard, 2014; Chalupa, 2019).



Obrázek 16 - Sendvičová deska v řezu  
Zdroj: Golem reklama, 2019



**Dřevo** – je jedním z nejrozšířenějších materiálů pro modelování. V modelování se vyskytuje v různých formách, například jako masiv nebo lepené dřevo ze zbytků z dřevařského průmyslu (obr. 17). Práce s takovým dřevem je podstatně náročnější nejen do času, ale též do pracnosti. Často se proto využívá balsa (obr. 18), která je měkká a dobře zpracovatelná a prodává se v různě silných variantách. Při použití dřeva je velmi důležité dbát na velikost vláken, aby odpovídala měřítku modelu (Wood, 2014; Chalupa, 2019; Pereira, c2008-2020).



Obrázek 17 - OSB desky  
Zdroj: Orlibit, 2018



Obrázek 18 - Balsa  
Zdroj: BALSÁ – prkna, 2015

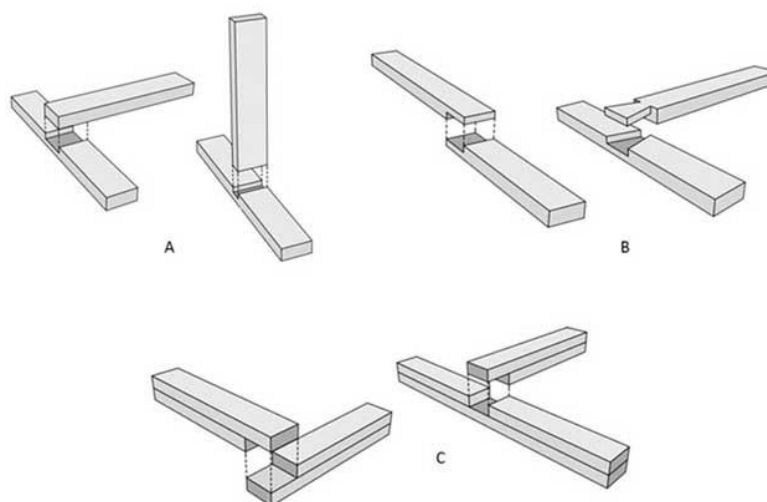
**Polystyren a plasty** – jsou dalším typickým materiálem v oboru architektonického modelování. V případě polystyrenu se jedná hlavně o tvorbu hmotových koncepcí nebo urbanistických modelů, přičemž jde spíše o hmotu jako takovou, oproštění se od přílišných detailů a vdechnutí modelu jistou formu abstrakce. Dále je možné polystyren použít pro tvorbu organických hmot. Mezi plasty jako takové se počítá i akrylátové sklo, které může být použito pro tvorbu oken nebo zprůhlednění konstrukcí modelu (Styrofoam, acrylic and plastics, 2014; Chalupa, 2019; ARCHITECTURAL MODEL MAKING, [2018]).

**Jíl a lité materiály** – mají primární využití při modelování organických tvarů. S jílem se pracuje na stejném principu jako v oboru sochařství, kdy se hmota postupně formuje, a nakonec se ladí detaily. V případě hmotových konceptů lze využít i plastelínu, která nevysychá a je znovu použitelná. Pro finální návrhy modelů je možné pracovat s materiály jako je sádra, pryskyřice nebo i beton pomocí odlitků z forem (Resin, clay and cast materials, 2014).

### 3.4.2 Spoje

**Lepení** – při lepení spojů je na výběr široká škála různých druhů lepidel, vždy je důležité vybírat podle druhu materiálu, který se bude lepit a případně jak pevně má spoj držet pospolu. V případě finálního modelu je vyžadováno velmi pevné slepení, naopak u konceptuálního modelu se počítá do jisté míry se změnami, a tak se používá takový druh lepidla, který umožní snadné oddělení materiálu ve spojích. Pro různé druhy materiálu je důležité, aby lepidlo bylo adhezní na daném materiálu, případně aby materiál neleptalo nebo jinak neničilo (Dunn, 2014; How to Make An Impressive Architecture Model?, c2012-2020).

**Mechanické spoje** – využívají se často u modelů, u kterých jde primárně o čistotu modelu. Například při práci se dřevěnými modely, kde se nabízí použití tesařských tradičních spojů (obr. 19) jako je čepování, plátování apod. (Dunn, 2014).



Obrázek 19 – Tesařské spoje; A- zapuštění, B- přeplátování, C- napojení  
Zdroj: Spojovací materiál na dřevo a tesařské spoje, 2011

### 3.4.3 Dělení materiálu

**Nože** – nejčastější technika dělení materiálu je pomocí skalpelů, které umožňují přesný řez a dělení materiálů pro tvorbu malých detailů. Odlamovací nože, jakožto větší verze skalpelů, se používají pro dělení velkých kusů materiálu. Mezi základní pomůcku patří také nůžky, nicméně jejich použití je omezeno tloušťkou materiálu a využití mají tedy jen u tenkých materiálů. Jsou to techniky, které jsou levné a pro běžné modelování nepostradatelné (Dunn, 2014).

**Pily** – se využívají při řezání materiálu jako je dřevo, plast nebo akrylátové sklo (Dunn, 2014).

**Tavná struna** (obr. 20) – její využití je velmi limitované, užívá se pouze k řezání polystyrenu a pěnových desek. Princip je takový, že napnutá struna je elektricky napájena a tlačení materiálu proti tavné struně dochází k dělení materiálu (Dunn, 2014).



Obrázek 20 – Zařízení na řezání polystyrenu pomocí tavné struny  
Zdroj: Proxxon THERMOCUT Hot Wire Cutter, c2020

***Laserový plotr*** – je, co se využití týče, poměrně omezen použitelnými materiály. Dokáže řezat karton, lepenku a plexisklo. Do ovladače laserového plotru jsou odeslána vektorová data, kde jsou čáry rozděleny na čáry řezu a čáry vrypu, které materiálem neprojdou v plné tloušťce, a tak umožní například přesné ohyby materiálu. Výhodou laserového plotru je rychlost a přesnost řezu. Nevýhodou může být u papírových materiálů opálení hrany laserem, které může potřísnit model (Chalupa, 2019; How to Make An Impressive Architecture Model?, c2012-2020).

## 4 Vlastní práce

Vlastní práce se zabývá výběrem a odůvodněním zvolených technologií 3D tisku a metod konvenčního modelování pro vzájemné porovnání definovaných klíčových aspektů. Dále rozhovory s odborníky z praxe a následně položených doplňujících otázek pro hlubší uvedení do problematiky 3D tisku v architektonickém modelování. Dále pojednává o vzniku referenčního modelu rodinného domu a důvodech pro jeho vznik.

Konzultace a řízený rozhovor s odborníky jsou důležité zejména pro co nejpřesnější přiblížení profesní realitě.

### 4.1 Zkoumané technologie

Na základě teoretických poznatků byly vybrány pro zkoumání použitelnosti v architektonickém modelování pouze některé technologie. Stejně tak bylo učiněno pro konvenční metodu modelování.

#### 4.1.1 3D tisk

*FDM/FFF* – patří mezi nejrozšířenější metody 3D tisku a pro úplné laiky je to nejprívětivější vstupní technologie zejména díky nízké pořizovací ceně tiskárny a dostupnosti dílů na trhu.

Velkou výhodou technologie je široká paleta typů tiskáren a dostupnost různých druhů filamentu. Většina typů FDM tiskáren je kompaktních rozměrů, a tak nejsou náročné na prostory. Při použití této technologie je doporučeno kvalitní větrání místnosti při tisku, v případě, že v místnosti pobývají osoby, z důvodu nepříjemných pachů při tavení filamentu. V případě tisku z ABS filamentu dochází k uvolňování škodlivého zápachu, zde platí zvýšená výstraha při pobytu osob v místnosti.

*SLA* – technologie je de facto další nejdostupnější technologií v oboru 3D tisku hned po technologii FDM. Počáteční ceny jsou vyšší než u technologie FDM, nicméně jsou stále dostupné a určitě se o SLA technologii dá uvažovat pro komerční účely v daném oboru architektonického modelování.

Mezi výhody technologie SLA patří zejména vysoká kvalita tisknutých detailů a prostorová nenáročnost tiskárny, která může být bez problému umístěna v obývané místnosti.

**DLP** – technologie DLP je velmi podobná technologii SLA a možnost pořízení takové tiskárny pro účely architektonického modelování je reálná. Stejně jako 3D tiskárna technologie SLA může být umístěna v obývané místnosti, není náročná na obsluhu a poskytuje stejnou úroveň kvality detailů jako technologie SLA.

#### **4.1.2 Konvenční metoda modelování**

Konvenční metody modelování se nedají rozdělit do jednotlivých technologií. Vždy je to kombinace různých materiálů, způsobu dělení materiálu a metod spojování. Pro tuto práci byla zvolena jedna ze základních kombinací, která umožňuje docílit podobných úrovní detailů jako 3D tisk. Tato kombinace se používá velmi často pro finální modely, které jsou velmi estetické díky kontrastu dvou typů materiálu.

Jako materiál pro výrobu modelu byla zvolena sendvičová deska v kombinaci s balzou, jako způsob dělení materiálu řezání skalpelem a nožem a spojování materiálu pomocí univerzálního lepidla.

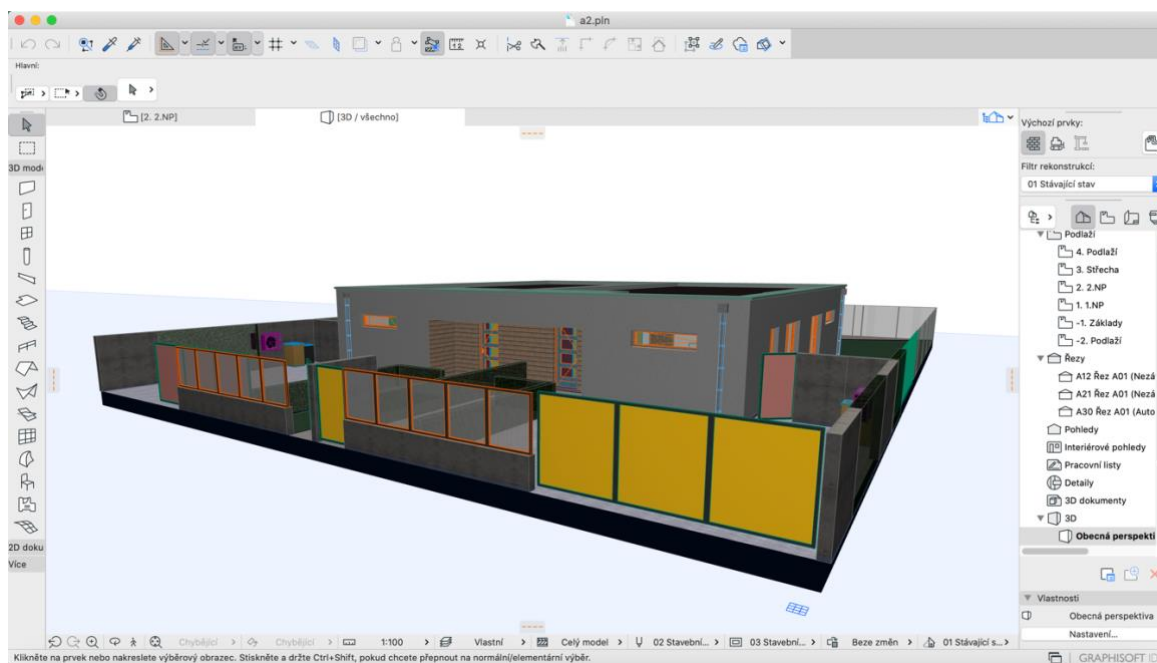
## **4.2 Referenční model rodinného domu**

Je patrné, že nelze porovnávat vybrané aspekty na základě neurčitého modelu pro modelování, stejně tak základní tvary jako krychle nebo kvádr nejsou pro porovnávání technologií 3D tisku a konvenčního modelování objektivní. Aby mohly být jednotlivé aspekty vzájemně porovnány s co největší přesností odpovídající reálnému modelování, projekční kancelář byl za tímto účelem poskytnut referenční model v 3D modelovacím CAD softwaru. Nad CAD modelem byl veden řízený rozhovor s odborníky.

Referenční model rodinného domu byl běžnými postupy modelování 3D modelů vymodelován v CAD programu ArchiCad 18 (obr. 21). Dále byl model exportován do formátu „.stl“ a byl poskytnut specialistům v oboru 3D tisku a konvenčního

architektonického modelování za účelem zhodnocení jednotlivých aspektů důležitých pro srovnání 3D tisku a běžného architektonického modelování.

Model rodinného domu byl uvažován v měřítku 1:100, což je běžné měřítko pro realizace architektonických objektů.



Obrázek 21 – Náhled 3D modelu v SW Archicad 18

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3 Výběr aspektů tvorby fyzického modelu

Za účelem porovnání technologií 3D tisku a konvenčního způsobu modelování byly vybrány aspekty, které jsou dle odborníků a literatury v praxi důležité a hrají velkou roli při realizaci fyzického architektonického modelu.

**Náklady modelování** – tvorba fyzických architektonických modelů je většinou nabízena jako doplňující služba k návrhu objektu, cena je proto jedním z určujících faktorů, zda bude fyzický model vytvořen.

**Doba tvorby** – jako další klíčový aspekt byla identifikována doba tvorby, která v případě vzniku modelu za účelem architektonické soutěže může hrát velmi důležitou roli.

**Řešení detailů** – úroveň a řešení detailů se může u každé technologie 3D tisku různit. Stejně tak u konvenčního modelování se bude úroveň a řešení odlišovat od technologií 3D tisku. Proto je tento aspekt dalším, který by mohl ovlivnit srovnání.

**Odolnost modelu** – odolnost je nutné brát v potaz zejména v případě architektonických soutěží, kdy dochází k přepravě modelu, vystavování apod. Pro tyto účely je ideální co nejvyšší odolnost, a tak je důležité tento aspekt pozorovat jako potenciální výhodu/nevýhodu.

**Recyklovatelnost** – aspekt recyklovatelnosti byl zvolen v rámci současných trendů ohledně životního prostředí a zajisté je korektní o něm uvažovat v rámci ochrany přírody. Jelikož při tisku i při konvenčním modelování vznikají vadné kusy musí s nimi potom být nějak naloženo v rámci likvidace odpadů.

#### **4.4 Doplnující otázky řízeného rozhovoru**

V rámci řízeného rozhovoru byly kladeny doplňující otázky, které mohou prozradit více o dané problematice a implementaci 3D tisku do oboru architektonického modelování.

Otázky byly položeny záměrně ve stejném znění pro běžné metody konvenčního modelování i pro technologii 3D tisku obecně, aby bylo opět možné porovnávání technologie 3D tisku a konvenčního modelování.

Byly položeny tyto otázky:

- 1) Jaká je časová náročnost přípravy dat 3D modelu před samotným tiskem/výrobou modelu?
- 2) Jaké jsou běžně používané metody postprocessingu fyzického modelu?
- 3) Je 3D tisk/klasické modelování pro architektonické modely často žádané? Případně proč ano/ne?
- 4) Myslíte, že má 3D tisk/klasické modelování v budoucnosti své místo?



## **4.5 Řízený rozhovor s odborníky**

Následující data ohledně klíčových aspektů a doplňujících otázek byla získána na základě řízeného rozhovoru s odborníky a poznamenána pro další zpracování a vyhodnocení v páté kapitole „Výsledky a diskuze“. Součástí rozhovoru byly později na základě poskytnutého 3D modelu ve formátu „stl“ zaslány cenové nabídky.

Nastavení 3D tiskáren bylo ponecháno na uvážení profesionálů na základě zkušeností pro docílení nejlepšího poměru ceny a kvality uvažovaného zpracování.

## 5 Výsledky a diskuse

Teoretická část práce je složena z úvodu do problematiky 3D tisku a představení jednotlivých technologií 3D tisku pro výběr vhodných technologií pro modelování architektonických modelů. Dále byla nastíněna problematika tvorby architektonických modelů pomocí konvenčních metod. Hlavní cílem bylo zhodnotit, zdali jsou technologie 3D tisku použitelné pro tisk architektonických modelů. Zhodnocení bylo provedeno pomocí porovnání s konvenční metodou modelování.

### 5.1 Srovnání klíčových aspektů tvorby fyzického modelu

Na základně řízeného rozhovoru s odborníky byla získána potřebná data a identifikovány klíčové aspekty pro porovnání zvolených technologií 3D tisku a metody konvenčního modelování. Data byla vytěžena a zanesena do tabulky (tab. 1) pro porovnání klíčových aspektů.

	<b>FDM/FFF</b>	<b>SLA</b>	<b>DLP</b>	<b>Konvenční modelování</b>
<b>Náklady (Kč)</b>	500-700	3500-4000	5600-6200	9000-13000
<b>Doba (h)</b>	80-90	45-55	40-50	30-40
<b>N/h (Kč)</b>	6,3-7,8	72,7-77,8	124-140	300-325
<b>Detaily</b>	Dělení na díly, drobnosti tisknout zvlášť	Dělení na díly, vyšší úroveň než FDM/FFF	Dělení na díly, vyšší úroveň než FDM/FFF	Dočasné podpory, drobné detaily 3D tiskem
<b>Odolnost</b>	Střední, degraduje na slunci	Střední, degraduje na slunci	Střední, degraduje na slunci	Nízká, nutnost výtuh v základně modelu
<b>Recyklovatelnost</b>	PLA kompostovatelný, recyklace plastů	Recyklace plastů	Recyklace plastů	Primárně směsný odpad

Tabulka 1 – Tabulka porovnání hodnocených aspektů na referenčním modelu rodinného domu  
Zdroj: Vlastní zpracování

Z dat v tabulce (tab. 1) plyne, že náklady tisku technologií FDM/FFF jsou markantně nižší oproti metodě SLA a DLP, konvenční modelování je oproti FDM/FFF dokonce osmnáctkrát dražší.

Je patrné, že technologie FDM/FFF má nejdelší dobu tvorby modelu. Zato konvenční metoda má dobu tvorby nejkratší. Nicméně je důležité brát v potaz, že 3D tiskárna může

tisknout nepřetržitě celých 80-90 hodin (v případě technologie FDM/FFF), oproti tomu pracovník vytvářející model konvenční metodou má pracovní dobu cca 8 hodin.

Ze získaných dat plyne, že problematika detailů je u 3D technologií velmi podobná. Model, z důvodu větších rozměrů než tisková plocha, je nutno dělit a následně jednotlivé části slepit k sobě. Gibson (2002) poukazuje na podobný problém s velikostí krajinářských modelů a velikostí tiskové plochy.

Je patrné, že technologie SLA a DLP nabízí lepší zpracování detailů oproti technologii FDM/FFF. Konvenční metoda modelování při řešení detailů využívá dočasných podpor, například podpory konstrukcí při zasychání lepidla. Navzdory konvenční metodě odborníci doporučují drobné detaily, jako jsou zařizovací předměty apod., tisknout právě pomocí 3D tisku. Gibson (2002) zmiňuje výhodu v možnosti vytváření textur fasád, které konvenční metodou zaberou mnohonásobně více času.

Aspekt odolnosti je pro všechny 3D technologie stejný, úroveň je dle odborníků přibližně střední. Naproti tomu model vyhotoven konvenční metodou je v lepených spojích křehký a z toho důvodu je nutné velmi dobře vyztužit základnu modelu tak, aby model samotný nebyl zbytečně namáhán.

Recyklovatelnost modelu u technologií 3D tisku je stejná jako recyklování běžných plastů. U technologie FDM/FFF v případě použití PLA filamentu, který je vyroben z kukuřičného škrobu, je možné model kompostovat, nicméně za speciálních podmínek. Konvenčně vyrobený model se oproti 3D tisku recyklovat nedá kvůli použití sendvičové desky s polyuretanovým jádrem a lepení materiálu.

## **5.2 Doplnující otázky řízeného rozhovoru – odpovědi**

Odpovědi na doplňující otázky se netýkají už pouze referenčního modelu, ale tématu obecně. Pro přehlednost jsou odpovědi rozděleny na podkapitoly o 3D tisku a o metodách konvenčního modelování.

### **5.2.1 3D tisk**

*Časová náročnost přípravy dat* – náročnost se značně liší podle typu i záměru tvorby modelu. V případě urbanistických hmotových koncepcí je často možné tisknout ihned po exportu z CAD/BIM programu. Nejvíce práce je potom s modely ve velmi podrobném

měřítku s velmi podrobnou úrovní detailů, případně možností model rozkládat na jednotlivé části. V případě detailních měřítek modelů se vyplatí model před tiskem přizpůsobit dané technologii, která bude použita pro tisk, díky čemuž je možné dramaticky ušetřit následné práce na modelu při dodatečných úpravách.

**Metody postprocessingu** – mezi běžný postprocessing lze počítat odstranění dočasných podpor modelu, které lze provést rozpuštěním nebo mechanicky. Gibson (2002) ve svém článku zmiňuje problém s viditelným vrstvením materiálu, které může být pro někoho nepřijatelné. To řeší metoda postprocessingu pomocí broušení modelu, kterou odborníci doporučují. Dále je model možné barvit, je-li to třeba, a slepit jednotlivé díly, které byly pro tiskovou plochu příliš velké. Jedná se o běžné modelářské práce, u kterých závisí na dobré přípravě modelu, technologii a zvoleném materiálu pro tisk.

**Žádánost 3D tisku pro modelování** – 3D tisk je v architektuře často přehlížen a není mnohdy žádaný, na rozdíl od jiných odvětví, kde se přínosy aditivní výroby využívají lépe. Ateliéry si nechtějí přidělovat práci navíc, přestože fyzické modely prokazatelně vedou k lepší prezentaci záměru a logicky tím zvyšují šanci na zisk zakázky.

**Využití v budoucnosti** – potenciál do budoucna je veliký a momentálně ne zcela využitý, již nyní ale mladí architekti využívají 3D tisk a prosazují ho. Dá se předpokládat, že díky generaci, pro kterou je použití technologií zcela běžná věc, se využití v budoucnu zlepší a stane se běžnou součástí architektonické tvorby.

### 5.2.2 Konvenční metody modelování

**Časová náročnost přípravy dat** – náročnost přípravy se v případě konvenčního modelování liší v závislosti na velikosti a komplexnosti modelu, jelikož je důležité rozdělit dům na jednotlivé konstrukce a případně ještě samotné konstrukce dělit na základě různých výřezů apod. Velkou roli hraje také zvolená metoda tvorby.

**Metody postprocessingu** – lze využít libovolné modelářské metody úprav jako je barvení, broušení, polepení materiálu fototexturou atd.

***Žádanost konvenčního modelování*** – není tak častá z důvodu vyšších částek vynaložených na model. Model se vyrábí většinou v případě větších veřejných zakázek.

***Využití v budoucnosti*** – konvenční modelování bude na trhu stále přítomné i v budoucnosti, nicméně nejspíše s vyšším podílem 3D tisknutých částí modelu. S vysokou pravděpodobností se bude jednat o spojení technologie 3D tisku a konvenčního modelování. K podobnému závěru došel i Gibson (2002), který předpokládal konjunkci konvenčního modelování s 3D tiskem.

## 6 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit použitelnost 3D tisku pro účely architektonického modelování. Ze získaných poznatků plyne, že 3D tisk je vhodnou alternativou ke konvenčnímu modelování architektonických modelů a v mnoha aspektech dokonce konvenční modelování předstihuje. O 3D tisku se zajisté dá také uvažovat jako o doplňující technologii pro tvorbu fyzických modelů konvenční metodou.

V rámci práce byl veden řízený rozhovor s odborníky a při něm položeny dodatečné otázky. Z řízeného rozhovoru plyne, že problematika tvorby architektonického modelu se odvíjí od měřítka modelu – zdali se jedná o urbanistický model, kdy se plánují celé čtvrti, nebo model solitérního domu. Dále od úrovně detailů – což často souvisí s měřítkem, kdy větší měřítko znamená více detailů jako například fasády, zařizovací předměty apod., nebo rozkládání modelu na části a podlaží. A nakonec se odvíjí od záměru tvorby modelu, čímž lze chápat architektonické soutěže o veřejné zakázky, modely na výstavy, pro investory, případně realistické modely.

Mezi klíčovými aspekty pro tvorbu fyzického architektonického modelu byly identifikovány tyto: cena a doba tvorby (z kterých byly vypočítány hodinové náklady výroby modelu), řešení a úroveň detailů, odolnost a recyklovatelnost modelu. Aspekty byly následně zhodnoceny.

Po zhodnocení aspektů byly vyvozeny tyto závěry:

- FDM/FFF je nejlevnější technologií architektonického modelování s nevýhodou délky doby tisku.
- Konvenční modelování je nejnákladnější oproti všem zkoumaným 3D technologiím.
- SLA, DLP technologie mají znatelně vyšší náklady než FDM/FFF technologie s přibližně polovičním časem tisku.
- Technologie 3D tisku je pro architektonické modelování výhodnější než konvenční metody.

Ze získaných dat této práce plyne velký potenciál využití technologie 3D tisku pro architektonické modely. Do budoucna by se technologie mohla rozšířit do více architektonických kanceláří, které by mohly své studie efektivně prezentovat na fyzických modelech.

## 7 Seznam použitých zdrojů

ABS, c2020. *MATERIALPRO 3D* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/abs/>

ADDITIVELY, c2019. Binder Jetting (BJ). In: *Additively* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting>

ALL3DP, [2019]. All 10 Types of 3D Printing Technology in 2019. In: *All3DP* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

ARCHITECTURAL MODEL MAKING: THE GUIDE, [2018]. In: *FIRST IN ARCHITECTURE* [online]. 25. 9. 2018 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.firstinarchitecture.co.uk/architectural-model-making-the-guide/>

BALSA – prkna, 2015. *Svíčky garant* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.sviccky.net/balsa-velmi-lehke-drevo-balsa-prkna-do-tl-10-mm-velikost-50-x-10-cm-tl-2-mm>

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to Material Jetting 3D Printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/>

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to metal 3D printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing>

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to SLA 3D Printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>

DUNN, Nick, 2014. *Architectural modelmaking*. 2nd ed. London: Laurence King Publishing. ISBN 9781780671727.

Paper and cardboard, 2014. DUNN, Nick. *Architectural modelmaking*. 2nd ed. London: Laurence King Publishing. ISBN 9781780671727.

Resin, clay and cast materials, 2014. DUNN, Nick. *Architectural modelmaking*. 2nd ed. London: Laurence King Publishing. ISBN 9781780671727.

Styrofoam, acrylic and plastics, 2014. DUNN, Nick. *Architectural modelmaking*. 2nd ed. London: Laurence King Publishing. ISBN 9781780671727.

Wood, 2014. DUNN, Nick. *Architectural modelmaking*. 2nd ed. London: Laurence King Publishing. ISBN 9781780671727.

ENCYKLOPEDIIE 3D TISKU: Stereolitografie, c2019. *3D-tisk.cz: vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Nová média, 26. 2. 2013 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>

GEG SUŠICE, [2016]. 3D Tiskárna. In: *GEG Sušice* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <http://gegsusice.blogspot.com/p/3d-tiskarna.html>

GIBSON, Ian, Thomas KVAN a Ling WAI MING, 2002. Rapid prototyping for architectural models. *Rapid Prototyping Journal*. **8**(2), 91-95. DOI: 10.1108/13552540210420961. ISSN 1355-2546. Dostupné také z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552540210420961/full/html>

GOLEM REKLAMA, 2019. Kapa-Line 203x305cm, tl.10mm. *Golem reklama* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://golemreklama.cz/sila-10mm/1956-kapa-line-203x305cm--tl-10mm.html>

How to Make An Impressive Architecture Model?: Your complete guide, c2012-2020. In: *Arch2o* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.arch2o.com/architecture-model-complete-guide/>

CHALUPA, Vojtěch, 2019. Balsa, překližka. *Architektonický model* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.architektonickymodel.cz/balsa-preklizka/>



CHALUPA, Vojtěch, 2019. Kartony, lepenky. *Architektonický model* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.architektonickymodel.cz/kartony-lepenky/>

CHALUPA, Vojtěch, 2019. Laserový plotr. *Architektonický model* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.architektonickymodel.cz/laserovy-plotr/>

CHALUPA, Vojtěch, 2019. Polystyreny. *Architektonický model* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.architektonickymodel.cz/polystyreny/>

CHALUPA, Vojtěch, 2019. Sendvičové desky. *Architektonický model* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.architektonickymodel.cz/sendvicove-desky/>

KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI, 2016. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

Industrial Materials and Methods, 2016. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

Plastics for 3D Printing, 2016. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

KOVÁČIK, Miroslav, c2018. Historie 3D tisku.... In: *3dfactory.cz: malá továrna na velké věci...* [online]. 27.10.2017 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://3dfactory.cz/2017/10/27/historie/>

ORLIBIT, 2018. OSB deska pero drážka 2500x675 mm tloušťka 18mm. *Orlibit* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://eshop.orlibit.cz/OSB-deska-pero-drazka-2500x675-mm-tloustka-18mm-d119.htm>

PEREIRA, Matheus, c2008-2020. The Best Materials for Architectural Models. In: *Arch Daily: the world's most visited architecture website* [online]. 22 Oct 2018 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/904379/best-materials-for-architectural-models>

PETCH, Michael, c2017. 100 3D PRINTING EXPERTS PREDICT THE FUTURE OF 3D PRINTING IN 2030. In: *3D Printing Industry* [online]. 23 January 2019 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/100-3d-printing-experts-predict-the-future-of-3d-printing-in-2030-167623/>

PINSHAPE, c2017. How Do 3D Printers Work?: The 4 3D Technologies You Should Know. In: *Pinshape* [online]. 30. 6. 2016 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://pinshape.com/blog/how-do-3d-printers-work-sla-fdm-sls/>

POLAR, [2016]. Industry review:: watch the polar 3D printer in action (video). In: *Polar3d* [online]. 20. 1. 2016 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <http://about.polar3d.com/blog/review-watch-polar-3d-video-work>

Proxxon THERMOCUT Hot Wire Cutter, c2020. In: *AXMINSTER: Tools & Machinery* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.axminster.co.uk/proxxon-thermocut-hot-wire-cutter-702058>

PRUDHVI, Reddy, c2014-2019. Digital Light Processing (DLP). In: *Think3D* [online]. 24. 8. 2016 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.think3d.in/digital-light-processing-dlp-3d-printing-service-india/>

REDAKCE SHW, c1998-2020. 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna? In: *Svět hardware: Konstrukce 3D tiskáren* [online]. 21.2.2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2>

REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET, 2017. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. Amsterdam: 3D Hubs. ISBN 978-9082748505.

ROHRINGER, Sean, 2019. 3D Printer Filament Guide – All You Need to Know in 2019. In: *All3DP* [online]. 12. 1. 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>

SHAM, Adrin, [2017]. TronXY X5S: In-Depth Review. In: *The drone files* [online]. 19. 11. 2017 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.thedronefiles.net/2017/11/19/tronxy-x5s-in-depth-review/>

SOLIDSCAPEINC, 2011. Solidscape 3D Printing Process. In: *YouTube* [online]. 21. 11. 2011 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=18&v=gM86qxW7vP8](https://www.youtube.com/watch?time_continue=18&v=gM86qxW7vP8)

Spojovací materiál na dřevo a tesařské spoje: Tesařské spoje, 2011. In: *VENKOVSKÝ DŮM* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.venkovskydum.cz/spojovaci-material-kovani-a-tesarske-spoje-drevostavby/>

STINSON, Liz, c2019. This 3D-printed steel bridge will be installed over an Amsterdam canal. In: *Curbed* [online]. 23 Oct 2018 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.curbed.com/2018/10/23/18013304/3d-printed-bridge-amsterdam-mx3d-joris-laarman>

STRÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH, 2019. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

WHITECLOUDS, c2019. Electron Beam Melting (EBM). In: *Whiteclouds* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://ss.whiteclouds.com/3dpedia-index/electron-beam-melting-ebm>

YEAP, Mika, 2019. The Future of 3D Printing: A Glimpse at the Next Generation. In: *All3DP* [online]. 1. 5. 2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/future-of-3d-printing-a-glimpse-at-next-generation-making/>

3DERS, c2011-2019. FLX.ARM:: Low-cost SCARA robotic arm for 3D printing, milling & dispensing, now on Kickstarter. In: *3ders: 3D printer and 3D printing news* [online]. 17

Sep 2014 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.3ders.org/articles/20140917-flx-arm-low-cost-scara-robotic-arm-for-3d-printing.html>

3D tlačiareň Anycubic Kossel Linear Plus, c2019. In: *XYZprint* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://xyzprint.eu/stavebnice-kit/23-3d-tlaciaren-anycubic-kossel-delta.html>