



## **Středoškolská technika 2018**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **3D tiskárna a užití v praxi**

**Vojtěch Fiala, Veronika Brúnová**

SPŠ, SOŠ a SOU Hradec Králové

Hradební 1029/2, 500 03 Hradec Králové

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>3D TISK</b> .....	<b>9</b>
2.1	PRINCIP .....	9
2.2	HISTORIE .....	10
2.3	DRUHY TECHNOLOGIÍ.....	11
2.3.1	<i>Technologie SLA</i> .....	11
2.3.2	<i>Technologie SLS</i> .....	12
2.3.3	<i>Technologie FDM</i> .....	13
2.3.4	<i>Technologie binderjetting</i> .....	14
2.3.5	<i>Technologie DMLS</i> .....	15
<b>3</b>	<b>STAVBA TISKÁRNÝ</b> .....	<b>16</b>
3.1	KONSTRUKČNÍ ČÁST .....	16
3.1.1	<i>Návrh</i> .....	16
3.1.2	<i>Výroba dílů</i> .....	17
3.1.3	<i>Konstrukce</i> .....	19
3.1.3.1	Rám .....	19
3.1.3.2	Plexisklo .....	19
3.1.3.3	Nosné komponenty .....	20
3.1.3.4	Ostatní komponenty.....	20
3.1.3.5	HotEnd (tisková hlava).....	21
3.1.3.6	Extruder .....	22
3.1.3.7	Hardware .....	24
3.1.3.8	Kompletace.....	25
3.2	SOFTWAREVÁ ČÁST.....	26
3.2.1	<i>Firmware</i> .....	26
3.2.2	<i>Programy</i> .....	27
3.2.2.1	Řídící software .....	27
3.2.2.2	Program pro převod souboru stl. ....	27
<b>4</b>	<b>VYUŽITÍ 3D TISKÁRNÝ V PRAXI</b> .....	<b>28</b>
4.1	OBORY .....	28
4.1.1	<i>Slévárenství</i> .....	28
4.1.2	<i>Velmi složité díly</i> .....	29
4.1.3	<i>Designové prvky</i> .....	30
4.2	TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY .....	31
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>32</b>
5.1	ZHODNOCENÍ AUTORY .....	32
<b>6</b>	<b>ODKAZY</b> .....	<b>33</b>
6.1	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....	33
6.2	CITACE .....	34
6.3	SEZNAM PŘÍLOH .....	36

# 1 ÚVOD

K 3D tisku, tiskárně samotné, tedy i k vnuknutí nápadu vyrobit si vlastní tiskárnu, mě defakto přivedla škola. Jednu z 3D tiskáren na trhu nám škola zakoupila pro praktickou výuku. Jednalo se o tiskárnu s názvem Easy 3D Maker. Tato tiskárna patří do střední třídy, tedy hobby či poloprofi segmentu.

V této době jsem se zabýval vytvářením RC modelu Tatry T815- 7 v měřítku 1:16, tudíž o odpovědná otázku, co vůbec na této tiskárně ve škole tisknout, nebyla nouze. Bohužel se tu jeden problém vyskytl.

Tiskárna Easy 3D Maker tiskne pouze plast a já potřeboval některé komponenty kovové, musel jsem začít přemýšlet nad tím, jak tento problém vyřešit. Díky shodě okolností pro mě nebyl problém nechat si z kovu odlít opravdu cokoli, jediné, co bylo potřeba, byl model. A tak jsem na jeden z prvních tisků využil své návrhy z Inventoru (CAD program) na model, který byl později použita odlit z hliníku.

Postupem času jsem začal pozorovat, že mi tato tiskárna časově nevyhovuje, jelikož je umístěna v jednom z učitelských kabinetů, byl tam přístup pouze v určitém časovém rozmezí. Některé komponenty však potřebují delší dobu, než byla vyhrazena, proto jsem začal přemýšlet nad výrobou své tiskárny. Postupně jsem si dával všechny své myšlenky dohromady, až jsem si opravdu řekl, že jdu do toho.

Začal jsem si své nápady graficky vytvářet v programu Invertor a zaznamenávat si je. Každým dnem mě napadaly jiné a jiné součástky, jiný design či jiný lépe využitelnější komponent. Svě nápady jsem konzultoval s firmou CNC Kovoform a firmou Stránský a Petržík, kde jsem si později nechal i nějaké součástky vyrobit. Jak šel čas, tiskárna byla graficky skoro 100% hotová a já si začal shánět součástky, nechával si je vyrábět na 3D tiskárně ve škole, nebo jsem si je dokonce vyrobil sám. Elektroinstalaci jsem měl také vyřešenou, a to pro mě, jako pro strojaře, byl asi ten největší oříšek.

Během realizace jsem musel řešit spousty úskalí, nepříjemností, ale ve finále mě projekt bavil a baví dodnes. Stavbou tiskárny jsem tedy došel k závěru, že obor strojírenství bude pro mě tou pravou volbou do života.



Obr. 1 Easy 3D Maker

## 2 3D TISK

### 2.1 Princip

3D tisk je proces, při kterém se z digitální předlohy vytvoří fyzický model. Vrstvy materiálů používaných na 3D tisk se na sebe mohou nanášet nejčastěji metodou tavení nebo spékání. Případně můžeme jednotlivé vrstvy vytvrdit UV zářením nebo reakcí s lepidlem. Celkově se tento proces označuje jako aditivní výroba. U tohoto procesu nezůstává téměř žádný odpadní materiál a možnosti tvarování jsou neomezené. Tvary mohou být proto náročnější než výrobou subtraktivní (CNC obrábění atd.), kdy se z celistvého materiálu odebírá obráběcími stroji, dokud nezískáte požadovaný tvar.

[1]



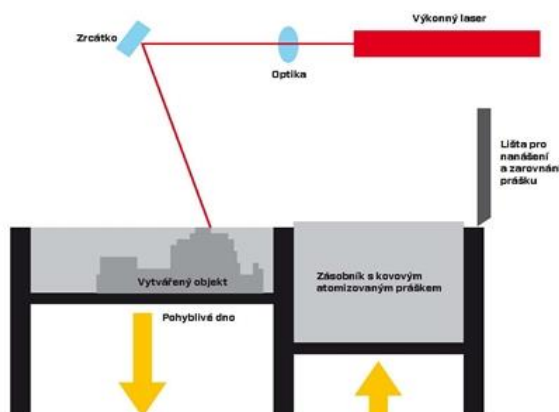
Obr. 2 Proces výroby

## 2.2 Historie

Můžeme říct, že 3D tisk je v podstatě novinkou na trhu. Není stará stovky let, pomalu ani desítky let. Historie 3D tisku započala až ve druhé polovině 20. století roku 1986, kdy si pan Charles Hull nechal patentovat technologii stereolitografie. Zařízení, které Hull vytvořil, pojmenoval jako SLA-1. Tento aparát byl pouze pro jeho účely a později první vytvořený model pro veřejnost dostal název SLA-250. Byly to jisté formy 3D tiskáren, byť se tento název v té době ještě nepoužíval. S prvním aparátem pro veřejnost byla také založena první firma zabývající se 3D tiskárnami, a to 3D Systems (zakladatel byl samozřejmě Charles Hull). Zprvu se používalo označení Rapid Prototyping, tedy rychlá výroba prototypů. Avšak první označení „3D tisk“ založila americká výzkumná univerzita MIT (Massachusetts Institute of Technology). Pro rychlejší vývoj této technologie proto zapůjčili licenci dalším 6-ti firmám. Další nová technolo-



Obr. 4 Charles Hull



Obr. 3 Stereolitografie

University of Bath doktorem Adrianem Bowyerem, projekt RepRap. Idea byla navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástí. Díky Open Source jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším druhem tiskáren celého světa. Také jim vděčíme za všechny dnešní tiskárny v hobby a poloprofi segmentu, tedy do 100 tisíc Kč. Dnešní doba je pro 3D tisk doba rozkvětu, kdy nemůže říct, že by se technologie přestaly vyvíjet a tento vývoj byl pozastaven. Ba naopak, každým dnem se pokračuje dále a dále. S určitou jistotou můžeme říct, že 3D tisk bude naše budoucnost.

gie a to SLS, tedy Selective laser sintering byla vynalezena na univerzitě The University of Texas at Austin, konkrétně v Austin Technology Incubator. Postupně se zakládají nové firmy a společnosti, které přicházejí s novými technologiemi jako je např. binderjetting, DMLS, FDM. Další veliký rozmach tiskáren byl v roce 2005 což je nejdůležitější rok v novodobé historii 3D tisku.

Byl založen nový projekt na

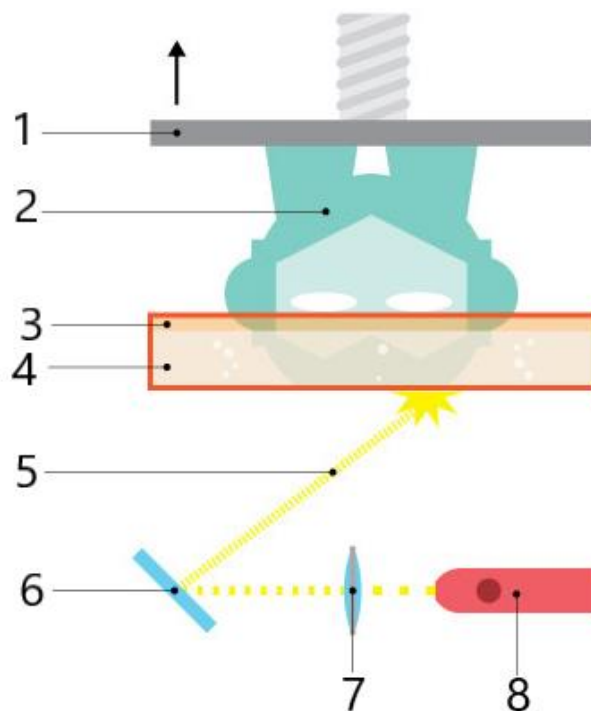
[1]

## 2.3 Druhy technologií

### 2.3.1 Technologie SLA

Zprvu něco k historii, je to nejstarší metoda, která byla vyvinuta Charlsem Hullem, tedy firmou 3D Systems, roku 1986. Princip této technologie spočívá na vytvrzování tekuté pryskyřice v lázni laserovým paprskem. Největší nevýhodou v minulosti byla křehkost vyrobených modelů. Model se dal relativně snadno opracovat a použít jako master model pro zaformování. Bohužel jeho schopnost zástavby byla velice špatná a nedala se prakticky vůbec použít u složitějších dílů. Přesto je tato technologie stále používána a je to vlastně základ pro všechny ostatní technologie.

[1]



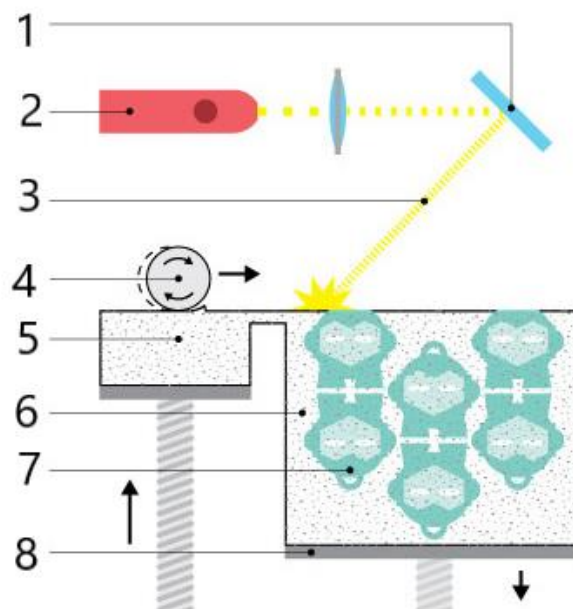
Obr. 5 Princip technologie SLA

- 1 - základová deska
- 2 - vytvrzená pryskyřice
- 3 - nádrž na pryskyřici
- 4 - UV vytvrzitelná pryskyřice
- 5 - laserový paprsek
- 6 - zrcadlo pro souřadnice XY
- 7 - objektiv
- 8 - laser

### 2.3.2 Technologie SLS

Další možnou technologií 3D tisku je technologie SLS (selective laser sintering), která byla vytvořena o něco později v The university of Texas at Austin, konkrétně v Austin Technology Incubator. Hlavním materiálem je polyamidový prášek, u kterého můžeme zvolit buď materiál se sklem, nebo bez skla. Pevnost těchto materiálů je vyšší než u SLA technologie, ale přesnost  $\pm 0,3$  mm a minimální tloušťka stěny 1 mm neumožňují dosáhnout uspokojivých výsledků u stavby složitějších modelů s drobnými detaily. Vzhledem k laserovému vytvrzení práškového materiálu je také povrch modelů hrubší a vyžaduje větší úsilí při dokončení.

[1]



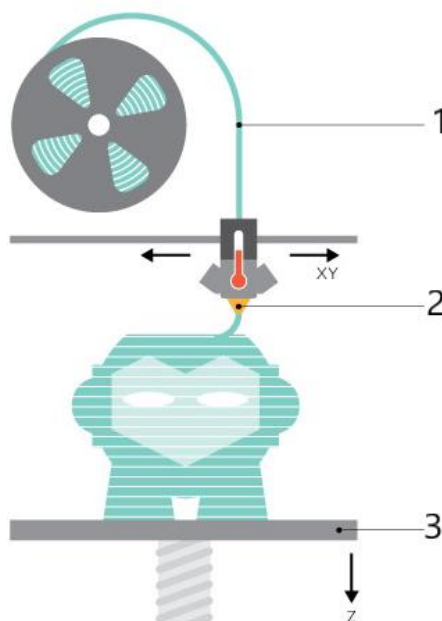
Obr. 6 Princip technologie SLS

- 1- zrcadlo
- 2 - laser
- 3 - paprsek
- 4 - vyrovnávací válec
- 5 - dodávací prášek
- 6 - uložený prášek
- 7 - „Marvin“ - zhotovený model
- 8 - základová deska

### 2.3.3 Technologie FDM

Technologií, která se snaží co nejvíce materiál přiblížit nepoužívanějším termoplastům ABS, PC, nebo kombinaci těchto materiálů, je Fused Deposition Modeling (FDM). Tato metoda umožňuje použít širokou škálu filamentů (tiskových materiálů) podle požadovaných vlastností. V tomto případě se nejedná o laserové vytváření prášku či kapaliny, ale hlavní částí stroje je tisková hlava, skládající se z tiskové komůrky a trysky. Materiál zahřátý těsně pod teplotu tavení je tryskou vtlačován na stavební platformu. Výhodou těchto modelů jsou dobré mechanické vlastnosti, vysoká teplotní odolnost a relativně nízká cena větších dílů, nevýhodou špatný povrch způsobený postupným nanášením vlákna a nejmenší přesnost ze všech popisovaných technologií. Tato technologie je hojně využívána pro prvotní zástavbové modely v automobilovém průmyslu u větších dílů, jako je např. nárazník, nebo dveřní výplň. Nevýhodou je použití u modelů složitějších dílů, při nutnosti zachování detailů, nebo pro jejich složité dokončení u master modelů pro následnou výrobu silikonových forem a odlitků, protože technologie neumožňuje plynulý přechod mezi vrstvami.

[1]



Obr. 7 Princip technologie FDM

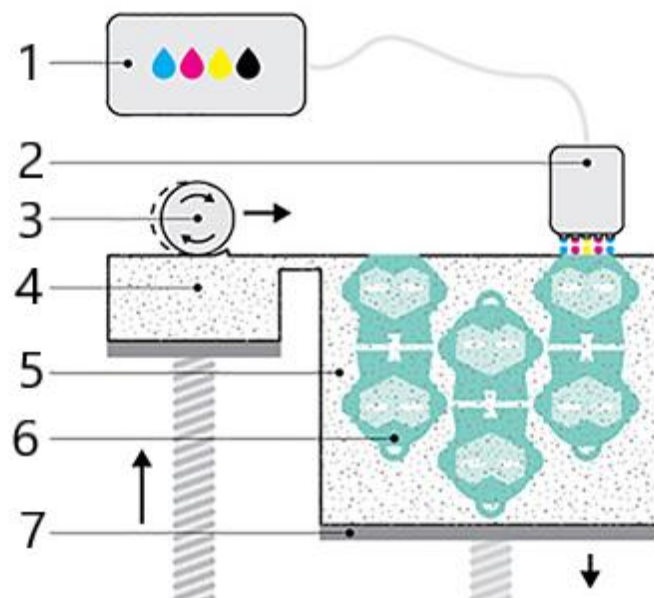
- 1 - filament
- 2 - vyhřívaná tryska
- 3 - základová deska



### 2.3.4 Technologie binderjetting

Technologie tryskového spojování, neboli binderjetting je podobná technologii SLS tak, jak tiskárna používá k vytvoření předmětu tenké vrstvy práškového materiálu, ale namísto použití laseru, který speče vrstvu dohromady, používají tyto tiskárny extrudovaný spojovací prostředek z trysky k navázání prášku do celku.

[1]



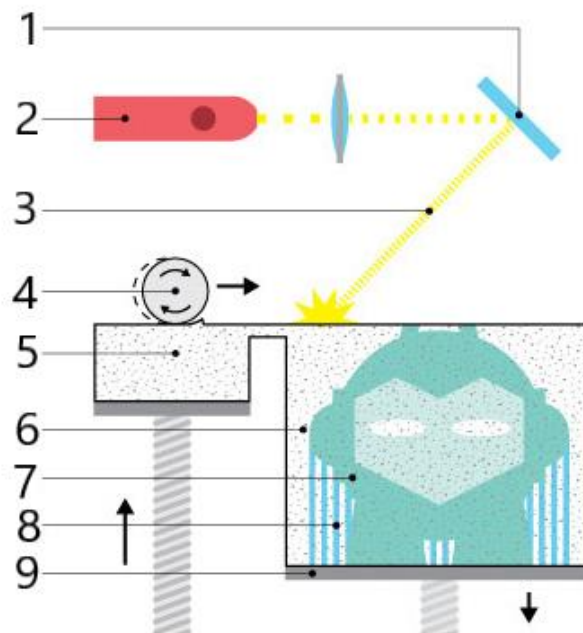
Obr. 8 Princip technologie binderjetting

- 1 - spojovací materiál
- 2 - tisková hlava
- 3 - vyrovnávací válec
- 4 - dodávací prášek
- 5 - uložený prášek
- 6 - „Marvin“ - zhotovený model
- 7 - základová deska

### 2.3.5 Technologie DMLS

Technologie DMLS, neboli 3D tisk kovů je laserová technologie využívající kovy ve formě prášku. Podobně jako u laserového sinterování, vysoce výkonný laser selektivně spojuje částice v prostoru pro nanášení prášku, zatímco stroj distribuuje rovnoměrné vrstvy kovového prášku. Podpůrné struktury jsou generovány automaticky a budovány současně ze stejného materiálu a později jsou manuálně odstraněny. Po dokončení díl prochází tepelným zpracováním.

[1]



Obr. 9 Princip technologie DMLS

- 1 - zrcadlo
- 2 - laser
- 3 - paprsek
- 4 - vyrovnávací válec
- 5 - dodávací prášek
- 6 - uložený prášek
- 7 - „Marvin“ - zhotovený model
- 8 - nosný materiál
- 9 - základová deska

## 3 STAVBA TISKÁRNY

### 3.1 Konstrukční část

#### 3.1.1 Návrh

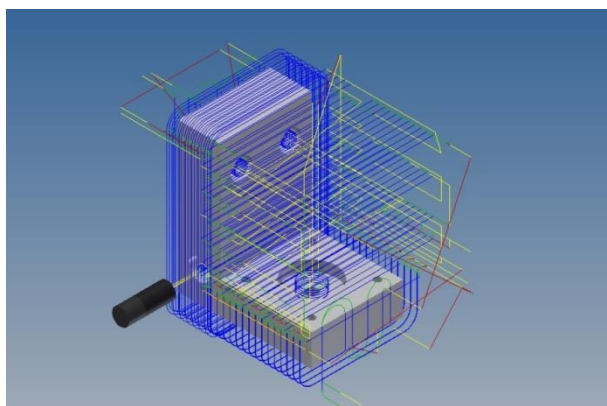
Před samotnou stavbou bylo zapotřebí celý projekt navrhnout. Samotný návrh byl realizován ve 3D formě v programu Inventor, kterým jako student SPŠ,SOŠ a SOU disponuji. Nejprve bylo zapotřebí určit cíl a parametry tiskárny. Parametry jsem volil s ohledem na dostupné konstrukční prvky, kterými jsou například heat-bed

a elektronika arduinomega 2560(původně určena pro RepRap). Jedním z požadavků bylo, aby tiskárna disponovala dvěma tiskovými hlavami. Dalším důležitým aspektem bylo, co a jak vlastně budu vyrábět. A pak také hledisko finanční a tudíž i vycházet co nejvíce z normalizovaných dílů.

Důležité bylo tiskárnu i nějak pojmenovat. Po ověření si názvu na internetu byl vybrán název PRINTER MANIAC X01. X01 protože se jedná o první verzi naší tiskárny.

Práce strojaře obnáší hlavně schopnost vytvořit výrobní výkres. Výkresová dokumentace je specifickou záležitostí pro nenormalizované díly a dobře vytvořený výkres je základem práce. Ovšem každý strojař (konstruktér) má své postupy a svoje zvyklosti. Proto je tvorba výkresové dokumentace originalitou každého konstruktéra. Výkresová dokumentace podléhá normám a tudíž je zapotřebí znát všechny náležitosti (viz přílohy).

Nedílnou částí celého návrhu je však jeho realizovatelnost. Po vytvoření prvního návrhu mi nebyly známy nějaké detaily (například rozměry kupované elektroniky), a tudíž bylo za potřeby návrh v průběhu realizace upravovat a inovovat. Další problém nastal během výroby některých dílů. Před jejich samotnou výrobou jsem usoudil, že jsou až příliš složité a časově náročné na výrobu. Proto jsem se vrátil k návrhu a přepracoval model. Po přepracování modelu bylo teprve možné si tzv. „hrábnout“ do materiálu.



Obr. 10 Dráhy CAM

### 3.1.2 Výroba dílů

Výroba dílů probíhala na CNC strojích. Před samotnou výrobou dílů bylo zapotřebí vytvořit program v G-kódu, který se nahraje do CNC frézky. Tedy převést 3D model do souřadnicové sítě. Vytvořený model v CAD programu je převeden do CAM programu. Společnost Autodesk umožňuje studentům stáhnout si jakýkoliv jejich program. Jedním z těchto nabízených programů je i program HSM Ultimate(CAM). Práce v tomto programu je velmi intuitivní, a jelikož se jedná o implementovaný program do programu Inventor, je i jeho ovládání pro mě snadné. Princip vytváření souřadnic nástroje pro CNC frézku je snadný. V podstatě si v CAM programu předdefinujeme polotovár, jeho upnutí ve stroji a následně jej virtuálně obrábíme. Tedy za pomoci funkcí (např. kapsa, čelo, vrtání..) vytváříme výrobní postup tak, jako kdyby se vyrábělo na konvenčních strojích. Každá tato funkce nám umožní přiblížit se finálnímu modelu.

Jelikož se vyrábělo na tří-osé frézce, bylo zapotřebí každý díl obrábět z více stran. Pro každou stranu bylo zapotřebí vytvořit nový program. Každá z těchto operací byla pro daný nástroj a určitou oblast modelu. Nutné bylo definovat parametry operace a zvolit vhodné nástroje. CNC stroj obsahují tzv. zásobník. Je to v podstatě otočný disk, ve kterém jsou po obvodu uloženy nástroje. Každý nástroj v zásobníku má svou pozici a je potřeba předem určit pozice nástrojů pro zapsání do programu. Při vytváření programu bylo nutné mít zřetel na dostupné nástroje a jejich parametry. Například fréza o průměru 12mm má jiné řezné podmínky než fréza o průměru 6mm.



Obr. 11 Výroba na CNC



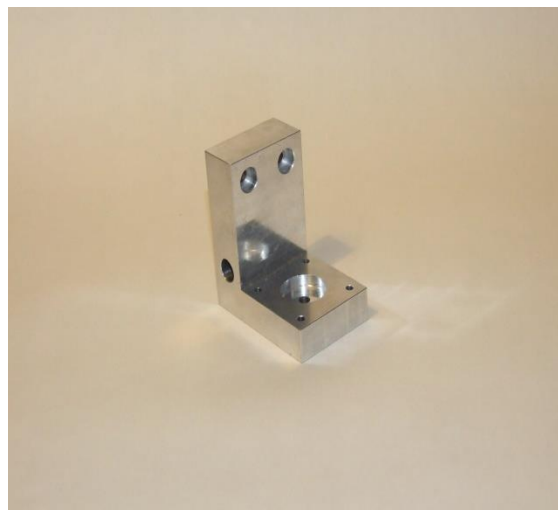
Nastavení řezných podmínek bylo jedním oříškem. Větší problém byl v samotném postupu. Pro zvýšení přesnosti bylo nutné nejprve model zhrubovat. Po zhrubování se přišlo k obrábění na čisto. Dobře vytvořený program musí mít pokud možno co nejméně přejezdů. Minimalizace pracovních úkonů je dalším aspektem výroby. Finální program je tedy souhrnem více operací v návaznosti na sebe. Dalo by se říci, že dobře vytvořený program je vlastně takovou strojařskou symfonií.

Takto vytvořený program je potřeba převést na G-kód. Převod se prováděl za pomoci postprocesorů. Výroba dílů na tiskárnu byla zaměřena na dílnu, kde jsou dvě CNC frézky. Tyto stroje jsou řízené systémem Fanuc. Proto byl zvolen postprocesor pro tento řídicí systém.

Výroba na CNC strojích je velmi odbornou záležitostí a je zapotřebí znát dobře princip stroje a technologické postupy obrábění. Tří-osá CNC frézka je vlastně normální univerzální frézka. Jediná věc, která se změnila, je princip posuvů a otáček vřetene. Místo dělníka, který ručně ovládá osově šrouby, je posuv řízen pomocí počítače přes servomotory. Počítač frézky je řízen programem. Do řídicího softwaru stroje je nahrán program v G-kódu, vygenerovaný z postprocesoru.

Po splnění všech předchozích kroků je možné začít samotnou výrobu dílu. I když se jedná o automatizované zařízení, i zde je zapotřebí obsluhy. Obsluha zodpovídá za upnutí polotovaru, najetí nulového bodu a uvedení stroje do chodu. Během chodu hlídá průběh jednotlivých operací. Zejména pak pomocí potenciometru reguluje posuvy a otáčky vřetene. Po dokončení programu má obsluha za úkol přepnutí dílů a opětovné najetí nulového bodu. Pak se práce opakuje až do doby, kdy je díl hotov. Nakonec je důležité překontrolovat všechny důležité rozměry podle výrobního výkresu.

Z důvodů horší kvality nástrojů bylo zapotřebí všechny hliníkové díly povrchově vyladit. Rozhodl jsem pro leštění. Leštění je jednou z dokončovacích operací. Leštění probíhalo v několika krocích. Prvním bylo sražení hran. Dále pak přebroušení smirkovým papírem pod vodou. A nakonec protahování pod filcovým kotoučem s leštící pastou na hliník. Díky této dokončovací operaci jsem docílil požadovaného vzhledu.

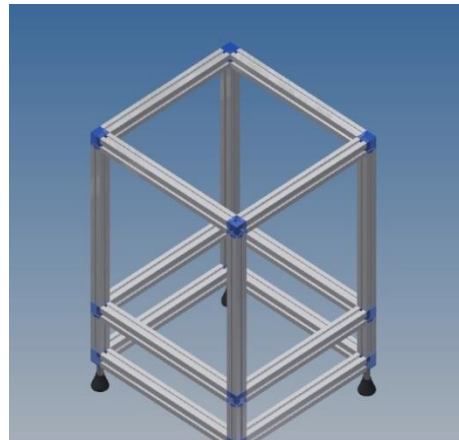


### 3.1.3 Konstrukce

#### 3.1.3.1 Rám

Pro nosný rám jsem zvolil hliníkový AL profil EN 573-3. Jedná se o běžně dostupný materiál s možností libovolného dělení na délku dodavatelem. Proto bylo snadné si jej nechat nařezat na požadovanou délku a řešit pouze úpravu pro uchycení profilů mezi sebou. Výhodou tohoto profilu je jeho vnitřní díra, která je čtyřhranná a tudíž je do ní možno vsunout čtyřhrannou tyč.

Jako spojovací segment jsem navrhnul svařované rohy. Ty se skládají minimálně z tří částí z hranolu 10x10 mm. Tyto rohy jsou vsunuty do AL profilů a svrtány. Do vyvrtané díry byl vyříznut závit a pomocí imbus šroubu stažen AL profil k rohu.

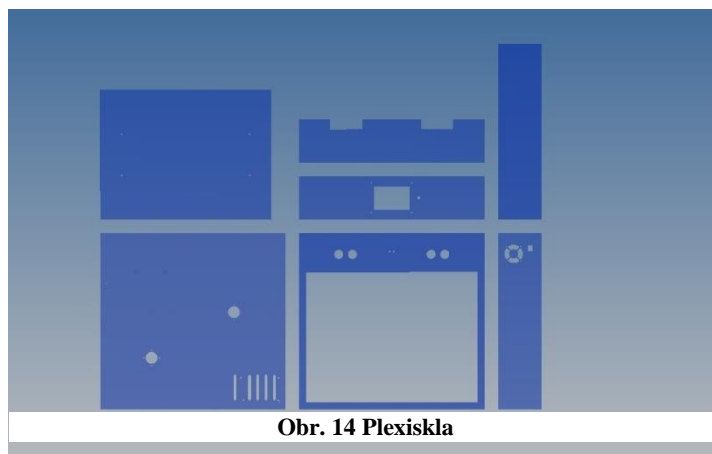


Obr. 13 Rám 3D tiskárny

#### 3.1.3.2 Plexisklo

Jako výplň rámu jsem zvolil plexisklo. Plexisklo bylo zvoleno s ohledem na design a jeho dostupnost. Díky e-shopu nebyl problém plexisklo po dohodě nechat zavézt na adresu. Jako barvu jsem zvolil tmavě modrou s průsvitností 80%. Plexisklo tedy vhodně zakrývá všechny technické části a hlavně pak poskytuje krytí elektronice.

Plexisklo bylo dodané v deskách 2000x1050mm, tudíž bylo zapotřebí jej před samotným frézováním naformátovat na přibližný požadovaný rozměr. Dále se desky frézovaly na CNC strojích.

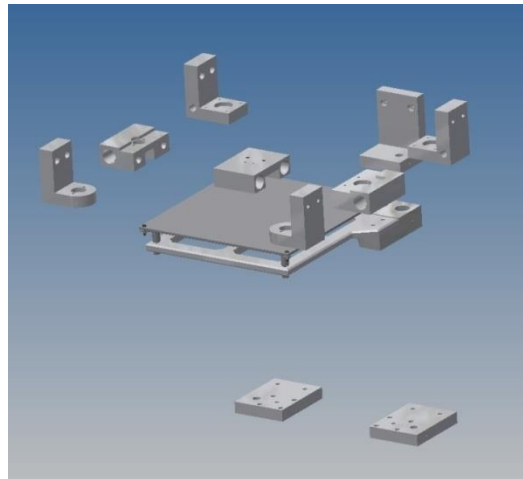


Obr. 14 Plexiskla

### 3.1.3.3 Nosné komponenty

Tyto komponenty jsou atypické a jednalo se tedy o výrobu dle výkresové dokumentace (viz. přílohy). Materiálem nosných komponentů byla slitina hliníku. Tedy přesněji EN AW 5083. Tento materiál se vyznačuje dobrými vlastnostmi, a to zejména pevností a tvrdostí. Pevnost v tahu 270MPa (tvrdost cca70HBW). Tento materiál je hlavně dobře obrobitelný a lešitelný. Dále se jedná o velmi snadno dostupný materiál a i cenově přijatelný.

Materiál na polotovary byl objednan již v požadovaných rozměrech. Tedy s přídatky na obrábění (1-3mm). Polotovary se pak frézovaly na CNC strojích.

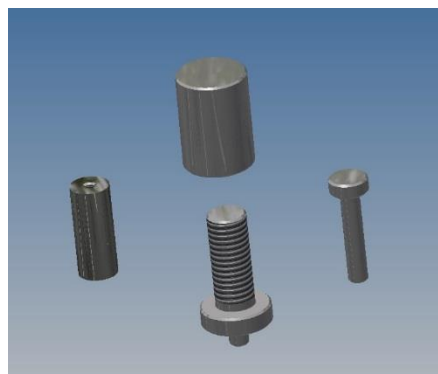


Obr. 15 Nosné komponenty

### 3.1.3.4 Ostatní

### komponenty

Většina komponentů nevyroběných na CNC strojích byla vyráběna na soustruhu. Již při návrhu součástí byla předpokládána výroba na soustruhu, jelikož jím disponuji. Jednalo se tedy o rotační součásti. Převážně šlo o hřídele pro řemenice. Mezi tyto součásti patří také nenormalizované matice. Tyto matice byly určeny pro ukotvení elektroniky. Dále se vyráběly díly pro uložení cívek. Převážná část dílů vyráběných na soustruhu byla po výrobě přešetřena, a to z důvodů estetiky a ochrany proti korozi.



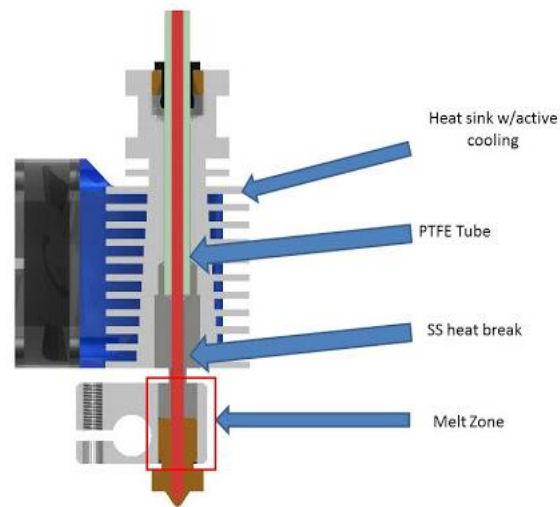
### 3.1.3.5 HotEnd (tisková hlava)

Tisková hlava, neboli HotEnd, je vlastně výstupní zařízení roztaveného materiálu. Jedná se o sestavu součástí, které zajišťují přechod mezi filamentem ve formě drátu a roztaveným materiálem. Tiskárna X01 má 2 tiskové hlavy, aby mohla tisknout dva druhy materiálů. Materiál modelu a materiál na podpory (rozpustný materiál).

Sestava se skládá ze tří hlavních částí. Část první je chladič. Tento chladič je v podstatě válec s mnoha zápichy a dírou v ose válce pro filament. Zápichy slouží ke zvětšení plochy válce (čím větší plochu chladič má, tím lépe odvádí teplo). Jedná se o kupovanou součást. V tiskárně X01 bylo zapotřebí tento díl upravit. Úprava spočívala v zúžení hrdla u horní části chladiče. Dále pak toto hrdlo bylo opatřeno závitem, aby jej bylo možno připevnit k saním. Tento chladič je dále opatřen ventilátorem.

Pod chladičem se nachází tzv. „hranol“. Ten je určen hlavně pro dvě věci. Zaprvé je v něm umístěno topné tělísko a termistor pro snímání teploty. Zadruhé je to spojovací segment mezi chladičem a tryskou.

Třetí a poslední částí je tryska. Tryska je v podstatě matice s vnitřní dírou ve tvaru kužele do zúžení. Z vrchu trysky je tedy přiveden roztavený materiál a ten je vtlačěn do ústí trysky. Ústí trysky může mít mnoho průměrů. Nejčastějším průměrem ústí trysky je 0.3 mm.



Obr. 17 Schéma HotEnd



Obr. 18 Upravený HotEnd



### 3.1.3.6 Extruder

Extruder je jedna z nejdůležitějších součástí celé tiskárny. Jedná se o zařízení, které dopravuje materiál do tiskové hlavy. Extruder na tiskárně X01 je komplet vlastní konstrukce. K návrhu vlastní konstrukce bylo nutné přistoupit, jelikož je extruder umístěn v dolní části tiskárny a ne nad tiskovou hlavou. Materiál ve formě filamentu je tedy nutné dopravovat do tiskové hlavy vedením o délce takřka 400mm. Dalším problémem bylo, že prostor vyhraněný na extruder byl značně atypický. Žádný dostupný extruder o požadovaných parametrech se na trhu nevykazuje. A pak také bylo výpočtem ohybu ověřeno zatížení dovolené na lože (viz.přílohy)

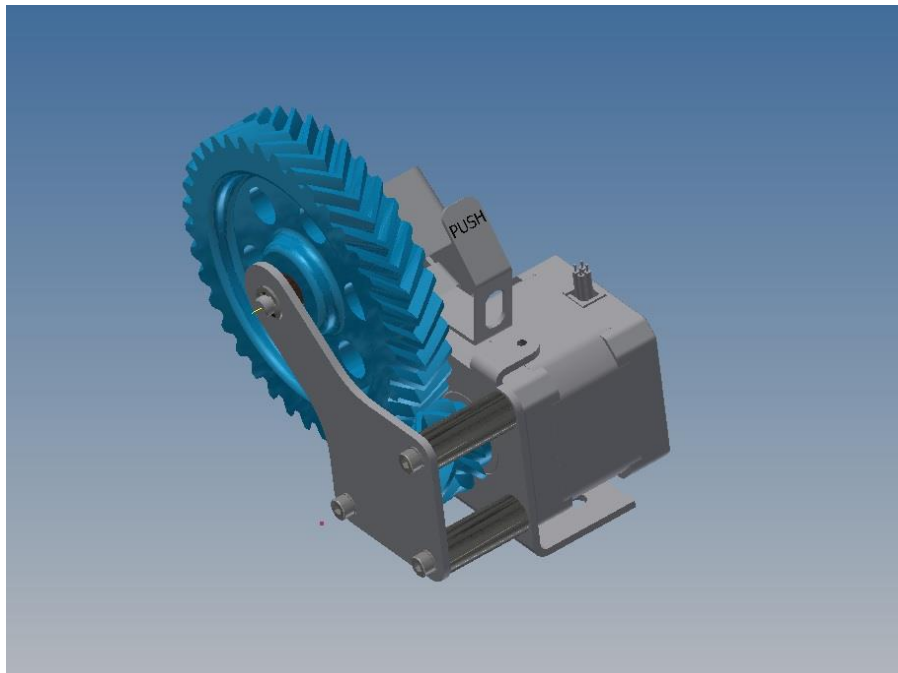


Obr. 19 Extruder MK8

Princip extruderu je jednoduchý. Materiál je odebírán z cívky a je pomocí napínavacího mechanismu sevřen mezi ozubeným a kladnicovým kolem. Ozubené kolo je hnacím článkem pro filament, ale je umístěno na hnané hřídeli společně

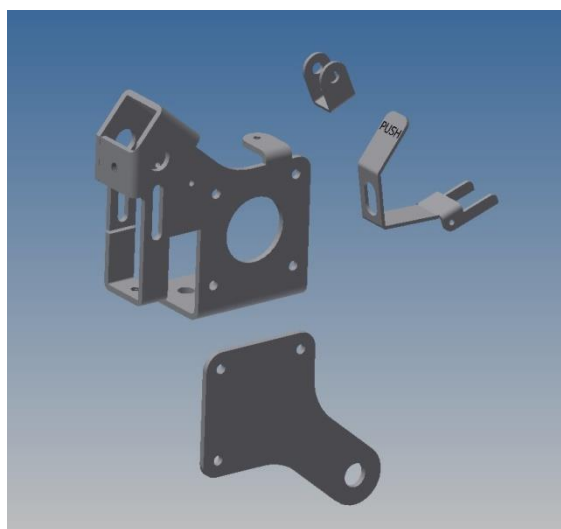
s šípovým kolem. Hnané kolo je poháněno menším kolem, které je na hřídeli krokového motoru. Ten zajišťuje kroutící moment, který je transformován pomocí sestavy extruderu na pohyb posuvný

a tedy sune materiál do tiskové hlavy.



Návrh byl realizován opět ve 3D formě pomocí programu Inventor. Již při návrhu bylo nutné dbát na co nejvíce dostupných komponentů. Pro snazší výrobu byla tedy použita polovina dílů z dostupných zdrojů. Zbytek dílů bylo zapotřebí vyrobit. Výroba dílů byla rozdělena na tři skupiny.

První skupina se týkala plechových dílů. Tyto díly byly již při návrhu navrhovány jako díly plechové, a tedy i jejich převod na výkres rozvinu nebyl v programu Inventor problém. Takto vytvořený výkres rozvinu byl převeden do programu AutoCad, kde se nastavily jednotlivé hladiny čar. Tento výkres byl odeslán na výrobu do firmy TMW, která disponuje číslicově řízenou laserovou řezačkou. Po vyřezání všech dílů bylo nutné plechy naohýbat do požadovaného tvaru. To se provedlo pomocí ohaňovacího stroje.



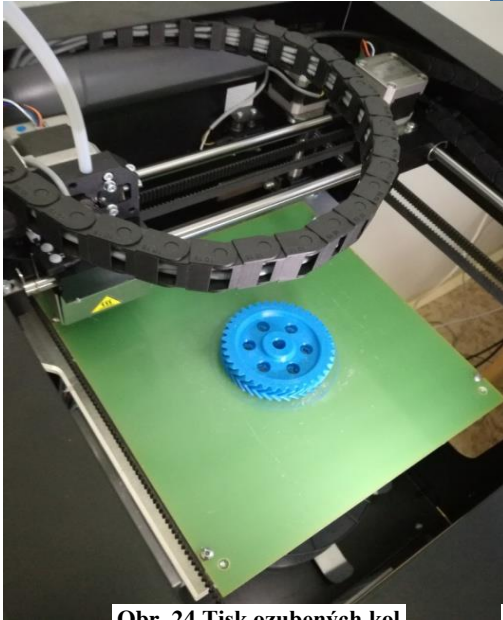
Druhou skupinu tvořily díly rotační. Tedy díly vyrobené na soustruhu. Byly to hlavně matice, které vymezují mezeru mezi plechy, hřídele pro kola a kluzná ložiska pro tyto hřídele. Díly byly vyrobené podle výkresové dokumentace vyhotovené v programu Inventor. Tyto komponenty byly vytvořené své doma na soustruhu.

tvořily díly rotovány na soustruhu. Byly to hlavně matice, které vymezují mezeru mezi plechy, hřídele pro kola a kluzná ložiska pro tyto hřídele. Díly byly vyrobené podle výkresové dokumentace vyhotovené v programu Inventor. Tyto komponenty byly vytvořené své doma na soustruhu.

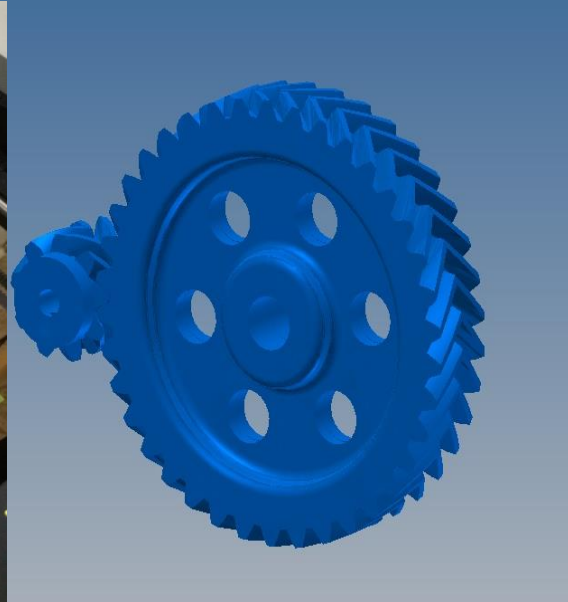


Obr. 22 Soustružené komponenty

Třetí skupinu tvořila ozubená kola. Každý extruder obsahuje dvě ozubená kola šípového tvaru. Ozubená kola jsou v převodovém poměru 1:4. Převod je tedy do pomala. To má za důsledek větší sílu, která suně materiál do tiskové hlavy. Tento jednoduchý převod snižuje zatížení na krokový motor a materiál je posouván s větší silou. (Odpor bowdenu je větší než u běžných tiskáren)



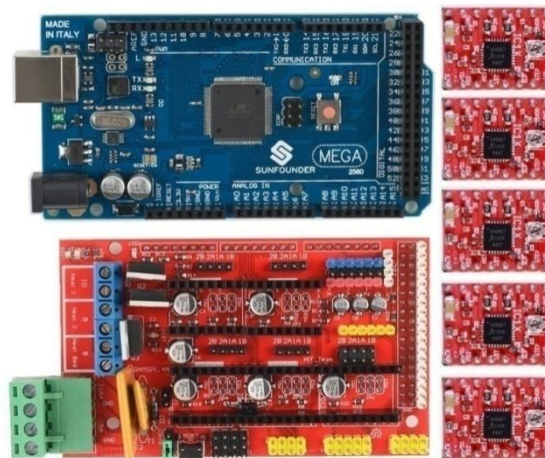
Obr. 24 Tisk ozubených kol



Obr. 23 Ozubená kola

### 3.1.3.7 Hardware

Po získaných potřebných informací bylo rozhodnuto o koupi elektroniky Arduinomega 2560 společně s RAMPS 1.4. Jedná se stavebnici pro Reprap tiskárny a hobby CNC stroje. Elektroniku bylo potřeba osadit driversy. Jako driversy byly zvoleny A 4988. Jedná se o nejčastěji používané driversy pro tuto elektroniku. Zapojování probíhalo dle schématu, který byl dodán s objednávkou.

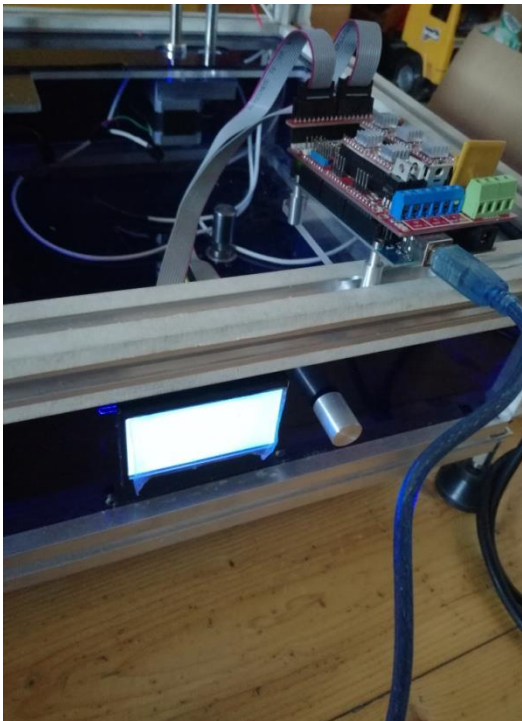


### 3.1.3.8 Kompletace

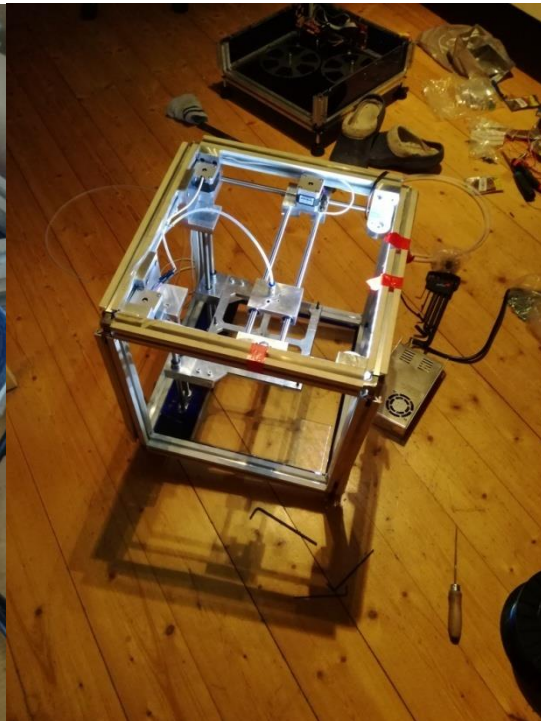
Samotná kompletace probíhala nárazově. Tedy po dokončení určitých komponentů následovalo jejich instalování do celku. Nejprve byl složen rám z hliníkových profilů. Současně probíhala i montáž výplně rámu. Do drážek v hliníkovém profilu byly vsunuty desky z plexiskla. Na spodní plochu byly připevněny gumové nožičky na šroubu. Tím je zaručena kalibrace celé tiskárny. Během skládání bylo důležité myslet na elektroinstalaci. Kabeláž je totiž vsazena vně hliníkových profilů.

Nosné prvky bylo nejprve potřeba, osadit např. ložisky, šrouby, motory či je předem složit. Tyto komponenty se připevňovaly k rámu pomocí tzv. kamenů vsunutých do drážek hliníkového profilu. Tyto kameny jsou v podstatě speciální matice, které mají tvar drážky. Jelikož je na tiskárně využito dvojího způsobu posuvů, a to pomocí šroubu a za pomoci řemene, je každý nosný prvek osazen jinými komponenty. Nosné prvky pro posuvy X, Y, Z jsou navrženy tak, aby krom posuvu zajistily také vedení. Po jejich připevnění k rámu byla tedy mechanická část hotová.

Další část spočívala v zapojení elektroinstalace. Krokové motory, připevněné na nosné komponenty, se připojily pomocí konektorů ke kabeláži. Stejně tak se připojily i ostatní prvky. Veškerá elektroinstalace byla zamýšlena tak, aby bylo možné kdykoliv cokoli co nejsnadněji nahradit. Proto jsou veškeré komponenty připojené přes konektory.



Obr. 27 Instalace firmware



Obr. 26 Stavba os

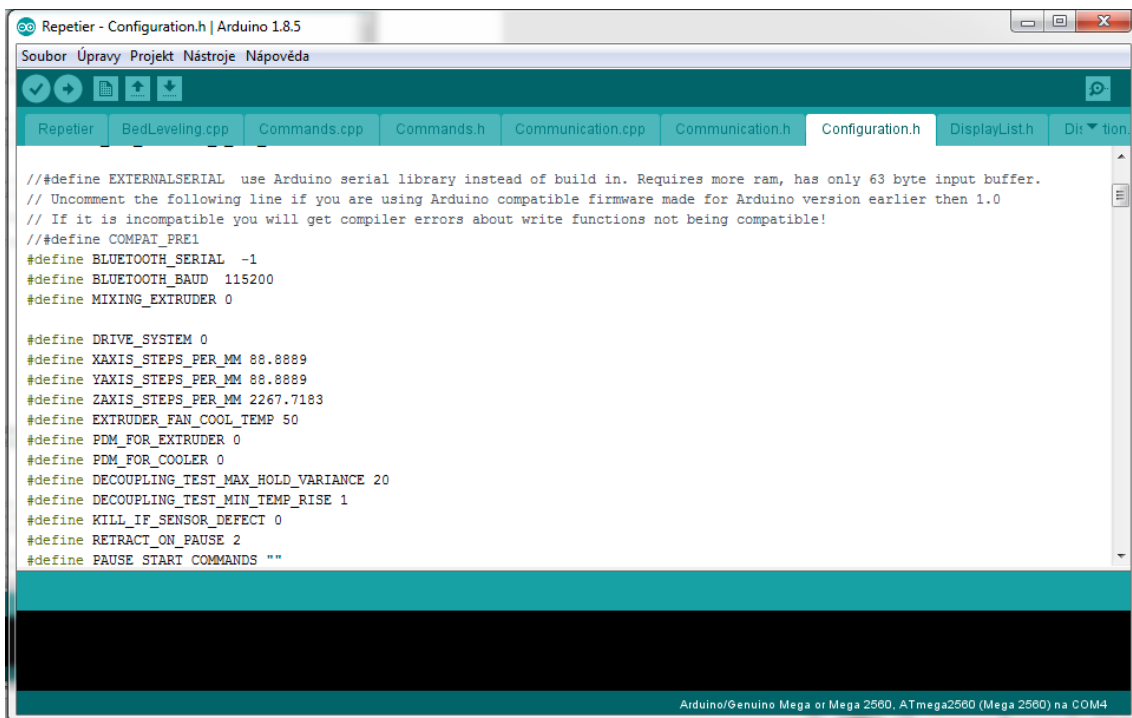
Po kompletaci hlavních částí bylo zapotřebí připevnit designové rohy. Ty jsou vyrobené z plexiskla a přišroubované k profilům.

Na závěr bylo nutné vše rozpochybovat a nastavit. Nastavovaly se hlavně endstopy. Tedy jejich dorazy a citlivost. Dále se musela vyrovnat pracovní plocha. Ta je k nosné konstrukci připevněna pomocí tří šroubů. Tyto šrouby zajišťují možnou korekci (vyrovnání pracovní plochy).

## 3.2 Softwarová část

### 3.2.1 Firmware

Jako firmware byl zvolen produkt Repetier verze 1.0.0. Jedná se, o jeden z nejběžnějších produktů open-source na internetu. Hlavní je, že je plně kompatibilní s elektronikou Arduino jak je také možné se dočíst i na internetu. „*Repetier-Firmware je firmware pro RepRap jako 3D-tiskárna řízena řadičem kompatibilním s arduinem.*“<sup>[1]</sup> Velkou výhodou tohoto softwaru je jeho konfigurace na webovém prohlížeči. Ta se provádí před samotným stažením softwaru. Po stažení je firmware pomocí programu Arduino nahrán do elektroniky.



```
// #define EXTERNALSERIAL use Arduino serial library instead of build in. Requires more ram, has only 63 byte input buffer.
// Uncomment the following line if you are using Arduino compatible firmware made for Arduino version earlier then 1.0
// If it is incompatible you will get compiler errors about write functions not being compatible!
// #define COMPAT_PRE1
#define BLUETOOTH_SERIAL -1
#define BLUETOOTH_BAUD 115200
#define MIXING_EXTRUDER 0

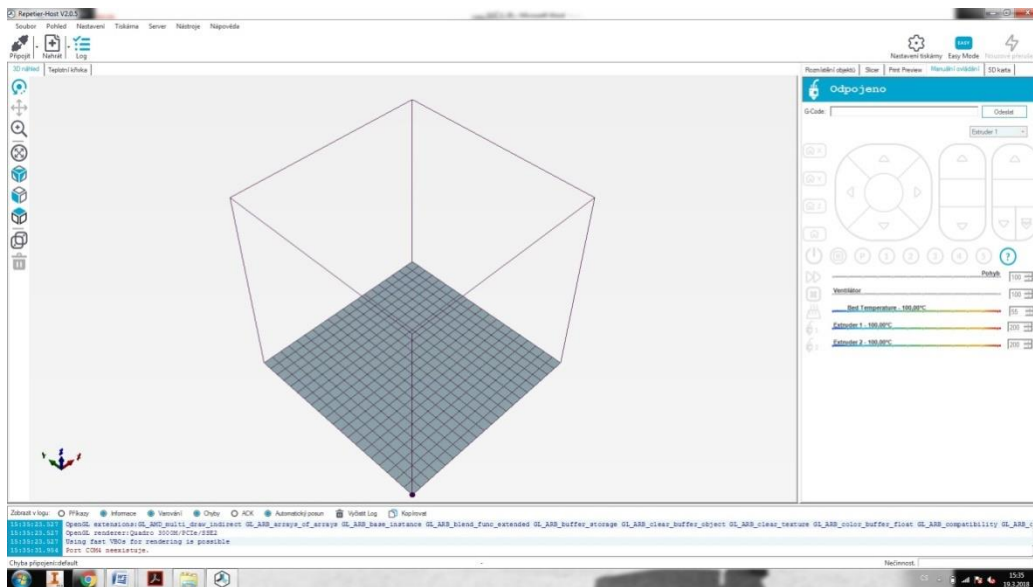
#define DRIVE_SYSTEM 0
#define XAXIS_STEPS_PER_MM 88.8889
#define YAXIS_STEPS_PER_MM 88.8889
#define ZAXIS_STEPS_PER_MM 2267.7183
#define EXTRUDER_FAN_COOL_TEMP 50
#define PDM_FOR_EXTRUDER 0
#define PDM_FOR_COOLER 0
#define DECOUPLING_TEST_MAX_HOLD_VARIANCE 20
#define DECOUPLING_TEST_MIN_TEMP_RISE 1
#define KILL_IF_SENSOR_DEFECT 0
#define RETRACT_ON_PAUSE 2
#define PAUSE_START_COMMANDS ""
```

Obr. 28 Firmware v programu Arduino

## 3.2.2 Programy

### 3.2.2.1 Řídící software

Pro řízení chodu tiskárny byl zvolen program Repetier-Host verze 2.0.5. Jeho prostředí je uživatelsky velmi příjemné a intuitivní. To byl hlavní důvod výběru tohoto programu.



Obr. 29 Repetier host

### 3.2.2.2 Program pro převod souboru stl.

Každý díl je zapotřebí uložit s příponou .stl. Takovýto soubor je pak převeden na G-kód (jazyk stroje). Tento krok zajišťují tzv. slicery. Tyto programy nám model rozloží na jednotlivé vrstvy a následně převedou na trasy, které vychází z profilu vrstvy. Takto vytvořený G-kód je nahrán do virtuálního prostředí řídicího softwaru.

Výběr sliceru je obtížný. Na internetu je jich nepřeberné množství. Každý z nich tvoří trasy jinak a záleží tedy na součásti. Proto bylo zvoleno více slicerů. A to Slic3r, Cura a SimpliFy.

## 4 VYUŽITÍ 3D TISKÁRNY V PRAXI

### 4.1 Obory

#### 4.1.1 Slévárenství

V tomto odvětví lze uplatnit 3D tiskárnu k tisku modelů pro odlévání. Jak pro odlévání do ztraceného písku tak pro metody přesného lití.

V běžné praxi se používají nejčastěji modely dřevěné či kovové. Jejich výroba je však značně nákladná a časově náročná. Model vytištěný na 3D tiskárně lze s drobnými úpravami použít k zaformování. Další výhodou je vytištění modelu rovnou s vtokovou soustavou.

U metod přesného lití lze vytisknout modely v tzv. stromečku. Ten umožňuje odlévat více dílů najednou. Takto vytvořený model se zaformuje do ethylsilikátové kaše a vypálí. Tím dojde k vytvoření formy, do které lze odlévat.

Nevýhodou může být rozměrová nestálost. Při tisku dochází k roztavení materiálu a následně k jeho ochlazení. To má za důsledek tvarovou roztažnost. Čím větší délka dílu, tím větší mohou být odchylky od požadovaných rozměrů.



Obr. 30 Modely + odlitky

### 4.1.2 Velmi složité díly

Obrovskou výhodou aditivní výroby je, že lze tisknout jinak nevyrobitelné součásti. V dnešní době není problém navrhnout ve 3D cokoliv. Subtraktivní výrobou nelze vyrábět vše. 3D tiskem však ano. Příkladem je třeba dutina či dutá součást. Tiskárna dokáže vytisknout dutou součást bez skládání z více dílů.

Nevýhoda může nastat při tisku složitější součásti. Složitě tvarované a klenuté části modelu je zapotřebí podpořit. Podpory u běžných tiskáren jsou vytvořeny pomocí materiálu, ze kterého je i model samotný. Výsledek tisku je tedy model+podpory a je potřeba podpory odlomit. Tím však zanecháme na povrchu vady.

Tento problém však lze vyřešit tzv. rozpustnými materiály. Pro každý běžný materiál je adekvátní rozpustný materiál. Například pro ABS je to HIPS a pro PLA je to PVA. Tyto materiál se tisknou zároveň s běžnými materiály (proto má tiskárna X01 dvě tiskové hlavy). Po dokončení tisku se výsledek tisku (model+podpory) ponoří do nádoby s kapalinou. Materiál PVA je rozpustný ve vodě a HIPS je rozpustný v roztokulemonosu.



Obr. 31 Složitá součást



### 4.1.3 Designové prvky

V současné době je jedním z nejvíce využívaných odvětví, kde je 3D tisk použit, průmyslový design. Designové prvky v celém průmyslu bývají nejčastěji plastové. Tiskárny v dnešní době vyrábí převážně z plastu a je tedy více než vhodné takovéto díly tisknout. Technologie FDM má však nevýhodu v jednotlivém vrstvení. Je tedy vidět přechod mezi vrstvami.

To se v designu dá napravit. Materiál ABS je na rozdíl od materiálu PLA rozpustný v acetonu. Lze u něj aplikovat tzv. acetonovou lázeň. Ta spočívá v uzavření modelu do nádoby, ve které je na dně aceton. Model se umístí nad kapalinu. V uzavřeném prostředí dojde ke slinutí povrchu díky výparům z acetonu.

Materiál PLA je organického původu. Nelze u něj tedy aplikovat výše popsanou metodu. V případě doladění povrchu je zapotřebí jej přetmelit. Takto upravený povrch je zapotřebí přebrousit. Často je pro potřeby vzhledu následně nastříkán barvou. Díky schopnosti nereagovat na ropné produkty je možné modely stříkat i syntetickými barvami.

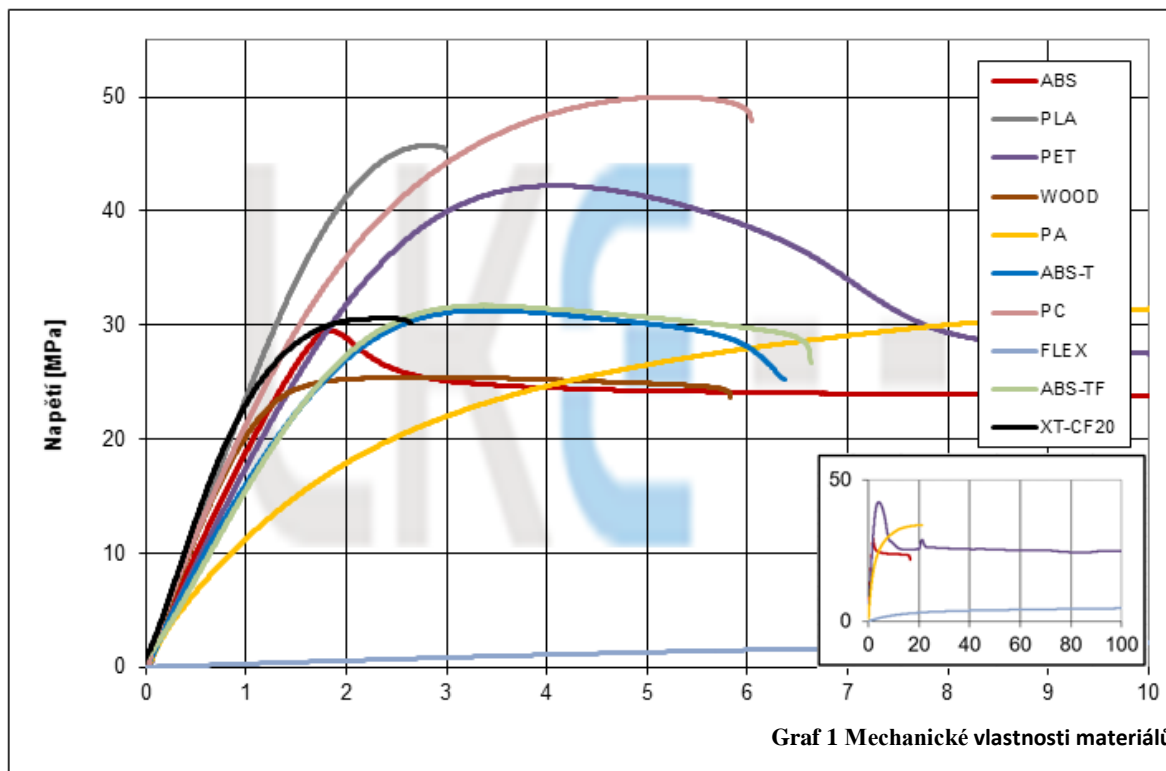


## 4.2 Technologické zkoušky

„Výběr vhodného materiálu hraje významnou roli pro výsledné vlastnosti vytištěného prototypu. Věnujeme proto náležitou pozornost celému spektru materiálů, které se postupně objevují na trhu. Pro spolehlivou funkci výtisku jsou důležité mechanické vlastnosti použitého materiálu, které jsou navíc ovlivněny samotným procesem tisku. Tiskové struny jsou při procesu tisku taveny poměrně vysokou teplotou (některé až 300°C) a při stavbě modelu dochází k lepení jednotlivých vrstev na sebe. Z těchto důvodů se materiálové vlastnosti vytištěných součástí mohou lišit od vlastností plného základního materiálu.“ [2]

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti materiálů

		Materiál							
		ABS	PLA	PET	WOOD	PA	ABS-T	ABS-TF	PC
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	2 095	2 355	1 842	2 344	1 432	1 778	1 550	2 465
Pevnost v tahu	[MPa]	29.5	45.7	42.2	25.4	34.0	31.3	31.7	50.0
Deformace na mezi pev.	[%]	1.8	2.8	4.1	2.7	19.9	3.3	3.3	5.2
Napětí při porušení	[MPa]	22.9	45.3	25.2	24.4	33.9	28.4	28.6	48.7
Deformace při porušení	[%]	16.3	3.0	123.1	5.7	21.3	5.9	6.6	6.0



## 5 Závěr

### 5.1 Zhodnocení autory

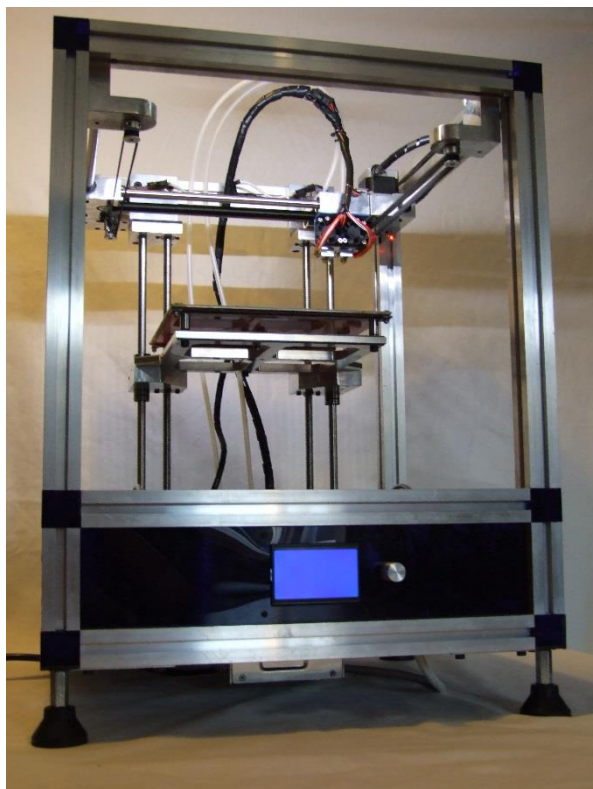
Cílem naší práce bylo především vytvořit funkční celek, který by se dokázal uplatnit na trhu. Vzhledem k současnému rozmachu tiskáren všeho typu lze usoudit, že se naše tiskárna může ucházet o místo mezi konkurencí.

#### Požadavky a parametry

Výsledná podoba tiskárny se odvíjela od požadavků na ni samotnou. Cílem práce bylo postavit tiskárnu, která bude splňovat tyto požadavky:

- Flexibilita (adaptace parametrů dle přání)
- 2 tiskové hlavy
- Pevnější konstrukce
- Nízká cena

Tiskárna funguje, splňuje veškeré očekávání vyplývající z požadavků a lze tedy usoudit, že cíl byl splněn. Díky použití AL profilu a připojení elektronických komponentů pomocí konektorů, splňuje tiskárna požadavek na flexibilitu. Tiskárna disponuje dvěma funkčními tiskovými hlavami a je kompletně z kovu. Náklady na stavbu tiskárny X01 se bez přihlídnutí k odvedené práci pohybovaly okolo 13 000,-Kč. V porovnání s konkurencí lze říci, že záměr dosáhnout co nejnižší ceny, byl splněn.



Obr. 33 Tiskárna X01

## 6 ODKAZY

### 6.1 Seznam obrázků a grafů

Obr. 1 Easy 3D Maker.....	8
Obr. 2 Proces výroby.....	9
Obr. 3 Stereolitografie.....	10
Obr. 4 Charles Hull.....	10
Obr. 5 Princip technologie SLA.....	11
Obr. 6 Princip technologie SLS.....	12
Obr. 7 Princip technologie FDM.....	13
Obr. 8 Princip technologie binderjetting.....	14
Obr. 9 Princip technologie DMLS.....	15
Obr. 10 Dráhy CAM.....	16
Obr. 11 Výroba na CNC.....	17
Obr. 12 Hotový komponent z CNC.....	18
Obr. 13 Rám 3D tiskárny.....	19
Obr. 14 Plexiskla.....	19
Obr. 15 Nosné komponenty.....	20
Obr. 16 Soustružené komponenty.....	20
Obr. 17 Schéma HotEnd.....	21
Obr. 18 Upravený HotEnd.....	21
Obr. 19 Extruder MK8.....	22
Obr. 20 Vlastní extruder (E01).....	22
Obr. 21 Komponenty na E01.....	23
Obr. 22 Soustružené komponenty.....	23
Obr. 23 Ozubená kola.....	24
Obr. 24 Tisk ozubených kol.....	24
Obr. 25 Elektronika.....	24
Obr. 26 Stavba os.....	25
Obr. 27 Instalace firmware.....	25
Obr. 28 Firmware v programu Arduino.....	26
Obr. 29 Repetier host.....	27
Obr. 30 Modely + odlitky.....	28
Obr. 31 Složitá součást.....	29
Obr. 32 Designový prvek.....	30
Obr. 33 Tiskárna X01.....	32
Graf 1 Mechanické vlastnosti materiálů.....	31
Tabulka 1 Mechanické vlastnosti materiálů.....	31

## 6.2 Citace

Obr. 1-AUTOR NEUVEDEN. <http://www.3dfactories.com> [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [http://www.3dfactories.com/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_easy3dmaker-3d-drucker\\_65ca668b01.jpg](http://www.3dfactories.com/fileadmin/_processed_/csm_easy3dmaker-3d-drucker_65ca668b01.jpg)

Obr. 2-AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>

Obr. 3- AUTOR NEUVEDEN. [www.theguardian.com](http://www.theguardian.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://i.guim.co.uk/img/static/sys-images/Guardian/Pix/pictures/2014/6/22/1403443573002/ChuckCharles-Hull-009.jpg?w=620&q=55&auto=format&usm=12&fit=max&s=051246a2e7e64ea4a3d89669cf9089eb>

Obr. 4- AUTOR NEUVEDEN. <http://talmar.masteride.cz> [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [http://talmar.masteride.cz/Modul\\_EP\\_pf/img/3Dtisk/3DTisk%20SLS.jpg](http://talmar.masteride.cz/Modul_EP_pf/img/3Dtisk/3DTisk%20SLS.jpg)

Obr. 5-AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/sites/all/themes/hubs3d/images/landingpage/3d-101/technologies/sla/sla-technology.jpg>

Obr. 6- AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/sites/all/themes/hubs3d/images/landingpage/3d-101/technologies/sls/sls-technology.jpg>

Obr. 7-AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/sites/all/themes/hubs3d/images/landingpage/3d-101/technologies/fdm/fdm-technology.jpg>

Obr. 8-AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/sites/all/themes/hubs3d/images/landingpage/3d-101/technologies/binder-jetting/binder-jetting-technology.jpg>

Obr. 9-AUTOR NEUVEDEN. [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.3dhubs.com/sites/all/themes/hubs3d/images/landingpage/3d-101/technologies/metals/dmls-technology.jpg>

Obr. 10- Vojtěch Fiala  
Obr. 11- Vojtěch Fiala  
Obr. 12- Vojtěch Fiala  
Obr. 13- Vojtěch Fiala  
Obr. 14- Vojtěch Fiala  
Obr. 15- Vojtěch Fiala  
Obr. 16- Vojtěch Fiala

Obr. 17-AUTOR NEUVEDEN. [www.matterhackers.com](http://www.matterhackers.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [https://lh3.googleusercontent.com/R8eyXwgh5z5aYB4D64xw3SSLYdJICX\\_8biq5hRKsnELqZG3aQ-YZMoWfgXeivY-j2bysVxeFJupdnr3tOKFux3xV7w](https://lh3.googleusercontent.com/R8eyXwgh5z5aYB4D64xw3SSLYdJICX_8biq5hRKsnELqZG3aQ-YZMoWfgXeivY-j2bysVxeFJupdnr3tOKFux3xV7w)

Obr. 18- Vojtěch Fiala

Obr. 19-AUTOR NEUVEDEN. [www.sintron.co.uk](http://www.sintron.co.uk) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [http://img.auctiva.com/imgdata/1/3/5/4/2/9/5/webimg/841177690\\_o.jpg](http://img.auctiva.com/imgdata/1/3/5/4/2/9/5/webimg/841177690_o.jpg)

Obr. 20- Vojtěch Fiala  
Obr. 21- Vojtěch Fiala  
Obr. 22- Vojtěch Fiala  
Obr. 23- Vojtěch Fiala  
Obr. 24- Vojtěch Fiala

Obr. 25-AUTOR NEUVEDEN. [www.amazon.co.uk](http://www.amazon.co.uk) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81eQjMrbkJL.\\_SL1000\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81eQjMrbkJL._SL1000_.jpg)

Obr. 26- Vojtěch Fiala  
Obr. 27- Vojtěch Fiala  
Obr. 28- Vojtěch Fiala  
Obr. 29- Vojtěch Fiala  
Obr. 30- Vojtěch Fiala

Obr. 31-AUTOR NEUVEDEN. [twitter.com](http://twitter.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: [https://pbs.twimg.com/profile\\_images/640236906199056384/1kr6NeQ8\\_400x400.png](https://pbs.twimg.com/profile_images/640236906199056384/1kr6NeQ8_400x400.png)

Obr. 32-AUTOR NEUVEDEN. [www.stratasysdirect.com](https://www.stratasysdirect.com) [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.stratasysdirect.com/-/media/features/tabbed-billboard/direct/technologies/fused-deposition-modeling/fused-deposition-modeling-overview-tab.jpg?h=432&w=576&la=en&hash=D53390021E1DB9EC1B815518A96B1D4481468039>

Obr. 33-Vojtěch Fiala

Graf 1- AUTOR NEUVEDEN. <http://www.lke.cz> [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.lke.cz/mt-content/uploads/2017/11/mechanical-properties-of-3d-print-materials-watermarked.png>

Tab. 1 - AUTOR NEUVEDEN. <http://www.lke.cz> [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.lke.cz/cz/mechanicke-vlastnosti-materialu-pro-3d-tisk/>

[1]

What is 3D Printing? The definitive guide | 3D Hubs. 3D Hubs: Local Manufacturing | 3D Printing & CNC Machining [online]. Copyright ©2018 3D Hubs [cit. 21.03.2018]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>

[2]

Mechanické vlastnosti materiálů pro 3d tisk | LKE, Brno. L.K.Engineering, Brno | Profesionální technické výpočty | MKP, FEM, FEA [online]. Copyright © L.K.Engineering, s.r.o. [cit. 20.03.2018]. Dostupné z: <http://www.lke.cz/cz/mechanicke-vlastnosti-materialu-pro-3d-tisk/>

## 6.3 Seznam příloh

- Příloha 1: Kompletní sestava
- Příloha 2: Uchycení ložiska
- Příloha 3: Pojezd X,Y- pravý
- Příloha 4: Výpočet nosníků