

Univerzita Hradec Králové  
Pedagogická fakulta

**Bakalářská práce**

Univerzita Hradec Králové  
Pedagogická fakulta  
Katedra technických předmětů

**Využití technologie 3D tisku ve výuce**  
Bakalářská práce

Autor: Jan Vopršal  
Studijní program: B7507 Specializace v pedagogice (Bc. učitelství)  
Studijní obor: Výtvarná tvorba se zaměřením na vzdělávání  
Základy techniky se zaměřením na vzdělávání  
Vedoucí práce: Ing. Roman Loskot, PhD.  
Oponent práce: Mgr. Štěpán Major, PhD.



## Zadání bakalářské práce

<b>Autor:</b>	<b>Jan Vopršal</b>
Studium:	P18P0343
Studijní program:	B7507 Specializace v pedagogice
Studijní obor:	Výtvarná tvorba se zaměřením na vzdělávání, Základy techniky se zaměřením na vzdělávání
<b>Název bakalářské práce:</b>	<b>Využití technologie 3D tisku ve výuce</b>
Název bakalářské práce AJ:	Using 3D print technology in school lessons

### **Cíl, metody, literatura, předpoklady:**

Bakalářská práce se zabývá současnými technologiemi 3D tisku. Pozornost je zaměřena především na technologii FDM a možnost jejího využití ve školní i mimoškolní výuce. Součástí práce je i návrh, jak postupovat při uplatnění 3D tisku ve školní výuce (od vytvoření modelu až po jeho fyzickou realizaci).

GERHARD, Karyn. 3D printing projects. New York, New York: DK Publishing, [2017]. ISBN 978-146-5464-767. HORVATH, Joan C. Mastering 3D printing. Berkeley, California: Apress, [2014]. Technology in action series. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. Začínáme s 3D tiskem. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-802-5148-761. Mastering 3d printing in the classroom, library, and lab. New York, NY: Springer Science Business Media, 2018. ISBN 978-148-4235-003. PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. Základy 3D tisku. [online]. Prusa Research s.r.o., c2014. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>

Garantující pracoviště: Katedra technických předmětů,  
Pedagogická fakulta

Vedoucí práce: Ing. Roman Loskot, Ph.D.

Oponent: Mgr. Štěpán Major, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 12.10.2018

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím všech uvedených pramenů.

V Hradci Králové dne 24. 6. 2019

**Anotace:**

VOPRŠAL, Jan. *Využití technologie 3D tisku ve výuce*. Hradec Králové: Pedagogická fakulta Univerzity Hradec Králové, 2019. 65 s. Bakalářská práce.

Bakalářská práce se zabývá současnými technologiemi 3D tisku a principy vzniku modelů. Největší pozornost je zaměřena především na technologii FDM a možnost jejího využití ve školní i mimoškolní výuce. Technologie tisku pomocí metody FDM je popsána od výhod a nevýhod tisku, typologie a porovnání tiskáren a dostupnosti různých druhů materiálů pro realizaci tisku z hlediska jejich vlastností a cen. Součástí práce je i návrh, jak postupovat při uplatnění 3D tisku ve školní výuce od seznámení žáků s technologií 3D tisku, vytvoření modelu ve volně dostupném počítačovém programu, uložení souboru a přípravu dat pro odeslání do tiskárny až po fyzickou realizaci modelu. Práce je doplněna o jednoduché modely, které je možné vymodelovat více způsoby, jak je uvedeno v textu bakalářské práce.

Klíčová slova: 3D tisk, Rapid Prototyping, metody 3D tisku, výuka 3D tisku.

**Annotation:**

VOPRŠAL, Jan. *Using 3D print technology in school lessons*. Hradec Králové: Faculty of Education, University of Hradec Králové, 2019. 65 pp. Bachelor Degree Thesis.

Bachelor thesis deals with contemporary technologies of 3D printing. The greatest focus is on FDM technology method. Possibility to use is in school and out-of-school lessons. The FDM printing technology is described from the advantages and disadvantages of printing, typology and comparison of printers and the availability of various types of materials for printing in terms of their properties and prices. Part of the thesis is a proposal of the procedure in the application of 3D printing in school education from introducing pupils to 3D printing technology, creating a model in a freely available computer program, saving the file and preparing data for sending to the printer to physical realization of the model. The thesis is supplemented by easy models, which can be modeled in more ways, as is indicate in the text of the bachelor thesis.

Keywords: 3D print, Rapid Prototyping, methods of 3D print, teaching 3D printing.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že bakalářská práce je uložena v souladu s rektorským výnosem č. 13/2017 (Řád pro nakládání s bakalářskými, diplomovými, rigorózními, dizertačními a habilitačními pracemi UHK).

Datum: 24. 6. 2019

Podpis studenta:

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Romanu Loskotovi, PhD. za cenné rady, připomínky a odborné vedení v průběhu psaní této bakalářské práce.



# Obsah

Úvod.....	11
1 3D tisk .....	12
1.1 Historie 3D tisku .....	12
1.2 Princip 3D tisku.....	13
1.3 Tisk modelu na více částí.....	15
1.4 Typologie tiskáren.....	16
1.5 Porovnání cen tiskáren (podle technologie tisku) .....	16
2 Postup realizace modelu:.....	18
3 Základní pravidla pro tisk modelů.....	19
3.1 Orientace modelu .....	19
3.2 Tloušťka materiálu .....	19
3.3 Podpory pro model.....	20
3.4 Výplň.....	21
3.5 Ekonomika .....	21
4 Výhody a nevýhody 3D tisku pro technologii FDM.....	22
4.1 Výhody Rapid Prototyping (technologie FDM) .....	22
4.2 Nevýhody Rapid Prototyping (technologie FDM).....	22
5 Dělení technologií Rapid Prototyping .....	22
5.1 Podle velikosti pracovního prostoru.....	22
5.2 Dělení z hlediska výrobního postupu.....	22
5.3 Dělení z hlediska použitého materiálu modelu .....	23
5.4 Dělení z hlediska systému přidávání materiálu.....	23
5.5 Členění Rapid Prototyping podle způsobu tisku.....	23
6 Využití 3D tisku .....	24
7 Přehled nejrozšířenějších metod 3D tisku .....	25
7.1 Stereolitografie .....	25
7.2 Selective Laser Sintering.....	26
7.3 Laminated Object Manufacturing .....	28
7.4 Fused Deposition Modeling .....	29
7.4.1 Plasty pro 3D tisk technologií FDM.....	31
7.4.2 Rozdělení plastových strun.....	32
7.4.2.1 ABS struna .....	34
7.4.2.2 PLA struna .....	35
7.4.2.3 PET struna.....	35

7.4.2.4	Další druhy strun .....	36
7.4.3	Tisková centra .....	39
8	Didaktická část .....	40
8.1	Návrh vyučovací hodiny .....	45
9	Postup realizace modelu .....	47
9.1	Počítačové programy .....	47
9.2	Ukázka modelů .....	50
9.2.1	Model č. 1 .....	50
9.2.2	Model č. 2 .....	51
9.2.3	Model č. 3 .....	52
10	Postup pro zpracování před tiskem .....	53
10.1	Slicery .....	56
	Závěr .....	57
	Seznam použitých zkratk .....	58
	Citace a zdroje literatury .....	59
	Seznam obrázků a tabulek .....	64

## Úvod

Svou bakalářskou práci jsem zaměřil na téma 3D tisku. Výběr vhodného tématu, kterým jsem se chtěl zabývat, padl na oblast nových technologií. Tisk trojrozměrných objektů není nic novodobého, existuje už několik desítek let. V dnešní době se stává více dostupnější a s tím souvisí i hledání nových materiálů a způsobů tisku. Pod pojmem 3D tisk si většina z nás představí vrstvení modelu z nějakého materiálu. To je jen jedna z metod získání fyzického trojrozměrného modelu.

Technologie tisku trojrozměrných modelů mě oslovila už před několika lety. Až loňský akademický rok jsem měl možnost si vymodelovat a vytisknout vlastní model. Zkusil jsem pro začátek obtížnější model, který se zdařil. Dozvěděl jsem se zároveň mnoho dalších neznámých cenných informací, z nichž jsem vycházel u své bakalářské práce. Vzhledem k jednoduchosti a dostupnosti tisku je možné realizovat 3D tisk ve školní i mimoškolní výuce. Dnes je možné zakoupit tiskárnu i ve formě stovebnice. Zde je vyžadována zručnost při sestavování, neboť je nutné tiskárnu správně nastavit dle svých požadavků. Sestavení může být svým způsobem zajímavé, ale i náročné.

Svou bakalářskou práci jsem rozdělil na dílčí celky. První část práce se zabývá historií a principy technologie 3D tisku. Cílem je přiblížit význam a popsat způsoby vzniku modelů. Související částí jsou důležité body, které je nutné dodržet už při započetí vytváření modelu v některém z modelovacích programů. Tímto krokem se předchází neúspěchům. Další část práce jsem věnoval rozdělení a dostupnosti různých tiskových technologií. Existuje celá řada tiskáren, část technologií pracuje na podobných principech. Největší pozornost jsem věnoval technologii tisku z plastových strun. Je to také nejrozšířenější způsob tisku, lze se s ním setkat i ve školním prostředí. Základem je vytvoření jednoduchého modelu, který může při zájmu žáka vyústit v realizaci složitějšího prototypu. Zaměření je především na didaktiku výuky a návrhy pracovních listů pro žáky a učitele. Návrhům jednoduchých modelů se věnuji ve druhé části bakalářské práce.

# 1 3D tisk

Označení pojmem 3D tisk je v anglickém jazyce Rapid Prototyping, v překladu (Rapid) rychlý (Prototype) prototyp. Cílem technologie je vytvořit trojrozměrný fyzický model. Vznik trojrozměrného fyzického prototypu podle významu vzniká v kratším čase, než běžnými výrobními postupy (například třískovým obráběním). Použití technologie je v současné době na vzestupu. Výroba prototypu je relativně jednoduchá, zvládne ji téměř každý. Vznik rychlého prototypu je možné realizovat několika tiskovými způsoby. V dnešní době se hovoří hlavně o technologii, kde výrobek vzniká přidáváním plastového materiálu do vrstev, jež postupně tuhnou. Pojmem 3D tisk označujeme proces vzniku trojrozměrného objektu.

## 1.1 Historie 3D tisku

Termín a technologie 3D tisku existuje mnoho let. V posledních letech dochází k jejímu velkému rozvoji díky novým materiálům a technologiím. Princip 3D tisku je založen na přidávání materiálu. Nejrozšířenější metoda nabízí plastový materiál, který se zahřátím rozteče a je umístěn do požadovaného místa, kam je nanášen ve vrstvách. Zde postupně tuhne. Model vzniká nanášením vrstev odspoda, první vrstva je vždy dole. Poslední vrstva je nanášena nahoru. Model vzniká postupným stavěním vrstev, vždy v celé ploše. Z tohoto principu se lze inspirovat od druhé poloviny dvacátého století. Grafika a princip tisku z výšky lze do jisté míry porovnat s 3D tiskem. Klasický tisk z výšky, například linoryt, papírořez, dřevořez, nebo dřevoryt je metoda tisku z výšky, kde se materiál ubírá. Chybějící materiál nevytvoří na papíře žádnou stopu. Barvu naopak zanechá plocha, která v materiálu zůstala. U vícebarevných tisků se postupuje od jedné barvy, následně se odryje další část a zopakuje se tisk. Na papíře nad sebou vzniká vrstva barev, jako u 3D tisku. Objevování nových možností se přesunulo k tisku z plochy, který je pojmenován stereolitografie, zkráceně SLA. Zde je základem kovová destička, na kterou je nanášena pryskyřice. Opět jsou zde rozdílné výšky ploch. Vše je založeno na UV záření a vytvrzování. Nanesená pryskyřice reaguje na ultrafialové světlo a dojde k jejímu vytvrzení. Vytvrzení trvá několik sekund a materiál musí být přidáván rovnoměrně do vrstev. V oblasti grafiky se používala stereolitografie pro tvorbu tiskové desky. Vrstva tvořila jednu barvu, vše se vytisklo a další přidávaný materiál nesl další barvu při tisku. Princip byl založen na přidávání materiálu do vrstev, které byly silné jen několik desetin milimetru a barva byla nanášena na tiskovou formu pomocí válců. Z této technologie se vyvinul dnešní 3D tisk.

Ze základní myšlenky stereolitografie, kde pomocí nanášení malých vrstev vznikal model, vznikl dnešní 3D tisk. Původní označení Rapid Prototyping znamenalo rychlý prototyp. Později se pojem změnil na 3D tisk. Hlavní změnou bylo použití materiálu, který umožňoval přidávání ve větších vrstvách. Během devadesátých let dvacátého století přišla na světový trh řada firem, která chtěla technologii zdokonalit. Vznikly předchůdci dnešních tiskáren. Z materiálů se začalo experimentovat s práškem, který se za tepla vytvrdí, nebo s taveninou. Všechny tyto jmenované způsoby pracovaly s materiálem, který se umísťoval do plochy, kde došlo k jeho vytvrzení a tím i definitivnímu umístění.<sup>1</sup>

V průběhu dvacátého prvního století došlo ke zvýšení masové výroby a s tím souvisí menší životnost některých výrobků. Hlavním dominantním materiálem se stal plast. Od pevných, které mohou v průběhu teplot měknout a tuhnut po materiály, u kterých dochází pomocí ohřevu k jejich vytvrzení. Z plastových materiálů mohou zmínit i různě umělé povlaky, například teflon, nebo silikony a lepidla na bázi plastů. Při vytlačování materiálu ze zásobníku (tuby nebo obalu) do vrstev lze hovořit o 3D tisku.

Ve vývoji se během posledních dvaceti let nic zásadního nestalo. Technologie zůstala stejná, jen se díky dostupnosti plastových materiálů a masové výroby dílů tiskáren stává postupně cenově nenáročnou. Celý princip tisku je dnes založen na plastové struně, která za tepla měkne a chladem se vytvrzuje. Stroj tvoří nejčastěji zásobník materiálu, který je pomocí trysky nanášen na předem definované místo na pracovní ploše do vrstev. Vznik modelu je podmíněn definováním směru pohybu trysky, která nanáší materiál. Řízení stroje je prováděno automaticky, manuálně můžeme zajistit jen některé omezené pohyby, například posunutí tiskové hlavy od výrobku po dotištění poslední vrstvy. Dostupnost počítačů a počítačových programů nabízí možnost vytvořit model, který se přeformátuje do tiskových dat. Tiskárna pomocí dat už sama vytiskne trojrozměrný model.

## 1.2 Princip 3D tisku

Princip 3D tisku je poměrně jednoduchý. Mnoho výrobců dnes nabízí tiskárnu k zakoupení za velmi přívětivou cenu. Dopomohl k tomu technický rozvoj. Pro přiblížení celé situace, mluvíme o cenách od tisíců po miliony korun (v našem prostředí). Podrobnějšímu rozdělení se věnuji v kapitole 1.5. Dostupnost souvisí i s plánovaným

---

<sup>1</sup> Wikipedie: *3D tisk* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/3D\\_tisk](https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk)

použitím tiskárny, kde firma zabývající se výrobou a tiskem bude investovat do stroje, který vydrží více a déle. Hraje zde roli dostupnost a také velký výběr od řady výrobců. Zde přišla změna mezi lety 2009 a 2012, kdy se dostaly 3D tiskárny technologie FDM do běžného prodeje. Tiskárnu lze zakoupit od připraveného stroje k tisku, tedy již sestavenou, kalibrovanou a otestovanou. Druhou možností je zakoupení stavebnice tiskárny (anglicky pojmenována jako sada – „kit“), která je zpravidla o několik tisíc (Kč) levnější. Zde je nutné počítat s časem na sestavení stavebnice tiskárny, kde se nejedná jen o spojení jednotlivých součástí, ale i její první oživení a následné seřízení. Pořízení tiskárny je věc jedna, druhou věcí je umět porozumět programům, ve kterých si musíme vytvořit model k tisku.

Pro všechny metody tisku jde o podobný postup. Na počátku technologického postupu je podmínkou ujasnit si, co je cílem (aby vzniklo) - nejlépe konkrétní model s rozměry. Dnes existuje celá řada různých programů, v nichž je možné vytvořit objekt, který budeme tisknout. Dostupnost programů je omezena, existují programy volně ke stažení, nebo k zakoupení s licenci. Můžeme pracovat s grafickými programy, například Corel Draw. Zde je omezení na osy x a y, lze zde vytvořit například nápis. Druhou skupinu tvoří programy, kde se musí objekt vymodelovat s přesnými rozměry. Program, který je volně ke stažení je Google SketchUp, z dalších, které lze získat ke stažení po registraci, nebo zakoupením licence je například program Autodesk Inventor. Oba programy umožňují vymodelovat požadovaný objekt. Počítačovým programům se věnuji v samostatné kapitole. Pro vznik modelu stačí vědět, jak má model vypadat a vytvořit si jej sám, nebo zajistit vytvoření tiskových dat (modelace u firmy). Další způsoby vzniku dat nabízí stažení hotového modelu nebo 3D skener. U 3D skeneru si lze objekt naskenovat a vytisknout znovu. Technologie 3D skenování pracuje samostatně. Pracovník jen umístí model do skeneru a spustí stroj. Vznikne soubor s G-kódem a zároveň i prostorový model v počítačovém programu pro další zpracování. Výsledkem se stává model ve formátu souboru STL (naskenovaný i vymodelovaný). Alternativou pro skenování je vyfotografování objektu a za pomoci „fotogrammetrie“ vzniknou tisková data. Principem je snímání pomocí obrazu (fotky), k němuž je nutné mít potřebnou aplikaci. Pro celý proces je možné využít chytrý telefon nebo tablet a vše v něm vytvořit. Vznik souboru s příponou „.stl“ je důležitý. Aplikace umožňující převod souboru obsahuje i další funkce. Nazývána je pojmem „nářezový program“, anglicky slicer. Slovo slicer znamená v překladu plátek, doslova plátkování nebo krájení. Slicer rozdělí model do

vrstev, ke každé vrstvě (plátku) vygeneruje G-kód, který řídí pohyb tiskové hlavy. Důležitý je převod modelu do tiskových dat, která umí tiskárna přijmout. Po převodu je dobré spustit simulaci, jejíž cílem je zkontrolovat, zda je vše podle našich představ a odstranit nedostatky. Některé modely nemají plochou základnu, nebo jsou složité pro umístění na pracovní plochu, a proto je tu simulace. Program vygeneruje podpory pro model. Podpora je ve smyslu dalšího materiálu, jehož hlavním požadavkem je udržet stavbu modelu ve vrstvách, aby nedošlo ke zborcení modelu. Podpory se po zchlazení modelu odstraňují. Doba tisku trvá několik minut i hodin v závislosti na složitosti modelu. Je dobré i zmínit občasnou kontrolu tisku (alespoň vizuální), zda probíhá vše podle plánů a včas předejít problémům. Tisk probíhá samostatně bez zásahu obsluhy. Výsledný model se po tisku kontroluje, odstraňují se podpory, případně dochází k povrchové úpravě.

Pro 3D tisk platí, že technologie nabízí výrobu modelu, který se obtížně vyrábí. Lze vytisknout objekt, který je obtížný na výrobu běžným třískovým obráběním, nebo nejde vůbec vyrobit. Dochází k úspoře času a šetření nákladů na zaměstnance. Využití tisku je výhodné ke kusové výrobě. Masová výroba je možná, ale je nutné počítat s dlouhou dobou tisku. U masové výroby se tisk hodí k vytvoření prototypu, jeho odzkoušení a případně i pro výrobu jeho formy.

### 1.3 Tisk modelu na více částí

Tiskový prostor u daného typu tiskárny ovlivňuje rozměr modelu. U malých modelů to není problém, ale v případech větších modelů se s tím musí dopředu počítat. Limity tiskárny je možné vyřešit rozdělením nebo otočením modelu. Další možností je výběr vhodné tiskárny, která umožňuje splnit náš požadavek a je po všech stránkách dostupná. Nejčastější možností je rozdělení modelu na několik součástí. Každá součást se tiskne samostatně a po zchlazení se spojí se zbývajícími částmi výrobku. Spojení lze provádět několika způsoby – od rozebíratelných po nerozebíratelné. Mezi nerozebíratelné řadíme lepené spoje pomocí lepidel na plasty. Nerozebíratelný spoj může tvořit i nýt. Z rozebíratelných spojení uvádím spoje pomocí zámků a drážek, kde se součásti výrobku vzájemně spojí. Součásti se dají navzájem spojit pomocí vrutů. Zde uvádím limitující vlastnosti plastového materiálu, kde může dojít při spojování k destrukci výrobku (například spojení vruty). Doporučuji tato spojení provádět předvrtáním, nebo vymodelováním otvorů pro spojovací materiál (vruty, samořezné šrouby, ...). Při

vymýšlení jakéhokoliv spoje je vhodné akceptovat i stránku estetickou. Nevhodné použití spoje ubírá na estetické stránce modelu.

#### 1.4 Typologie tiskáren

Základní typologie tiskáren se dělí na dvě skupiny – otevřené a uzavřené. V obou případech se používá kartézský systém souřadnic, kde šířka a hloubka jsou osy x a y, výšku tvoří osa z. Z cenového hlediska se od sebe otevřené a uzavřené tiskárny navzájem odlišují. Při pořizování tiskárny všeobecně platí, k čemu bude určena. Do školního prostředí k tisku prototypů postačí uzavřená, s menším pracovním prostorem. Uzavřený typ tiskárny, kde jsou všechny její části chráněny pomocí krytů stroje před úrazem. Hlavní nevýhoda je, že nevidíme proces vzniku modelu. Mnohdy nemůžeme zasáhnout a podniknout opatření, která dopomohou vzniku modelu. Uzavřené prostory mají regulaci teploty, mohou se i přehřát a vyndání hotového modelu se stává obtížným úkolem. Otevřené tiskárny nabízejí možnost sledovat realizaci tvorby modelu. Díky konstrukci musíme myslet především na bezpečnost. Hrozí zejména popálení o vyhřívanou podložku, rozehrátý materiál a trysku tiskárny. Na straně druhé tiskárna nabízí možnost sledovat celý proces ze všech stran. Otevřená konstrukce nabízí i možnost vytvořit model, který zasahuje mimo tiskovou plochu. Do typologie otevřených tiskáren řadíme i typ tiskárny nazvaný delta. Jde o tiskárnu otevřené konstrukce umožňující tisk vysokých předmětů. Tento typ tiskárny má největší tiskový prostor v ose z.

#### 1.5 Porovnání cen tiskáren (podle technologie tisku)

V současné době existují čtyři níže uvedené metody tisku. Nejrozšířenější z nich je tisková metoda FDM. (Tab. 2) Při výběru tiskárny vycházíme z jejího určení a parametrů (co všechno potřebujeme, aby tiskárna dokázala). Ke dni 28. 4. 2019 uvádím následující údaje. Z hlediska ceny začínají tiskárny FDM kolem 6 000 Kč, horní hranice je poměrně vysoko. (Tab. 1) Opět uvádím možnost zakoupení tiskárny ve formě stavebnice, kde je cena nižší. Například Alza.cz má horní hranici kolem dvaceti tisíc korun. Při důkladnějším prostudování je cena úměrná řadě vylepšení a funkcí. <sup>2</sup>

Druhým náhodně vybraným prodejcem je firma Průša. Zde je portfolio firmy mnohem užší, FDM tiskárnu si můžeme zakoupit za 27 000 Kč nebo ve formě stavebnice za 20 000 Kč. Dle popisu jde o možnost tisku různými strunami a počet trysek je jedna.

---

<sup>2</sup> Alza.cz: 3D tiskárny [online]. ©2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/3d-tiskarny/18854773.htm#f&cst=0&cud=0&pg=1&prod=&sc=30>



Při barevném tisku je nutné filament měnit. Pro zajímavost, pracovní prostor je 21 x 21 x 25 centimetrů. <sup>3</sup>

Při porovnávání cen v oblasti technologií tisku firma Průša prodává tiskárny s technologií MSLA. Jedná se o tiskovou technologii stereolitografie, tedy fotopolymer. Tyto tiskárny jsou dražší, prodávají se kolem 40 000 Kč. <sup>4</sup>

Pro porovnání cen a dostupnosti modelu jsem využil stránky Zboží.cz. Podobně jako Heuréka se zde zobrazilo velké množství modelů a typů tiskáren. K dnešnímu dni – 28. 4. 2019 jsou ceny uvedené následovně – nejdostupnější jsou tiskárny technologie FDM, ceny začínají kolem 6 000 Kč. V závislosti na funkcích dosahují ceny přes 100 000 Kč. U této vysoké ceny udávám široké spektrum parametrů a funkcí. Druhým nejdostupnějším typem jsou tiskárny s technologií SLA. Tady začínají ceny kolem 40 000 Kč. <sup>5</sup>

Zbývající metody tisku jsou dnes ještě méně rozšířené. Tisk technologií LOM není moc rozšířený, dochází k velkému množství odpadu, který není využitelný. Tiskárnu nelze v tuzemských obchodech zakoupit. Také provozní náklady jsou vyšší než u FDM a SLA. Poslední rozšířený tisk je pomocí spékání prášku kovu. Je to jeden ze způsobů nejdražších tisků, ekonomicky a technologicky nejnáročnější. Tiskárny pro tisk SLS můžeme taktéž zakoupit, ale budou za mnohem vyšší ceny (ve stovkách tisíc).

Metoda tisku	Požizovací cena	Poznámky
FDM	Od 6 000 Kč	Nejlevnější, nejdostupnější
SLA (MSLA)	Od 40 000 Kč	Vysoká pořizovací cena
SLS	149 980 Kč <sup>6</sup>	Drahý filament

Tab. 1 Porovnání cen 3D tiskáren podle tiskových metod (k 28. 4. 2019)

3 Josef Průša: 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši [online]. ©2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/#our-printer>

4 Josef Průša: 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši [online]. ©2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/#our-printer>

5 Zboží.cz: 3D tiskárny [online]. © 1996–2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/pocitace/pocitacove-prislusenstvi/tiskarny-a-prislusenstvi/3d-tiskarny/>

6 3D tiskárny Stratasy: AKCE! 3D tiskárna uPrint SE Plus za 149.980 Kč [online]. ©2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.objet.cz/news/38/125/AKCE-3D-tiskarna-uPrint-SE-Plus-za-149-980-Kc>

E-shop	Cena FDM tiskárny	Poznámky
Alza	Od 6 000 Kč	Nejdostupnější, možnost výběru
Průša	27 000 Kč	Malý výběr
Průša	20 000 Kč	Stavebnice

Tab. 2 Porovnání prodejních cen FDM tiskáren (k 28. 4. 2019)

## 2 Postup realizace modelu:

1. vytvoření virtuálního modelu součásti (zhotovený v CADu, načtený prostorovým 3D skenerem, stažený z internetu, vymodelovaný firmou)
2. uložení, exportování nebo transformování modelu do tiskového souboru – soubor s příponou „.stl“ (3D objekt)
3. nastavení parametrů pro slicer
4. slicování – vygenerování G-kódu, uložení souboru (flashdisk, SD karta, Wi-fi)
5. simulace tisku v softwarovém programu (například Felix)
6. nahrání souboru do softwaru 3D tiskárny (flashdisk, SD karta, Wi-fi)
7. realizace tisku
8. kontrola tisku, odstranění podpor

Postup při realizaci modelu lze pojmenovat termíny preprocessing, processing a postprocessing. Již podle názvů určujeme, o jaké operace se jedná. Preprocessing zahrnuje proces od přípravy nápadu až po odeslání dat do tiskárny. Termín processing označuje tisk modelu, tedy proces vrstvení materiálu. Postprocessing znamená vyjmutí vytištěného modelu z tiskového prostoru a jeho další upravování.<sup>7</sup>

Mezi výhody 3D tisku patří zkoušení reálného nápadu, kde skutečný model umožňuje podrobnou prohlídku v reálném prostředí (silné a slabé stránky) a dále vylepšení v dalších úpravách před vznikem finálního výrobku. Tímto způsobem dochází k úspoře času a financí.

<sup>7</sup> MINAŘÍK, Miroslav. *Reprap, 3D FDM tiskárna*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=66623](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66623)

Při zavádění nových věcí se mnohdy přemýšlí nad několika stránkami nového produktu. Od praktického uplatnění, přes design po ergonomii produktu. Všechny tyto kroky lze řešit pomocí tisku prototypů. Reálný model je možné vyzkoušet a podrobit různým testům. Prostorový model v počítačovém programu nabízí možnost simulovat různé testy, kde se data ve výsledku nemusejí shodovat s reálnými poznatky. Simulaci jde vytvořit na cokoliv, ale důležitější stránkou výsledného produktu je jeho využití. 3D tisk nabízí vytvořit a vytisknout si trojrozměrný model a následně ho zhodnotit. Při cestě k hledání finálního řešení může vzniknout i řada modelů, každý z nich může být pozměněný.

### 3 Základní pravidla pro tisk modelů

Při vytváření modelu v počítačovém programu musíme zohlednit několik faktorů. Cílem je předejít chybám, nebo dalším zdržením při tvorbě tiskových dat. Každá tiskárna má své technické parametry, které omezují výsledný model. Tyto faktory ovlivňují většinu používaných metod 3D tisku.

#### 3.1 Orientace modelu

Kreslení v počítačovém programu nám přináší i pohled na model. Většina programů nabízí začít kreslit vždy ve středu souřadného systému. Pro nás je důležité si zvolit nulový bod, který bude počátkem našeho modelu. V lepším případě budeme znát jeho přesnou polohu na ploše tiskárny. Předejdeme tím dalším přesunům a úpravám modelů v počítačových programech. Omezený počet úprav před tiskem je možné provést ještě ve sliceru, jehož výstupem je taktéž STL soubor.<sup>8</sup>

#### 3.2 Tloušťka materiálu

Počítačové programy nabízejí možnost kreslit jen v plochách, které nemají žádnou tloušťku stěn. Tiskárna nezvládne vytisknout stěnu modelu s nulovou hodnotou. Podle typu tiskárny a používanému materiálu bychom měli vycházet při navrhování modelu a zvolit si takovou tloušťku stěny, kterou nám dokáže tiskárna vytisknout. Problematikou jsou i sdílené stěny objektů.<sup>9</sup> Materiál má určité vlastnosti a s tím je nutné počítat. Příliš slabá spojení budou velmi křehká. Stěny modelu tvoří základy výsledného objektu.

---

<sup>8</sup> Futur3D: *Základní pravidla 3d modelování pro 3d tisk* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/zakladni-pravidla-3d-modelovani-pro-3d-tisk>

<sup>9</sup> Futur3D: *Základní pravidla 3d modelování pro 3d tisk* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/zakladni-pravidla-3d-modelovani-pro-3d-tisk>

Ideální jsou stěny beze sklonu a stěny, které se postupně zmenšují ve směru nahoru. Problém nastává ve chvíli, kdy je stěna pod určitým sklonem. Pomalu zužující se stěna nevádí, naopak stěna například se sklonem třiceti stupňů vytisknout půjde, ale může dojít k toku plastu a zborcení tisknutého modelu. Obecně to platí hlavně pro tisk bez podpor. Materiál bude ve všech případech potřebovat čas, aby se vytvrdil a vytvořil svou konečnou podobu. Nejrozšířenější plastová struna je rozehrátá a při velkém sklonu může docházet k toku materiálu. Cílem je předejít výše uvedeným situacím. S vytvořeným modelem v počítačovém programu se dá dále pracovat. Někdy se vyplatí tištěný model otočit, například obráceně. Předejde se toku plastu, ušetří se náklady za spotřebu materiálu potřebného pro podpory.

### 3.3 Podpory pro model

Po tisk jsou vhodné určité tvary modelu. Pokud dochází k tisku složitějších předmětů, musíme od počátku přemýšlet, jestli je možné vůbec model zhotovit. Například válcová tělesa budou mít tvar kruhu, když budou vznikat po vrstvách odspoda nahoru. Tisk válce, který je postaven na ploše pláště nebývá na pohled kruhový. Stejný princip je u šikmých stěn, kde budou taktéž vidět odskoky tiskového materiálu. Složitější modely jde vytisknout za pomoci podpor modelu. Jejich vygenerování provádí slicer. Nejčastější použití podpor je především pro šikmé stěny od úhlu čtyřiceti pěti stupňů,<sup>10</sup> kruhové tvary a příliš tenká místa. Podpory obecně představují pomoc při tisku, aby mohl vzniknout model, který jsme si navrhli. Podpory slouží především pro tisk, po zchladnutí výrobku se odstraňují. Podle možností tiskárny mohou být tištěny jinou barvou, nebo dokonce z jiného materiálu. Odstranění se u běžné plastové struny provádí mechanickou cestou. Nejčastěji se plast řeže zalamovacím nožikem a pak se brousí. Nevýhodou je vznik stopy na materiálu. Při navrhování modelu může dojít k případu, že podpora se stane nepřístupnou pro její odstranění. Další možností, jak lze odstranit podpory z modelu je chemická cesta. Pomocí technologických vlastností materiálů může být jeden z materiálů odolnější vůči chemickým látkám. Druhý materiál je méně odolný a za pomoci chemie se dá odstranit. Výsledkem je čistý model bez podpor.

---

10 Futur3D: Základní pravidla 3d modelování pro 3d tisk [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/zakladni-pravidla-3d-modelovani-pro-3d-tisk>

### 3.4 Výplň

Každý model, který vznikne vytištěním v 3D tiskárně musí mít výplň. Podle výše uvedených údajů musí mít stěna definovanou určitou tloušťku. Jestliže stěna bude tlustší, slicer nám při generování tiskových dat obvykle nabídne, jakou má vytvořit výplň. Tisknutý model se nikdy nevyrábí jako plný. Výjimku tvoří model, jehož vnitřní prostor má slabé stěny. Pro představu jím může být krabice, která má tvar krychle bez horní plochy. Má to několik důvodů. Prvním je cena, která je při tisku plného modelu mnohonásobně vyšší. Dalším je doba tisku a jeho výsledná hmotnost. Slicer vždy nabízí možnost volby výplně modelu. Vše je jen o ekonomice a spotřebě materiálu. Výplň modelu má základní tvar. Tiskárna vytváří obrys stěn a na zbývající prostor vytváří nejčastěji mřížku. Každá vrstva je pod jiným úhlem, nebo je posunuta. Materiál se lepí na sebe, je lehký a nedochází k destrukci modelu. Z finální podoby nepoznáme, jakou má materiál vnitřní strukturu, neboť viditelné vnější plochy tvoří pevná skořepina.

### 3.5 Ekonomika

Dalším kritériem pro tisk modelů je ekonomické pravidlo. Zákazníka a provozovatele tiskárny bude nejvíce zajímat cena modelu a provozu tiskárny. Obecně se započítává spotřeba materiálu potřebná pro vznik modelu. Dále se počítá s cenou provozu tiskárny, jestli model vznikne za několik minut, nebo bude probíhat tisk několik hodin. V případě firmy to může být i odhad na práci zaměstnance, který bude zajišťovat obsluhu tiskárny a nachystá model k expedici. Započítat můžeme i čas potřebný na odstranění podpor. Při zadávání tisku je prvním kritériem, jestli dokáže tiskárna vytisknout model požadovaných rozměrů. Vzhledem k výpočtu ceny modelu se vyplatí zapřemýšlet i nad velikostí požadovaného modelu. Například pro předměty sloužící k prezentaci firmy může mít produkt menší velikost s cílem ušetřit náklady na model. S velikostí modelu souvisí i jeho rozdělení na více částí pro tisk a spojení pomocí rozebíratelných nebo nerozebíratelných spojení.

Ekonomický faktor hraje svou roli v každodenním životě. Dnes se můžeme setkat s několika metodami 3D tisku. Nejznámější a nejrozšířenější je tisk z plastu do vrstev. Dalšími metodami je vytvrzování fólií, nebo tavení materiálů. Všechny metody mají své klady a zápory. Při výběru druhu tiskové technologie musíme brát v zřetel její možnosti a limity. Každá technologie se hodí k něčemu jinému, výběr musí být pečlivý.

## 4 Výhody a nevýhody 3D tisku pro technologii FDM

### 4.1 Výhody Rapid Prototyping (technologie FDM)

- součásti mohou mít téměř jakoukoliv geometrii
- výroba je převážně automatická
- výroba je levná (dostupnost plastů)
- doba tisku závisí na složitosti modelu
- aditivní přístup výroby (minimální odpad)
- podpora počítačových programů (modely)
- simulace podoby modelu (vidíme, co vznikne)
- snadná úprava parametrů modelu

### 4.2 Nevýhody Rapid Prototyping (technologie FDM)

- vlivem vrstvení tisku není povrch součásti hladký
- nevhodný pro masovou výrobu
- omezenost množství materiálů (barvy, technologické postupy)
- omezení pro tisk šikmých stěn (pozice)
- odstranění podpor
- tiskárna má uzavřený prostor (jen některé typy)
- ekologie při používání materiálů

## 5 Dělení technologií Rapid Prototyping

### 5.1 Podle velikosti pracovního prostoru

- malé – používají se při výrobě menších dílů v kancelářském prostředí
- střední – mají větší výběr materiálů než předcházející malé tiskárny, používají se pro výrobu větších součástí, nástrojů a forem
- velké – extrémní rozměry, tisk velkých předmětů, například venkovní experimentální tisk domů

### 5.2 Dělení z hlediska výrobního postupu

- přidávání hladin při použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- přidávání hladin bez použití laseru s vytvrzováním bod po bodu
- přidávání hladin zdola při použití laseru
- přidávání hladin bez použití laseru

### 5.3 Dělení z hlediska použitého materiálu modelu

- tekuté materiály (Liquid-Based) – vytvrzování vrstev tekutého nebo fotocitlivého polymeru UV laserem nebo lampou
- práškové materiály (Powder-Based) – selektivní laserové slinování, tryskové spojování, tryskové tištění
- tuhé (pevné) materiály (Solid-Based) - nanášení vlákna z termoplastu, polymerní materiály (tavení polymerů), papírové materiály (systém vrstvení papíru), plastová fólie (vrstvení plastu)

### 5.4 Dělení z hlediska systému přidávání materiálu

- po vrstvách
- po kapkách

### 5.5 Členění Rapid Prototyping podle způsobu tisku

V průběhu vývoje se prosadilo několik technologií. Pracují na principu postupného přidávání nebo vytvrzování vrstev materiálu. Mezi tyto technologie, které jsou souhrnně označovány termínem Rapid Prototyping patří: <sup>11, 12, 13, 14, 15</sup>

- Stereo Lithography (SLA) - vytvrzování vrstev tekutého polymeru
- Selective Laser Sintering (SLS) - spékání práškového materiálu pomocí laseru
- Selective Laser Melting (SLM) – nanášení a spékání prášku laserem (obdobu SLS)
- Selective Heat sintering (SHS) – spékání prášku topným tělesem
- Laminated Object Manufacture (LM, LOM) - vrstvení lepidivého materiálu
- Solid Ground Curing (SGC) - vytvrzování fotocitlivého polymeru
- Fused Deposition Modeling (FDM, také FFF) - nanášení vlákna z termoplastu
- Model Maker 3D Plotting - nástřik kapek termoplastu pomocí dvou hlav
- Ballistic Particle Manufacturing – nástřik kapek termoplastu pomocí jedné hlavy

---

11 Josef Průša: *O 3D tisku* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>

12 14220.cz: *3D tisk-metody* [online]. 01.05.2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

13 Pk model.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2006 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>

14 IT network.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>

15 Dk metal prominent s. r. o.: *Přehled technologií 3D tisku* [online]. ©2012-2017 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>

- Multi-Jet Modelling – tisk termoplastem pomocí dvou hlav, hlavní a podpůrný materiál
- Direct metal laser sintering (DMLS) – sinterování kovového prášku
- Binder Jetting (BJ) – vytvrzování prášku pomocí pojiva
- Solidscape – tisk modelů z vosky
- PolyJet – nanášení více druhů materiálů, vytvrzování UV zářením
- ProJet – tisk křehkých plnobarevných modelů z prášku
- Mcor – tisk křehkých plnobarevných modelů z papíru

Jako materiál pro tisk modelu se používají především různé druhy plastů (ABS plast, pryskyřice, práškové plasty, laminát, fólie a další materiály), vosky, papír a práškové materiály kovového charakteru. Novinkou jsou i tiskárny, z jejichž tiskových hlav je vytlačován beton, nebo jiné nově vyvinuté materiály. Většina vzniklých modelů se dále ještě upravuje a zpracovává.

## 6 Využití 3D tisku <sup>16</sup>

Možnost využití technologie 3D tisku je v následujících odvětvích:

- strojírenství – oblast těžkého i lehkého strojírenství – lodě, automobily, letadla, kovové součásti, formy pro výrobu, voskové modely
- stavebnictví (architektura) – betonové směsi, domy, části budov, sochy
- archeologie – kopie artefaktů, chybějících částí
- elektrotechnika (plošné spoje, funkční součásti, izolační prvky)
- design – výtvarná díla, šperky, návrhy věcí
- umělecká výroba – výroba replik cenných uměleckých předmětů
- módní průmysl – obuv, doplňky
- lékařství a medicína
  - kardiologie – prostorové modely srdce
  - zubní lékařství – výroba otisků zubů a forem
  - ortopedie – modely kostí
  - plastická chirurgie – zobrazení možných náhrad
  - chirurgie – protézy končetin

---

16 IT network.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>

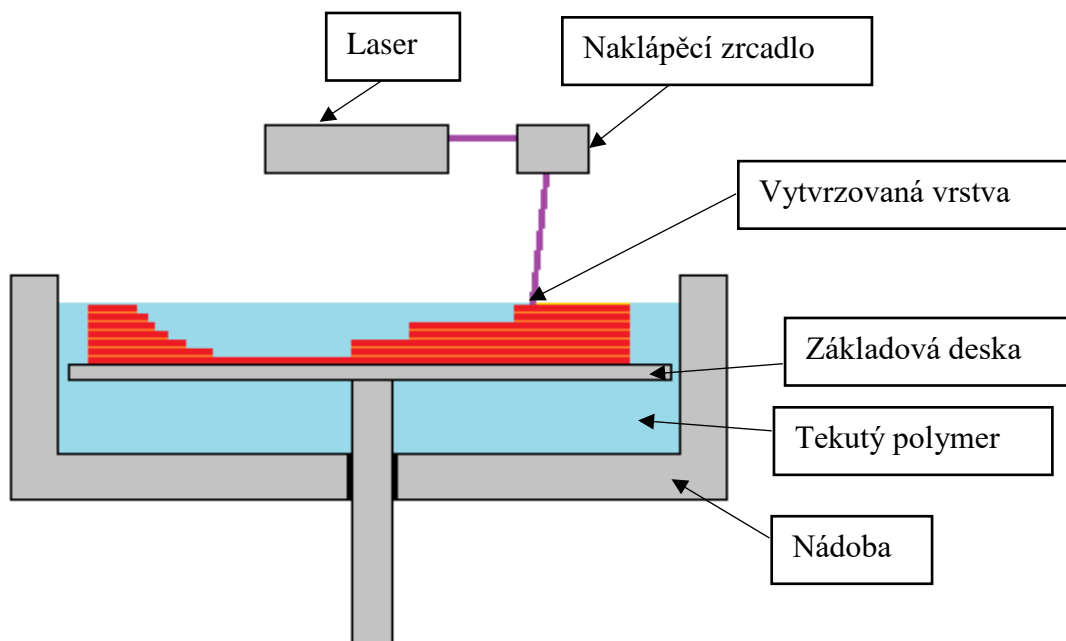


- sportovní lékařství – kolenní výztuhy
- školství – vytváření učebních pomůcek a modelů
- potravinářský průmysl – přesný tisk zdobených předmětů
- spotřební průmysl
- robotika – kryty funkčních částí strojů
- předměty pro slabozraké

## 7 Přehled nejrozšířenějších metod 3D tisku

### 7.1 Stereolitografie

Stereolitografie je jednou z nejrozšířenějších metod tisku. Principem tisku je vytvrzování vrstev tekutého polymeru. (Obr. 1)



Obr. 1 Princip stereolitografie

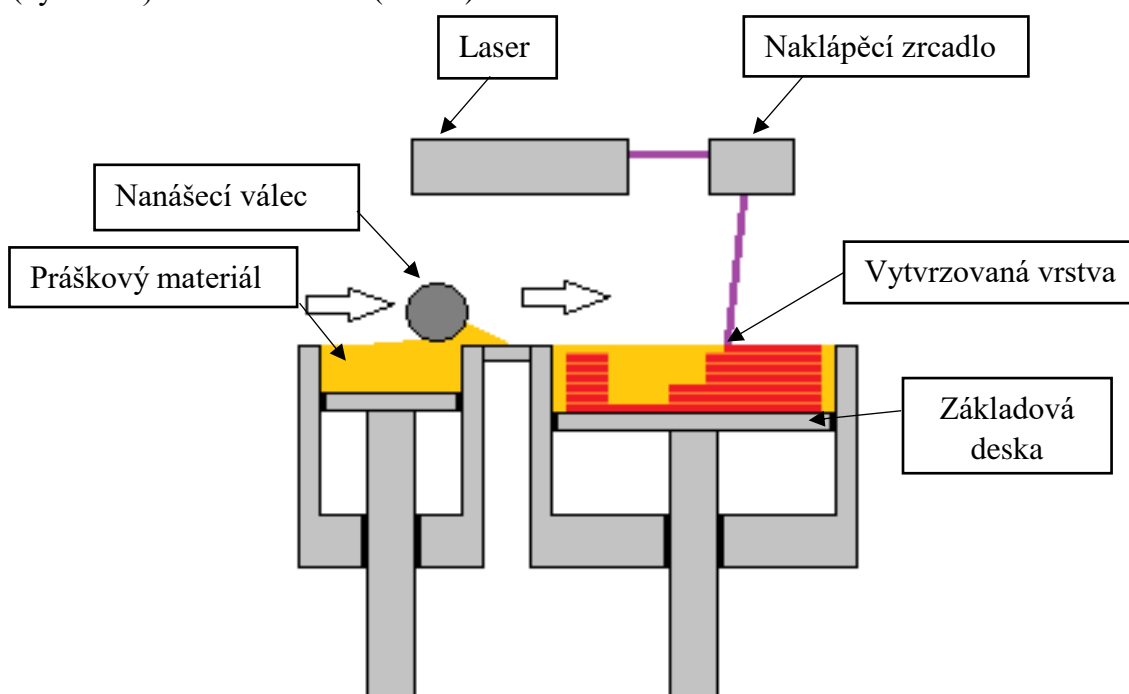
Prostor tiskárny tvoří nádoba pro tekutý polymer (fotopolymer), nejčastěji roztok epoxidové nebo akrylátové pryskyřice. Všeobecným znakem materiálu je citlivost na světlo. Ve spodní části nádoby se nachází základová deska. Princip tisku je založen na vytvrzování vrstev za pomoci laseru. Udávaná výška vrstvy je 0,05 až 0,2 milimetru. Zpočátku je základová deska těsně pod hladinou, kde dojde paprskem k vytvrzení materiálu – základové vrstvy, podpory, ... Vytvrzení probíhá ultrafialovým paprskem laseru, který je směřován na místo za pomoci naklápěcího zrcadla. Tekutý fotopolymer je citlivý na světlo, po osvitu dojde k chemické reakci a polymer se v daném místě vytvrdí, čímž vznikne pevný materiál. Další kroky zahrnují tisk dalších vrstev. Po

vytvrzení každé vrstvy dojde k ponoření základové desky s tisknutým objektem hlouběji do nádoby, zpravidla vždy o výšku vrstvy. Po dokončení tisku se výsledný model vyjme ze základové desky (oddělí se od podložky) a je nutné provést jeho oplach a případně i sušení nebo odstranění tekutého polymeru z vnitřních prostor modelu.<sup>17</sup>

Výše popsáný způsob tisku má své výhody i nevýhody. Nevýhodami jsou křehkost, citlivost na teplo, citlivost na vlhkost a chemikálie. Problémem jsou taktéž uzavřené dutiny modelu neumožňující odtok tekutého materiálu. Mezi výhody patří vysoká přesnost tisku a hladký povrch. Díky hladkému povrchu lze model následně povrchově upravovat, například lakovat nebo pokovovat. Tisk slouží pro vizuální kontrolu navrhované součásti, při tvorbě funkčních sestav, prezentačních modelů s detaily a hladkým povrchem a pro výrobu forem.

## 7.2 Selective Laser Sintering

Technologie v českém překladu znamená selektivní laserové slinování (spékání). Velmi podobnou metodou je stereolitografie. Zde je rozdílem materiál, místo tekutého polymeru práškový materiál. Měřítkem je velikost zrna – zrnitost, udává se v mikrometrech. Principem tisku je nanášení prášku do vrstev a následné slinování (vytvrzení) účinkem laseru. (Obr. 2)



Obr. 2 Princip technologie SLS

17 14220.cz: 3D tisk-metody [online]. 01.05.2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

Tiskárnu tvoří prostor, v němž se nachází základová deska. Tisk jedné vrstvy je rozdělen do několika dílčích operací. Na základovou desku je nanesen prášek. Materiálem mohou být práškové termoplasty (působením tepla se spojí, působením chladu tuhnou), nylon, sklo, keramika a kovy (nástrojová a nerezová ocel, bronz, titanové slitiny, kobalt-chrom-molybdenové slitiny). Vzhledem k použitým materiálům a jejich fyzikálním vlastnostem dochází k rozdílným teplotám při vytvrzování. Rozdíly jsou především při použití plastových materiálů (mají nižší teplotu vytvrzení) a kovů (stovky stupňů celsia pro „spečení“ materiálu dohromady jako celek). Z ekonomického hlediska je dalším možným rozdělením tiskáren použitý materiál – čistý kov nebo kov smíchaný s nízkotavitelným kovem. Základní rozdíl mezi těmito dvěma způsoby tvoří výsledný model. Při použití čistého kovu je materiál více porézní. Při použití druhého způsobu dochází k roztavení nízkotavitelných zrn kovů a obalení zrn čistého kovu. Výsledkem je lepší spojení materiálu a menší drsnost a pórovitost povrchu.<sup>18</sup>

Tiskárna je rozdělena na dva pracovní prostory. Jeden pracovní prostor tvoří základová deska, na kterou je nanášen práškový materiál. Druhý prostor tvoří zásobník prášku. Zde dochází pomocí nanášecího válce k přesunu prášku ze zásobníku na základovou desku. Dochází k válcování vrstvy a zažehlení (natavení). Nanesený prášek je v prostoru základové desky slinut laserem. Princip je podobný jako u stereolitografie. Laser je směřován na konkrétní místo zrcadlem. Nanesená vrstva se sline v místech stěn modelu, okolní prášek zůstane nevytvrzen (neslinut) a používá se při tisku dalších modelů. Další krok zahrnuje pohyb základové desky níže, o výšku vrstvy. Princip se znovu opakuje – dochází k nanesení prášku a jeho slinutí.<sup>19</sup>

Technologie selektivního laserového slinování zaručuje tisk modelů bez podpor. Pokud je potřebné podporu využít, poslouží nevytvrzený práškový materiál. Význam technologie je především v použitém materiálu, zvláště kovu. Nabízí nejpevnější modely. Výhodou těchto tiskáren je mechanická a tepelná odolnost. Nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady, drsný povrch a vznik toxických látek při slinování (vysoké teploty).

---

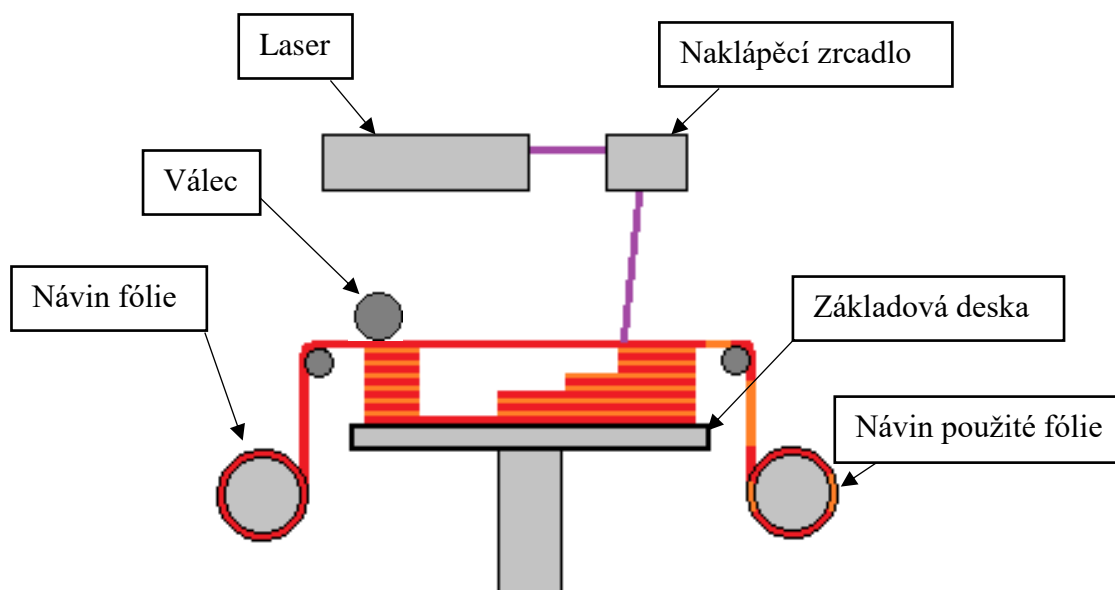
18 14220.cz: 3D tisk-metody [online]. 01.05.2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

19 14220.cz: 3D tisk-metody [online]. 01.05.2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

Tiskárny se používají především pro tvorbu prototypů nástrojů, funkčních vzorků a forem.<sup>20</sup>

### 7.3 Laminated Object Manufacturing

Principem je vrstvení tenkých fólií. Tiskárna má základní pracovní desku, na kterou jsou přidávány další vrstvy, zažehlovány a ořezávány. (Obr. 3) Tiskárnu tvoří pracovní prostor – základová deska, na níž je položena tenká fólie. Materiálem je nejčastěji tabulová fólie papíru, nylonu nebo polyesteru. Nejčastěji je odvíjena ze svitku. Fólie je umístěna na základovou desku do celé pracovní plochy, vyhříváním válcem zalisována a pomocí pohyblivého zrcadla směřujícího laser je oříznuta kontura modelu do požadovaného tvaru. Přebytečný materiál je možné ihned odebrat, nebo ho ponechat na místě až do dokončení modelu. Při tvorbě další vrstvy se základová deska posune směrem dolů, na ni se umístí fólie, jejíž spodní plocha je opatřena lepidlem. Fólie se nalepí na předchozí vrstvu, zalisuje se a laserem opět ořízne do požadovaného tvaru. Výška vrstvy je dána tloušťkou fólie.



Obr.3 Technologie LOM

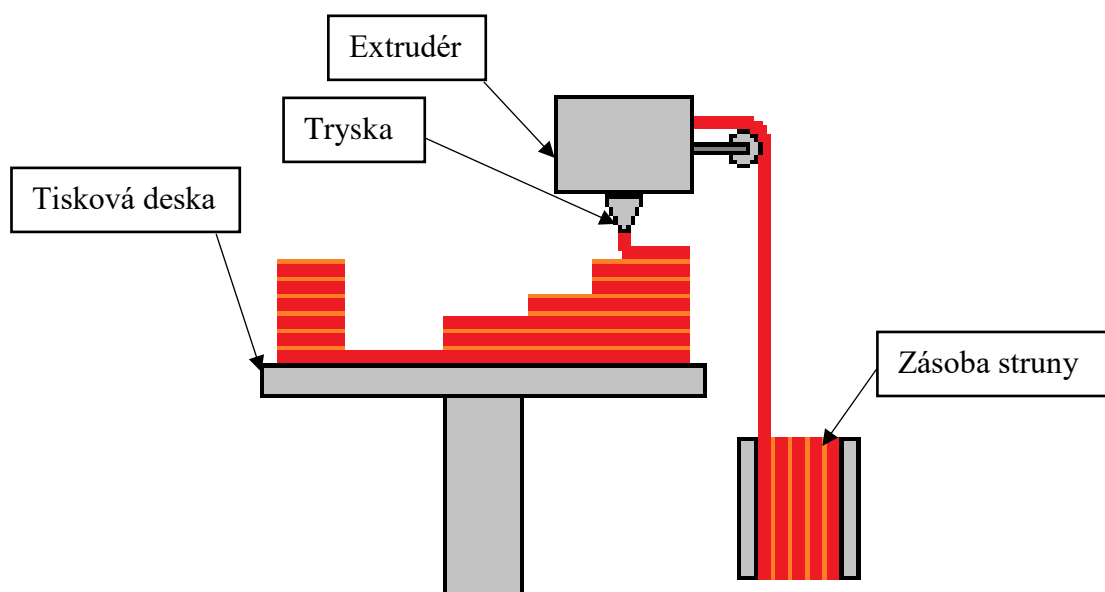
Dalšími možnostmi je řezání vrstev materiálu nožem. Hlavním limitujícím faktorem je obtížnost zhotovení tenké stěny modelu. Nelze vytvořit příliš tenkou stěnu modelu. Fólie se k sobě lepí, důsledkem je nemožnost zajistit dokonalou soudržnost lepidla ve vrstvách. Naopak mezi výhody řadíme vysokou přesnost tisku a zhotovování

20 Dk metal prominent s. r. o.: *Přehled technologií 3D tisku* [online]. ©2012-2017 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>

modelů především k prezentačním účelům. Z hlediska použitého materiálu je tiskárna ekonomicky přínosná při použití papíru místo fólie. Dohledatelné jsou i způsoby tisku modelů ze slabých plechů. Zde je nevýhoda především ve vzájemné soudržnosti vrstev a používání lepidla k lepení plechů.

#### 7.4 Fused Deposition Modeling

Dnes nejrozšířenější metodou tisku je v překladu „tavení a ukládání částic modelu“. Tento způsob tisku se stal v nedávné době velmi populární. Tisk vychází ze stereolitografie a je mnohem pevnější. Důvodem vzniku bylo hledání nových možností tisku, především tisk odolnějších prototypů použitelných pro různé pokusy. V některých ohledech se jednalo o plně funkční prototyp. Spotřeba plastových materiálů se neustále zvyšuje a hledají se nové cesty, jak jednoduše a levně získat chybějící věc. Jednou z možností je navrzení a vytištění dané věci. Souvisí s tím i současný trh s tiskárnami, které lze zakoupit za docela přijatelné ceny jako stavebnice k sestavení, nebo klasické hotové produkty. Instalace tiskárny je možná téměř kdekoli. Dalším významným ekonomickým faktorem pro provoz těchto zařízení je dostupnost materiálu za přiměřenou cenu. Tento typ tisku je dnes nejrozšířenější. Materiálem je plastové vlákno. Pro tisk slouží podložka, na níž je do vrstev nanášen roztavený plastový materiál. Tisk do vrstev umožňuje postupné chladnutí materiálu. Tisk je určen především pro prototypové modely.



Obr. 4 Princip technologie FDM

Každá tiskárna se skládá z několika částí. Výrobci tiskáren existuje celá řada, dělíme je podle typologie. Každý výrobek má svá specifika, můžeme je dělit dle velikosti pracovního prostoru, počtu trysek nebo na otevřené a uzavřené. Tiskárnu tvoří vždy tiskový prostor. (Obr. 4) Ve spodní části je umístěna tisková deska. Nemusí být vyhřívaná. Použitým materiálem bývá sklo, laminát, hliník nebo akryl. Může být pohyblivá, ale i statická (nelze s ní pohybovat). Pro správný a kvalitní tisk je důležité mít tiskárnu umístěnou na rovné ploše (ve všech třech osách), aby byly tiskové vrstvy ve všech místech modelu stejně vysoké. Tento údaj uvádí výrobce i prodejce tiskárny. Jedná se zejména o umístění tiskové podložky vůči pohybu tiskové hlavy. Zejména je nutné kalibrovat rovinu xy paralelně s tiskovou podložkou. Druhým podstatným krokem je správná přilnavost (adheze) tiskové desky. Materiál musí přilnout k desce, tedy pevně se s ní spojit, aby nedošlo k odlepení od tiskové desky a následnému pohybu tištěného modelu. Jedním z doporučení může být úprava tiskové desky pomocí malířské pásky nebo rozetření tyčinkového lepidla pod tištěným modelem. Pod základní deskou se nachází základna, z níž vychází rám (šasi). Rám tiskárny určuje i její vzhled, velikost, ... K rámu je upevněna cívka s materiálem a extrudér (tisková hlava), případně extrudéry nacházející se nad základovou deskou. Pohyb tiskové hlavy (extrudéru) je ovládán krokovými motory, zpravidla od spodních tiskových vrstev nahoru. Tisková hlava dostává pokyny od řídicí jednotky na základě G-kódu. Extrudér je část tiskárny, kam je z jedné strany podavačem sunuta plastová struna, rozehtívána a z druhé strany vytlačována přes trysku („horký konec“) do tiskové vrstvy. Nejběžnějšími druhy plastů pro zhotovování modelů jsou ABS plast a PLA plast.<sup>21</sup> Nejvíce rozšířené průměry strun jsou 1,75 a 3 milimetry. Délka návinu se pohybuje v řádech desítek metrů. Dalšími materiály jsou PA, PC, PE, PET, PP, nylon nebo struny s příměsí bronzu a uhlíku. Princip spočívá v sunutí plastové struny shora do extrudéru (tiskové hlavy), kde dochází k rozehtání materiálu a změně skupenství. Materiál je následně taven a současně vytlačován podavači skrze trysku na požadované místo. První vrstva je vytlačována na podložku. Roztavený materiál působením okolní teploty tuhne. Nanášení další vrstvy probíhá na předchozí, již ztuhlý materiál. Pohyb tiskové hlavy je v rovině x, y, při posunu mezi vrstvami také v ose z. Po vytisknutí poslední vrstvy je nutné nechat model

---

21 IT network.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>

zchladnout. Po zchladnutí je možné odstranit případné podpory, nebo se věnovat povrchovým úpravám.<sup>22, 23</sup>

U tohoto způsobu tisku nemusí docházet k tisku „plných“ modelů. U skrytých vnitřních ploch modelů je možné nastavit požadovanou výplň, jejíž cílem je úspora materiálu a času.

U složitějších modelů se používá podpora. Podpory si vygeneruje slicer sám. Příkladem je slicer Cura (zdarma), Slic3r (zdarma), Kisslicer (zdarma i placený), Engine, Simplify 3D (placený) a další, kde si můžeme vyzkoušet mnoho možností. Od výplně modelu až po tisk úsporných podpor. Vše je možné nejprve simulovat a zkontrolovat před tiskem. Dle možností tiskárny bývají podpory ze stejného materiálu, jako model. Z ekonomického hlediska záleží na druhu použitého materiálu pro podpory, neboť některé druhy plastu lze recyklovat. Dochází k roztavení plastu a vzniku „granulí“, které se opětovným roztavením a úpravou spojí. Vznikne plastová struna, z které je možné opakovaně tisknout. V případě vícetryskové tiskárny mohou být podpory z jiného materiálu než výrobek. Nabízí se možnost odstranit podpory dalším způsobem. Mimo klasického způsobu odstranění mechanickou cestou lze použít rozdílných vlastností obou materiálů a odstranit podpory chemickou cestou (například rozpuštěním).

Posledním bodem, s nímž přichází do styku každý provozovatel tiskárny je prevence. Část tvoří bezpečnostní pokyny během tisku a dále to jsou pokyny, jejichž cílem je udržet tiskárnu funkční. Tiskárna je umístěna na daném místě, ale když není používána, měli bychom zabránit usazování nečistot na ni. Usazený prach v návínu struny může snížit kvalitu modelu. Malá zrnka nečistot se mohou dostat do extruderu a ucpat trysku. Tiskárna umístěná v prostorech s vysokou vlhkostí není zcela ideální. Trpí materiál i samotné zařízení. Souvisí s tím i samotné skladování zásob strun.<sup>24</sup>

#### 7.4.1 Plasty pro 3D tisk technologií FDM

Z historických mezníků při objevování nového materiálu plastu mohu jmenovat celou řadu významných roků. Plast má svůj původ už na počátku 16. století. Stal se jím

---

22 Dk metal prominent s. r. o.: *Přehled technologií 3D tisku* [online]. ©2012-2017 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologiei-3D-tisku>

23 KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-802-5148-761.

24 KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-802-5148-761.

objev kaučuku. Použití kaučuku se však projevilo až za zhruba 300 let. Bouřlivý rozvoj nastal počátkem dvacátého století. V průběhu vývoje vznikla celá řada plastových materiálů, ne všechny však byly vhodné pro tisk trojrozměrných modelů. Významným pokrokem se stalo nalezení látek umožňujících vzájemnou mísitelnost libovolných druhů plastů. Při návratu k možnostem 3D tisku se objevila možnost mísit vlastnosti plastových materiálů tak, aby vznikl nový plast s žádanými vlastnostmi. Příkladem materiálu pro 3D tisk je PET struna, kombinace vlastností ABS a PLA plastu.<sup>25</sup>

#### 7.4.2 Rozdělení plastových strun

Při realizaci jakéhokoliv modelu zajímá uživatele, zda má dostatek potřebného materiálu pro fyzický vznik modelu. Realizace tisku modelu může trvat od několika minut po desítky hodin. V praktickém využití probíhá tisk většinou bez dohledu osob. Při nedostatečné zásobě materiálu se tisk zastaví a dnešní tiskárny ještě neumí samostatně vyměnit novou cívku se strunou.

Přístup novodobých moderních materiálů přináší novější a vylepšené materiály. Pro tiskovou technologii Fused Deposition Modeling je základním materiálem pro výrobu modelu plastová struna. Odborným názvem je pojmenován filament. Filamenty se dělí do dvou skupin – celoplastové (vyrobené z jednoho materiálu) a s příměsí kovů. Předpokladem je dodržení teploty tavení kovu, respektive zrn kovového prášku. Připomeňme i omezené vlastnosti těchto tiskáren – nedokážou vyvinout vysokou teplotu tavení, jaká je například používána při technologii práškového tisku. V případě technologie FDM jde hlavně o plastový materiál s příměsí lehce tavitelných kovů, které dodávají modelu vyšší pevnost.<sup>26</sup>

Tisková technologie FDM je zaměřena na tisk za pomoci plastové struny. Strunu je možné pořídit v různých průměrech. Průřez struny bývá kruhový, nejčastější je průměr 1,75 milimetru. Struna se zakupuje namotaná na cívce. Délka náviny se pohybuje nejčastěji kolem 400 metrů, výjimkou nejsou ani kratší náviny, například délky 330 metrů. Výrobci strun nabízejí mnoho barev, struny se liší také použitými materiály a dalšími technologickými úpravami, kterými může být tvrdost nebo teplota tavení.

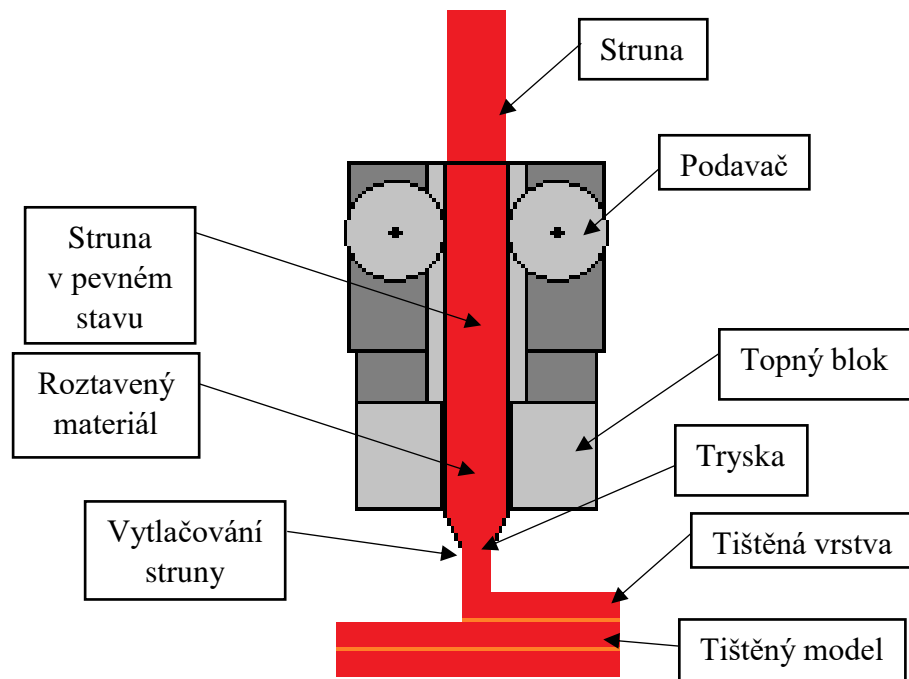
---

25 BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>

26 Futlab.cc: *Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit* [online]. 02.01.2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>



Struna se umísťuje dle konstrukčních vlastností tiskárny na vnější přístupnou stranu. Bývá zde umístěn mechanismus pro uchycení cívky. Vždy po upnutí je nutností ručně přivést strunu do podavače umístěného v extrudéru. (Obr. 5) Tento proces je obtížný, neboť záleží na přesném uložení a vedení struny. Překřížení strun u cívky s návinem struny může zapříčinit zastavení tisku, v horším případě zničení tištěného modelu. Problematické mohou být i vady u struny, například zlom, slabý materiál nebo jiná vada.



Obr.5 Schéma extrudéru

Materiálem pro 3D tisk při metodě FDM bývají nejčastěji plasty. „Plastem rozumíme označení materiálů, jejichž část tvoří organické makromolekulární látky zvané polymery. Plasty všeobecně obsahují aditiva, což jsou přidané látky, jejichž účelem je specifická úprava vlastností.“<sup>27</sup> (Ptáček, 2002, str. 279) Aditiva jsou známa taktéž pod názvem přísady. Patří mezi ně stabilizátory (materiálová odolnost), změkčovadla (zpracovatelnost, ohebnost, ...), barviva (estetická stránka) a plniva (zaručují mechanické vlastnosti, pružnost, ...). Plasty rozdělujeme na dvě skupiny – termoplasty a reaktoplasty. Termoplast působením tepla měkne a působením chladu tuhne. Proces je možné opakovat neustále dokola. Reaktoplast působením tepla měkne a zároveň dochází k chemické reakci a jeho vytvrzení. Následně s ním již nelze nic dělat. Při jeho opětovném zahřátí dochází ke zborcení výrobku. Výhodou je netavitelnost a nerozpustnost, nevýhodou

27 PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.* opravené a rozšířené vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.

obtížnější recyklace. Plasty, všeobecně jako skupina umožňující tisk modelů, mají teplotu tání od 75 °C až do 330 °C.<sup>28</sup>

#### 7.4.2.1 ABS struna

Základním materiálem pro realizaci tisku modelů je ABS plast. ABS je zkratka pro akrylonitrilbutadienstyren. Pro představu se tento materiál používá pro výrobu kostek stavebnice Lego. Je velmi dobře dostupný a ekonomicky nejlevnější. Prodejný je i pod označením Forsan, Teluran a Novodur. „ABS plast vzniká kombinací monomerů s výrazně lepší chemickou odolností při zachování tuhosti.“<sup>29</sup> (Mleziva, 2000, str. 84) Jeho vlastnosti odolávají vysokým i nízkým teplotám, má tvarovou stálost od -80° až do 215 °C. Poměrně rychle tuhne a částečně odolává i chemikáliím. Z ekologické stránky se jedná o plastový materiál ropného původu. Při tisku dochází k zahřívání a tavení ABS plastu, čímž vznikají toxické výpary. Dle druhu tiskárny probíhá tisk v uzavřeném zakrytovaném prostoru, nebo naopak na otevřené tiskové podložce. V druhém případě hrozí větší riziko se stykem výparů. Nedílnou součástí je odvětrávání prostor, kde probíhá tisk.<sup>30, 31, 32</sup>

K výhodám ABS plastu patří jeho finální povrch. Po vizuální stránce jsou viditelné stopy jednotlivých tiskových vrstev, ale povrch je docela hladký. K dostání je ve velkém množství barev. Jeho heterogenita zabezpečuje, že bude vždy neprůhledný, jako například na rozdíl od plexiskla. ABS plast se velmi dobře lepí, lze použít pestrou škálu různých lepidel. Z mechanických vlastností se dobře zpracovává při třískovém opracování. Mezi nevýhody lze zařadit ekologické aspekty, citlivost na ultrafialové záření a možnost kroucení materiálu. Kroucení materiálu lze předejít pořízením vyhřívané podložky.

---

28 PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opravené a rozšířené vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.

29 MLEZIVA, Josef. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.

30 MLEZIVA, Josef. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.

31 Futlab.cc: *Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit* [online]. 02.01.2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>

32 KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-802-5148-761.

#### 7.4.2.2 PLA struna

Druhým nejpoužívanějším tiskovým materiálem je PLA plast. PLA označuje polylaktid. Název vznikl odvozením slova polylactic acid, česky polymléčná kyselina. Složení těchto materiálů napovídá jejich původ. Jsou to plasty vyráběné z biomasy, známé pod pojmem biologicky odbouratelné nebo rozložitelné plastové materiály. Vlastnosti bioplastů jsou do jisté míry srovnatelné s klasickými plasty vyráběnými z ropy. Bioplast má většinou menší odolnost vůči všem činitelům. Cílem je rychlý rozklad, řádově se může jednat o několik měsíců až po cca deset let. Při delším využití je viditelná degradace. Výroba probíhá z rostlinných a živočišných produktů. Základem je škrob, pro PLA obilný škrob, z něhož vznikne kyselina a následnou polymeryzací vznikne plastová hmota. Použití PLA plastů je především pro výrobu vláken.<sup>33, 34</sup>

Pro tisk je PLA plast srovnatelný s ABS plastem. Cenově vychází oba materiály stejně, rozdílem je větší odolnost ABS plastu. PLA plast je ekologičtější a pro tisk rychlých prototypů zcela vhodný. Dnešní masová výroba modelů vede k tisku mnoha prototypů, z nichž většina končí po určité době likvidací. Použití odbouratelných plastů je šetrnější a vhodnější pro vznik série prototypů. Modely z tohoto druhu plastu jsou méně odolné, při dalším zpracování je nutné dbát zvýšené opatrnosti z důvodu menší pružnosti a vyšší křehkosti materiálu. Materiál je málo odolný proti změnám teplot a hůře se lepí.

#### 7.4.2.3 PET struna

Třetí možností je tisk ze strun PET. Polyethylentereftalát je známý především jako obalový materiál a používá se na výrobu PET lahví. Vzniká sloučením kyseliny tereftarátové a ethylenglykolu. Pro 3D tisk je možné ho zakoupit v podobě strun, jinak se vyrábí v podobě fólií, nejčastěji pro obalový materiál. PET plast se chová jako termoplast, pro oblast tvorby modelů kombinuje vlastností předchozích dvou materiálů, tedy ABS a PLA plastů. Je mechanicky pevný, tvarově stálý a tepelně odolný od -60° až do 130 °C. Jeho velkou výhodou je odolnost proti olejům. Z hlediska cenové dostupnosti je trochu

---

<sup>33</sup> Wikipedie: *Bioplast* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bioplast>

<sup>34</sup> Wikipedie: *Vlákno PLA* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlákno\\_PLA](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlákno_PLA)

dražší než předchozí dva druhy plastů. Mezi jeho výhody řadíme ekologičnost, vysokou tepelnou a chemickou odolnost a dobrou lepitelnost.<sup>35, 36</sup>

#### 7.4.2.4 Další druhy strun

Princip tisku je jednoduchý, lze použít jakéhokoliv materiálu v podobě struny. Mimo výše uvedených tří nejrozšířenějších druhů plastových strun lze použít i struny s příměsí kovů, nebo další druhy plastů. Možností je využití polykarbonátu (PC), nylonu a termoplastického polyuretanu (TPU). Polykarbonát je polyester kyseliny uhličitě, zpracovává se při teplotě mezi 220 a 230 °C. Polykarbonát se obtížně lepí, ale dá se svařovat horkým vzduchem. Nylon patří do skupiny polyamidů. Je to lineární polymer. Vyrábí se čtyřmi různými způsoby, nejrozšířenějším je alifatický polyamid, jiným názvem nylon. V chemickém složení první číslo zápisu udává počet atomů uhlíku. Pro naše použití to udává možnosti materiálu, například jak se bude chovat při tisku daný odvozený druh. Polyuretan je z těchto tří materiálů nejodolnějším. Vzniká z vícefunkčního isokyanátu a polyalkoholu. Polyuretan je pro 3D tisk dražší, než předchozí dva uvedené plasty. Tyto materiály se vyznačují dobrou odolností vůči chemikáliím a teplotním změnám. Nevýhodu mají především při tisku, kde dochází k horšímu zpracování. Materiály se také obtížně lepí, hodí se především pro tisk modelů z jednoho kusu.<sup>37, 38</sup>

Ve výše uvedených odstavcích jsem se věnoval rozdílům a vlastnostem plastových strun. Hlavní a zároveň podstatný prvek tvoří cena struny. Zajímá všechny, nejlépe hned na začátku. Pro přiblížení jsem analyzoval ceny strun v několika internetových obchodech. V úvodu uvádím skutečnost – struna se kupuje namotaná na cívce, v jedné barvě a o hmotnosti jeden kilogram, pokud není uvedeno jinak. Dají se nakoupit i struny na metr, tedy jen na určitou délku. Zde se cena počítá za délku struny jednoho metru. Nejpoužívanější je vlákno z ABS plastu, pak ještě PLA struna. Další jmenované materiály se prodávají za vyšší ceny, nejsou už tolik dostupné. V praxi se s nimi moc netiskne, neboť hlavním faktorem je vyšší cena struny. Analyzovaným materiálem je PLA struna,

---

35 Futlab.cc: *Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit* [online]. 02.01.2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>

36 MLEZIVA, Josef. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.

37 Futlab.cc: *Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit* [online]. 02.01.2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>

38 MLEZIVA, Josef. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.

průměr 1,75 mm, hmotnost návinu 1 kg. Cenu materiálu jsem posuzoval k 20. březnu 2019. Během času do obhajoby práce předpokládám mírné změny cen vláken.

Prvním posuzovaným e-shopem je Material pro 3D. Zpracování stránek je na dobré úrovni, firma nabízí i další tiskové materiály (například PET, PC, ...). Porovnávaný produkt je možné zakoupit v balení o hmotnosti 0,5 kg. Ceny začínají na 363 Kč, další barvy, jež jsou složitější na výrobu, jsou pro změnu kilogram za 545 Kč. Poté jsou tu i jiné barvy, ceny 599 Kč za kilogram. Lze konstatovat, že kilogram struny se dá zakoupit v ceně 545 až 600 Kč v závislosti na barvě.<sup>39</sup>

PLA plastové vlákno se prodává od 545 Kč až do 605 Kč. Opět najdeme i balení o hmotnostech 0,75 kg nebo 2 kg.<sup>40</sup>

Firma Průša prodává jeden kilogram struny za 599 Kč. Zde je mnohem menší výběr barev. Web je zpracovaný trochu jinak, překvapil mě malý výběr.<sup>41</sup>

Zde ceny za PLA začínají na 549 Kč. Opět široký výběr barev, vše v podobných cenách. Zaujalo mě fosforeskující PLA vlákno v ceně 990 Kč. Jeví se jako vhodný produkt, který za tmy vydává světlo. Mimo uvedené produkty můžeme též zakoupit balení o hmotnosti 0,75 kg v ceně od 579 Kč po 699 Kč. Vyšší cenová kategorie označuje materiály s jinými barvami a také s trochu odlišnými vlastnostmi.<sup>42</sup>

Firma TS Bohemia má poměrně pěkně zpracované webové stránky, zboží lze vyzvednout i v pobočce. Struna je z posuzovaných firem nejlevnější, kilogram struny se prodává od 339 Kč. Opět některé barvy jsou dražší, cena se tak šplhá k 369 Kč. Například nylon se zde prodává kilogram od 689 Kč až po 767 Kč v závislosti na barvě a vlastnostech.<sup>43</sup>

---

39 Material pro 3D: *ABS 1,75 mm* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/abs-1-75/>

40 Material pro 3D: *PLA 1,75 mm* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pla-1-75/?pv25=106>

41 Prusa Research: *Tiskové struny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/16-tiskove-struny>

42 Prusa Research: *Tiskové struny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/16-tiskove-struny>

43 TS Bohemia.cz: *Náplně do 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplne-do-3d-tiskarny\\_c23818.html?page=2#prodlistanchor](https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplne-do-3d-tiskarny_c23818.html?page=2#prodlistanchor)

Struna z PLA plastu je k dostání za 379 Kč za kilogram. Nízká cena je způsobena jiným výrobcem, tento je z Nizozemí. České materiály jsou na vyšší cenové úrovni. <sup>44</sup>

Alza, jako jeden z největších e-shopů nabízí možnost vyzvednutí na pobočce bez nutnosti posílání. ABS plast začíná na 389 Kč, končí na 599 Kč za kilogram. K zakoupení jsou struny o hmotnosti 0,6 kilogramu, zaráží mě u nich cena, která je 819 Kč. PLA struna je k zakoupení po slevě za 399 Kč. Kvalitnější materiál se prodává za cenu 659 Kč. Prodejce udává i délku návinu na cívce, která činí 330 metrů. <sup>45</sup>

Porovnávané reálné ceny tiskových strun jsou pro ABS plast v rozmezí 400 až 600 Kč. (Tab. 3) U PLA strun se dostáváme cenově o něco níže, nejlevněji na částku 299 Kč. Jestliže sháníme materiál specifických vlastností, cena se šplhá k částce 800 Kč. Rozhodujícím kritériem výběru je také kvalita strun od různých výrobců. <sup>46</sup>

Nejlevnější PLA plast k dostání stojí 299 Kč, má černou barvu. Poté se cena zastavuje na 499 Kč u většiny barev. Nejdražší položkou je PLA karbonové barvy (černé), stojí 719 Kč (po slevě, jinak kolem 800 Kč).

E-shop	ABS, 1 kg	PLA, 1 kg	Poznámky
Material pro 3D	545-600 Kč	545-605 Kč	
Průša	599 Kč	549 Kč	Malý výběr, jednotná cena
TS Bohemia	339-369 Kč	379 Kč	Nejlevnější
Alza	389-599 Kč	399-659 Kč	

Tab. 3 Porovnání cen strun (k 20. 3. 2019)

<sup>44</sup> TS Bohemia.cz: *Náplně do 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplnje-do-3d-tiskarny\\_c23818.html?page=2#prodlistanchor](https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplnje-do-3d-tiskarny_c23818.html?page=2#prodlistanchor)

<sup>45</sup> Alza.cz: *Filamenty pro 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/filamenty-pro-3d-tiskarny/18854774.htm>

<sup>46</sup> Alza.cz: *Filamenty pro 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/filamenty-pro-3d-tiskarny/18854774.htm>

### 7.4.3 Tisková centra

3D tisk lze realizovat několika dostupnými technologiemi. Nejrozšířenějším produktem je 3D tiskárna s technologií FDM. Je to hlavně z důvodu rozměru tiskárny, jednoduchému pořízení materiálu, jednoduchosti ovládání a pořizovací ceně. Pořízení vlastní tiskárny nemusí být překážkou. Jestliže někdo nechce pořizovat vlastní tiskárnu, ať už je to drahý provoz, nedostatek financí k nákupu nebo dlouhodobé nevyužitelnosti, nabízí se možnost využít služeb tiskových center. Tiskové centrum, známé též pod názvem „outsourcing“ slouží především jako dodavatel. Můžeme si samostatně navrhnout náš model a poslat jej k vytištění do tiskového centra. Možností je i více, neboť centra nabízejí i vytvoření modelu. Nutností je počítat s vyšší cenou. Cena služby se ve většině případů odvíjí od spotřeby materiálu (kg, m), ceny materiálu (Kč/m) a času tisku (době provozu tiskárny). Zde do vzorce dosadíme spotřebu elektrické energie pro tisk (kWh) a cenu energie (Kč/kWh). Při úpravách modelu před tiskem, například korekce tiskových dat se k této částce připočítávají další náklady za práce zaměstnanců. Jsou jimi doba trvání činností, počet pracovníků a hodinová mzda pracovníka.<sup>47</sup>

Tisková centra nacházejí využití i v dalších službách. Mimo řady druhů tiskáren, kde zákazníkům vytisknou i relativně velký model z jednoho kusu působí centra i jako prodejny spotřebního materiálu nebo nových tiskáren. Řada center se od ostatních odlišuje – nabízí i službu 3D tisku prostřednictvím technologie SLS (práškový tisk). Součástí centra je i 3D skener. V současné době jsem dohledal jen tiskové centrum v Olomouci.<sup>48</sup>

Prostřednictvím hledání na internetu existuje rozsáhlá síť, kde mě, jako zákazníkovi jsou schopni vytisknout model technologií FDM. Dodat musíme pouze tisková data. Tento typ center je orientován na polygrafické služby a 3D tisk nabízí zákazníkům jako další svůj produkt. Nejčastěji nalezenými firmami jsou tiskárny a firmy zaměřující se na polygrafický průmysl. Nabízejí rovněž další možnosti, z nich jednou je technologie 3D tisku. Část z nich nabídne tisk modelu prostřednictvím vlastní tiskárny. Zbývající

---

47 ČERNOHORSKÝ, Zdeněk. Vyhodnocení nákladů technologií 3D tisku s využitím BIM modelů ve stavebním podniku. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68017/F1-DP-2017-Cernohorsky-Zdenek-Diplomova%20prace.pdf?sequence=1>

48 3d tisk.cz: *Nové centrum 3D tisku Univerzity Palackého v Olomouci chce pomoci transferu aditivních technologií do průmyslu (rozhovor)* [online]. 31.03.2016 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/nove-centrum-3d-tisku-univerzity-palackeho-v-olomouci-chce-pomoci-transferu-aditivnich-technologii-do-prumyslu/>

nalezené firmy jsou případy, že uvedené centrum (firma) je prostředníkem a tisk mého modelu proběhne úplně někde jinde.

Pro ekonomickou část jsem si připravil tabulku pro porovnání cen tisků k 22. 5. 2019. (Tab. 4) Vycházel jsem ze základních kritérií – model od návrhu po uložení do STL souboru si připravím sám, firma bude realizovat jen tisk. Do tabulky jsem vybral příklady cen. Vycházel jsem z metody FDM, materiálem pro tisk je PLA struna.

Firma	Cena za čas	Cena za materiál	Poznámky
Chci to 3D <sup>49</sup>	35 Kč/h	2 Kč/g	+150 Kč příprava k tisku
3dplay <sup>50</sup>	45-75 Kč/h	neuvedeno	
Makerslab <sup>51</sup>	200-250 Kč/h	v ceně za čas	Cena v závislosti na materiálu
3d tisk Praha <sup>52</sup>	190-490 Kč	2,4-5,9 Kč/m	Jednorázový poplatek

Tab. 4 Porovnání cen tisku (k 22. 5. 2019)

## 8 Didaktická část

Výuka se zaměřením na oblast 3D tisku probíhá v prostorech školy. Záleží na prostorových dispozicích a zaměřením výuky. Hodiny mohou být zaměřeny na výklad teoretické části, nebo mohou být čistě praktického zaměření. Nabízí se mnoho možností, jak výuku připravit.

Dávám přednost výuce, kde se žáci aktivně zapojí do vyučovacího procesu. Představa modelové hodiny je následující – v každém případě záleží, jaká bude cílová skupina. Jinými způsoby bude probíhat výuka s malým počtem žáků oproti klasickým školním třídám s třiceti žáky. Jedním z kritérií je dostatek času na věnování se žákovi. Poté záleží, jestli je výuka vedena jako povinný předmět, nebo formou zájmového

49 Chci to 3D: *Zákazkový 3D tisk za rozumnou cenu* [online]. 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://chcito3d.cz/>

50 3d tisk na zakázku: *Ceník 3d tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://3dplay.cz/cenik\\_tisku\\_dotazy/](https://3dplay.cz/cenik_tisku_dotazy/)

51 Makerslab: *3D tisk - PLA* [online]. ©2016 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://makerslab.cz/3d-tisk-pla/>

52 3d tisk Praha: *Ceník služeb* [online]. 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk-praha.cz/>



volnočasového kroužku (po vyučování). Zde je nejlepším předpokladem, že zde nenajdeme žáky z nutnosti – jejich volba, zda se přihlásí, je na nich.

Nyní uvádím příklad modelové výuky na základní škole. Členění výukových hodin na tematické celky je dle cílové skupiny a možností školy. Jiný přístup je k začátečníkům, odlišný přístup může nastat u žáků na střední škole. Pro základní školu je zaměření pozornosti na jednoduché počítačové programy pro tvorbu prostorových modelů. Dostupným programem, který je vhodný, je Google Sketch Up. Český popis funkcí, volně ke stažení, případně v anglickém jazyce. Anglická verze nevadí, neboť žáci se zdokonalí v jazyce.

První věcí, s níž musíme žáky seznámit, jsou tiskové technologie. Cílem je představit druhy technologií, jejich principy, rozdílnosti a historický kontext. Navrhuji formu výkladu, diskuze, popisu nebo alespoň instruktážní video. K předchozí části navazuje další část, obsahuje technologii FDM. Proces tisku začíná u návrhu, přes modelaci tiskových dat, končí odesláním dat do tiskárny. Následně proběhne proces fyzického tisku. Žáci mají možnost pozorovat celý proces, doplněn o komentář učitele. Doba tisku jednoduchého modelu nesmí trvat příliš dlouho, optimální čas je kolem deseti minut. Možnost pozorování, instruktáže obsluhy tiskárny předá žákům nejvíce informací. Pro tento proces je výhodnou volbou otevřená tiskárna, pro uzavřenou tiskárnu je vhodné umístit do ní kameru a sledovat proces vzniku modelu pomocí obrazu. Součástí nesmí chybět další vytištěné modely, aby žáci měli možnost fyzické ukázky. Volba modelů má reprezentovat široký rozhled, tedy co všechno může vzniknout.

Po úvodních hodinách následuje třetí část, kdy si žáci vyzkouší něco samostatně vytvořit. V této fázi se žáci seznámí s některým z počítačových programů. Pro školní prostředí základní školy splňuje všechna kritéria program Google Sketch Up (volně dostupný, ke stažení zdarma, odkaz v kapitole Počítačové programy). Může to být program i placený, ale při výuce na základních školách tato možnost není vhodná. Při práci s programem se nabízí možnost vést vyučovací hodinu mnoha způsoby. Preferuji výuku zaměřenou na výklad, ukázky a samostatnou práci žáků. Po prvotním seznámení s programem, odzkoušení různých pracovních postupů se žák pustí do samostatné práce. Navrhne si vlastní předmět, který si během pololetí vymodeluje – samostatně nebo s pomocí učitele. Postup od jednoduchých modelů, ke složitějším. Výstupem v závěru školního roku bude propracovaný model dle vlastního námětu. Chybět nesmí fyzická

realizace modelu každého žáka. Součástí bude i celý proces, který si žák vyzkouší samostatně. Od dokončení modelu v počítačovém programu, převod, příprava před tiskem, zavedení struny do extrudéru a poslání tiskových dat do tiskárny. Záměrně je to celý proces, žák si vyzkouší a získá všechny potřebné zkušenosti. Koncem pololetí není špatné zhodnotit práci a snahu žáků.<sup>53</sup>

Výuka odborných předmětů je zaměřena na praktické dovednosti žáků. Nedílnou součástí výuky tvoří i klasické metody a formy výuky, které se používají při ostatních předmětech. Největší přínos pro žáky má výuka, kde si sami žáci něco vyzkouší. Příkladem je výuka v dílnách. Zde žáci dostanou zadání a materiál, poté sami realizují výrobek. Hodiny jsou doplněny o výuku teoretických znalostí, ale v menší míře, než čistě teoretické předměty. Převedeme-li tyto předpoklady do výuky zaměřené na 3D tisk, většina zůstane beze změn.

Z didaktického pohledu složení vyučovací hodiny nesmí chybět úvod a motivace k tématu. „Motivace je souhrn činitelů, které podněcují, orientují a udržují chování člověka.“<sup>54</sup> (Maňák, 2003, str. 27) Tímto žáky získáme a budou mít aktivní zájem na samostatné práci. Naši samostatnou práci si přiblížíme v podobě problémové úlohy. Řešeným problémem je model a jeho modelace v počítačovém programu (například Google Sketch Up). S tím souvisí stanovení splnitelného cíle. Mimo samostatné práce použijeme střídání i jiných metod – nabízí se instruktáž nebo ukázka (předvádění, pozorování). Učitel nebo vedoucí kurzu v této fázi zastává funkci konzultanta, jeho úkolem je pomoc žákům, usměrnění práce tak, aby nevznikaly nerealizovatelné výrobky.

Hlavní základní stavební jednotkou vyučování je vyučovací proces. Je to vzájemné působení mezi učitelem a žákem. Na vyučování navazuje proces učení, jehož důsledkem člověk mění vlastnosti, dovednosti a návyky. Zde záleží už jen na smysluplném učení a na daném žákovi, jak se k tomu postaví.<sup>55</sup> Existují čtyři základní teorie učení, každá z nich se něčím odlišuje. Behaviorismus je založen na odměnách a trestech, sociálně

---

53 HRÁVA, Jan. *3D tisk a jeho využití v technickém vzdělávání*. České Budějovice, 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra informatiky. Dostupné z: [https://theses.cz/id/ka6ktx/Jan\\_H\\_ava\\_-\\_3D\\_tisk\\_a\\_jeho\\_vyu\\_it\\_v\\_technickm\\_vzd\\_lvn.pdf](https://theses.cz/id/ka6ktx/Jan_H_ava_-_3D_tisk_a_jeho_vyu_it_v_technickm_vzd_lvn.pdf)

54 MAŇÁK, Josef. *Nárys didaktiky*. 3. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2003. ISBN 80-210-3123-9.

55 MAREŠ, Jiří. *Pedagogická psychologie*. Praha: Portál, 2013. ISBN 978-80-262-0174-8.

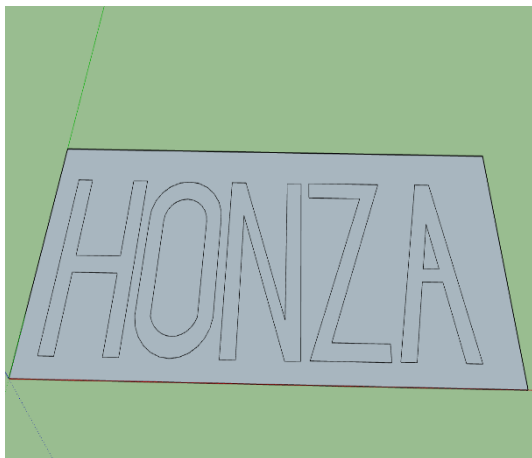
kognitivní na samostatné práci žáka v realizaci úkolu, kognitivní na pozorování vzoru a humanistická na seberealizaci žáka. <sup>56</sup>

Výuka začíná příchodem do počítačové učebny, každý přítomný žák zaujímá své pracovní místo. V úvodu je vhodné sdělit téma a cíl hodiny. Náplní hodiny se stává tvorba jmenovky. Kritérii jsou velikost a písmo na výšku. Prvním předpokladem je navázání na předchozí celky, žáci již mají znalosti práce s programem. Motivací je dokončení, kladné hodnocení za aktivitu a také vytištění jmenovky jako modelu. Velikost se odvíjí od konkrétní tiskárny, model bude mít rozměry 5 centimetrů na výšku, šířka dle délky jména, omezena je na 15 centimetrů a délka (hloubka) písmen kolem 5 centimetrů. Zásadní věcí, která je podstatná pro tisk písmen je jejich proporce a vzájemná soudržnost. První částí je modelace písmen a v druhé části dostane jmenovka podstavec. Podstavec může tvořit přidaná plocha, která zajistí stabilitu. Nápadem je i různá šířka písmen ve jméně, kde některá písmena budou mít větší délku (hloubku). Po úvodu a motivaci dojde na samostatnou práci žáků, kde se pokusí vypořádat se zadaným úkolem. Postupů pro vznik písma je několik, prvním z nich je modelace hranolu, na jeho plochu funkcemi čára a křivka. Po nakreslení jednotlivá písmena vytáhnout a celý model se otočí o devadesát stupňů tak, aby se jmenovka stala čitelnou (zepředu). Zadní plocha, jež sloužila jako podložka pro kreslení čar a tvarů se odstraní. Písmena budou prostorová. (Obr. 6–8) Další možností je modelování z tvarů, funkcemi hranol nebo válec postupně vzniká trojrozměrný objekt. Je to podobné, jako u předchozího postupu. (Obr. 9–11) Třetí možností je vymodelování hranolu v zadní ploše. Plochu tvoří jedna z rovin, například xz (směřuje k horizontu zelené a modré barvy v programu). Nastavíme si pohled, díváme se zepředu. Do roviny kreslíme písmena, začínáme u osy – červené čáry. Dosáhneme tím tvorbě obrazců v rovině a poté stačí vysunutím vytvořit trojrozměrné písmeno. Opět písmena se mohou překrývat nebo musíme zajistit jejich stabilitu jinak. Po dokreslení uložíme soubor ve formátu .stl, který podporuje další program zabývající se úpravou před tiskem. Všeobecně navrhuji před započítím prací rozdat žákům papíry a tužky, zkusí se zamyslet nad návrhy jmenovky. Provedou rychlou skicu a vymyšlený nápad budou mít jako předlohu během modelování ve Sketch Upu. Jedním z kritérií při zadávání, je důležité klást důraz na originalitu písmen. (Obr. 12, Obr. 13) Textové editory – například

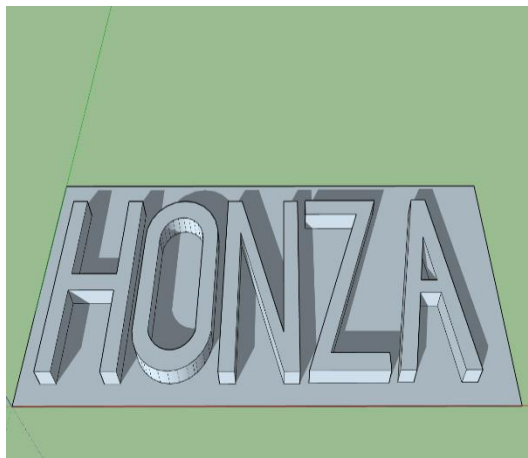
---

56 PETTY, Geoffrey. *Moderní vyučování*. Vyd. 3. Přeložil Štěpán KOVAŘÍK. Praha: Portál, 2004. ISBN 80-7178-978-X.

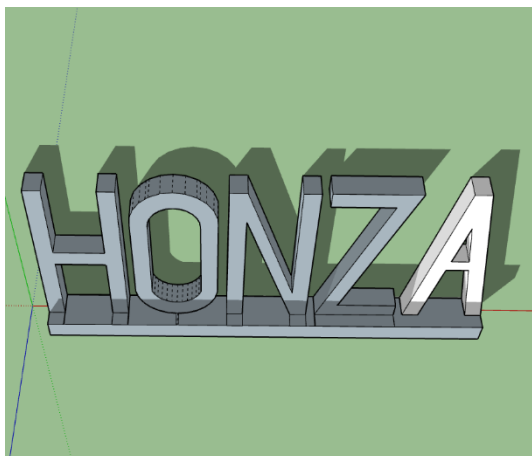
Word nabízí různé fonty, z nichž se může žák inspirovat. Nesmí to skončit pouhým překreslováním proporcí fontu písma.



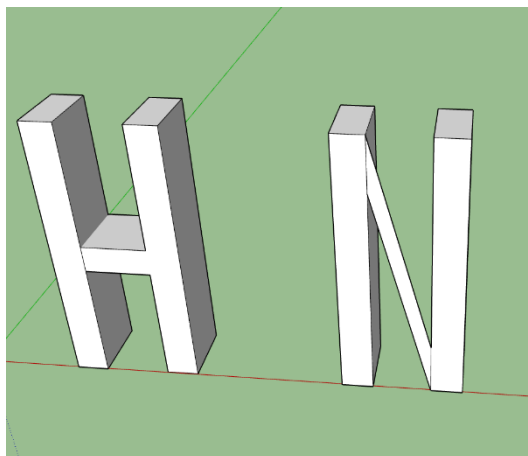
*Obr.6 Jmenovka na podkladu*



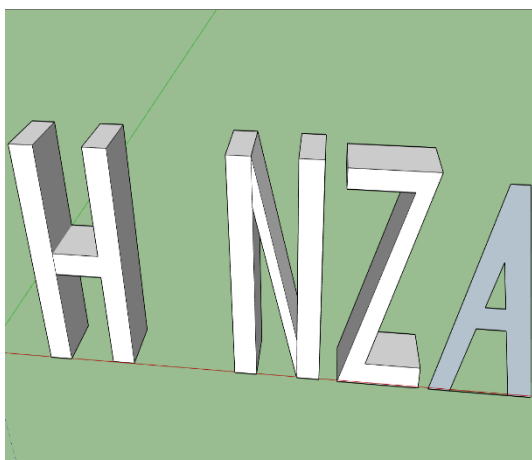
*Obr.7 Vysunutí písmen*



*Obr.8 Podstavec*



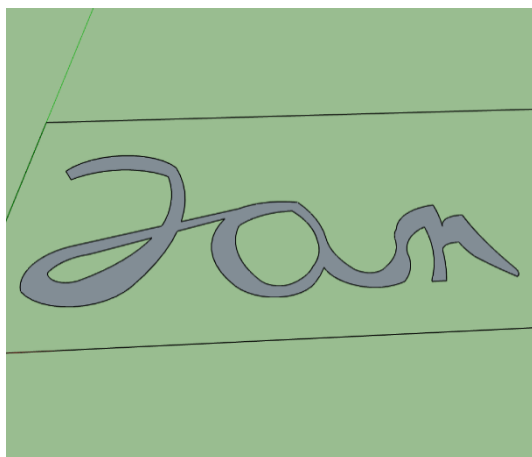
*Obr.9 Kreslení pomocí objektů*



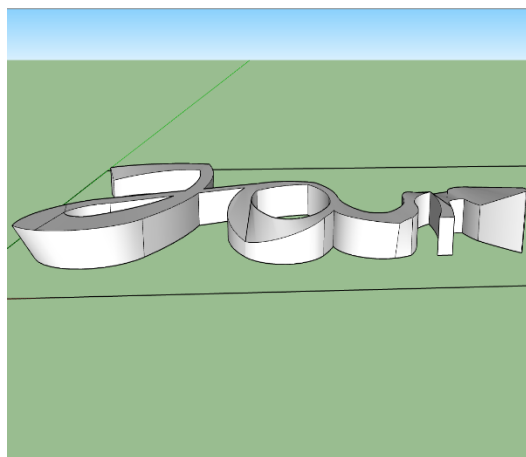
*Obr.10 Kombinace tvar a obrys*



*Obr.11 Prostorová písmena, navzájem spojená*



Obr.12 Vlastní proporce písma



Obr.13 Vysunutí a deformace písmen

Mým cílem je realizovat písmo například s vlastní proporcí, tedy psané a upravené. Je to ztvárnění představy autora, výsledný model je možné zavěsit, nebo se věnovat jeho další úpravě. Z úprav je příkladem vymodelování vhodného podstavce či jiné řešení, jež zajistí stabilitu jména proti pádu.

Během samostatné práce žáků je vhodné provádět kontrolu, jak pracují. Výsledkem se stává vymodelovaná jmenovka. Následuje kontrola učitele, zda něco ještě nepřepracovat. Jestliže je model hotov, žák si jej připraví pro tisk (samostatně nebo s pomocí učitele). Příprava tisku se provede a vygenerováním potřebných dat (G-kód) a následnou simulací. Prvním úspěšným předpokladem je uložení do formátu .stl. Podle verze uložit jako nebo exportovat. Druhým krokem je načtení v programu Felix Printers a otevření ve Slic3ru. Znamená to v programu model otevřít, umístit jej na podložku a spustit Slicer. Slicer vytvoří tisková data, umožní simulaci a umístění podpory. Zároveň dojde k vygenerování G-kódu. Poté, když je vše v pořádku, učitel provede kontrolu, zda žák něco nevynechal v přípravě před tiskem. Předjde se tisku nezdařilého modelu. Následuje proces, kdy učitel nebo žák předají tisková data do tiskárny (flashdisk, paměťová karta) a dojde ke spuštění tisku. Po dokončení a vyjmutí musí žák, pokud je třeba, odstranit podpory. Pak už je model hotov.

### 8.1 Návrh vyučovací hodiny

Návrh vyučovací hodiny jsem rozepsal do tabulky. (Tab. 5) V případě dvouhodinového bloku je možné stihnout vymodelovat a vytisknout jmenovku každému žákovi.

**Téma:** 3D tisk a jmenovka

**Časová dotace:** 2 x 45 minut

**Třída:** druhý stupeň ZŠ (8. nebo 9. ročník)

**Cíl výchovný:** zdokonalit samostatnou práci v oblasti 3D modelování

**Cíl vzdělávací:** naučit se základy 3D tisku

**Místo výuky:** počítačová učebna

**Pomůcky:** 3D modely, připravené materiály – vymodelované logo, připravená 3D tiskárna

**Metody výuky:** slovní, názorně demonstrační, praktické

**Formy výuky:** výklad, pozorování, samostatná práce, skupinová (frontální) výuka, instruktáž

Část	Obsah	Poznámky
Úvod	Zahájení výuky, plán hodiny	
Motivace	Otázky – co je 3D tisk, zda se s ním někdo setkal a jaké je jeho využití	
Výklad (10 min)	Obecná historie, 4 tiskové metody, princip vzniku, obrázky + komentář, vrstvení materiálu	
Výklad/instruktáž (15 min)	Logo Sketch Up – ukázka modelování ve Sketch Upu, komentář, uložení do STL souboru, otevření ve sliceru, simulace, uložení dat pro tisk	Připravit vymodelovaný soubor a nahrát jej do tiskárny
Pozorování (5 min)	Odeslání dat do tiskárny, spuštění tisku	Žáci pozorují tisk modelu, vybrat malý model (čas)
Samostatná práce (45 min)	Žáci pracují na realizaci jmenovky (modelování, slicování)	Ukázat základní funkce Sketch Upu (obdélník, kruh, čára, vysunutí, ...)
Závěr	Ukončení prací (uložení rozdělané práce, případně uložení hotové jmenovky), reflexe hodiny	Každý sdělí jednu věc, kterou se dozvěděl (otázky třídě)

Tab. 5 Návrh vyučovací hodiny

## 9 Postup realizace modelu

Poslední část práce je zaměřena na podporu výuky. Přípravu na výuku po stránce výkladové zvládne většina učitelů. Spočívá to v nastudování dostupných materiálů a zdrojů. Praktická část navazuje na teoretickou. U praktické jsou to úplné základy při tisku metodou FDM. Nejprve je to tvorba modelu v počítačovém programu. Modelovat je možné cokoliv, záleží na zručnostech učitele a žáků. Zdrojem mohou být i dostupné tutoriály (opora na počátku modelování). Ve školním prostředí bude tvorba modelu realizována v počítačovém programu. Prvním omezením je dostupnost programu, zda je nutné zaplatit licenci, nebo je program volně dostupný zdarma. Dle možností jsou některé programy sehnatelné zdarma jen pro vzdělávací účely, případně za jinou finanční částku.

### 9.1 Počítačové programy

Pro výuku 3D tisku se nabízí řada programů. Záleží, jestli je cílem vymodelovat trojrozměrný objekt, nebo pouze pracovat ve dvou rozměrech – například práce s textem v ploše. Sám mohu navrhnout Autodesk Inventor, Autodesk 3d Max, u obou je nutná registrace. Programem zdarma dostupným je (Google) Sketch Up pro dvourozměrnou tvorbu Corel Draw (licence za poplatek, starší verze zdarma ke stažení). Dalšími programy jsou Blender (zdarma), Tinker Cad (zdarma), Wings 3D (zdarma), Sculptris (zdarma) a programy pracující v prostředí prohlížeče, například Shapsmith. Do seznamu přidávám i program Malování 3D, který je součástí Windows 10 a hodí se pro jednoduché objekty.<sup>57</sup>

Programů existuje mnoho, ale z hlediska hodnocení programu a dostupnosti je Google Sketch Up jedním z nejpoužívanějších a nejdostupnějších. Pro žáky základní školy je to vhodný po několika stránkách. Program je relativně jednoduchý na ovládání, přeložen je do českého jazyka. Verze s anglickým menu je pro žáky o něco složitější. Mimo správné orientace si žáci zdokonalí jazykové schopnosti. Variantou může být i výuka v anglické verzi.

Při úvodu do programu nesmí chybět volně dostupné tutoriály nebo jednoduché objekty. Představou je začít u jednoduchých věcí (vzorem může být internet) a poté navázat na tvorbu obtížnějších modelů. Ve svých přípravách jsem se věnoval nejdříve

---

57 O počítačích, IT a internetu – Živě.cz: *Nejllepší bezplatný program pro 3D modelování* [online]. 27.05.2012 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/nejlpsi-bezplatny-program-pro-3d-modelovani/sc-3-a-163845/default.aspx>

jednodušším modelům s cílem osvojit si základní funkce v programu. Na tuto část navázaly složitější a propracovanější modely. Vyvrcholením výuky se stane realizace nápadu každého žáka – žák prokáže, že si umí něco vymyslet a zároveň i vymodelovat.

Z volně dostupných počítačových programů jsem provedl průzkum trhu a prošel webové stránky, kde je možné programy stáhnout. Jedná se o stránky výrobců. Z výše uvedených programů jsem jejich výčet omezil, protože firma Autodesk požaduje vytvoření účtu, Corel Draw nemá možnost práce s prostorem – pro práci v ploše je rychlejší využít jiný program, například Sketch Up. (Tab. 6)

Program Google Sketch Up je možné stáhnout na této adrese: <https://sketchup.cz/sketchup-free/>. S posledními úpravami se nabízí možnost pracovat ve webovém prohlížeči. Stažení starší verze je taktéž možné, je třeba rozlišit třicetidenní zkušební verzi. Z obsáhlosti a porovnání s ostatními programy vychází Google Sketch Up dobře, má dostatek funkcí a možností oproti jiným programům.<sup>58</sup>

Dalším programem je Blender - <https://www.blender.org/download/>. Pozornost je zaměřena na animace a modelování. Je ke stažení zdarma, používá se především pro design počítačových her díky animacím. Pro tvorbu modelů je taktéž vhodný.<sup>59</sup>

Program Tincer Cad je k dispozici zdarma. Stáhnou se dá z adresy: <https://www.tinkercad.com/>. Předem upozorňuji, že se jedná o produkt společnosti Autodesk a licence na určitou dobu je zdarma – pro studenty, učitele a další skupiny uživatelů. Jedinou podmínkou pro stažení je vytvoření uživatelského účtu. Po kliknutí na Start Tinkering nás program přesměruje na stránky Autodesku, kam zadáme přístupové údaje nebo si vytvoříme účet. Získat lze verzi ke stažení nebo přístup do cloudové verze. Práce ve webovém prohlížeči má výhodu použití dostupných tutoriálů (rychlejší).<sup>60</sup>

Wings 3D je ke stažení zdarma z adresy: [http://www.wings3d.com/?page\\_id=84](http://www.wings3d.com/?page_id=84). Program se blíží období 3ds Maxu od Autodesku a Blenderu. Podle dostupných popisů se jedná o obdobu Blenderu, jak po obsahové stránce, tak i funkcích.<sup>61</sup>

---

58 Sketchup.cz:3e Praha Engineering a. s. [online]. 2018 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://sketchup.cz/sketchup-free/>

59 Download – Blender.com: *Creative Freedom Starts Here* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.blender.org/download/>

60 Tinkercad: *Autodesk Tinkercad* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.tinkercad.com/>

61 Downloads Wings 3D: *Downloads* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [http://www.wings3d.com/?page\\_id=84](http://www.wings3d.com/?page_id=84)



Předposledním zmiňovaným programem je Sculptris. Stažení je možné ze stránek výrobce - <http://pixologic.com/sculptris/>. Sculptris se používá k modelování 3D objektů. Zde v porovnání s Google Sketch Up je Sculptris více zaměřen na tvorbu s texturou a materiály. Je možné v něm vytvářet modely s finálními povrchy. Pro tvorbu modelu, který budeme následně fyzicky realizovat nevidím příliš velké využití.<sup>62</sup>

Shapesmith je možné stáhnout nebo se přihlásit do webového prohlížeče. Podle dostupných popisů nabízí program pro modelování objektů a modelů jen základní funkce, jež je možné realizovat různými postupy ve všech předchozích programech. Přirovnávám ho k programu 3D Malování. Stáhnou se dá z adresy: <http://shapemith.net/>.<sup>63</sup>

Program	Odkaz ke stažení	Poznámky
Google Sketch Up	<a href="https://sketchup.cz/sketchup-free/">https://sketchup.cz/sketchup-free/</a>	Podpora, dostupnost
Blender	<a href="https://www.blender.org/download/">https://www.blender.org/download/</a>	Animace
Tiker Cad	<a href="https://www.tinkercad.com/">https://www.tinkercad.com/</a>	Vytvoření účtu
Wings 3D	<a href="http://www.wings3d.com/?page_id=84">http://www.wings3d.com/?page_id=84</a>	Funkce
Sculptris	<a href="http://pixologic.com/sculptris/">http://pixologic.com/sculptris/</a>	Materiály
Shapesmith	<a href="http://shapemith.net/">http://shapemith.net/</a>	Omezení při modelaci

Tab. 6 Volně dostupné programy k modelaci 3D objektů

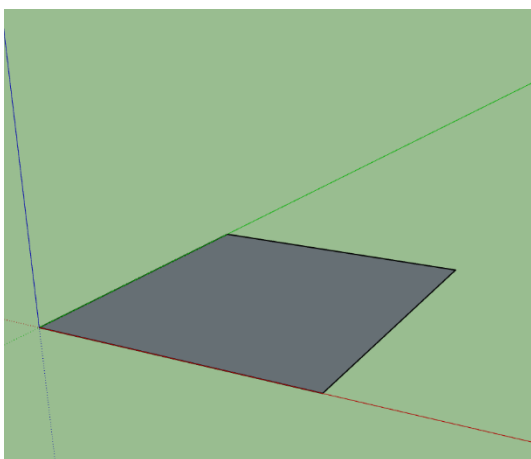
62 Pixologic: *Sculptris* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://pixologic.com/sculptris>

63 Shapemith.net: *Parametric, Open source, 3D modelling* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://shapemith.net/>

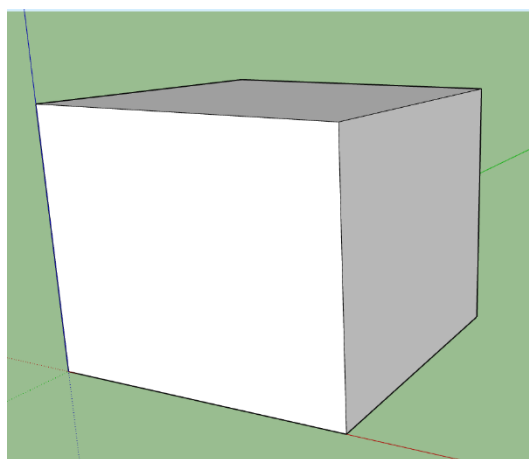
## 9.2 Ukázka modelů

### 9.2.1 Model č. 1

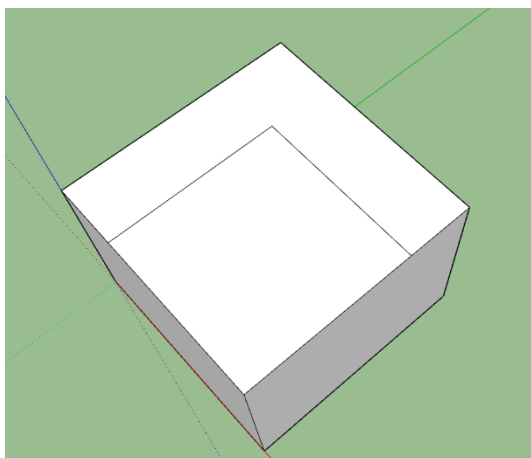
Prvotními kroky v programu se žáci seznámí s postupem kreslení modelu. V úvodu hodiny proběhne výklad a instruktáž, jaké možnosti nabízí program Google Sketch Up. Zbývající čas bude věnován samostatné práci žáků. Jejich úkolem bude vymodelovat logo Sketch Up, které tvoří krychli. Postupů modelování je několik, popisují jeden z nich. Prvně se nakreslí čtverec pro základnu. Druhým krokem základnu označíme a vysuneme na krychli. Třetím a čtvrtým krokem nakreslíme čtverce na horní plochu krychle, vysuneme do modelu a zformují se nám odskoky. Pro lepší seznámení s možnostmi programu jsem použil kombinaci barev – červenou a bílou na horní plochy, jak logo ve skutečnosti vypadá. (Obr. 14–21)



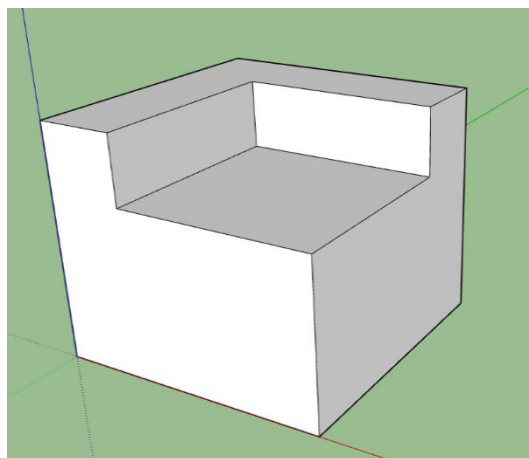
Obr.14 Čtvercová základna



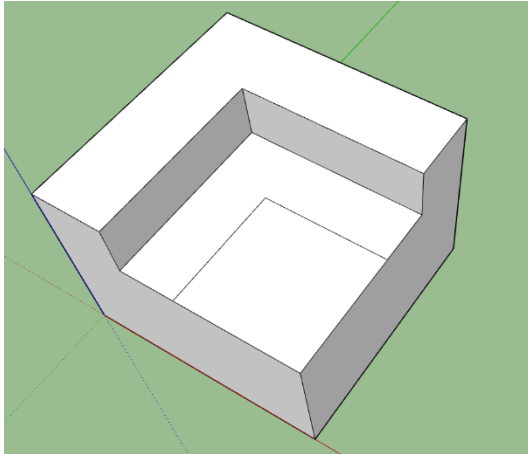
Obr.15 Krychle



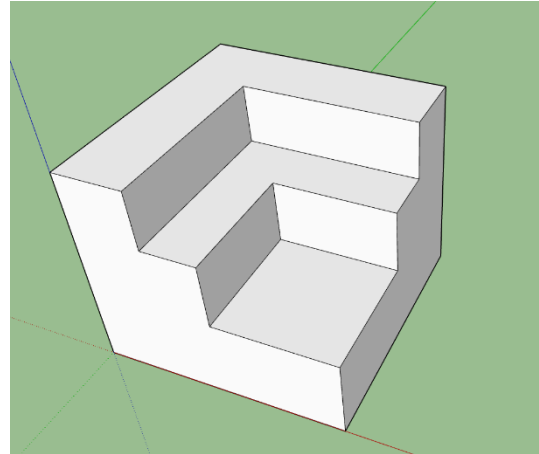
Obr.16 Kreslení čtverce



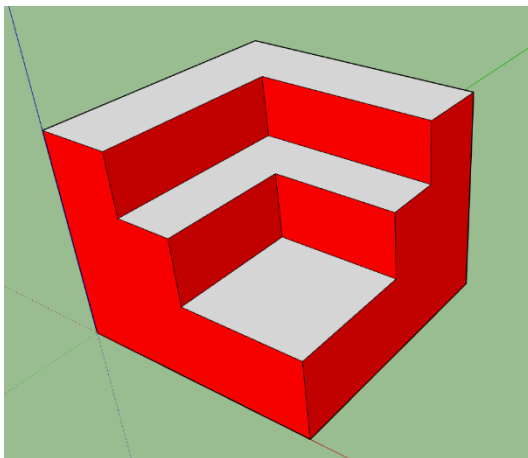
Obr.17 Vysunutí



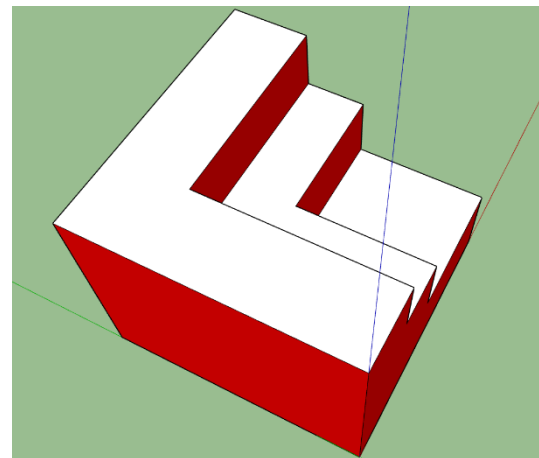
Obr. 18 Kreslení druhého čtverce



Obr.19 Vysunutí druhého čtverce



Obr.20 Použití barev pro logo

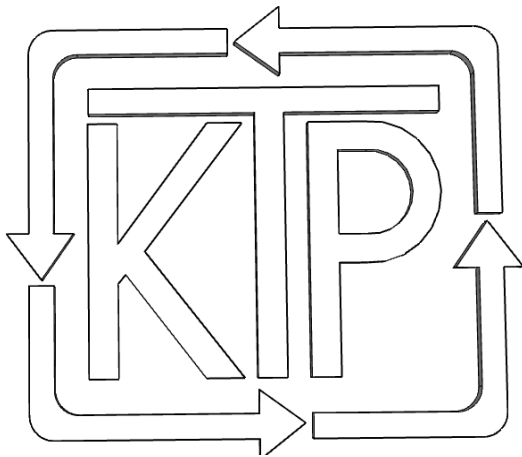


Obr.21 Pohled na logo zezadu

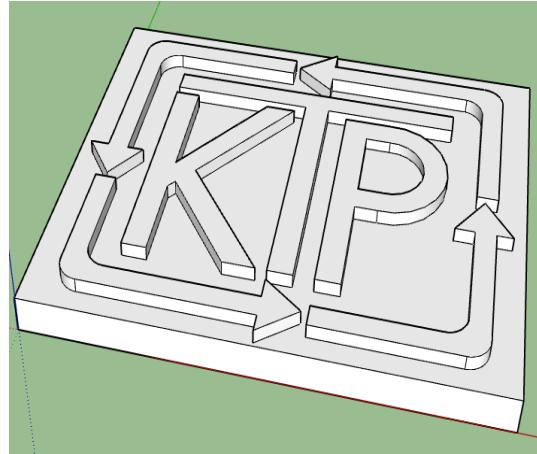
### 9.2.2 Model č. 2

Pro ilustraci práce s písmem jsem zvolil logo katedry technických předmětů. Skládá se ze tří písmen a rámečku se šípkami. Kreslení písmen je možné několika způsoby, zvolil jsem obdélník a k němu pokračoval čarami. Písmeno P jsem nakreslil funkcí oblouku, pomocí tří kliků myši. Okolní rámeček vznikl z obdélníku, šipky z čar a zaoblení z oblouku. Připomínám opakování tvarů, okolní rámeček stačí nakreslit jednou a poté kopírovat a otáčet, dohromady třikrát. (Obr. 22, Obr. 23)

Inspirací pro žáky je vytvoření jmenovky nebo nápisu. Použití písma je na žácích, nemusí odpovídat zadanému vzoru. Jedinou podmínkou je čitelnost. Výsledný tisk v reálné velikosti přiřazuji k velikosti propagačním předmětům, například visačce na klíče či jinému prvku obdobné velikosti.



Obr.22 Práce s písmem a tvary

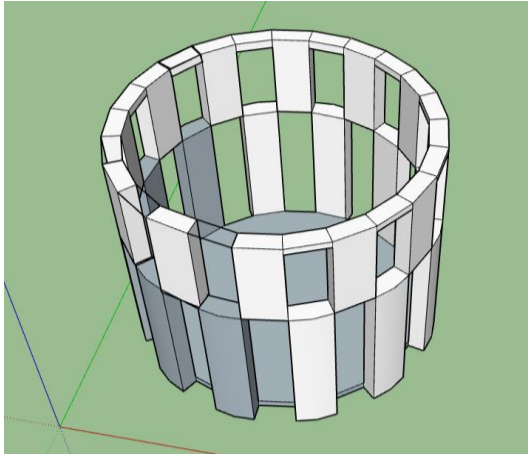


Obr.23 Výsledný model

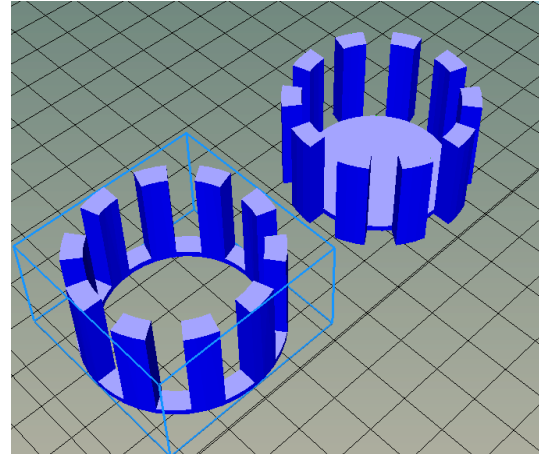
### 9.2.3 Model č. 3

Zcela ideální ukázkou 3D tisku je ukázat žákům obtížný objekt, jehož výroba je běžnými způsoby opracování velice těžká a zdlouhavá. Navrhl jsem vázu kruhového tvaru. (Obr. 24) Ke kruhové podstavě, jenž vznikla kreslením kruhu a vysunutím jsem přidal plášť, který je tvořen z hranolů, navzájem spojených k základně. Šířka prázdného místa a stěny (hranolu) je stejná. V polovině výšky vázy dochází ke změně, hranoly se mění na prázdné prostory a naopak. Zmínit musím okolnosti dalšího zpracování tohoto modelu. Podstava a hranoly mají při tisku určitou výplň, nejsou plné. Hranoly tvořící plášť mají jinou výplň, než prázdná místa, kde dojde k tisku podpory. Podporu tvoří jiná výplň, po zchlazení musí být odstraněna. V opačném případě vznikne model, který budeme obtížně dostávat do podoby na obrázku. Vytisknutý model tedy bude velmi podobný válci, kde jeden z jeho konců tvoří podstava. Po vytisknutí a zchlazení prototypu je nutností zalamovacím nožem odstranit všechny podpory. Upozorňuji i na skutečnost vzájemného styku hranolů u obvodu vázy. Zde jsou místa velmi zeslabená, pro tisk dekorativního předmětu to tolik nevádí, ale pro častější použití doporučuji provést v těchto místech vzájemného styku.

Tisk takto obtížného objektu je možný také na více částí. Z výše popsaného procesu tisku musíme odstranit po zchlazení podpory, což je velmi obtížný úkol. Návrhem je rozdělení vázy na dvě části. (Obr. 25) Spodní část je vpravo nahoře, tvoří ji válec a hranoly. Horní část je stejná, místo válce je zde pouze prstenec po obvodu. Tato část je tisknuta v obrácené poloze, je otočena o 180°. Rozdělením vázy na dvě části docílíme tisku bez podpory (nejsou potřebné) a úspore materiálu. Po zchlazení obou částí je musíme vzájemně spojit. Objevuje se zde nutnost provedení nerozebíratelného spojení – lepení.



Obr.24 Váza



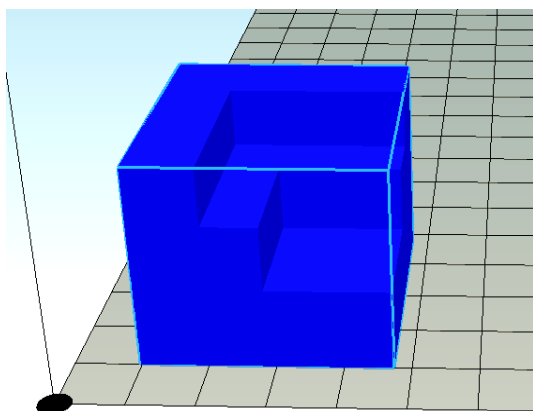
Obr.25 Rozdělení vázy pro tisk

## 10 Postup pro zpracování před tiskem

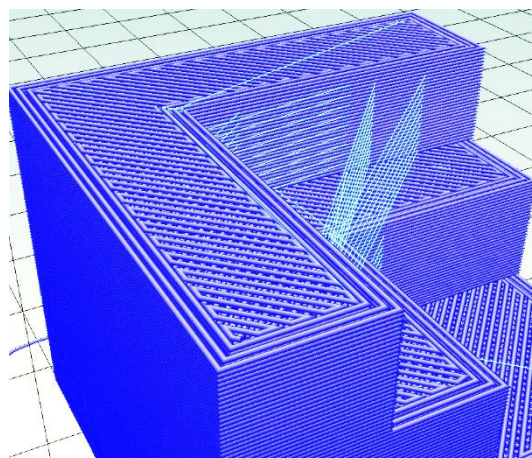
Po vytvoření trojrozměrného modelu v počítačovém programu přichází na řadu jeho uložení do STL souboru, slicování a nahrání tiskových dat do tiskárny. Volba uložení do STL souboru je někdy vedena jako doplňková (záleží na verzi), musí se doinstalovat rozšíření ze stránek výrobce. Lze použít i jinou možnost – je nutné zvolit ve Sketch Upu funkci exportovat a uložit jako soubor s příponou .3ds. Vše záleží na používaném sliceru pro přípravu modelu před tiskem. Mě se ve Slic3ru (otevřeno pomocí FelixPrinters) soubor otevřel, čímž jsem vložil vymodelované logo Sketch Up na pracovní (tiskovou) desku. Zde to řeším formou simulace, hodnoty mám stanovené pro tisk struny o průměru 1,75 mm, výška vrstvy je 0,3 mm a rychlost tisku je omezena na 20 milimetrů za sekundu. Výplň je přednastavena na šestiúhelník (cca třicet procent objemu modelu). Po načtení se zobrazil objekt, který jsem si upravil na požadované rozměry (velikost strany). Poté program umožňuje vytvoření tiskových dat. Po několika vteřinách vznikl soubor ve formátu STL souboru, jež umožňuje tento soubor tisknout na jakékoliv tiskárně. Pro přiblížení mého výstupu – logo Sketch Up bude mít velikost strany čtyřicet milimetrů (krychle). Slicer vypočítal spotřebu materiálu – cca 2,5 metru vlákna, přibližnou dobu tisku – cca 38 minut a počet vrstev – 104. Struna má průměr 1,75 milimetru. Tyto údaje jsou orientačního charakteru, každá tiskárna má své vlastní nastavení a údaje se mohou lišit. Ve většině případů slicer vypočítá určité údaje (například spotřeba struny), které jsou menší než reálné. Nelze z toho zcela vycházet. Po uložení do STL souboru mi vznikl G-kód. Zde obsahoval kolem 16 a půl tisíce řádků, kde jsou přesně definované pohyby tiskové hlavy. Tento konkrétní příklad zobrazuje výplň modelu jako šestiúhelníkový motiv a tisk proběhne bez podpor. Model je ideálně rozložen, základna je největší a



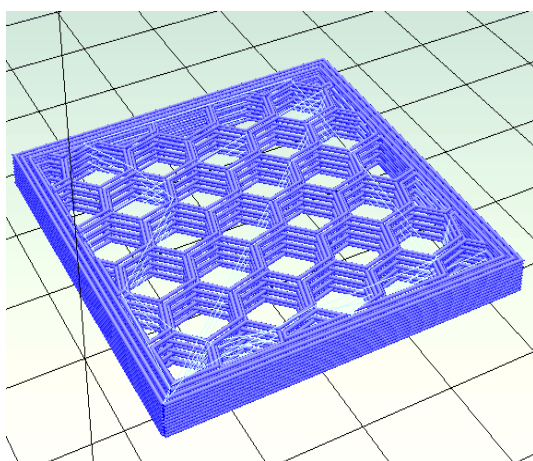
směrem nahoru se zmenšuje. Po dokončení poslední vrstvy modelu a zchladnutí výrobku je model dokončený bez nutnosti dalšího zásahu. (Obr. 26–33)



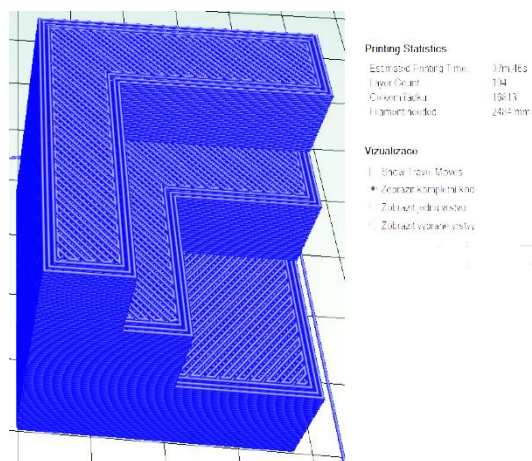
Obr.26 Umístění na tiskovou podložku



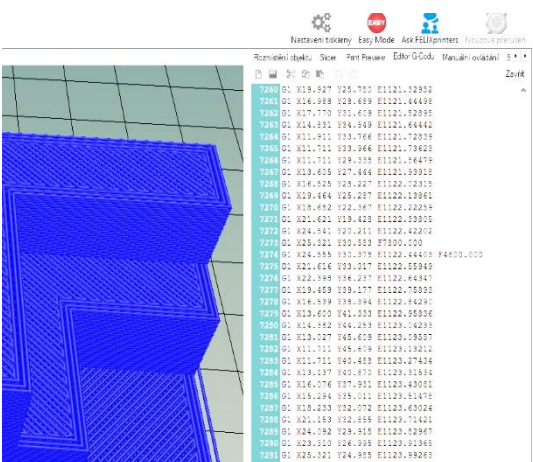
Obr.27 Detail vrstev



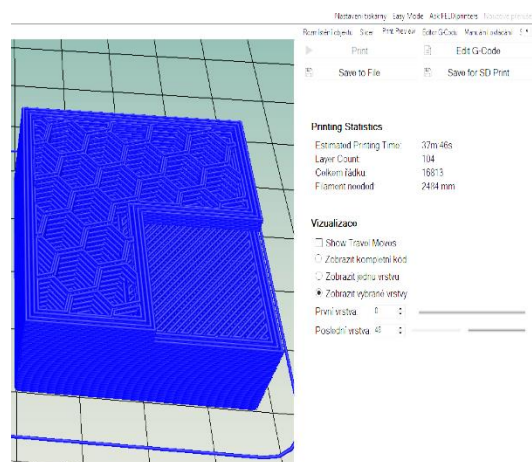
Obr.28 Postup vrstvení výplně modelu



Obr.29 Základní údaje o modelu



Obr.30 Detail G-kódu



Obr.31 Postup vrstvení

Nastavení tiskárny Easy Mode Ask FELIXprinters Nouzové přerušení

Rozmístění objektů Slicer Print Preview Editor G-Code Manuální ovládání

Zavřít

```

7260 G1 X19.927 Y25.750 E1121.32952
7261 G1 X16.988 Y28.689 E1121.44498
7262 G1 X17.770 Y31.609 E1121.52895
7263 G1 X14.831 Y34.549 E1121.64442
7264 G1 X11.911 Y33.766 E1121.72839
7265 G1 X11.711 Y33.966 E1121.73623
7266 G1 X11.711 Y29.338 E1121.86479
7267 G1 X13.605 Y27.444 E1121.93918
7268 G1 X16.525 Y28.227 E1122.02315
7269 G1 X19.464 Y25.287 E1122.13861
7270 G1 X18.682 Y22.367 E1122.22259
7271 G1 X21.621 Y19.428 E1122.33805
7272 G1 X24.541 Y20.211 E1122.42202
7273 G1 X25.321 Y30.583 F7800.000
7274 G1 X24.555 Y30.378 E1122.44403 F4800.000
7275 G1 X21.616 Y33.317 E1122.55949
7276 G1 X22.398 Y36.237 E1122.64347
7277 G1 X19.459 Y39.177 E1122.75893
7278 G1 X16.539 Y38.394 E1122.84290
7279 G1 X13.600 Y41.333 E1122.95836
7280 G1 X14.382 Y44.253 E1123.04233
7281 G1 X13.027 Y45.609 E1123.09557
7282 G1 X11.711 Y45.609 E1123.13212
7283 G1 X11.711 Y40.488 E1123.27434
7284 G1 X13.137 Y40.870 E1123.31534
7285 G1 X16.076 Y37.931 E1123.43081
7286 G1 X15.294 Y35.011 E1123.51478
7287 G1 X18.233 Y32.072 E1123.63024
7288 G1 X21.153 Y32.855 E1123.71421
7289 G1 X24.092 Y29.915 E1123.82967
7290 G1 X23.310 Y26.995 E1123.91365
7291 G1 X25.321 Y24.985 E1123.99263
7292 G1 X25.321 Y30.583 E1124.14815
7293 G1 X34.833 Y32.069 F7800.000

```

Vizualizace G-Code Syntax Search

Zobrazit kompletní kód  
 Zobrazit jednu vrstvu  
 Zobrazit vybrané vrstvy

První vrstva: 26

Poslední vrstva: 36   104

Obr.32 G-kód

Nastavení tiskárny Easy Mode Ask FELIXprinters Nouzové přerušení

Rozmístění objektů Slicer Print Preview Editor G-Code Manuální ovládání

Print Edit G-Code

Save to File Save for SD Print

**Printing Statistics**

Estimated Printing Time: 37m:46s  
Layer Count: 104  
Celkem řádků: 16813  
Filament needed: 2484 mm

**Vizualizace**

Show Travel Moves  
 Zobrazit kompletní kód  
 Zobrazit jednu vrstvu  
 Zobrazit vybrané vrstvy

První vrstva: 0

Poslední vrstva: 48

Obr.33 Vrstvy modelu, řez 48. vrstvou modelu

## 10.1 Slicery

Hlavním krokem při přípravě tiskových dat je slicování. Ve sliceru si načteme vymodelovaný soubor a nastavíme si požadované parametry. Vycházíme z parametrů tiskárny. Slicer, jako program vezme náš soubor ve formátu STL a vytvoří z něj tisková data, tedy G-kód. Jsou to všechny pohyby tiskové hlavy v jednotlivých vrstvách. Výhoda slicování spočívá v možnosti předejít chybě při tisku modelu. Simulací zjistíme případné nedostatky, jež můžeme odstranit a zajistit bezproblémový tisk.

Slicerů je na výběr několik, před tiskem jde hlavně o odhad spotřeby materiálu a doby tisku. Od těchto dvou parametrů lze dopočítat v případě realizace tisku v tiskovém centru odhad ceny tisku modelu. Slicery je možné stáhnout zdarma z webových stránek výrobců, existují i placené verze. Zaměřil jsem se na bezplatné slicery a vytvořil z nich přehled.

Velmi často používaný je 3D Slicer. Jeho využití bylo zaměřeno na lékařství. Ke stažení je ze stránek výrobce: <https://download.slicer.org/>. Dnes slouží i pro širokou veřejnost.<sup>64</sup>

Druhým nejrozšířenějším slicerem je Cura. Ovládání je podobné, ke stažení je zdarma. Cura slouží především pro přípravu dat pro 3D tisk. Ke stažení je z <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>.<sup>65</sup>

Firma Průša zabývající se 3D tiskem odkazuje na web, kde je možné stáhnout Slic3r. Slicer je ke stažení zdarma z odkazu: <https://slic3r.org/download/>. Zde je možné vybrat a stáhnout si i starší verzi. Stránky jsou pěkně zpracovány, nechybí ani návod na ovládání sliceru (v angličtině).<sup>66</sup>

Slicerem, který je možné stáhnout zdarma, i jako placený, je Simplify 3D. Obě verze jsou ke stažení ze stránek výrobce: <https://www.simplify3d.com/software/features/>. Dle popisu je to jeden z nejlepších slicerů pro přípravu tiskových dat. Placená verze slouží pro tvorbu tiskových dat a simulaci pro vícetřiskové tiskárny.<sup>67</sup>

---

64 3DSlicer.cz: *Download Slicer4* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z: <https://download.slicer.org/>

65 Ultimaker: *Ultimaker Cura software* [online]. ©2011-2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>

66 Slic3r: *Download* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z: <https://slic3r.org/download/>

67 Simplify 3D: *Simplify3D® Version 4.1* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/software/features/>



## Závěr

Tvorba bakalářské práce mě bavila, i přes počáteční úskalí v omezeném množství literatury zabývající se technologií 3D tisku. Mnoho potřebných informací se mi podařilo dohledat na webových stránkách zabývajících se oblastí 3D tisku, část v literatuře a část také v obhájených kvalifikačních pracích. Bakalářská práce je limitována počtem stran, v budoucnu se mi nabízí ještě mnoho dílčích oblastí, kterými bych se mohl dále zabývat.

V teoretické části jsem se věnoval vyhledávání informací, praktickou část jsem zaměřil na tvorbu jednoduchých modelů. Od jednoduchého loga (například Sketch Up), jež může vzniknout mnoha způsoby jsem pokračoval přes barevnost k převodu do souboru sloužícího k tisku. Pro ukázkou jsem shrnul celý proces, který je nutné absolvovat pro bezproblémový tisk. Po vymodelování modelu jsem si model otevřel ve Slic3ru a vygeneroval všechny potřebné údaje. Pro ukázkou je tu G-kód, doba tisku, spotřeba struny a další parametry. U modelu je možné provádět další různá nastavení, čímž lze dosáhnout například menší spotřeby materiálu při menší výplni. Tato výsledná data slouží pouze k přiblížení procesu před tiskem, v případě realizace záleží na možnostech dané tiskárny.

Zvolené téma bakalářské práce mě zajímá i z pohledu mé druhé aprobace – výtvarná výchova. Pro další cíl, případně pokračování v tématu navrhuji věnovat se tvorbě obtížnějších modelů a vyzkoušet si práci v dalších počítačových programech. Nápadů a námětů pro uchopení problematiky 3D tisku je široké množství, mimo detailnějšího použití materiálů nebo tiskových technologií se mohou zabývat tvorbou samotných modelů ve formě experimentování. Vznikne porovnání mezi dostupnými programy. Dále se mohou zabývat experimentálními činnostem při tisku, využívání různých plastových strun a jejich rozdílnost při daném procesu zpracování při tisku. Zaměřit se mohou na materiál a jeho limity a v opačném případě na limity tiskárny.

## Seznam použitých zkratek

ABS	akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Computer Aided Design = počítačem podporované navrhování
FDM	Fused Deposition Modeling
LOM	Laminate Object Metod
MSLA	Mask Stereolitography
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PET	polyethylentereftalát
PLA	polylaktid
SLA	stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
TPU	termoplastický polyuretan
UV	ultrafialové (záření)
3D	trojrozměrný

## Citace a zdroje literatury

- [1] Alza.cz: *Filamenty pro 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/filamenty-pro-3d-tiskarny/18854774.htm>
- [2] Alza.cz: *3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/3d-tiskarny/18854773.htm#f&cst=0&cud=0&pg=1&prod=&sc=30>
- [3] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [4] Futlab.cc: *Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit* [online]. 02.01.2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>
- [5] ČERNOHORSKÝ, Zdeněk. Vyhodnocení nákladů technologií 3D tisku s využitím BIM modelů ve stavebním podniku. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68017/F1-DP-2017-Cernohorsky-Zdenek-Diplomova%20prace.pdf?sequence=1>
- [6] Dk metal prominent s. r. o.: *Přehled technologií 3D tisku* [online]. ©2012-2017 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologiei-3D-tisku>
- [7] Download – Blender.com: *Creative Freedom Starts Here* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.blender.org/download/>
- [8] Downloads Wings 3D: *Downloads* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [http://www.wings3d.com/?page\\_id=84](http://www.wings3d.com/?page_id=84)
- [9] Futur3D: *Základní pravidla 3d modelování pro 3d tisk* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/zakladni-pravidla-3d-modelovani-pro-3d-tisk>
- [10] GERHARD, Karyn. *3D printing projects*. New York, New York: DK Publishing, [2017]. ISBN 978-146-5464-767.

- [11] HORVATH, Joan C. *Mastering 3D printing*. Berkeley, California: Apress, [2014]. Technology in action series.
- [11] HŘAVA, Jan. *3D tisk a jeho využití v technickém vzdělávání*. České Budějovice, 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra informatiky. Dostupné z: [https://theses.cz/id/ka6ktx/Jan\\_Hava\\_-\\_3D\\_tisk\\_a\\_jeho\\_vyuiti\\_v\\_technickm\\_vzdelavn.pdf](https://theses.cz/id/ka6ktx/Jan_Hava_-_3D_tisk_a_jeho_vyuiti_v_technickm_vzdelavn.pdf)
- [12] Chci to 3D: *Zakázkový 3D tisk za rozumnou cenu* [online]. 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://chcito3d.cz/>
- [13] IT network.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>
- [14] Josef Průša: *O 3D tisku* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
- [15] Josef Průša: *3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. ©2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/#our-printer>
- [16] KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-802-5148-761.
- [17] Konstruktor: CAD, CAM, PLM, obrábění, 3D tisk, výroba, automatizace. Praha: Springwinter., 2013-. ISBN 1805-8590.
- [18] Makerslab: *3D tisk - PLA* [online]. ©2016 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://makerslab.cz/3d-tisk-pla/>
- [19] MAŇÁK, Josef. *Nárys didaktiky*. 3. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2003. ISBN 80-210-3123-9.
- [20] MAREŠ, Jiří. *Pedagogická psychologie*. Praha: Portál, 2013. ISBN 978-80-262-0174-8.
- [21] *Mastering 3d printing in the classroom, library, and lab*. New York, NY: Springer Science Business Media, 2018. ISBN 978148-4235-003.

- [22] Material pro 3D: *ABS 1,75 mm* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/abs-1-75/>
- [23] Material pro 3D: *PLA 1,75 mm* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pla-1-75/?pv25=106>
- [24] MINAŘÍK, Miroslav. *Reprap, 3D FDM tiskárna*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=66623](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66623)
- [25] MLEZIVA, Josef. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [26] O počítačích, IT a internetu – Živě.cz: *Nejlepší bezplatný program pro 3D modelování* [online]. 27.05.2012 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/nejlepsi-bezplatny-program-pro-3d-modelovani/sc-3-a-163845/default.aspx>
- [27] PETTY, Geoffrey. *Moderní vyučování*. Vyd. 3. Přeložil Štěpán KOVAŘÍK. Praha: Portál, 2004. ISBN 80-7178-978-X.
- [28] Pixologic: *Sculptris* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://pixologic.com/sculptris>
- [29] Pk model.cz: *Technologie 3D tisku* [online]. ©2006 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
- [30] Prusa Research: *Tiskové struny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/16-tiskove-struny>
- [31] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opravené a rozšířené vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
- [32] Shapemith.net: *Parametric, Open source, 3D modelling* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://shapemith.net/>

- [33] Simplify 3D: *Simplify3D® Version 4.1* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09].  
Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/software/features/>
- [34] Sketchup.cz: *3e Praha Engineering a. s.* [online]. 2018 [cit. 2019-03-20].  
Dostupné z: <https://sketchup.cz/sketchup-free/>
- [35] Slic3r: *Download* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z:  
<https://slic3r.org/download/>
- [36] Tinkercad: *Autodesk Tinkercad* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z:  
<https://www.tinkercad.com/>
- [37] TS Bohemia.cz: *Náplně do 3D tiskárny* [online]. ©2019 [cit. 2019-03-20].  
Dostupné z: [https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplne-do-3d-tiskarny\\_c23818.html?page=2#prodlistanchor](https://www.tsbohemia.cz/spotrebni-material-naplne-do-3d-tiskarny_c23818.html?page=2#prodlistanchor)
- [38] Ultimaker: *Ultimaker Cura software* [online]. ©2011-2019 [cit. 2019-06-09].  
Dostupné z: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>
- [39] VANĚČEK, David. *Didaktika technických odborných předmětů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 97880-01-05991-3.
- [40] Wikipedie: *Bioplast* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z:  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Bioplast>
- [41] Wikipedie: *Vlákno PLA* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlákno\\_PLA](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlákno_PLA)
- [42] Wikipedie: *3D tisk* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/3D\\_tisk](https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk)
- [43] Zboží.cz: *3D tiskárny* [online]. ©1996–2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z:  
<https://www.zbozi.cz/pocitace/pocitacove-prislusenstvi/tiskarny-a-prislusenstvi/3d-tiskarny/>
- [44] 14220.cz: *3D tisk-metody* [online]. 01.05.2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z:  
<http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>

- [45] 3d tisk na zakázku: *Ceník 3d tisku* [online]. ©2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://3dplay.cz/cenik\\_tisku\\_dotazy/](https://3dplay.cz/cenik_tisku_dotazy/)
- [46] 3d tisk Praha: *Ceník služeb* [online]. 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk-praha.cz/>
- [47] 3d tisk.cz: *Nové centrum 3D tisku Univerzity Palackého v Olomouci chce pomoci transferu aditivních technologií do průmyslu (rozhovor)* [online]. 31.03.2016 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/nove-centrum-3d-tisku-univerzity-palackeho-v-olomouci-chce-pomoci-transferu-aditivnich-technologii-do-prumyslu/>
- [48] 3DSlicer.cz: *Download Slicer4* [online]. ©2019 [cit. 2019-06-09]. Dostupné z: <https://download.slicer.org/>
- [49] 3D tiskárny Stratasys: *AKCE! 3D tiskárna uPrint SE Plus za 149.980 Kč* [online]. ©2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.objet.cz/news/38/125/AKCE-3D-tiskarna-uPrint-SE-Plus-za-149-980-Kc>

## Seznam obrázků a tabulek

Všechny uvedené obrázky a tabulky jsou z archivu autora.

- Obr. 1 Princip stereolitografie
- Obr. 2 Princip technologie SLS
- Obr. 3 Technologie LOM
- Obr. 4 Princip technologie FDM
- Obr. 5 Schéma extrudéru
- Obr. 6 Jmenovka na podkladu
- Obr. 7 Vysunutí písmen
- Obr. 8 Podstavec
- Obr. 9 Kreslení pomocí objektů
- Obr. 10 Kombinace tvar a obrys
- Obr. 11 Prostorová písmena, navzájem spojená
- Obr. 12 Vlastní proporce písma
- Obr. 13 Vysunutí a deformace písma
- Obr. 14 Čtvercová základna
- Obr. 15 Krychle
- Obr. 16 Kreslení čtverce
- Obr. 17 Vysunutí
- Obr. 18 Kreslení druhého čtverce
- Obr. 19 Vysunutí druhého čtverce
- Obr. 20 Použití barev pro logo
- Obr. 21 Pohled na logo zezadu
- Obr. 22 Práce s písmem a tvary
- Obr. 23 Výsledný model
- Obr. 24 Váza
- Obr. 25 Rozdělení vázy pro tisk
- Obr. 26 Umístění na tiskovou podložku
- Obr. 27 Detail vrstev
- Obr. 28 Postup vrstvení výplně modelu
- Obr. 29 Základní údaje o modelu



Obr. 30	Detail G-kódu
Obr. 31	Postup vrstvení
Obr. 32	G-kód
Obr. 33	Vrstvy modelu, řez 48. vrstvou modelu
Tab. 1	Porovnání cen 3D tiskáren podle tiskových metod (k 28. 4. 2019)
Tab. 2	Porovnání prodejních cen FDM tiskáren (k 28. 4. 2019)
Tab. 3	Porovnání cen strun (k 20. 3. 2019)
Tab. 4	Porovnání cen tisku (k 22. 5. 2019)
Tab. 5	Návrh vyučovací hodiny
Tab. 6	Volně dostupné programy k modelaci 3D objektů