

**UNICORN VYSOKÁ ŠKOLA S.R.O.**

**Softwarový vývoj**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh a stavba 3D tiskárny**

**Autor BP:** Josef Hasman

**Vedoucí BP:** Ing Karel Šafr, Ph.D.

Katedra Informačních technologií

Akademický rok 2022/2023

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Jméno a příjmení**

Josef Hasman

**Studijní program**

Softwarový vývoj

**Název práce**

Návrh a stavba 3D tiskárny

### Cíl

Cílem je stavba hobby 3D tiskárny z dílů, které se namodelují a vytisknou na 3D tiskárně (všechny plastové díly budou vymodelovány). Některé neplastové díly budou zakoupeny z dostupných materiálů a komponent, které lze koupit pro stavbu 3D tiskárny (například extruder, tryska, řemeny, řídící elektronika, závitové tyče, řemeny, hliníkové profily, hotend apod.). Součástí práce bude použití open-source firmware pro 3D tiskárnu Marlin a vytvoření jeho konkrétní konfigurace pro postavenou 3D tiskárnou. Pro stavbu nebude použita žádná již existující hotová 3D tiskárna od jiných výrobců. Bude se jednat o stavbu 3D tiskárny ze základních komponent. Důraz bude kláden na navržené platové díly a jejich přínos ve srovnání s běžně dostupnými řešeními na trhu.

Navrhovaná 3D tiskárna bude používat technologii FDM a bude kartézského typu. Cílem práce je, aby navrhovaná 3D tiskárna poskytovala lepší kvalitu tisku, nežli již hotové "levné" 3D tiskárny od čínských výrobců a zároveň aby náklady na její konstrukci (konkrétně na součástky a komponenty) nepřesáhly částku 15 000 Kč. Díky tomu bude navržená 3D tiskárna poskytovat dobrou tiskovou kvalitu, bezpečnost a bude finančně dostupná.

Všechny vytvořené části tiskárny, jakožto i manuál na její stavbu budou dostupné jako Open Source a budou zveřejněny na GitHubu.

### Osnova

1. Úvod
- 1.1 Motivace
- 1.2 Struktura
- 1.3 Cíl

2. Rešerše a průzkum trhu



## 2.1 Existující komerční řešení 2.2 Existující opensource řešení

3. Návrh řešení
4. Implementace
  - 4.1 Složení kostry 3D-tiskárny
  - 4.2 Složení osy X
  - 4.3 Složení osy y
  - 4.4 Složení osy Z
  - 4.5 Složení osy E
  - 4.6 Kalibrace 3D-tiskárny
  - 4.7 Kalibrace výtisku na 3D-tiskárně
  - 4.8 Návrhy a možná vylepšení
5. Zhodnocení výsledku
6. Závěr
7. Seznam Použitých zdrojů
8. Přílohy

## Doporučená literatura

- RepRapOneDarwin [online]. In: RepRap, upraveno 20. 10. 2021, [cit. 2021-10- 21]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/RepRapOneDarwin>
- HORVATH, Joan. Mastering 3D Printing. 1 vyd. Apress, 2014. ISBN 978- 1484200261
- Prusa i3 [online]. In: RepRap, upraveno 20. 10. 2021, [cit. 2021-10-21] . Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/I3>
- Materiály - Prusa Research a.s.. – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši [online]. Copyright © Prusa Research a.s., [cit. 20.10.2021]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) – MakersLab | 3D tiskárny, 3d tisk Praha, firemní školení a workshopy. MakersLab | 3D tiskárny, 3d tisk Praha, firemní školení a workshopy [online]. Copyright © 2016 [cit. 20.10.2021]. Dostupné z: <https://makerslab.cz/>



3d-tiskova-technologie-fdm/

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Karel Šafr, Ph.D.

Adresa pracoviště

V Kapslovně 2767/2, 13000 Praha 3

Datum zadání bakalářské práce

03.08.2021

Termín odevzdání bakalářské práce

Podle rozhodnutí rektora

V Praze dne 28.06.2023



.....  
prof. Ing. Jan Čadil, Ph.D.  
Rektor



**Unicorn Vysoká škola s.r.o.**  
V Kapslovně 2767/2  
CZ-130 00 Praha 3

Tel: (+420) 221 400 886  
[info@unicornuniversity.net](mailto:info@unicornuniversity.net)  
[www.unicornuniversity.net](http://www.unicornuniversity.net)

IČO: 27169511  
DIČ: CZ699004029  
č.ú.: 35-2147930287/0100  
KB – Praha 1, pobočka 42

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Návrh a stavba 3D tiskárny vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím výhradně odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou v práci všechny citovány a jsou také uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

Jako autor této bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s jejím vytvořením jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Dále prohlašuji, že odevzdáná tištěná verze bakalářské práce je shodná s verzí, která byla odevzdána elektronicky.

V ..... dne .....

Josef Hasman

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Karlovi Šafrovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.



Návrh a stavba 3D tiskárny

Design and construction of a 3D printer

**UNICORN**  
UNIVERSITY

## **Abstrakt**

Bakalářské práce se zabývá stavbou hobby 3D tiskárny kartézského typu dle předem nadefinovaných parametrů a rozpočtu 15 000 Kč. V teoretické části jsou definovány pojmy z oblasti 3D tisku. Praktická část je zaměřena na stavbu 3D tiskárny. Nejprve jsou popsány nadefinované parametry sestavované 3D tiskárny, nakoupené a vytištěné komponenty, ze kterých je následně sestavená 3D tiskárna. V kapitole Programování softwarové části je popsán proces komplikace v open-source programu Marlin. V závěru praktické části je provedeno srovnání kvality tisku s tiskárnou dostupnou na trhu a zhodnocená případná další vylepšení. Veškeré podklady ke stavbě jsou zveřejněny na GitHubu.

**Klíčová slova:** 3D tisk, FFF, kartézské tiskárna, firmware, hotend, extruder, RepRap, filament

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the construction of a hobby 3D printer of cartesian type according to predefined parameters and a budget of 15000 CZK. In the theoretical part, there are defined the terms from the field of 3D printing. The practical part is focused on the construction of the 3D printer. First, the defined parameters of the assembled 3D printer are described, as well as the purchased and printed components, which the 3D printer is subsequently assembled from. In the Software Programming chapter, the compilation process in the open-source program Marlin is described. At the end of the practical part, a comparison of the print quality with a printer available on the market is made and possible further improvements are evaluated. All documentation for the build is published on GitHub.

**Keywords:** 3D printing, FFF, cartesian printer, firmware, hotend, extruder, RepRap, filament

# **Obsah**

Úvod .....	11
1 3D tisk.....	12
1.1 Historie 3D tisku.....	12
1.1.1 Projekt RepRap.....	12
1.2 Využití 3D tisku.....	13
1.3 Technologie 3D tisku .....	15
1.3.1 FFF/FDM .....	15
1.3.2 SLA/DLP .....	16
1.3.3 SLS.....	19
1.4 Typy 3D tiskáren FFF .....	21
1.4.1 Kartézská tiskárna.....	21
1.4.2 Tiskárna CoreXY.....	22
1.4.3 Tiskárna Delta.....	23
1.4.4 Tiskárna Polar .....	24
1.5 Materiál pro 3D tisk .....	24
1.5.1 ABS.....	25
1.5.2 PLA.....	25
1.5.3 PETG.....	26
1.5.4 TPU .....	27
1.6 Výhody 3D tiskáren.....	27
1.7 Hardware.....	28
1.8 Software.....	31
1.8.1 Firmware Marlin.....	31
1.8.2 Nástroje pro 3D modelování.....	32
1.8.3 Slicer.....	35
1.8.4 Základní nastavení sliceru .....	38
2       Stavba hobby 3D tiskárny.....	42

2.1 Návrh a vyjasnění 3D tiskárny.....	42
2.2 Komponenty pro stavbu 3D tiskárny.....	43
2.2.1 Nakoupené komponenty .....	43
2.2.2 Vytištěné komponenty .....	46
2.2.3 Rozpočet tiskárny.....	47
2.3 Stavba.....	47
2.3.1 Stavba kostry 3D tiskárny.....	47
2.3.2 Stavba osy Y .....	50
2.3.3 Stavba osy Z.....	53
2.3.4 Stavba osy X .....	54
2.3.5 Doplňkové práce .....	57
2.4 Programování softwarové části .....	61
2.4.1 Configuration.h .....	62
2.4.2 Configuration_adv.h.....	63
2.4.3 Konfigurace kalibrační sondy.....	63
2.4.4 Konfigurace senzoru filamentu.....	63
2.5 Kalibrace .....	65
2.6 Porovnání kvality tisku.....	65
2.7 Možnosti případného vylepšení tiskárny.....	71
Závěr .....	73
Seznam použitých zdrojů .....	75
Seznam obrázků .....	79
Seznam příloh .....	81
Příloha A – Nakoupené komponenty a rozpočet.....	82
Příloha B – Seznam tištěných komponentů .....	83
Příloha C – Fotodokumentace sestavované tiskárny.....	84
Příloha D – Modely tištěných komponentů .....	86
Příloha E – Tabulka modelů pro porovnání kvality tisku .....	88

# **Úvod**

V posledních letech roste zájem o 3D tisk a jeho využití v řadě odvětví je nezpochybnitelné. Mnoho uživatelů si zkouší doma vyrábět vlastní 3D tiskárny svépomocí a za použití informací dostupných v online komunitách, a tak tématem bakalářské práce byl zvolen Návrh a stavba 3D tiskárny, neboť i sám autor práce má ke zvolenému tématu velmi blízko.

Bakalářská práce se skládá z teoretické části a praktické části.

Teoretická část práce sumarizuje poznatky získané studiem, analýzou a komparací sekundárních zdrojů, jež jsou následně využity v praktické části. Nejprve je objasněn pojem 3D tisk, jeho historie a projekt RepRap. Jsou zde popsána možná využití 3D tiskáren a technologie 3D tisku. Následně jsou blíže specifikovány jednotlivé typy 3D tiskáren typu FFF a materiály, ze kterých lze na daném typu tiskárny tisknout. V posledních kapitolách teoretické části je popsán vybraný hardware, potřebný pro stavbu zadané 3D tiskárny, a software, do kterého patří firmware, nástroje pro 3D modelování, slicer a jeho nastavení.

Praktická část se zaměřuje na splnění cíle práce, kterým bylo stanoveno sestavení hobby 3D tiskárny, kdy všechny plastové díly by měly být namodelovány a vytiskeny na 3D tiskárně. Zároveň by měl být dodržen rozpočet 15 000 Kč a předem nadefinovaný typ 3D tiskárny. V prvních kapitolách praktické části je sestavovaná 3D tiskárna nadefinována, následně jsou představeny jednotlivé nakoupené a tištěné komponenty. V další kapitolách je popsána samotná stavba 3D tiskárny, naprogramování softwarové části a kalibrace. Na závěr je provedeno porovnání kvality tisku se zakoupenou 3D tiskárnou a navržena případná další vylepšení sestavené 3D tiskárny.

Sestavovaná hobby 3D tiskárna bude patřit do kategorie FFF tiskáren, přičemž se bude jednat o 3D tiskárnu Kartézského typu, která je velmi rozšířená v komunitě RepRap. Rozměry tiskové plochy se budou 23x23x24 cm. Tiskárna bude sestavená z komponentů, které je možné zaměňovat mezi různými výrobci, díky čemuž bude snadno opravitelná či ji bude možné lehce vylepšit. Jejím velkým potencionálem bude velká uživatelská základna komunity RepRap, která ráda sdílí své poznatky ohledně 3D tiskáren skrz internet.

# 1 3D tisk

## 1.1 Historie 3D tisku

Zprvu byl 3D tisk využíván pouze pro tvorbu prototypů, byl označován jako Rapid Prototyping neboli rychlá výroba prototypů a s daným označením Rapid Prototyping je možné se setkat dodnes (Stříteský, 2019, str. 5).

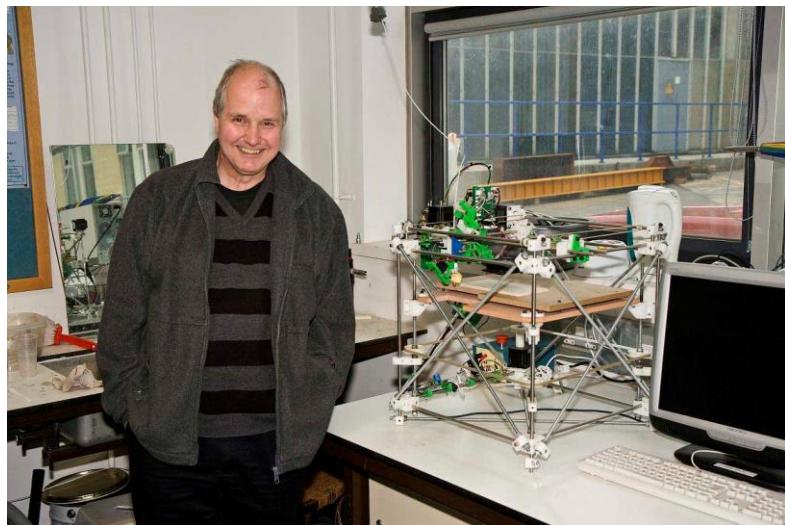
Příkladem využití Rapid Prototyping může být výroba dálkového televizního ovladače. Podniky před zahájením výroby potřebují vědět, zda se ovladač uživateli drží pohodlně v ruce a zda pohodlně dosáhne na veškerá tlačítka, neboť zahájení výroby obnáší vysoké počáteční investice - například do výroby forem, zadání výroby či testovacích sérií. Za pomocí Rapid Prototyping mohly podniky vytisknout prototyp výrobku, a i když prototyp ovladače vytvořený pomocí Rapid Prototyping stál kolem 20 000 Kč, podniky ušetřily statisíce korun. Vzhledem k vysokým cenám high-end tiskáren běžní uživatelé neměli šanci jej využívat, což se ovšem postupně změnilo (Stříteský, 2019, str. 5).

V roce 1984 vznikl 3D tisk jako takový, když si W. Hull, zakladatel společnosti 3D Systems Charles, patentoval technologii tzv. stereolitografie. Daná technologie se označuje zkratkou SLA a je využívána dodnes (Stříteský, 2019, str. 5).

### 1.1.1 Projekt RepRap

Mezi nejdůležitější milníky technologie 3D tisku patří nesporně rok 2005, kdy doktor Adrian Bowyerem z univerzity v Bathu založil projekt zvaný RepRap (Stříteský, 2019). Označení RepRap je spojení anglických slov Replicating Rapid Prototyper, které lze do češtiny přeložit jako Replikující se zařízení pro rychlý vývoj prototypů (Cundie, 2019). Jeho ideou bylo navržení 3D tiskárny, která zvládne vytisknout co nejvíce vlastních součástek. Celý projekt byl koncipován pod open source licencí, takže veškeré zdrojové kódy jsou veřejně přístupné zdarma a modifikovatelné, díky čemuž se do projektu mohli zapojit nadšenci z celého světa. Zásluhou RepRap projektu se 3D tiskárny staly více rozšířené i v hobby a poloprofesionálním segmentu. Společenství kolem RepRapových tiskáren je velmi rozvinuté. RepRapové 3D tiskárny lze zakoupit zkompletované a zkalibrované anebo jako stavebnici (Stříteský, 2019, stránky 5 - 6). Na obrázku č. 1 je vyobrazen Adrian Bowyer s jeho první RepRap 3D tiskárnou.

**Obrázek 1 - Adrian Bowyer zakladatel projektu RepRap**



Zdroj: Plugmake (2015)

## 1.2 Využití 3D tisku

Výroba personalizovaných věcí je velice nákladná a zdlouhavá. Je zapotřebí zadat poptávku u více firem, vyhodnotit jejich nabídky a dohodnout spolupráci s vítězem. Výroba personalizovaného výrobku pomocí 3D tisku snižuje náklady i potřebný čas. Mezi další výhody 3D tisku patří (Vanta, 2019):

- Okamžitá výroba
- Rychlá návratnost investice do 3D tiskárny
- Větší ohled na životní prostředí, neboť při 3D tisku vzniká méně odpadu a nevyužitý materiál lze recyklovat
- Pokud jsou při práci využívány modely, zákazníci ocení možnost jejich osahání

**Prototypy a modely** se hojně používají ve výrobních firmách. Příkladem může být společnost Adidas, která novou obuv tiskne na 3D tiskárnách, díky čemuž snížila dobu výroby i náklady. Dalším příkladem mohou být architektonické modely (Premo s.r.o., 2022). Ukázku prototypů a modelů je možné vidět na obrázku č. 2.

**Obrázek 2 - Ukázka prototypů a modelů tištěných na 3D tiskárně**



Zdroj: Prusa Research (2023)

**Strojní a konstrukční díly**, které je možné zatěžovat, lze tisknout pomocí 3D technologie při pečlivém výběru materiálů (Premo s.r.o., 2022). Příklad tištěného dílu v automobilovém průmyslu je vyobrazen na obrázku č. 3.

**Obrázek 3 - Ukázka konstrukčního dílu tištěného na 3D tiskárně**



Zdroj: Moto Focus (2022)

**Dekorační prvky** představují nejjednodušší objekty pro 3D tisk a nechávají velkou volnost v kreativitě a originalitě. Materiál dekoračních prvků se může lesknout, třpytit anebo fluoreskovat. Dalším využitím je i tisk nevšedních reklamních předmětů (Premo s.r.o., 2022). Na obrázku č. 4 jsou k vidění dekorační předměty vyrobené technologií 3D tisku.

**Obrázek 4 - Ukázka dekorativních předmětů tištěných na 3D tiskárně**



Zdroj: Grey (2018)

Kryty a plastové části mnoha spotřebičů je možné tisknout na 3D tiskárnách. Mezi spotřebiče lze zařadit klimatizace, větráky, vysoušeče vzduchu, varné konvice, mobily anebo vysavače (Premo s.r.o., 2022). Na obrázku č. 5 jsou k vidění kryty na mobilní telefon vytištěné na 3D tiskárně.

**Obrázek 5 - Ukázka krytů na mobilní telefon vytištěných na 3D tiskárně**



Zdroj: O'Connell (2020)

### 1.3 Technologie 3D tisku

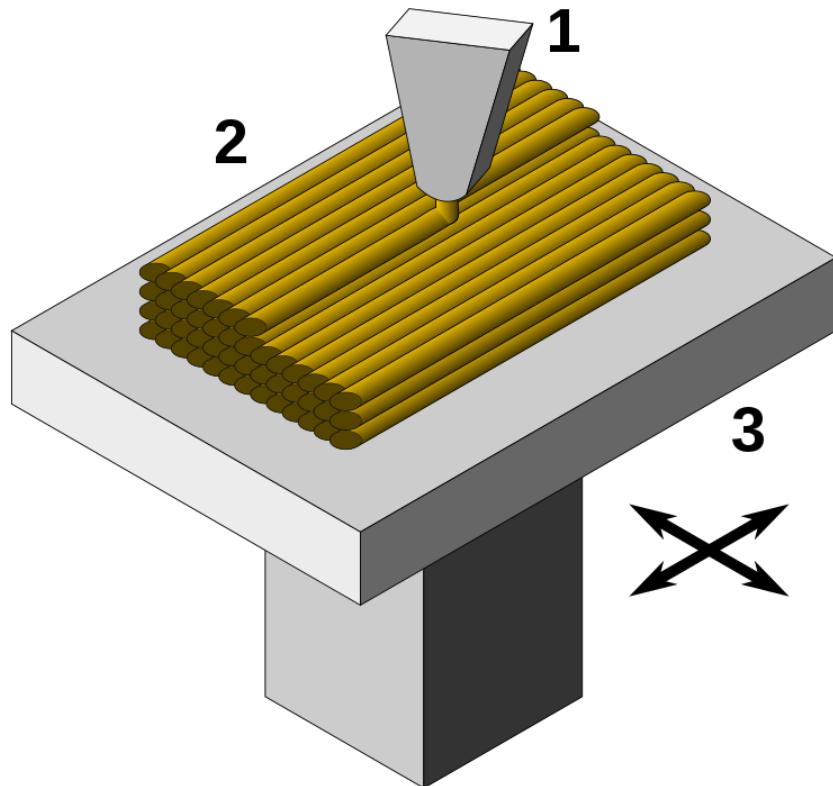
V této kapitole budou popsány tři hlavní technologie pro 3D tisk, mezi které patří FFF/FDM, SLA/DLP a SLS. U každé z technologií budou vysvětleny přednosti a nevýhody každé kategorie.

#### 1.3.1 FFF/FDM

Materiál, který je u 3D tiskáren označován jako tisková struna, je extrudovaný neboli vytlačovaný tiskovou hlavou skrze vyhřátou trysku. Patří sem technologie Fused Deposition Modeling (FDM) a Fused Filament Fabrication (FFF), přičemž oba názvy je možné považovat za synonyma. Jedná se o

nejvíce používanou a nejvíce dostupnou technologií 3D tisku, vhodnou pro tištění funkčních modelů a prototypů. Používaným materiálem pro tisk je roztavený plast, který je vrstvou po vrstvě na sebe nanášen. Materiál je nazýván tiskovou strunou (filamentem) a nejčastějším průměrem je 1,75 mm. Na rozdíl od jiných materiálů, používaných u jiných technologiích 3D tisku, je práce s filamentem jednodušší a bezpečnější, ovšem na výtisku jsou patrné tiskové vrstvy, jejichž výška je většinou v rozsahu 0,05 až 0,3 mm (Stříteský, 2019, str. 11). Na obrázku č. 6 je možné vidět 3D tisk pomocí technologie FFF/FDM.

Obrázek 6 - Ukázka technologie 3D tisku FFF/FDM



Zdroj: Gringer (2018)

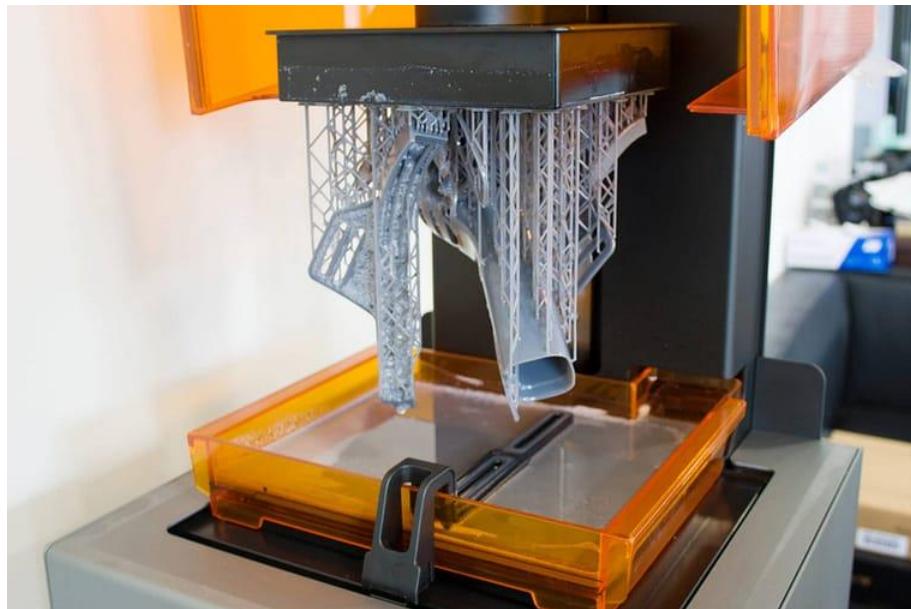
Mezi největší výhody technologie patří dostupnost a poměrně nízké pořizovací náklady pro danou technologii. Na druhou stranu mezi nevýhody přísluší delší čas výroby oproti metodě SLA. Dobré mechanické vlastnosti funkčních prototypů se blíží vlastnostem finálních produktů a velká přesnost tisku je zajištěna díky vhodnému průměru trysky. Hlavním principem technologie FDM je vtahování materiálů v podobě drátu, jeho zahřívání, tavení a následné vytlačování tryskou (Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2019).

### 1.3.2 SLA/DLP

Technologie SLA/DLP se zakládá na principu tvrzení fotosenzitivní pryskyřice za pomocí světla. Tisková plocha se u každé vrstvy posune a proběhne zde vytvrzení fotopolymeru na všech požadovaných místech. Oproti technologii FFF je tisk detailnější a na vytištěném objektu nejsou vidět jednotlivé vrstvy. Na druhou stranu tisk trvá déle, tisková plocha je menší a pryskyřice je toxicální, takže

je zapotřebí zamezit jejímu kontaktu s pokožkou a vdechování výparů v průběhu tisku. Uplatnění 3D tiskáren s technologií SLA/DLP je možné v oborech medicíny a šperkařství (Stříteský, 2019, str. 16). Na obrázku č. 7 je možné vidět technologie SLA/DLP.

**Obrázek 7 - Ukázka technologie 3D tisku SLA/DLP**



Zdroj: 3D Printing Dublin Team (2020)

Mezi výhody technologie SLA/DLP patří (Visualio, 2022):

- Vyšší rychlosť výroby i funkčních dílů
- Jednoduchá údržba v porovnání s SLA 3D tiskárnami
- Nižší cena oproti jiným průmyslovým 3D tiskárnám
- Přesné detaily v mikrometrech
- Takřka hladký povrch díky lidským okem nezaznamenatelné výšce jedné vrstvy tisku
- Větší tisková plocha oproti 3D tiskárnám jiných technologií
- Zrychlení procesu odlevání
- Možnost pigmentace bílé a transparentní pryskyřice dle potřeb zákazníka

Naopak mezi nevýhody technologie SLA/DLP patří (Visualio, 2022):

- Ceny fotocitlivých pryskyřic jsou velmi vysoké
- Post procesing u 3D výtisků
- Potřeba dodržování zásad bezpečnosti práce
- Nutnost využití podpor u složitých geometrií
- Odborná znalost široké palety materiálů

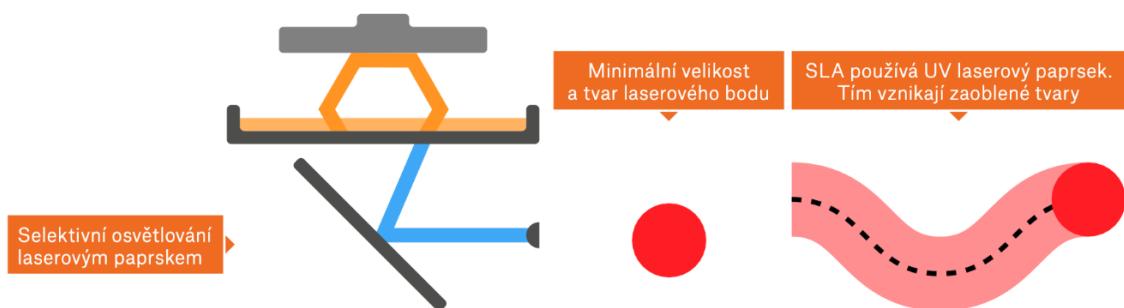
Vytištěný model je na povrchu lepkavý, což je způsobováno nevytvřenou pryskyřicí na povrchu. Je tedy zapotřebí jej před použitím namočit do roztoku isopropylalkoholu, díky čemuž jsou zbytky pryskyřice smyty, následně je zapotřebí model vytvrdit pomocí UV světla. Celý postup je zapotřebí

provádět s nejvyšší opatrností a za použití ochranných rukavic. Celý výše popsaný proces je možné provést i za použití přístroje k tomu určenému (Stříteský, 2019, str. 16).

U technologie SLA jsou používaným materiélem fotopolymery, které reagují na světlo, neboli pryskyřice. Pryskařice je možné dále dělit na akrylátové, epoxidové a plněné pryskyřice (Fakulta stojní ČVUT v Praze, 2019). Za nejstarší používaný materiál pro 3D tisk typu SLA je považována akrylátová pryskyřice, mezi jejíž vlastnosti patří velká smrštivost a malá přesnost. Novějším materiélem jsou epoxidové pryskyřice, které jsou přesnější a méně smrštivé. Plněné pryskyřice jsou vyplňovány organickými materiály, kovy nebo keramikou a mohou být více namáhány. Fotopolymery jsou tvořeny ze tří nejdůležitějších složek: pojiva, monomerů a fotoiniciátorů. Základ polymerů z 50-80 % tvořen pojivy. Monomery se vážou s monomery, polymery a pojivem. Účel fotoiniciátorů je vázání všech složek dohromady k sobě (Fakulta stojní ČVUT v Praze, 2019).

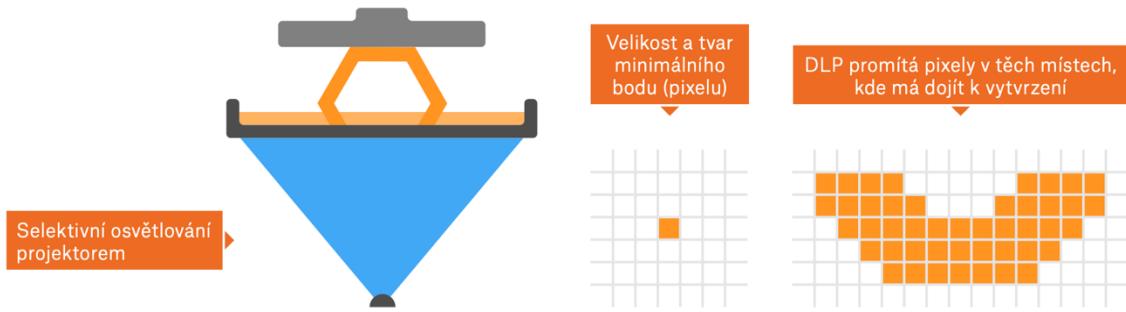
SLA proces lze dělit na dvě hlavní kategorie lišící se způsobem osvitu a tvrzením fotopolymeru. I když se jeví jako velmi podobné, významně se liší kvalitou a dobou tisku. SLA – Laser směřuje UV paprsek pomocí dvou zrcadel a tím vykresluje tiskovou vrstvu. Schéma SLA tisku je znázorněno na obrázku č. 8. Na ploše, vytvrzované v jedné vrstvě, je závislá i doba tisku. Druhá kategorie způsobu osvitu se nazývá DLP neboli Digital Light Processing a dochází při ní k osvitu celé tiskové vrstvy naráz, čímž dojde k vytvrzení. Schéma tisku pomocí metody DLP je znázorněné na obrázku č. 9. Není zde vzájemná závislost doby tisku vrstvy a počtu tištěných objektů či jejich ploše. Čas tisku pro jednu vrstvu je fixní (Stříteský, 2019, str. 17).

**Obrázek 8 - Schéma tisku pomocí metody SLA**



Zdroj: Stříteský (2019)

Obrázek 9 - Schéma tisku pomocí metody DLP

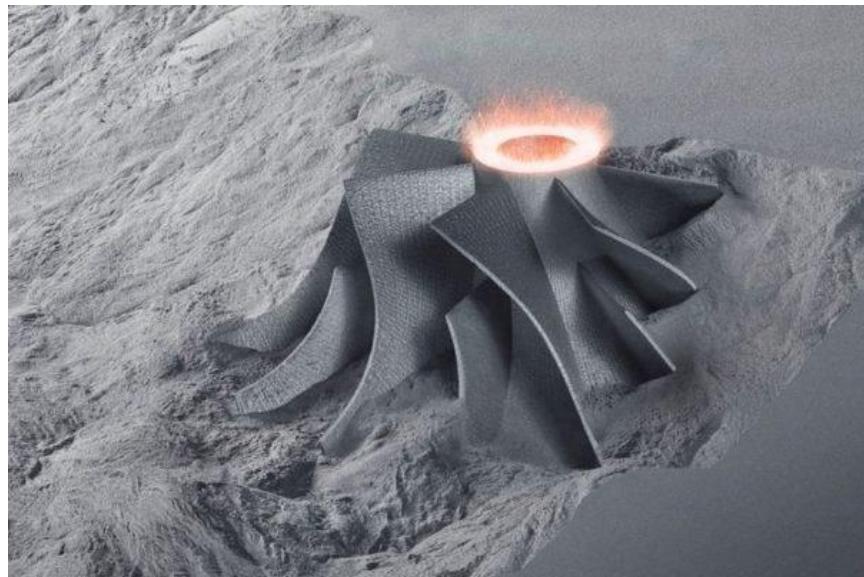


Zdroj: Stříteský (2019)

### 1.3.3 SLS

SLS (Selective Laser Sintering) 3D tiskárny používají k tavení malých částí polymerního prášku vysoce výkonné lasery. Technologie SLS je z podstaty věci totožná s technologií DMLS, neboť polymerní prášek je spékán za pomoci laseru. SLS využívají především průmyslové aplikace, které tak mohou vyrábět silné a funkční součástky. Nespečený prášek na modelu zajišťuje podporu a eliminuje množství podpůrných struktur, díky čemuž je SLS vhodné pro tisk komplexních geometrií, tenkých stěn, negativních a vnitřních prvků (Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2019).

Obrázek 10 - Ukázka tisku pomocí technologie SLS



Zdroj: Beamler (2019)

Mezi výhody technologie SLS patří (Visualio, 2022):

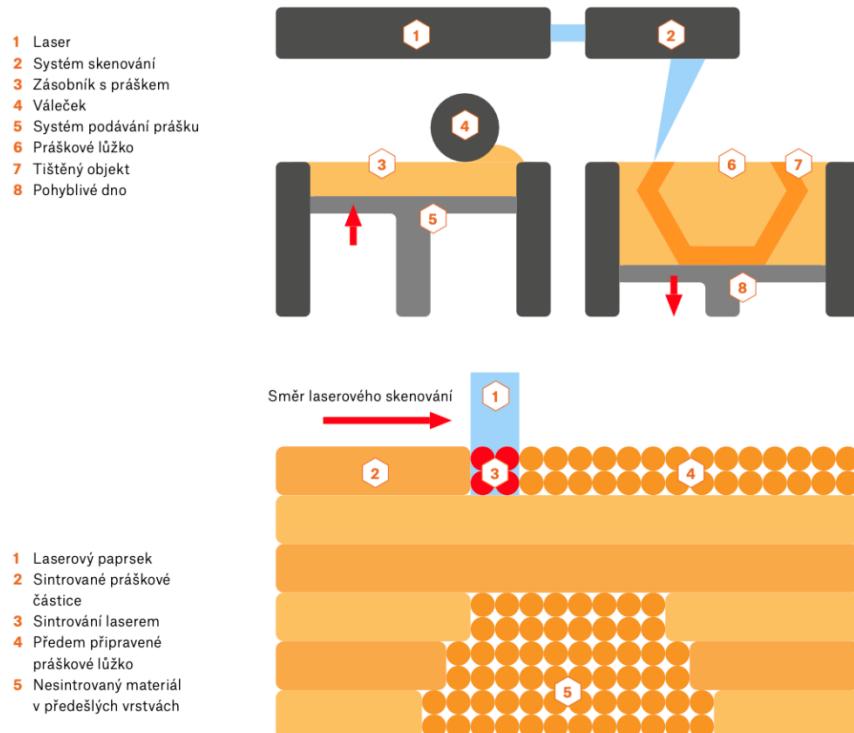
- Absence podpor díky zbytku nespečeného materiálu na objektu
- Poměrně silné a odolné výtisky
- Mechanická odolnost
- Široká škála možných povrchových úprav

Naopak mezi nevýhody technologie SLS patří (Visualio, 2022):

- Drahé čistění stroje od jemného materiálu
- Pórovitost výtisků
- SLS 3D tiskárny mají vysokou cenu
- Vysoká cena materiálu a jeho velká spotřeba
- Menší paleta materiálu
- Smršťování materiálu při tisku

Schéma 3D tisku pomocí technologie SLS - Selective Laser Sintering – je znázorněno na obrázku č. 11.

**Obrázek 11 - Schéma tisku pomocí technologie SLS**



Zdroj: Stříteský (2019)

Mezi nejpoužívanější materiály pro selektivní laserové slisování patří polyamidy, hlavně nylon (PA 12), jež tvořil v předchozích letech přibližně 90 % produkce SLS. Nylon představuje oblíbený termoplast pro strojírenství, navíc má skvělé mechanické vlastnosti. Je lehký, pružný a pevný, stabilní proti nárazu, teplu, chemikáliím, vodě, nečistotám a UV záření. Mezi další používané materiály patří elastomery (TPE, PEBA, TPU), polystyren (PS 2500) a další polyamidy (PA 11, PA 6, PA 2200). Pro tisk je možné využít skoro jakýkoli prášek, jež se vlivem tepla taví. Na druhou stranu nejsou vůbec používány materiály jako semikrystalické polymery, jako je PP, PE, PC anebo amorfni polymery na bázi karbonátů (Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2019).

## 1.4 Typy 3D tiskáren FFF

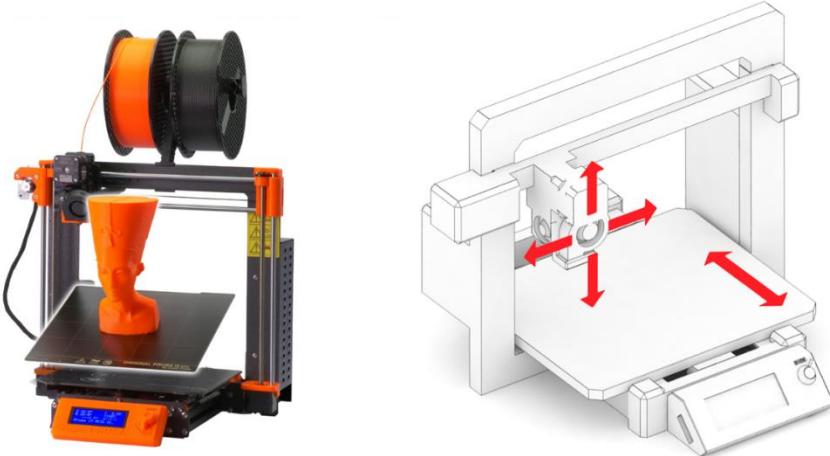
Veškeré 3D tiskárny jsou založené na stejných zásadách, neboť vytvářejí objekty za pomocí přidávání jednotlivých vrstev na nebo pod již vytvořené vrstvy. Žádná z dosud existujících 3D technologií není univerzální a vhodná pro všechny záměry. Aktuálně je možné rozlišovat 3 základní skupiny 3D tiskáren, uvedené v předchozí kapitole, které se dále ještě mohou dělit. Mezi FFF tiskárny patří Kartézské tiskárny, tiskárny Core XY, tiskárny Delta a tiskárny Polar (Průša Research, 2022).

V této kapitole budou blíže představeny FFF tiskárny, přičemž FFF je zkratka anglických slov Fused Filament Fabrication. Tento typ 3D tiskáren pracuje na bázi tavení polymerů, které jsou dále protlačovány skrz trysku či tiskovou hlavu na tiskovou plochu, kde je model vytvářen. Materiál pro tisk je navinut na cívkách a je nazýván filamentem. Rozdíly v FFF tiskárnách jsou na základě toho, zda se při tisku pohybuje tisková hlava anebo tisková platforma (Průša Research, 2022).

### 1.4.1 Kartézská tiskárna

Kartézskou tiskárnu charakterizuje fakt, že má minimálně 3 motory, které pohybují částmi tiskárny po osách kartézského souřadnicového systému. Osa X se hýbe doprava a doleva, osa Y dopředu a dozadu a osa Z se pohybuje nahoru a dolů. Kartézské tiskárny jsou nejvíce používané a představují i nejlevnější typ 3D tiskáren (Průša Research, 2022). Ukázku Kartézské 3D tiskárny je možné vidět na obrázku č. 12.

Obrázek 12 - Kartézská tiskárna



Zdroj: Průša Research (2022)

Nejprve se model před tiskem rozřeže na vrstvy. Osy X a Y vymezí souřadnice tisku. Jakmile je jedna vrstva hotová, osa Z převede trysku o vrstvu výš. Mezi výhody Kartézských tiskáren patří jejich rozšířenost, existence velkého množství rad a typů na internetu a snadnost zajištění náhradních dílů. Naopak mezi jejich nevýhody patří, že při zvyšující se rychlosti tisku se snižuje kvalita a potřeba dostatku místa pro zajištění pohybu os během tisku (Průša Research, 2022).

#### 1.4.2 Tiskárna CoreXY

3D tiskárny CoreXY se od ostatních typů velice liší. Byly navrženy tak, aby byl minimalizován točivý moment při pohybu vozíku. Motory, jež jsou největším zdrojem setrvačnosti, jsou zde stacionární. Díky tomu mohou CoreXY tiskárny dosáhnout velkého zrychlení, neboť prostředky pro pohyb obou os současně anebo nezávisle poskytují dva krokové motory. Nespornou výhodou těchto tiskáren je právě statická poloha motorů (Hooper, 2022).

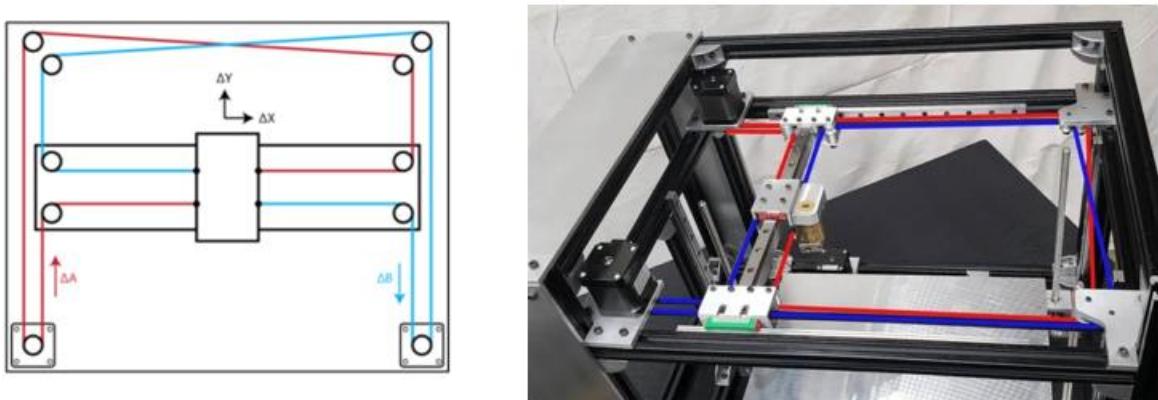
Tiskárny CoreXY mají složitou kinematiku, při níž se motory X a Y pohybují v souladu anebo proti sobě, čímž je docíleno pohybu vozíku zleva doprava anebo směrem dopředu a dozadu. Pohyb pomocí jednoho motoru zajišťuje pohyb tiskové hlavy diagonálně. Pohybují-li se oba motory proti sobě, tisková hlava se bude pohybovat po osy X. Naopak pohybují-li se oba motory ve stejném směru, tisková hlava se bude pohybovat po ose Y (Hooper, 2022).

Pohyby motorů a výsledný pohyb tiskové hlavy (Hooper, 2022):

- Pohybují-li se oba motory ve směru hodinových ručiček, tak tisková hlava se pohybuje doleva.
- Pohybují-li se oba motory proti směru hodinových ručiček, tak tisková hlava se pohybuje doprava.
- Pohybují-li se motory proti sobě, tak tisková hlava se pohybuje směrem k sobě a od sebe.
- Pohybuje-li se pouze jeden motor, tak tisková hlava se pohybuje diagonálně.

Na obrázku č. 13 je vyobrazen nákres tiskárny CoreXY spolu s řemeny jednotlivých motorů a fotografie reálné tiskárny typu Core XY.

Obrázek 13 – CoreXY tiskárna



Zdroj: Průša Research (2022), Hooper (2022)

Díky vyšší lehkosti os X a Y, nezpůsobuje rychlejší tisk takové problémy jako u tiskáren Kartézského typu. Tiskárny CoreXY umožňují i výrazné zvětšení tiskové plochy vzhledem k celkovým rozměrům tiskárny, neboť není zapotřebí pohybovat tiskovou plochou do stran. Na druhou stranu je u tiskáren CoreXY problematická větší délka řemenů a náročná konfigurace ztěžuje možnost oprav. Rám tiskárny

vyžaduje mnohem větší stabilitu a pravoúhlost. Pokud by nebyla stabilita a pravoúhlost dodržena, tak by se snížila rozměrová přesnost (Průša Research, 2022).

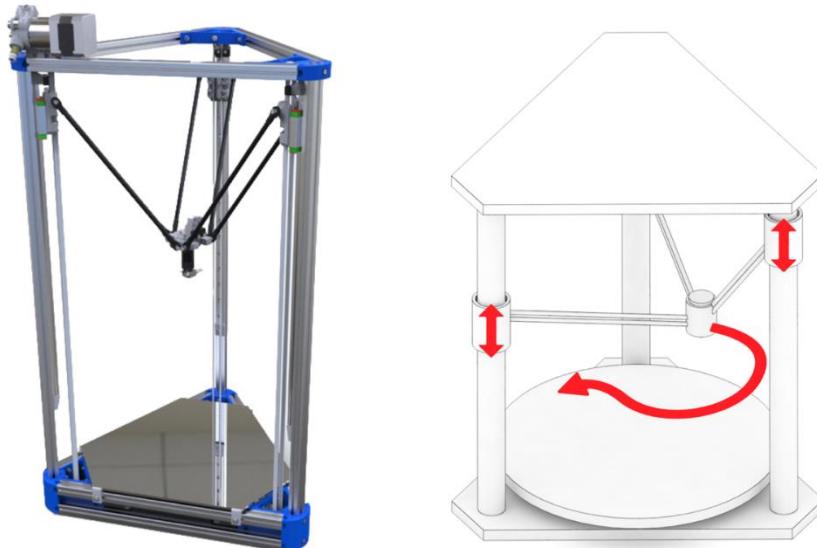
#### 1.4.3 Tiskárna Delta

3D tiskárny Delta jsou specifické tím, že tisková plocha je statická a tři motory pohybují třemi rameny, přičemž všechna ramena se setkávají u hotendu, kterým pohybují po příčných i svislých souřadnicích. Název je odvozen od tvaru trojúhelníku, který svírají ramena držící hotend (Michálek, 2016).

Delta tiskárny se vyznačují rychlým tiskem a lehkým extruderem. Vzhledem ke složitým výpočtům potřebným k provedení pohybů byl u Delta tiskáren osvojen 32-bitový systém. Tiskárny mají v porovnání s ostatními typy poměrně malou a kulatou tiskovou plochu, čímž je omezena oblast tisku. Kvůli vysoké rychlosti tisku jsou výtisky méně přesné. Kvůli řadě problémů jsou zřídka využívány jako domácí stolní tiskárny. Mezi zmiňované problémy patří i jejich složitost. K dispozici je minimum informací a na trhu je nedostatek náhradních dílů, které jsou i velmi nákladné. Aby byl extruder lehký, je zapotřebí, aby tiskárna pracovala s Bowdenových extruderem, což ovšem limituje množství filamentu, který je možné použít (PrestaShop SA, 2022).

Na obrázku č. 14 je vyobrazena tiskárna typu Delta. Vlevo je vyobrazena Delta tiskárna a na obrázku vpravo pak nákres s vyznačením pohybů po jednotlivých osách.

Obrázek 14 - Delta tiskárna



Zdroj: Průša Research (2022)

#### 1.4.4 Tiskárna Polar

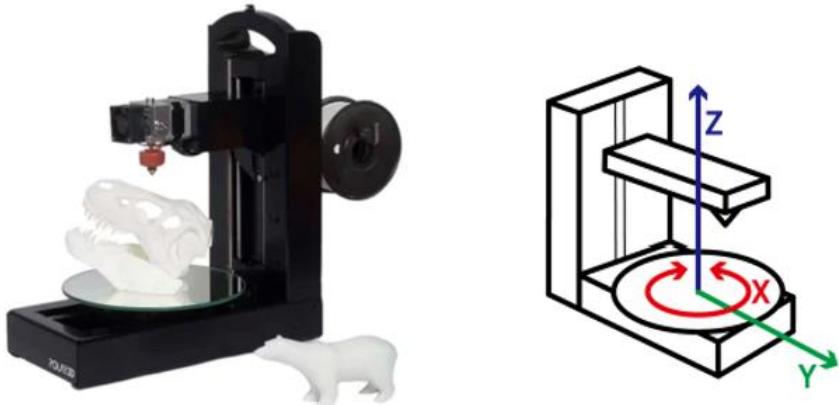
Polar tiskárny pracují pomocí polárního souřadnicového systému nebo pomocí bodů, umístěných na oblouku nikoli v pravoúhlém souřadnicovém systému, jako tomu je u Kartézských tiskáren. Tisková plocha se pohybuje do stran a dokáže se i otáčet. Díky tomu se extender může pohybovat pouze nahoru a dolů a tiskárna může mít velkou tiskovou plochu. Polar tiskárny mají velmi lehký rám (Průša Research, 2022).

Polar tiskárny vypadají velmi odlišně od Kartézských 3D tiskáren. Největší rozdíl spočívá v rotující kolové tiskové ploše. Rám tiskárny je do tvaru L, extruder je napájen cívkou s vláknem ze zadu, jako tomu je u většiny 3D tiskáren, a tisková hlava se pohybuje po osách X a Y. Tisková hlava je upevněna k prodlouženému rameni na stojanu, které je rovnoběžné s tiskovou plošinou a pohybuje se ve směru nahoru a dolů (Flynt, 2019).

Tisková plocha se kromě otáčivého pohybu pohybuje i dopředu a dozadu. U některých Polar tiskáren se dopředu a dozadu pohybuje tisková hlava a tisková plocha se pouze otáčí (Flynt, 2019).

Na obrázku č. 15 je vyobrazena reálná fotografie 3D tiskárny typu Polar a její náčrt spolu s vyznačením pohybů.

Obrázek 15 - Polar tiskárna



Zdroj: Průša Research (2022), Kakabadze (2018)

#### 1.5 Materiál pro 3D tisk

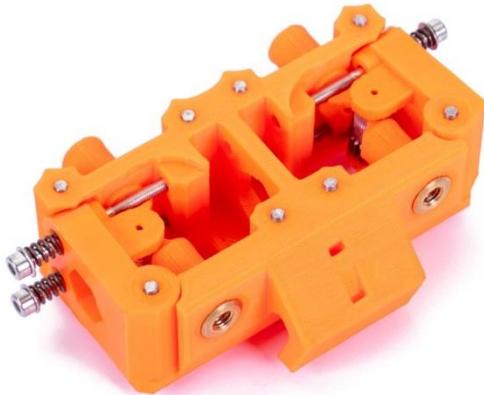
Mezi klíčové součásti 3D tiskáren typu FDM patří tenké vlákno, z něhož vznikají vytiskněné modely. Vlákno používané při 3D tisku lze přirovnat k inkoustu používanému u 2D tiskáren (Kloski & Kloski, 2017, str. 58). Vlákno pro 3D tisk, ze kterého je při tisku vyráběn tištěný 3D objekt, je nazýváno filament, jinak také struna. Filament může být v dnešní době z mnoha různých materiálů, nejčastěji však z plastu. Filamenty jsou vyráběny ve dvou šírkách - 1,75mm a 2,85mm (Balcarová, 2018).

Každý z materiálů, které je možné pro tisk použít, má trochu jiné vlastnosti, a tak je každý materiál vhodný pro jiné účely. Mezi nejznámější filamentové materiály patří ABS, PLA, PETG, PC, Nylon, HIPS, TPU a PVA (Balcarová, 2018), přičemž každý filament vyžaduje specifické nastavení 3D tiskárny. Dokonce shodný typ materiálu od různých výrobců může mít odlišné tiskové vlastnosti (Stříteský, 2019, str. 45). Vybrané typy filamentů jsou podrobněji popsány níže.

### 1.5.1 ABS

ABS je zkratkou anglických slov Acrylonitrile Butadiene Styrene. Mezi jeho přední vlastnosti patří síla, odolnost a flexibilnost. I když je k jeho tavení zapotřebí vyšší teploty, než je tomu u PLA, tak je více odolný proti teplu a nárazům. ABS se skvěle hodí k výrobě mechanických součástek, nástrojů a zařízení (3Dtisk.pro, 2023). Mezi nevýhody patří výroba ABS z ropy, což způsobuje uvolňování škodlivých látek při jeho tavení, proto je nutné dobré větrání v průběhu tisku (Balcarová, 2018). Na obrázku č. 16 je vyobrazen výrobek z filamentu ABS.

**Obrázek 16 - Výrobek z filamentu ABS**



Zdroj: Stříteský (2019)

### 1.5.2 PLA

Zkratka PLA znamená Polyactic Acid a jedná se o biologicky rozložitelný materiál, který je i ekologicky šetrný (3Dtisk.pro, 2023). PLA materiál je vyroben z kukuřičného škrobu a zároveň neobsahuje žádnou ropu (Balcarová, 2018).

Materiál je velmi tvrdý, a tak je vhodný pro tisk větších objektů. Vzhledem k nižším teplotám tavení než ABS se materiál u větších objektů na podložce nekroutí a je vhodný pro začátečníky. Na druhou stranu je vhodný i pro tisk menších objektů, neboť si poradí i s malými detailemi. Mezi nevýhody PLA je možné zařadit jeho křehkost, menší odolnost vůči chemii a výkyvům teplot (Balcarová, 2018). Materiál při tisku nezapáchá, je cenově dostupný a nabízí širokou paletu barev (Stříteský, 2019, str. 46).

Z filamentu typu PLA se většinou vyrábí různé prototypy, modely, hračky a dekorační předměty (3Dtisk.pro, 2023). Ukázky výrobků z filamentu typu PLA je možné vidět na obrázku č. 17.

**Obrázek 17 - Výrobky z materiálu PLA**



Zdroj: Stříteský (2019)

### 1.5.3 PETG

PETG je zkratkou anglických slov Polyethylene Terephthalate Glycol a představuje pevný materiál. PETG je kombinací pevného odolného materiálu a jednoduchého tisku. Mezi další výhody PETG patří odolnost vůči chemikáliím a vlhkosti, což je také důvod, který ho činí vhodným do potravinářského a zdravotnického průmyslu (3Dtisk.pro, 2023). Díky jeho podobnému složení jako mají PET lahve je snadno recyklovatelný (Balcarová, 2018). Na obrázku č. 18 je možné vidět výrobky z filamentu PETG.

**Obrázek 18 - Výrobek z filamentu PETG**



Zdroj: Stříteský (2019)

#### 1.5.4 TPU

TPU je zkratkou anglických slov Thermoplastic Polxurethane. Mezi vlastnosti TPU patří elastičnost a pružnost, proto je také velmi často využíván pro tisk ohebných a měkkých objektů, jako jsou obaly na telefon či obuv (3Dtisk.pro, 2023). Na obrázku č. 19 je možné vidět ukázky výrobků z TPU.

**Obrázek 19 - Výrobky z filamentu TPU**



Zdroj: Stříteský (2019)

#### 1.6 Výhody 3D tiskáren

Technologie 3D tisku má spoustu výhod, které mohou uživatelům 3D tiskáren pomoci při rozhodování o výběru lepšího výrobního postupu. Mezi výhody 3D tisku je možné zařadit následující (Education-WIKI.com, 2020):

1. **Cenová dostupnost** – Na rozdíl oproti konvenční výrobě, kde jsou vysoké mzdové náklady a vysoké nároky na zkušenosti při obsluze stojů, 3D tisk nevyžaduje tak vysoké mzdové náklady a pro obsluhu 3D tiskáren je vyžadován pouze operátor, který spustí 3D tisk a celý následný proces je již automatický.
2. **Rychlejší výroba** – Ve srovnání se starými výrobními postupy jsou modely tvořené pomocí 3D tiskáren mnohem rychleji a jednodušeji vyhotovené, neboť celý proces tisku trvá pouze několik hodin.
3. **Lepší kvalita objektů** – Systematičnost výroby objektů představuje jednu z největších překážek pro designéry. Výhodou 3D tisku je, že 3D tiskárny vyrábějí objekt v jednom jediném kroku, díky čemuž se snižuje závislost na více výrobních procesech, jako je kupříkladu lakování, svařování atd.
4. **Eliminace rizika** – Technologie 3D tisku odstraňuje riziko nezdaru během vývoje prototypu, neboť umožňuje kontrolu prototypu před investicí do nákladných výrobních nástrojů. 3D tisk tak eliminuje riziko investování do drahých výrobních nástrojů, které by se v budoucnu ukázaly jako nevhodné pro danou výrobu.

5. **Volnost kreativních návrhů a adaptace** – Klasické výrobní metody jsou nejefektivnější pro výrobu velkého počtu identických produktů. Naopak technologie 3D tisku umožňuje nekonečnou personalizaci a svobodu v kreativitě při tvorbě produktů, které jsou pak uzpůsobeny potřebám zákazníků.
6. **Používání směsných surovin** – Při hromadné výrobě může být využití více materiálů velmi drahé, ovšem technologie 3D tisku v tomto směru nepředstavuje žádná omezení. 3D tisk se snadno uzpůsobí různým druhům surovin jako je kov, sklo, biomateriál, stříbro, keramika, papír...
7. **Udržitelnost** – 3D tisk vytváří velmi malé množství odpadu, a tak ušetří mnoho peněz, neboť při výrobě využívá pouze materiál, který bude součástí výrobku. Naproti tomu jiné výrobní metody produkují v porovnání s 3D tiskem více odpadu. Příkladem může být CNC frézování, které z bloku materiálu postupně odstraňuje ty části materiálu, které nebudou součástí finálního výrobku. Navíc mohou být materiály využité při 3D tisku recyklovány při dalších výrobních procesech.
8. **Dostupnost** – Technologie 3D tisku se stává stále více dostupná široké veřejnosti, díky čemuž mohou mít jejich uživatelé potřebné produkty dostupné kdykoli a kdekoli.
9. **Praktické testování výtvorů** – Využití 3D tisku u tvorby prototypu, zde je pak možnost osahání a vyzkoušení prototypu.
10. **Nekonečné použití tvarů a geometrie** – Dřívější technologie výroby kalkulují s formami a řezacími technologiemi pro tvorbu požadovaných tvarů, proto je návrh a zhotovení komplikovaných tvarů pro designéry obtížné a problematické na výrobu. Tyto nesnáze 3D tisk snadno překonává.

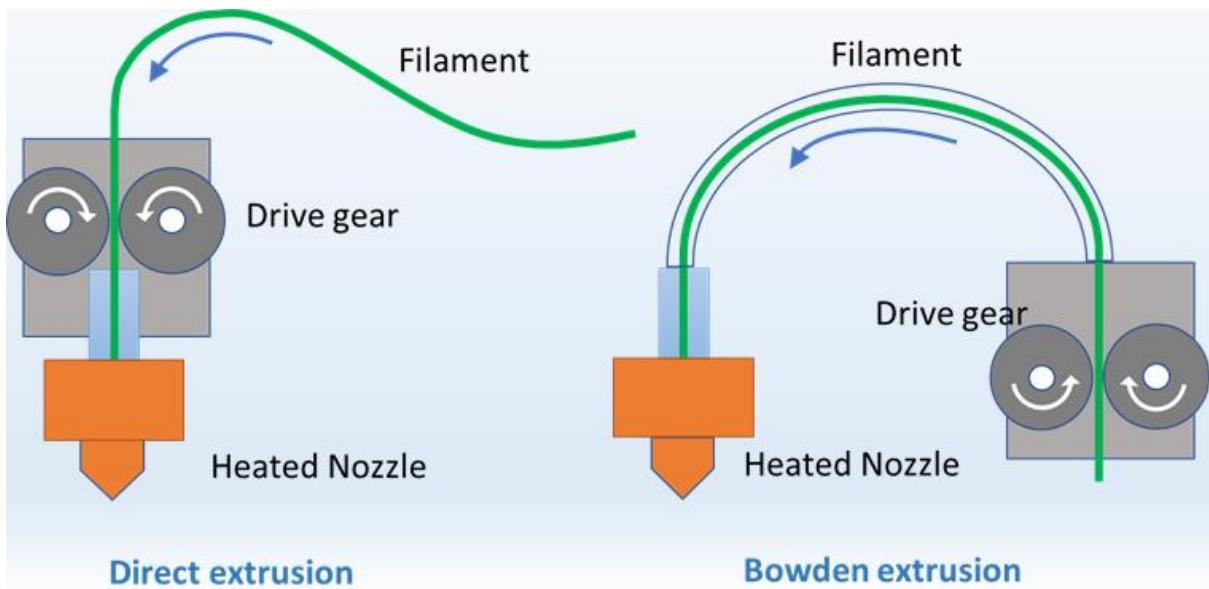
## 1.7 Hardware

V kapitole Hardware jsou představeny nejdůležitější součástky 3D tiskáren, mezi které patří extruder, hotend, vyhřívaná podložka, krokové motory a řídící jednotka.

### Extruder

Extruder má za úkol podávat filament, který se pak taví za pomoci tepla a následně vytlačuje na tiskovou plochu. Existují dva typy extruderů - přímý (direct drive) a bowden, které se liší způsobem vytlačování filamentu do hotendu. U přímého extruderu prochází filament přímo do trysky a u extruderu typu bowden prochází filament nejprve PTFE trubičkou (Tiskni.xyz, 2022). Na obrázku č. 20 jsou znázorněny oba typy extruderů a jejich princip.

Obrázek 20 - Typy extruderů



Zdroj: FabWeaver (2022)

#### Vyhřívaná podložka

Vyhřívaná podložka představuje důležitý prvek každé 3D tiskárny, zejména u tiskáren umožňujících tisk z široké škály materiálů. Vyhřívání eliminuje efekt postupného kroucení výtisku u materiálů s výraznější tepelnou roztažností (Stříteský, 2019, str. 15).

Na obrázku č. 21 je možné vidět jednotlivé hlavní komponenty, ze kterých se vyhřívaná podložka skládá.

Obrázek 21 - Komponenty vyhřívané podložky



Zdroj: Sharplayers s.r.o. (2023)

## **Hotend**

Hotend je někdy označován jako tryska tiskárny, která je ovšem pouze jednou z jeho více součástek. Mezi základní úlohy hotendu patří tavení filamentu a vytlačování materiálu v rovnoměrných vrstvách, čímž je objektu dodávána struktura. Hotend je připojován k extruderu, jenž mu dodává vlákno. U některých 3D tiskáren je hotend připojen k montážní anebo Bowdenově trubce. Kovové hotendy dosahují vysokých teplot díky topným patronám. Přestože je princip hotendu velmi jednoduchý, jedná se o složité zařízení, které je u 3D tiskáren neustále vyvíjeno a vylepšováno o další funkce (Printing It 3D Team, 2022). Obrázek hotendu je označen číslem 22.

**Obrázek 22 - Hotend**



Zdroj: 3D Jake (2023)

## **Krokové motory**

Krokové motory při 3D tisku umožňují všechny mechanické pohyby extruderu a tiskové podložky. Další motor podává tiskový materiál do extruderu. Za výhody krokových motorů lze považovat předem definovanou velikost kroku (Stříteský, 2019, str. 15). Obrázek krokového motoru je pod č. 23.

**Obrázek 23 - Krokový motor**

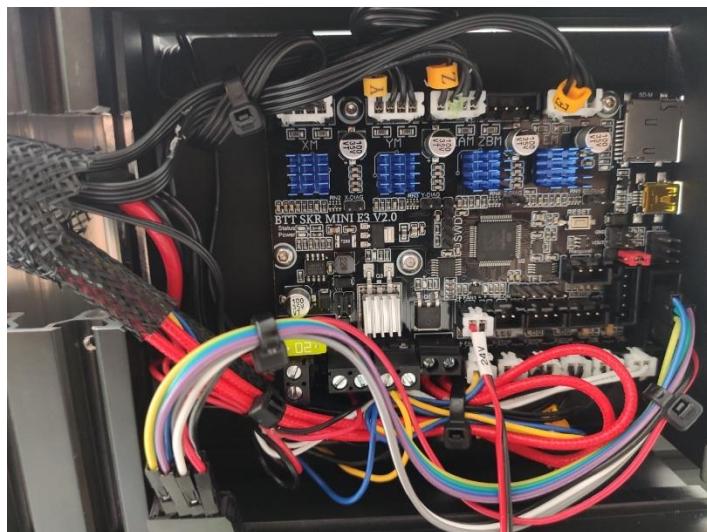


Zdroj: MBM Technik (2023)

## Řídící jednotka

Řídící jednotka zajišťuje chod celé 3D tiskárny. Její hlavní funkcí je čtení a zpracování vstupního textového souboru neboli G-codu, který udává pokyny pro pohyb jednotlivých krokových motorů, nahřívání podložky a trysky (Stříteský, 2019, str. 15). Ukázka řídící jednotky je na obrázku č. 24.

Obrázek 24 - Řídící jednotka



Zdroj: Smith 3D (2022)

## 1.8 Software

V kapitole zvané Software bude nejprve popsán firmware Marlin, následně budou představeny vybrané nástroje pro 3D modelování, v předposlední podkapitole bude popsán software typu slicer a v poslední podkapitole bude popsáno základní nastavení sliceru pro 3D tisk.

### 1.8.1 Firmware Marlin

Marlin představuje firmware, který má otevřený zdrojový kód využívaný 3D tiskárnami RepRap. Marlin vznikl na podkladě programů Sprinter a GRBL, přičemž od 12. srpna 2011 je samostatným open-source projektem zveřejněným na Githubu. Program je licencovaný pod licencí GPLv3 a je k dispozici pro všechny aplikace zdarma. Od počátku je využívan nadšenci z řad komunity RepRap. Mezi základní vlastnosti programu Marlin patří jednoduchost, spolehlivost a přizpůsobitelnost. Jeho kvalitu dokazuje i fakt, že je program využíván několika uznávanými komerčními 3D tiskárnami, jako jsou například výrobci 3D tiskáren LulzBot, Průša Research, Creality3D, Geeetech či Ultimaker. Program dokáže také řídit CNC stroje a laserové gravírovací stroje (Brazio, 2023).

Za svou popularitu Marlin částečně vděčí faktu, že je schopný běžet na levných 8bitových mikrokontrolérech Atmel AVR – Marlin 2. Cílem Marlinu je být přizpůsobitelný co největšímu možnému počtu desek a konfigurací. Funkce se povolují dle potřeby tak, aby se program mohl přizpůsobovat přidaným komponentům (Brazio, 2023).

Na obrázku č. 25 je možné vidět informace zobrazované na obrazovce 3D tiskárny s firmwarem Marlin.

**Obrázek 25 - Informace o tiskárně na obrazovce typické pro firmware Marlin**



Zdroj: Gcharge (2022)

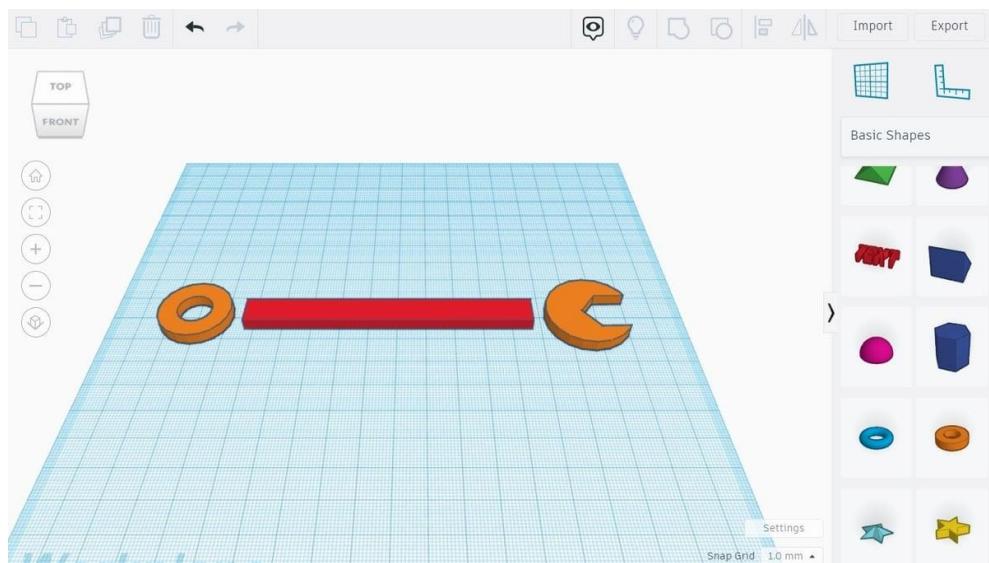
### 1.8.2 Nástroje pro 3D modelování

Škála nástrojů určených pro 3D modelování je velmi pestrá a stále přibývají nové možnosti. Mezi jednoduché webové aplikace patří například Tinkercad. OpenSCAD zase nabízí parametrické modelování za pomoci zdrojového kódu. Mezi nástroje profesionálů se řadí Autodesk Fusion 360. Zmíněné aplikace umí výsledek vyexportovat do souboru s příponou STL, OBJ či 3MF (Stříteský, 2019, str. 26).

## Tinkercad

Aplikace Tinkercad je vhodná pro všechny začátečníky modelování. Aplikace je pro registrované uživatele zdarma a nabízí intuitivní ovládání, navíc je k dispozici celá řada návodů a videí. Trojrozměrné tvary jsou základními stavebními bloky, které uživatel jednoduše za pomocí myši přetahuje z knihovny na pracovní plochu. Na pracovní ploše může měnit jejich rozměry, směry natočení, průnik či rozdíl. Program navíc nabízí možnost exportu a modifikaci STL souboru (Tinkercad, 2023). Na obrázku č. 26 je možné vidět, jak vypadá prostředí aplikace Tinkercad.

Obrázek 26 - Ukázka z programu Tinkercad

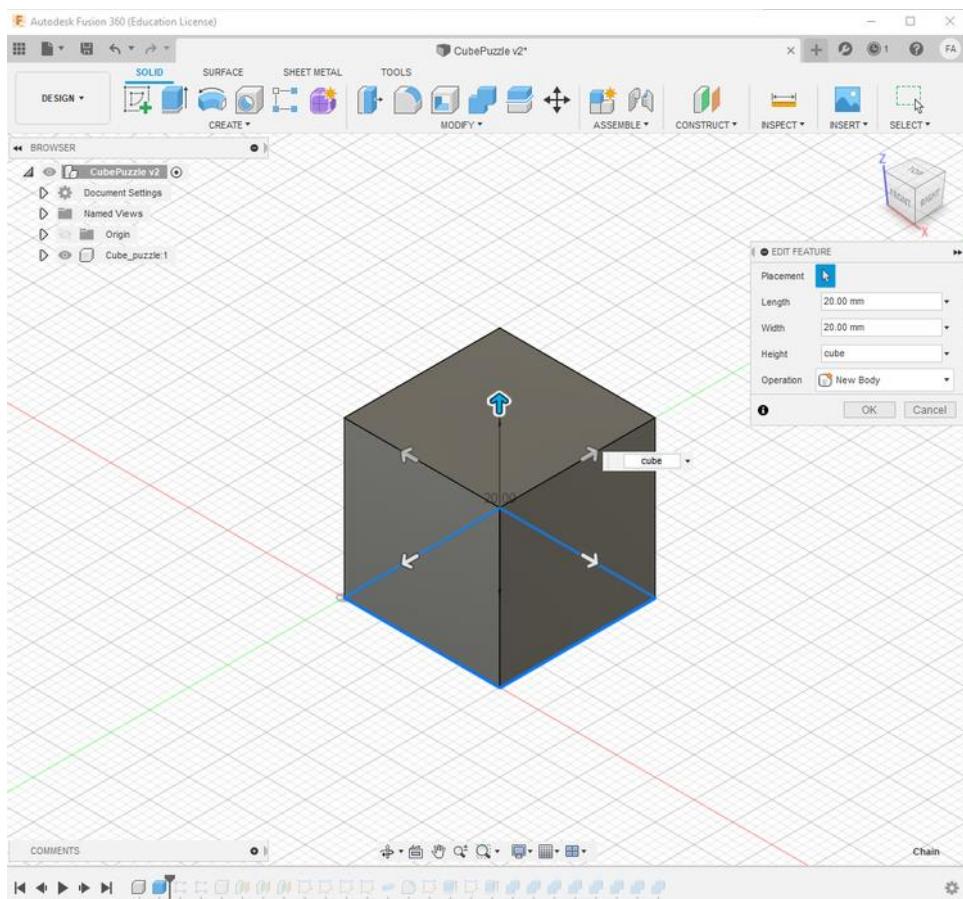


Zdroj: Carolo (2022)

## Autodesk Fusion 360

Pro tvorbu komplexnější modelů je zapotřebí zvolit profesionální nástroj k modelaci, jako je například Autodesk Fusion 360. Program nabízí režim počítačem podporovaného navrhování (CAD), obrábění (CAM), analýzu pevnosti, vizualizaci či volnoplošné modelování. Pro obvyklý postup konstrukce modelů je zde parametrické modelování, které se vyznačuje nejprve návrhem 2D náčrtu pomocí primitivních prvků, jako jsou čáry, čtverce, obdélníky, body, atd., následuje vytažení náčrtu do prostoru, díky čemuž vznikne objemové těleso. Autodesk Fusion 360 se poslední dobou stává velmi populárním nástrojem modelování, neboť nabízí bezplatnou licenci pro kutily, nadšence a inovátory, kteří ve svém podnikání nepřesáhnou obrat 100 000 USD za rok (Stříteský, 2019, str. 27). Na obrázku č. 27 je možné vidět ukázku programu Autodesk Fusion 360.

Obrázek 27 - Ukázka programu Autodesk Fusion 360

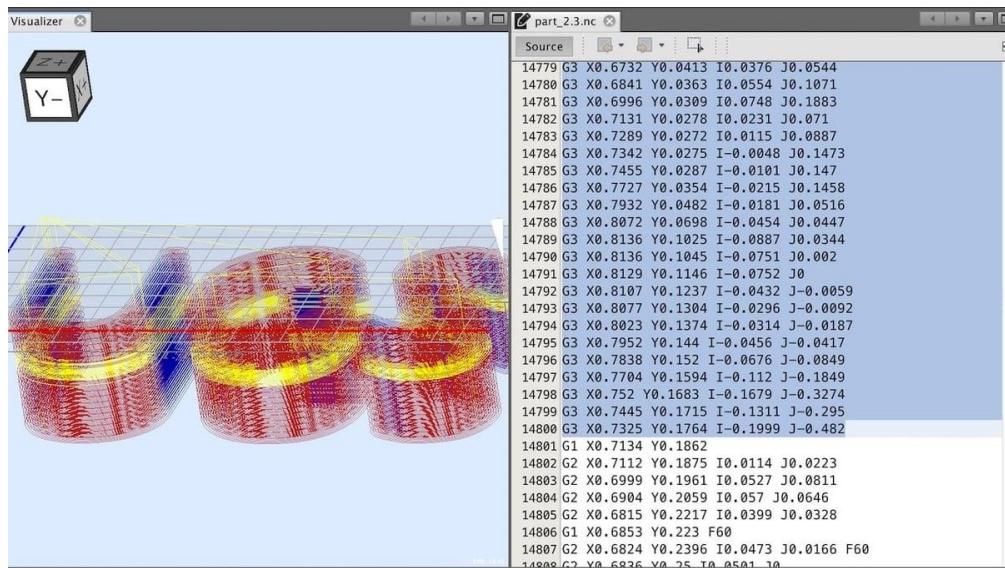


Zdroj: Autodesk Instructables (2021)

### 1.8.3 Slicer

GCode představuje textový soubor, který je relativně čitelný i běžným uživatelem, nicméně jeho primárním účelem je strojové zpracování. Ruční generování kódu by bylo nepraktické a u složitějších modelů až zcela nemožné. Tvorbu GCode tiskových dat zajišťují programy označované názvem slicer, který je odvozen od slova „slice“ neboli „plátek“, neboť 3D tisk probíhá po jednotlivých vrstvách. Proces rozebrání 3D modelu na jednotlivé vrstvy neboli plátky je označován jako „slicing“ česky „naplátkování“ (Hrončák, Slicing, 2023). Na obrázku č. 28 je možné vidět ukázku vygenerovaného řádkového G-codu.

Obrázek 28 – Ukázka vygenerovaného řádkového G-codu



Zdroj: Carolo (2023)

Na obrázku č. 28 je znázorněn převod 3D modelu na strojových G-codech, k převodu se používá software obecně zvaný slicer. PrusaSlicer, Simplify3D, Cura patří mezi nejznámější slicer programy. Při zahájení převodu je do programu nahrán 3D model a nastaveny parametry, jako jsou kvalita, pevnost a doba tisku. Model je v programech také většinou možné upravovat v jeho velikosti, otáčet dle jednotlivých os, řezat či rozdělovat na separátní objekty. Slicery také umožňují rozmištít po tiskové ploše jednotlivé modely. Kvalita programu sliceru je stejně důležitá jako kvalita a provedení tiskárny (Stříteský, 2019, str. 35).

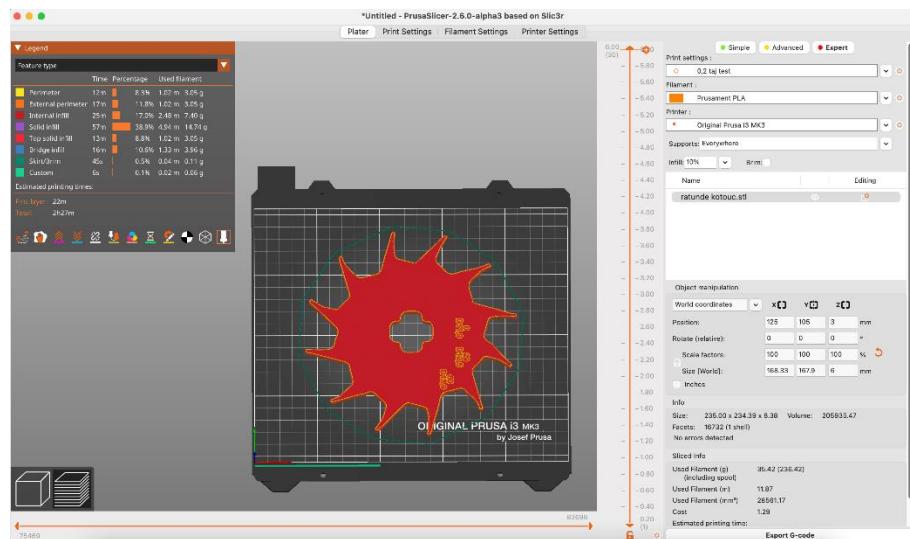
## PrusaSlicer

Z projektu Slic3r, jenž je open source, vychází program PrusaSlicer, který je dodáván v balíčku ovladačů a aplikací k tiskárnám Original Prusa. Program nabízí celou řadu prospěšných funkcí, jako je například multi-materiálový tisk, a je neustále inovován. Vzhledem k uživatelské přívětivosti je skvělou volbou pro začínající majitele 3D tiskáren Original Prusa, neboť nabízí i celou řadu otestovaných tiskových profilů pro celou řadu filamentů. Mezi klíčové charakteristiky programu patří (PrusaResearch, 2023):

- Dostupnost zdarma
- Open source
- 30 otestovaných tiskových profilů, které jsou i automaticky aktualizovány
- Vestavěný nástroj pro nahrávání firmware produktů Original Prusa
- Podpora multi-materiálového tisku
- Integrace s Octoprint
- Široká škála tiskového nastavení
- Náhled naslicovaného modelu
- Možnost nastavit variabilní výšku vrstvy.

Na obrázku č. 29 je zobrazen G-code v programu PrusaSlicer.

Obrázek 29 – Ukázka G-codu v PrusaSlicer



Zdroj: Vlastní zpracování

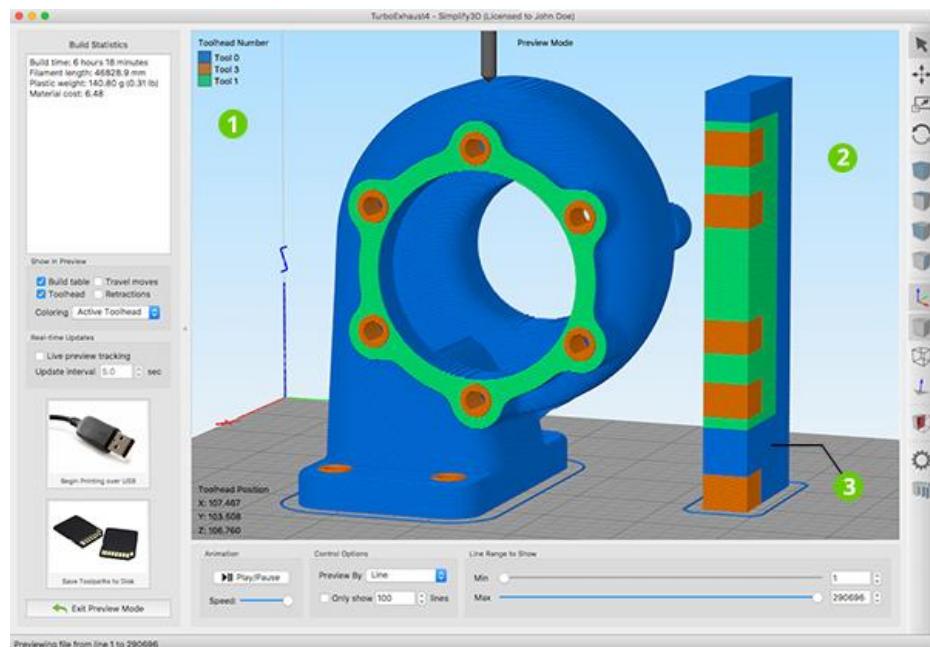
## Simplify3D

Program Simplify3D nebyl vyvíjen ve spojení s žádnou konkrétní 3D tiskárnou či výrobcem a představuje slicovací software. Jeho součástí jsou profily pro stovky 3D tiskáren, díky čemuž je možné používat jeden slicovací program pro různé tiskárny bez nutnosti tvorby tiskového profilu tiskárny uživatelem. Mezi klíčové charakteristiky programu Simplify3D patří (Frey, 2023):

- Jedná se o placený software, 150 USD
- Možnost realistické simulace pohybů extruderu před tiskem
- Náhled ve formátu G-code naslicovaného 3D modelu
- Automatická generace podpěr a možnost editace uživatelem
- Široká škála možností nastavení tisku
- Možnost využít odlišné tiskové nastavení v různých částech modelu či objektech na tiskové ploše

Na obrázku č. 30 je možné vidět ukázku ze slicovacího programu Simplify3D.

Obrázek 30 - Ukázka programu Simplify3D



Zdroj: Simplify3D (2019)

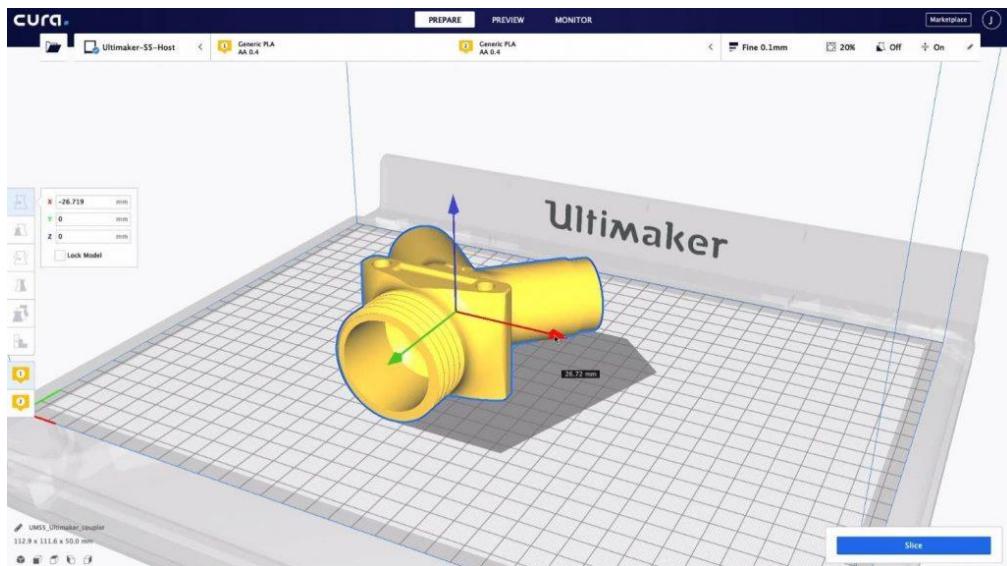
## Cura

Ultimaker výrobce 3D tiskáren využívá vlastní slicovací program, který nazývá Cura. Program je hojně využívaný mezi uživateli 3D tiskáren Ultimaker, ale nabízí i profily pro další desítky 3D tiskáren. Mezi klíčové charakteristiky programu patří (Hesse, 2023):

- Dostupnost zdarma
- Open source
- Jednoduchost
- Dostatečné množství parametrů, které je možné nastavovat
- Optimalizováno pro produkty Ultimaker
- Možnost tisku více modelů naráz s vlastním nastavením tisku
- Možnost náhledu v G-codu naslicovaného 3D modelu
- Zobrazení času tisku jednotlivých částí modelu

Ukázkou slicovacího programu Cura je možné vidět na obrázku č. 31.

Obrázek 31 - Ukázka slicovacího programu Cura



Zdroj: Additive (2023)

### 1.8.4 Základní nastavení sliceru

Všichni výrobci filamentu udávají rozsah teploty filamentu a podložky, který je ideální pro konkrétní typ filamentu. Úpravou teploty lze měnit zvláště vizuální vlastnosti výtisku. Nejčastější rozhraní teploty trysky se pohybuje od 200 °C do 240 °C a teplota podložky od 60 °C do 100 °C (Stríteský, 2019, str. 38)

Čím vyšší je vrstva, tím více jsou na tištěném objektu jednotlivé vrstvy znát. Za obvyklou výšku vrstvy je považováno 0,15 mm. Nižší výšky vrstev jsou voleny pro detailnější výtisky, ovšem jsou tak i časově náročnější. Kompromisem je využití menší výšky vrstvy v oblastech výtisku, kde jsou vyžadovány větší detaily (Stríteský, 2019, str. 38). Na obrázku č. 32 je možné vidět, jaký vliv má výška tištěné vrstvy na výsledný objekt a čas tisku.

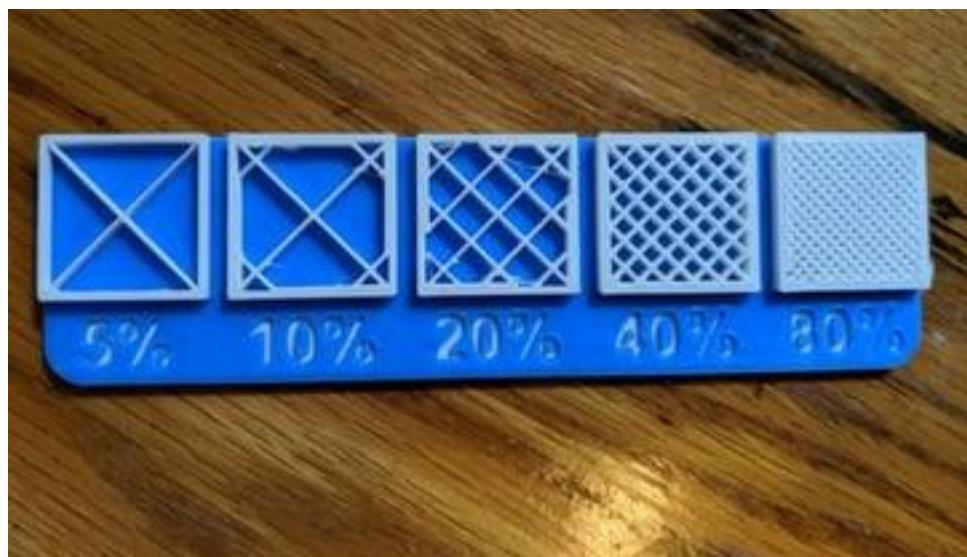
**Obrázek 32 - Rozdílné výšky vrstvy a jejich vliv na detail tištěného objektu**



Zdroj: Prusa Research (2022)

Výplň ovlivňuje pevnost výtisku, spotřebu filamentu a dobu tisku. Je nastavována jako procentuální hodnota, kdy 0 % je hodnota pro duté objekty. Pro běžný tisk se využívá hodnota mezi 10 – 20 %. Rychlosť tisku a pevnost výtisku ovlivní i zvolený vzor výplně (Jackson O'Connell, 2022). Na obrázku č. 33 jsou vidět různé vzory výplně s procentuálním zaplněním.

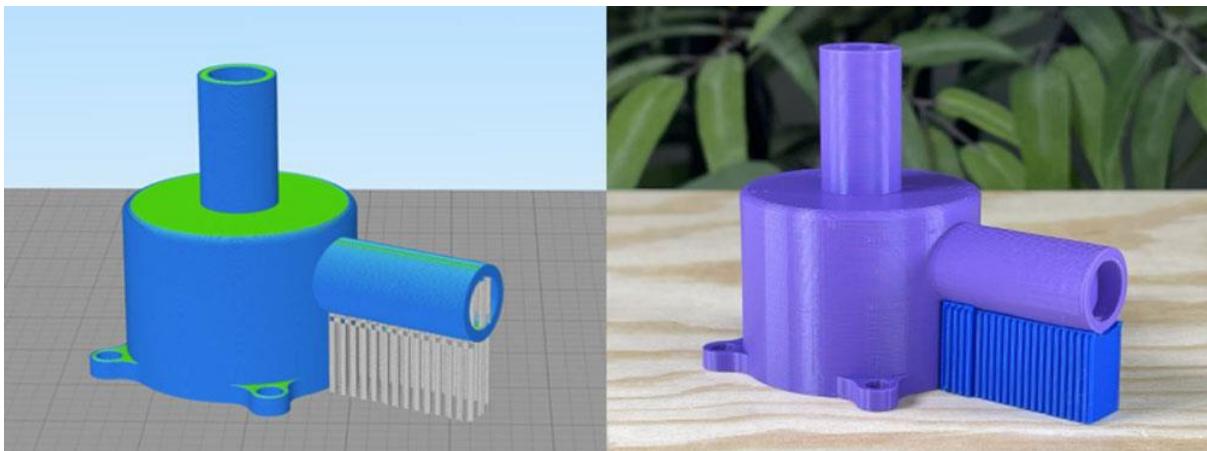
**Obrázek 33 – Procentuální výplň tisku**



Zdroj: Jackson O'Connell (2022)

Při tisku modelu s převisy nelze tisknout pomocí FDM tiskáren do vzduchu, problém lze vyřešit otočením modelu, rozdělením na více částí a slepením po dokončení tisku. Dalším možným řešením je přidání podpůrných struktur do modelu, které se po dokončení odloží, ořežou nebo jinak odstraní (Hrončák, Slicing, 2021). Na obrázku č. 34 jsou vyobrazeny ukázky využití podpůrných struktur.

**Obrázek 34 - Ukázka tisku přemostění**



Zdroj: Simplify 3D (2021)

Jediné možné tisknutí tzv. do vzduchu bez podpěr je v případě přemostování. Při přemostování dochází k tahání tiskových vláken od jednoho bodu k druhému ve stejné výšce a je zapotřebí, aby ventilátor, co nejvíce chladil tavený materiál, aby nedošlo k prohnutí vlivem gravitace. Není vyžadováno, aby most byl rovnoběžný s tiskovou plochou (Stříteský, 2019, str. 40). Na obrázku č. 35 je možné vidět ukázku přemostění.

**Obrázek 35 – Ukázka využití tiskové techniky přemostění**

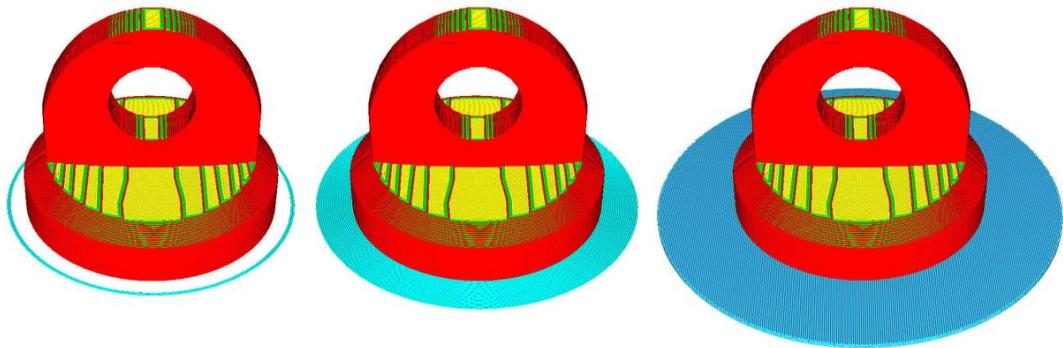


Zdroj: UltiMaker (2023)

Mezi další techniky tisku patří tzv. límec, který udává šířku límce vytisklého kolem objektů v první vrstvě. Límec se dotýká tištěného objektu a je užitečný pro zvýšení přilnavosti objektu k podložce. Po dokončení tisku se odlomí. Naopak technika obrys se nedotýká objektu, netiskne se pouze v první

vrstvě a obrys je tisknut jako první. Technika je nejčastěji používána pro materiál ABS, která má vlastnost smršťování při chladnutí a tendenci praskat. Díky tisknutí obrysu kolem objektu přestává proudit studený vzduch přímo na tištěný objekt. Raft představuje typ podpěry, jež se nachází pod celou plochou objektu, díky tomu model neleží přímo na tiskové ploše. Raft se využívá hlavně u materiálu ABS a zajistí minimalizaci kroucení tištěného objektu a zvýší přilnavost k tiskové ploše (Stříteský, 2019, str. 40). Na obrázku č. 36 jsou znázorněny jednotlivé výše zmíněné postupy.

**Obrázek 36 - Ukázka límce, obrysu a raftu**



Zdroj: O'Connell (2022)

## 2 Stavba hobby 3D tiskárny

### 2.1 Návrh a vyjasnění 3D tiskárny

Cílem praktické části této bakalářské práce je návrh a stavba vlastní 3D hobby tiskárny, která bude přímou konkurencí levným 3D tiskárnám na trhu, přičemž co nejvíce dílů bude namodelováno a vytiskáno pomocí 3D tiskárny. Nejprve budou vyjmenovány jednotlivé komponenty potřebné pro stavbu 3D tiskárny, následně bude popsána stavba. V další části práce bude objasněna problematika sestavení firmware Marlin. Dále je vysvětlena kalibrace jednotlivých os. V závěru jsou porovnány výtisky ze sestavené 3D tiskárny s výtisky vytisknými pomocí 3D tiskáren konkurence a vyjmenovány možnosti dalšího vylepšení tiskárny. Výsledné dílo bude zveřejněno zdarma na webové stránce Github.com.

Sestavovaná 3D tiskárna bude z kategorie FFF tiskáren, které se vyznačují snadnou údržbou a jednoduchým tiskem, jenž probíhá tavením tiskového materiálu. Konkrétně se bude jednat o tiskárnu typu Kartézská, vyznačující se největším rozšířením v komunitě Reprap oproti ostatním typům 3D tiskáren.

Rozpočet na stavbu tiskárny byl stanoven na základě průzkumu trhu na 15 000 Kč. Rozpočet vycházel z cen konkurence, přičemž ke stanovení rozpočtu došlo v roce 2021. Při průzkumu trhu byly zjištěny 3 kategorie Kartézských 3D tiskáren. První kategorie jsou profesionální tiskárny, stojící 100 000 Kč a více, druhou kategorií jsou hobby tiskárny cenově se pohybující od 20 000 Kč výše. Poslední kategorii zastupují levné klony Kartézských 3D tiskáren pocházejících z Číny a pohybujících se cenově od 5 000 Kč. Stanovený rozpočet se tak nachází mezi levnými klony a hobby tiskárnami, neboť cílem je tvorba dostupné 3D hobby tiskárny, v níž se skloubí cenová dostupnost s kvalitou provedení tiskárny.

Na základě objektů k tisku je zapotřebí zvolit vhodnou velikost tiskové plochy, a tedy i tiskárny. Vybraný typ 3D tiskárny je na trhu dostupný v 3 kategoriích velikosti tiskové plochy. Konkrétně se jedná o velikosti, kde hrana krychle tiskové plochy může být kolem 15 cm, 20-25 cm a 35 cm a více. Sestavovaná 3D tiskárna bude mít rozměry 23x23x24 cm, přičemž rozměr byl zvolen jako zlatý střed.

Dalším parametrem při výběru tiskárny je její následná opravitelnost, což jinými slovy lze nazvat jako dostupnost náhradních dílů na trhu. Cenově nejlevnější náhradní díly jsou velmi dostupné, na druhou stranu nejsou ale kvalitní a někdy jsou dokonce i nefunkční. U jiných typů tiskáren je možné nahrazovat rozbité díly stejnými komponenty od jiných výrobců, díky čemuž je u tohoto typu tiskáren velká pravděpodobnost dostupnosti potřebných dílů na trhu. Další jiní výrobci neposkytují náhradní díly a opravy tiskáren je nutné řešit posláním nefunkční 3D tiskárny přímo výrobcí k opravě. Navrhovaná 3D tiskárna bude sestavena z dílů, které lze zaměňovat či vylepšovat komponenty od různých výrobců.

Díky zvolení typu Kartézské 3D tiskárny a principu fungování komunity RepRap je zde velká uživatelský základna, která mezi sebou sdílí své poznatky ohledně oprav a následných vylepšení, což tvoří velký potenciál pro využití sestavované tiskárny.

V praktické části práce bude na základě vytyčených parametrů sestavován nejrozšířenější typ 3D tiskárny, konkrétně se jedná o Kartézskou 3D tiskárnou z kategorie FFF tiskáren, pro níž je k dispozici velká uživatelská základna sdílející open-source své poznatky. Rozpočet na koupi dílů byl stanoven na 15 000 Kč, přičemž komponenty budou vybírány z těch, které lze mezi sebou substituovat. Velikost tiskové plochy bude 23x23x24 cm.

## 2.2 Komponenty pro stavbu 3D tiskárny

V této kapitole zvané Komponenty pro stavbu 3D tiskárny budou postupně uvedeny všechny nakoupené součástky s cenou pořízení pro koncového zákazníka. Stavba probíhala v roce 2021. Následně budou popsány součástky vytištěné pomocí 3D tiskárny, jejichž cena bude souhrnně vyčíslena jednou částkou v hodnotě pořízení materiálu. Celkový rozpočet pro sestavovanou 3D tiskárnou je možný nalézt v příloze A.

### 2.2.1 Nakoupené komponenty

Mezi nakoupené díly patří hliníkové profily, lineární vedení, krokové motory, extruder s hotendem, základní deska, obrazovka, chlazení hotendu, radiální ventilátor, filament senzor, vyhřívaná podložka, závitové tyče, řemeny, sklo/magnetická flexibilní podložka, izolace, spojovací materiál, squashové míčky, energořez, pasivní chlazení motoru, zdroj elektrického proudu, měnič napětí (24/12 v) a kalibrační sonda.

V příloze C je možné vidět fotodokumentaci celé tiskárny a umístění jednotlivých komponentů na tiskárně je podrobněji popsáno v kapitole Stavba.

#### Hliníkové profily

Hliníkové profily tvořící kostru tiskárny byly zvoleny z hliníkového materiálu, neboť tak jsou variabilní a velmi jednoduše uzpůsobitelné na uchycení potřebných komponentů. Další výhodou kovových profilů je jejich robustnost, díky čemuž je konstrukce stabilní. Navíc jsou hliníkové profily velmi snadno na trhu dostupné a vyměnitelné v případě potřeby. Do sestavované 3D tiskárny bylo zapotřebí 7 kusů, a celkově stály 1 100 Kč.

## **Lineární vedení**

Lineární vedení bylo zvoleno kvůli vysoké přesnosti na rozdíl od pojazdových koleček do profilu, i když je více nákladné, cena pořízení v roce 2021 byla 2 000 Kč. Celkem v sestavované 3D tiskárně bylo použito lineární vedení 4krát, z toho na ose X 1 kus, na ose Y jeden 1 kus a na ose Z 2 kusy, vždy po 1 ks na každé straně osy.

## **Krokové motory**

Do sestavované 3D tiskárny byl zvolen jediný dostupný typ krokového motoru v roce 2021, který se konkrétně jmenuje Nema 17. Do tiskárny bylo zapotřebí koupit 5 kusů popisovaného krokového motoru, přičemž 1 ks v roce pořízení 2021 stál 1 495 Kč.

## **Extruder s hotendem**

Vzhledem ke zvolené velikosti tiskové plochy bylo zapotřebí zvolit hotend pro strunu o průměru 1,75 mm, což je také nejrozšířenější typ materiálu pro 3D tisk. Zároveň bylo rozhodnuto o využití extrudera s hotendem dohromady, neboť má toto řešení řadu výhod, například jejich váha je pouhých 256,25 gramů. Zvolený typ se jmenuje Revohemera XS a jeho cena pořízení v roce nákupu byla 2 999 Kč.

Mezi největší přednosti hotendu patří snadná výměna trysky, kterou lze provést za studena bez použití speciálního nářadí. Kladem je také možnost tisku všech materiálů dostupných na trhu, neboť hotend je schopný nahřátí až 300 °C. U hotendu dochází k rovnoměrnému zahřívání celé plochy trysky, která je oproti jiným modelům delší, avšak není zde členění na trysku, izolátor a teflonovou trubičku, díky čemuž je zde možnost mít vyšší průtok materiálu tryskou a tím i rychlejší tisk.

Extruder použitý v tiskárně je nazýván Direct Drive Extruder a proti druhému typu zvanému Bowden má několik výhod. První výhodou je přesnější tisk a možnost tisku flexibilních materiálů, díky minimální vzdálenosti mezi hotendem a extruderem, neboť oba komponenty se nacházejí na tiskové hlavě. Druhou výhodou je zvýšení rychlosti tisku, neboť zde při přejezdu tiskové hlavy nedochází k dlouhé retrakci<sup>1</sup> materiálu.

## **Základní deska**

Byla zvolena základová deska zvaná Bigtreetech SKR mini E3 V2.0 o 32 bitech se základním napětím dc 24 V. Tato základní deska byla zvolena kvůli tiššímu chodu driveru TMC 2209 proti jiným základním deskám, které využívají hlučnější drivery. Základní deska podporuje až 5 krokových motorů, má široké možnosti připojení displeje a podporu automatického levelingu, detekci filamentu, pokračování tisku při výpadku proudu a podporu formátu G-code. Cena pořízení komponentu byla 890 Kč.

---

<sup>1</sup> Pojem retrakce vychází z anglického slova retraction.

## **Obrazovka**

Byla zvolen Bigtreetech TFT35 verze 3.0 display, který se vyznačuje podporou dotykového displeje a možností dvou rozhraní. Je zde možnost zapojení SD karty, USB slotu a portu pro senzor filamentu. Zároveň display disponuje tlačítkem pro reset a jednoduchým reproduktorem pro interakci s uživatelem. Náklad na pořízení obrazovky byl 890 Kč.

## **Chlazení hotendu**

Pro tiskárnu byl zakoupen ventilátor NF-A4x20, který stál 189 Kč. Tento typ byl zvolen kvůli jeho tichému chodu, neboť úroveň hluku je zde 15 dBA. Průtok vzduchu je u tohoto modelu ventilátoru 9,4 m<sup>3</sup>/h oproti jiným modelům, které mají obdobný průtok, ale vyšší hlučnost.

## **Radiální ventilátor**

Radiální ventilátor zajišťující ofuk výtisku do konkrétního místa byl zvolen s hlučností 30 dBA a průtokem vzduchu 10,12 m<sup>3</sup>/h. Běží na 24 V a jeho cena v době pořízení byla 50 Kč.

## **Filament senzor**

Filament senzor byl vybrán typu mechanického a to kvůli jeho spolehlivosti proti senzoru laserovému, který není u všech typů materiálu spolehlivý. Slouží k automatickému pozastavení tiskárny v případě vypotřebování tiskové struny při dlouhých tiscích. Jeho cena byla 70 Kč.

## **Vyhřívaná podložka**

Pro sestavovanou 3D tiskárnu byla zvolena hliníková vyhřívací podložka s jedním zdrojem tepla umístěným na středu, kterou lze zahřát až na 110 °C. Její rozměr je 235x235 mm a je 24 voltů. Náklad na zakoupení vyhřívané podložky byl 435 Kč.

## **Závitové tyče**

Závitových tyčí byly v 3D tiskárně použity 2 ks pro pohyb osy Z o délce 350 mm a stoupání 8 mm. Odlišení od levnějších typů hobby tiskáren je v použití dvou závitových tyčí namísto jedné, čímž je získána vyšší pevnost a stabilita osy X. Cena tyčí byla 150 Kč.

## **Sklo/magnetická flexibilní podložka**

Z důvodu rozdílných výhod obou typů podložek je u sestavované tiskárny možnost volby obou typů. Magnetická podložka je výhodnější pro snadnější manipulaci s hotovým výrobkem a stála 670 Kč. Podložka ze skla je výhodnější pro tisk velkých výrobků, neboť eliminuje možnost prohnuté podložky a tisk je vždy proveden do roviny. Zároveň díky technologii 3D Laku, který funguje jako lepidlo pro první vrstvu na přilepení k podložce a který přestává fungovat po ochlazení objektu pod 32 °C, je zde minimalizováno nebezpečí neodlepení tištěného objektu od skla. Podložka ze skla stála 20 Kč a oba výdaje jsou v příloze A sečteny v položce č. 12.

## Kalibrační sonda

Kalibrační sonda je použita zejména z důvodu rozdílných výšek magnetické podložky a podložky ze skla. Další její funkci je správná a uživatelsky jednoduchá kalibrace první vrstvy tak, aby tryska u podložky byla ve správné výšce pro tisk. Byla vybrána sonda mechanického typu a její cena byla 599 Kč.

Mezi další zakoupené komponenty patří řemeny, které zajišťují pohyb os X a Y. V sestavované 3D tiskárně byly použity 2 ks v celkové ceně 70 Kč. Dalším zakoupeným komponentem byla izolace zajišťující vyšší stabilitu teploty na tiskové ploše a omezující únik tepla zespodu. Její cena byla 69 Kč. Energořez byl využit pro vedení a ochranu kabeláže, jeho cena byla 482 Kč, přičemž celkem bylo použitých 3 kusy. Pasivní chlazení motoru bylo v tiskárně využito dvakrát a jeho celková cena byla 20 Kč. Mezi poslední komponenty patří zdroj elektrického proudu, který mění proud z 230 V na 24 V a jeho celková cena byla 1 190 Kč. Měnič napětí byl v sestavované tiskárně použit dvakrát a mění 24 V na 12 V. Jeho využití je pro ofuk, přičemž díky 12 V je jeho chod tišší. Cena měniče byla 18 Kč. Squashové míčky byly použity pro zamezení přenosu vibrací z tiskárny v chodu do okolí a zpětnému přenosu na tiskárnu. Celkem byly použity 4 ks v celkové ceně 148 Kč. Posledním zakoupeným materiélem pro stavbu 3D tiskárny byl spojovací materiál v celkové hodnotě 285 Kč. Pod pojmem spojovací materiál je možné si představit šrouby, 4 ks ložisek, kabely, 2 ks řemenic, 4 ks kladky, 4 ks silikonových válečků pod podložku, matky, end-stop, 2 ks mosazných matic pro trapézový závit se stoupáním 8 mm, matice do T-profilů, 2 ks pružných spojek a 7 ks hliníkových dílů. Umístění komponentů na tiskárně je možné vidět v příloze C, řemeny mají č. A14, izolace má č. A15, energořez má č. A16, pasivní chlazení motoru má č. A17, zdroj elektrického proudu má č. A18, měnič napětí má č. A19 a squashové míčky mají č. A20.

### 2.2.2 Vytisknuté komponenty

Mezi vytisknuté komponenty patří 4 ks nohou, uchycení obrazovky, krabička na elektroniku, uchycení energořez osa Z a Y, napínák osy Y složený ze třech vytisknutých komponentů, uchycení zdroje složené ze 2 protikusů, 2 ks držáku Z-motoru, zpevňovač konstrukce, 4 ks spojnice osy Z a Y, uchycení řemenů na ose Y, zarážka zdroje, uchycení motoru osy Y, držák energořezu podložky, 2 ks napínáku osy X, držák end-stopu na ose X, uchycení energořezu osy Z a osy X, uchycení extruderu na ose X, úchyt a směrovač radiálního ventilátoru, krabička na kabeláž, uchycení řemenu pro osu X, 2 ks madel, 7 ks krytek vedení kabelu, 2 ks zarážek osy Z, držák filamentu a senzoru na filament, pohyblivé kolejnice pro filament a zámek řemenu osa Y.

Všechny vytisknuté plastové komponenty jsou v tmavě modré barvě. Celková cena materiálu použitého k výrobě tištěných komponentů pro 3D tiskárnu byla 600 Kč, přičemž se jedná o cenu 2 kg filamentu. Všechny tištěné komponenty jsou vyobrazeny v příloze D, kde je možné vidět jejich 3D model.

V příloze C je možné vidět fotodokumentaci celé tiskárny, umístění jednotlivých komponentů na tiskárně je podrobněji popsáno v kapitole Stavba a jejich celkový seznam je možné shlédnout v příloze B.

### **2.2.3 Rozpočet tiskárny**

Zadaný rozpočet byl stanoven do 15 000 Kč. Jednotlivé nakoupené komponenty a jejich ceny pořízení jsou shrnutы v tabulce vyobrazené v příloze A. V příloze jsou k jednotlivým nakoupeným komponentům vypsány ceny v době pořízení, které souhlasí se stanoveným rozpočtem, v dalším sloupci přílohy jsou uvedeny aktuální ceny komponentů pro začátek roku 2023. Celková cena komponentů v době jejich pořízení byla 14 924 Kč a dnes by činila 20 418 Kč.

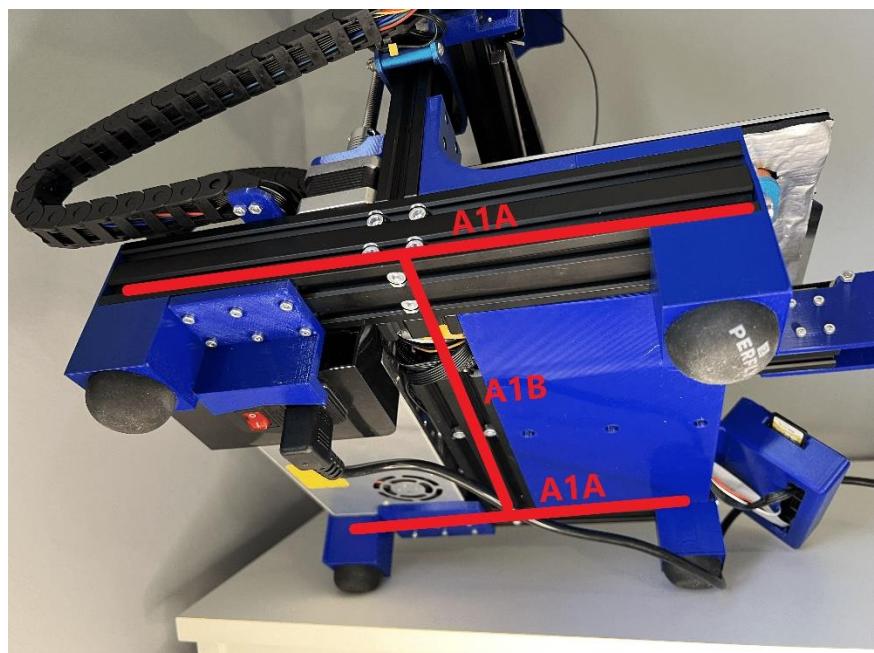
## **2.3 Stavba**

V kapitole č. 2.3 Stavba bude popsán celý proces stavby 3D tiskárny Kartézského typu z jednotlivých nakoupených a vytištěných komponentů. Celá problematika stavby je rozdělena do pěti podkapitol. Nejprve bude vylíčena stavba kostry tiskárny, následně budou popsány stavby jednotlivých os a na závěr budou objasněny doplňkové práce při kompletaci tiskárny.

### **2.3.1 Stavba kostry 3D tiskárny**

Nejprve byly spojeny 3 hliníkové profily typu 40x40 mm do tvaru H, přičemž boční profily mají délku 290 mm a prostřední pouze 270 mm. Ke spojení došlo pomocí 4 šroubů M5 na každé straně. Ve spojovacím profilu byl zespodu udělán výřez pro vedení kabeláže a v horní části byla vyříznuta drážka široká 20 mm s hloubkou 5 mm. Na koncích všech 3 profilů musely být také vyvrťány závity pro šroub M5. Vzniklá konstrukce tvaru H je červeně vyobrazena na obrázku č. 37 a profily jsou označeny A1A o délce 290 mm, A1B o délce 270 mm.

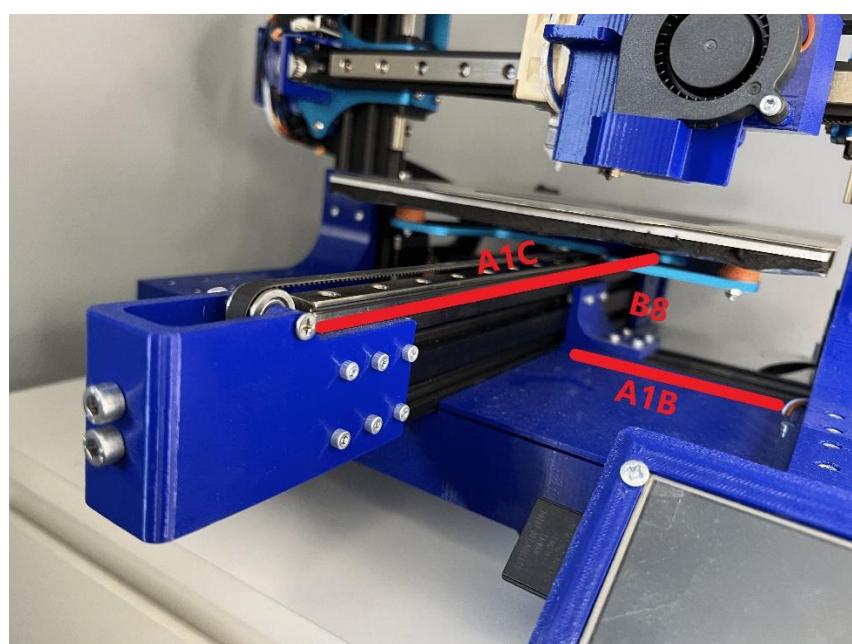
Obrázek 37 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkové profily (tvar H)



Zdroj: Vlastní zpracování

Do středu sestavené konstrukce rovnoběžně s profily o délce 290 mm byl pomocí dvou šroubů M5 připevněn hliníkový profil o rozměrech 40x20 mm a délce 325 mm, na obrázku č. 38 je profil označen A1C. Pro zajištění stability profilu do pravého úhlu byly použity 2 vytištěné stabilizační prvky, které jsou v příloze B nazvány jako zpevňovač konstrukce, z nichž každý byl připevněn pomocí 6 šroubů M3 a T-matek do hliníkových profilů o délkách 270 mm (A1B) a 325 mm (A1C).

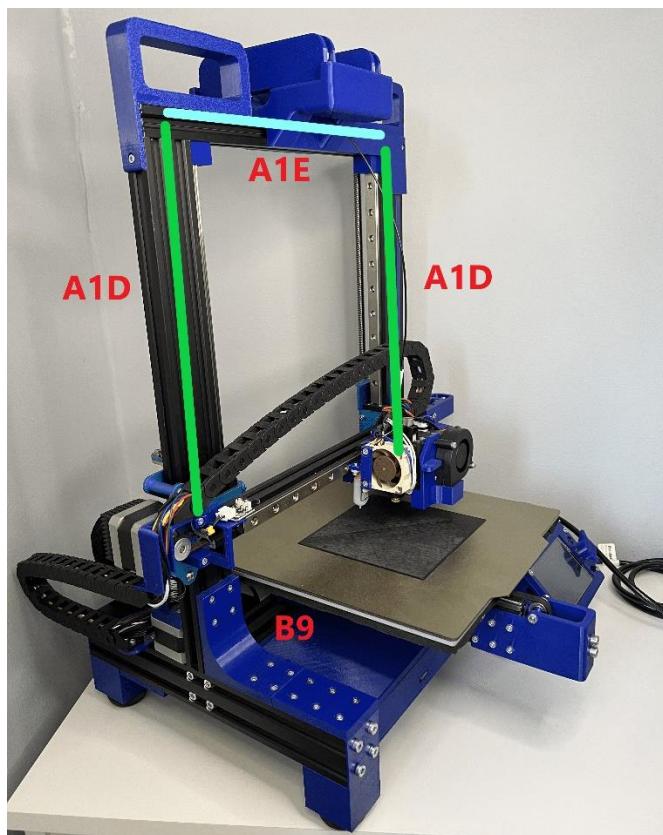
Obrázek 38 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkový profil (A1C)



Zdroj: Vlastní zpracování

V dalším kroku byly k již vzniklé konstrukci připevněny další dva hliníkové profily 40x20 mm o délce 400 mm, do kterých byly na jejich koncích vyvrtány dva závity na šrouby M5. Jejich umístění na tiskárně je zvýrazněno na obrázku č. 39 pomocí zelené barvy a jsou označeny pomocí A1D. Přichycení ke konstrukci proběhlo pro každý profil ze spodní části pomocí dvou šroubů M5. Pro zajištění stability profilu do pravého úhlu s již stávající konstrukcí byly použity 2 stabilizační prvky (Spojnice osy Z a Y má označení B9), z nichž každý je připevněn pomocí 8 šroubů typu M3 a T-matek.

**Obrázek 39 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkové profily (A1D a A1E)**



Zdroj: Vlastní zpracování

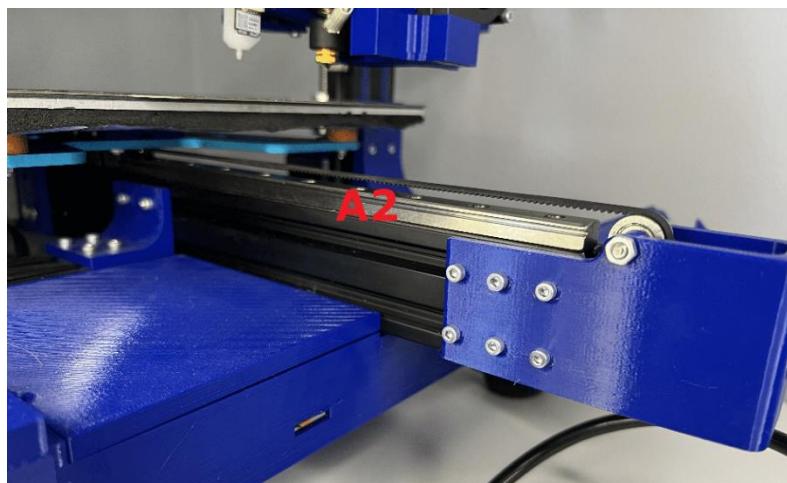
Další profil umístěný na tiskárně spojuje profily o délce 400 mm (A1D) na jejich koncích. Přidávaný profil typu 20x20 mm má délku 330 mm a jeho účelem je zajištění větší stability sestavované 3D tiskárny. Pro jeho upevnění bylo zapotřebí vyvrtání dvou děr na každém konci profilu a jeho upevnění pomocí šroubů M5. Na obrázku č. 39 je vyznačen pomocí modré barvy a je označen A1E.

Výsledkem je robustní kostra 3D tiskárny, na kterou budou v následujících kapitolách připevněny další komponenty.

### 2.3.2 Stavba osy Y

Nejprve bylo připevněno lineární vedení k profilu o délce 325 mm označovaném pomocí A1C. Lineární vedení má délku 300 mm a je do středu profilu uchyceno pomocí 12 šroubů typu M3 a T-matek. Lineární vedení je vyobrazeno na obrázku 40 a čísla A2.

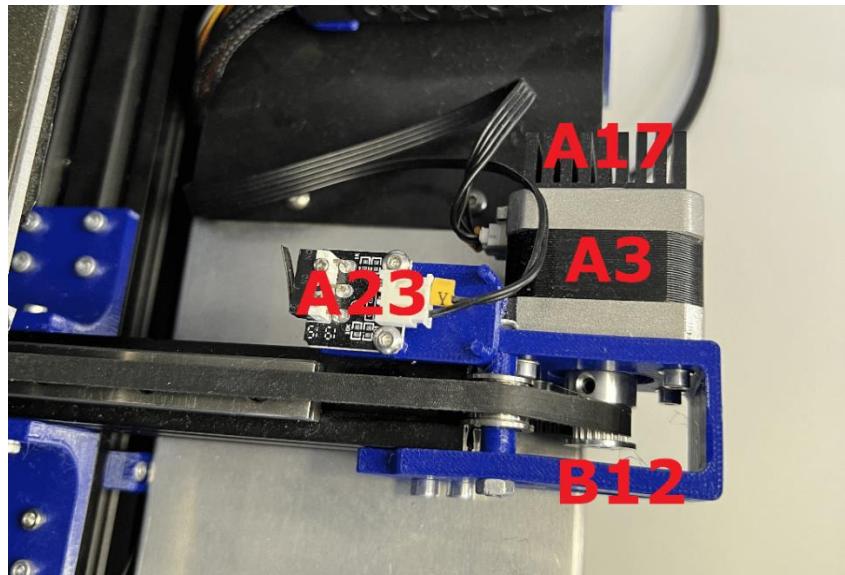
**Obrázek 40 - Stavba 3D tiskárny - Lineární vedení**



Zdroj: Vlastní zpracování

Následně byly k vzniklé ose Y připevněny 2 vytištěné díly, přičemž každý byl umístěn na jednom z konců profilu o délce 325 mm. Vytištěné díly jsou v předchozí kapitole nazvány jako uchycení řemenu osa Y a uchycení motoru osa Y. Na obrázku č. 41 je vyobrazen vytištěný díl B12 - uchycení motoru osa Y, díl na obrázku č. 40 je označen Napínák osy Y – B5. Komponent pro uchycení motoru na osu Y byl ke stávající konstrukci upevněn pomocí 4 šroubů M4. Komponent pro napínák osy Y byl ke stávající konstrukci upevněn pomocí 12 šroubů M3 a T-matek.

Obrázek 41 - Stavba 3D tiskárny - Krokový motor a jeho uchycení

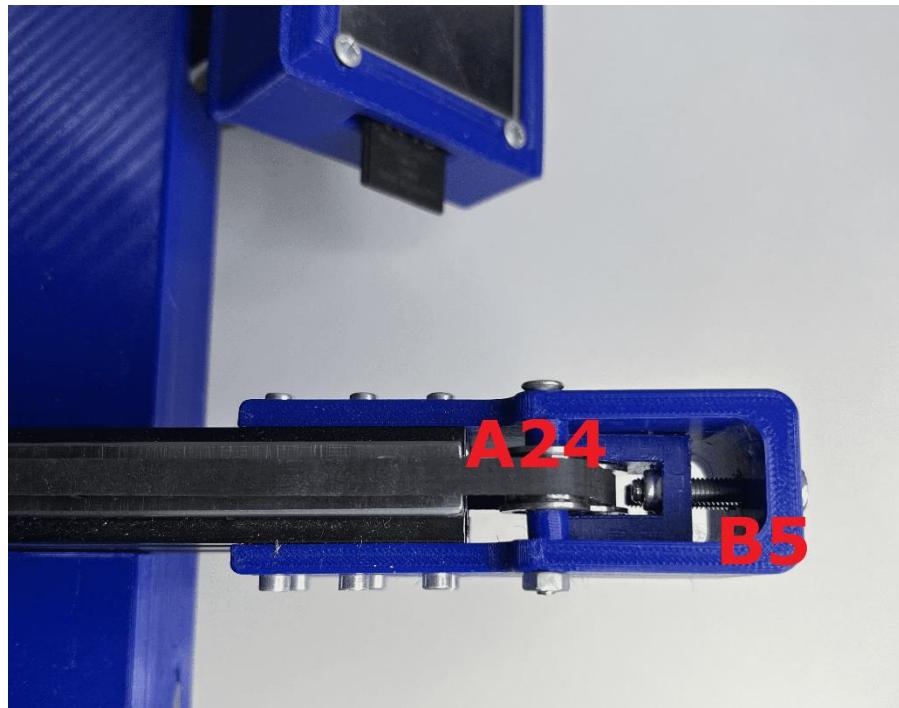


Zdroj: Vlastní zpracování

V dalším kroku byl k dílu zvanému komponent pro uchycení krokového motoru osa Y B12 připevněn krokový motor pomocí 4 šroubů M3. Krokový motor je vyobrazen na obrázku č. 41 a je označen pomocí čísla A3. Ke krokovému motoru bylo nalepeno pasivní chlazení motoru, na obrázku č. 41 označené číslem A17. Následně byl na platformu vytištěného komponentu zvaného komponent pro uchycení krokového motoru upevněn dvěma šrouby M3 endstop, který byl v minulé kapitole zahrnut ve spojovacím materiálu a na obrázku č. 41 je označen č. A23. Na osičku krokového motoru byla nasunuta řemenice. Posledním krokem u komponentu pro uchycení krokového motoru je vložení dvou ložisek a dvou tištěných podložek upevněných šroubem M4 a matkou M4.

Po celé délce osy Y byl protažen řemen. Následně do tištěného komponentu zvaného napínák osy Y byla vložena klatka, která je uchycena šroubem M4 a matkou M4. Takto sestavený díl byl vložen do uchycení řemenu osa Y (B10), který byl uchycen dvěma šrouby M5 a dvěma matkami M5. I na této straně osy Y proběhlo vložení dvou ložisek a dvou tištěných podložek upevněných šroubem M4 a matkou M4. Na obrázku č. 42 jsou vyobrazeny komponenty napínák osy Y č. B5 a ložiska č. A24, které jsou v předchozích kapitolách zahrnovány do spojovacího materiálu.

Obrázek 42 - Stavba 3D tiskárny - Napínák osy Y



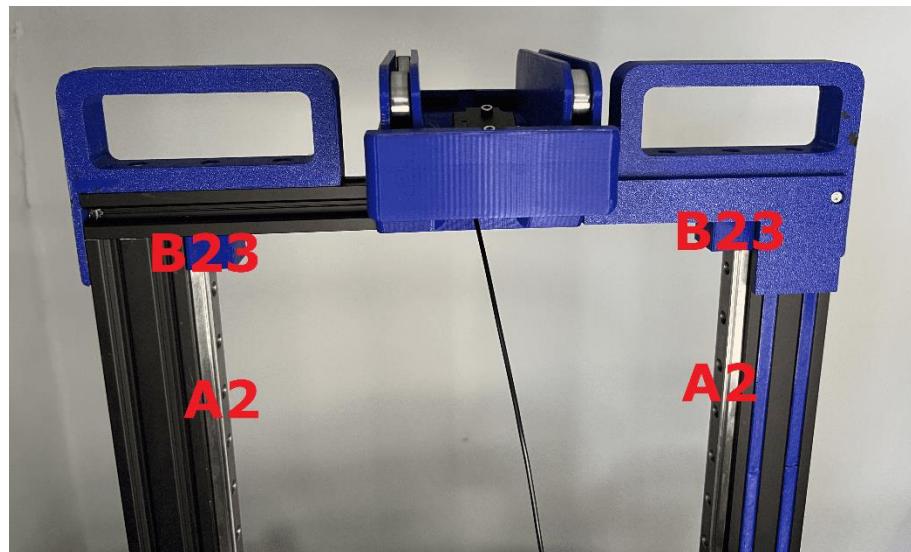
Zdroj: Vlastní zpracování

Součástí lineárního vedení je vozík, na který je pomocí 4 šroubů M3 upevněna platforma z hliníku, která je v předchozí kapitole zahrnuta do spojovacího materiálu, přičemž mezi oběma díly vede řemen, který je platformou protažený a pomocí dvou tištěných komponentů zámku řemenu osa Y a pomocí 4 šroubů je řemen k hliníkové platformě uchycen. K vyhřívané podložce je zespodu přilepená izolace a shora magnetická podložka. Na hliníkovou platformu jsou položeny 4 silikonové válečky a tištěný držák energořezu podložky, na které je následně položena oblepená vyhřívací podložka, přičemž vše je upevněno 4 šrouby M3 a 4 matkami M3.

### 2.3.3 Stavba osy Z

Pro stavbu osy z bylo zapotřebí nejprve k vztyčeným profilům o délce 400 mm připevnit vytiskněny komponent Zarážka osy Z na jejích koncích, která je na obrázku č. 43 vyznačena č. B23. Následně byly k profilům přichyceny lineáry za pomoci 12 šroubů M3 a T-matek na každé straně, jež jsou na obrázku č. 43 vyznačeny č. A2.

Obrázek 43 - Stavba 3D tiskárny - Lineární vedení osa Z

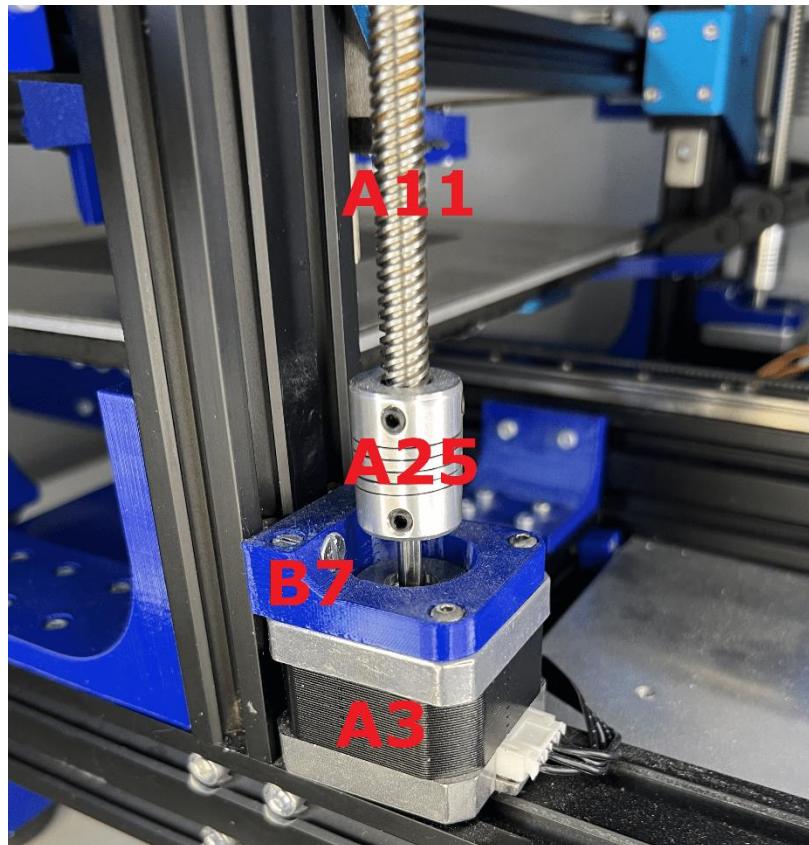


Zdroj: Vlastní zpracování

V dalším kroku byly na každou zadní stranu profilů o délce 400 mm položeny krokové motory a jejich uchycení proběhlo pomocí vytiskněného komponentu držáku z motoru shora čtyřmi šrouby M3, dvěma šrouby M4 a dvěma T-matkami na každé straně. Na obrázku č. 44 jsou krokové motory označeny č. A3 a tištěné komponenty držáku motoru č. B7. Na osičku u každého motoru byla nasazena pružná spojka, do které pak byla posazena závitová tyč zamknutá 4 šrouby ve spojce.

Pružná spojka je v předchozí kapitole zahrnuta do spojovacího materiálu a na obrázku č. 44 má číslo A25, závitová tyč je označena č. A11.

Obrázek 44 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení komponentů pro pohyb osy Z

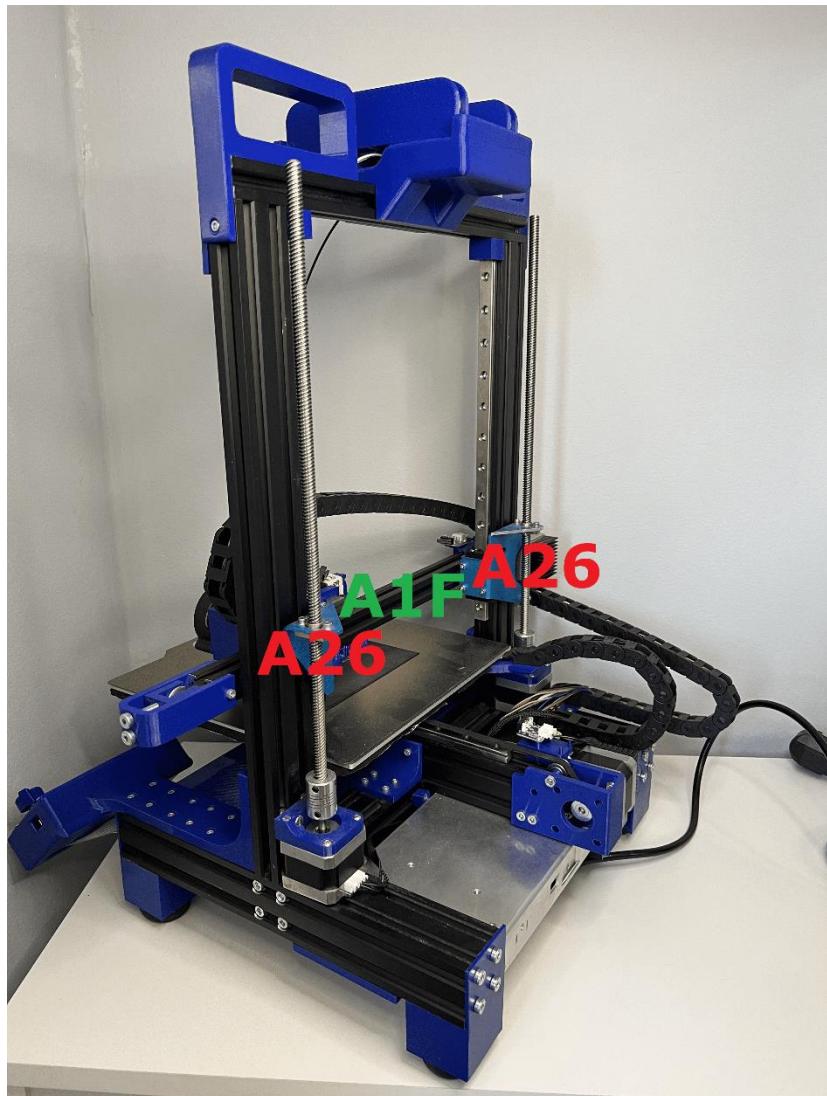


Zdroj: Vlastní zpracování

#### 2.3.4 Stavba osy X

V prvním kroku při stavbě osy X bylo zapotřebí našroubovat na závitové tyče mosaznou matici pro trapézový závit se stoupáním 8 mm. Poté bylo zapotřebí připevnit k závitovým tyčím dva hliníkové díly, které jsou univerzální pro většinu 3D tiskáren s uchycením dvou Z motorů a uchycením na lineární vedení. Hliníkové díly nebylo možné vytisknout z plastu kvůli potřebné pevnosti materiálu a stabilitě. Před připevněním hliníkových dílů k tiskárně bylo zapotřebí připravit i poslední hliníkový profil 20x20 mm o délce 330 mm. Na hliníkový profil se vyvrtaly 4 závity a byl připevněn k dalším dvou hliníkovým dílům čtyřmi šrouby M4. Prvně zmíněné dva hliníkové díly, nasunuté na závitové tyče, a další dva hliníkové díly s profilem se připevnily 4 šrouby M3 do vozíku lineárního vedení na každé straně. Na obrázku č. 45 je možné hliníkový díl ze spojovacího materiálu nalézt pod číslem A26, hliníkový profil je znázorněn zeleně a č. A1F. Na každé ze závitových tyčí se mosazná matice a nasunutý hliníkový díl spojí dvěma šrouby M3.

Obrázek 45 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení osy X

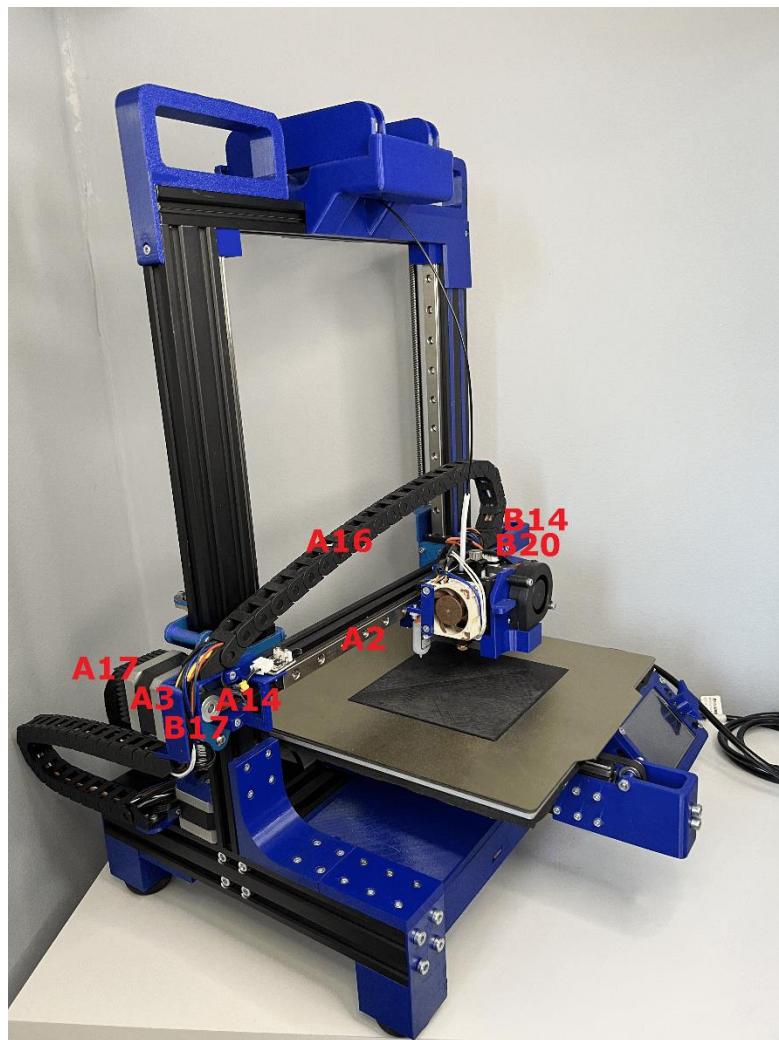


Zdroj: Vlastní zpracování

Dále se na hliníkový profil připevní lineární vedení 12 šrouby M3 a T-matek. Na obrázku č. 46 je označen č. A2. Hliníkovým profilem byl protažen řemen. Na jeden konec hliníkového profilu byly umístěny 2 vytisklé díly, v předchozí kapitole nazvané uchycení energořezu osa Z a X, a držák end-stopu osa X, které byly k hliníkovému dílu připevněny společně s krokovým motorem 4 šrouby M3. Na krokový motor bylo přilepeno pasivní chlazení. Na obrázku č. 46 je možné vidět znázorněný řemen č. A14, krokový motor č. A3, pasivní chlazení motoru č. A17 a vytisklé díly uchycení energořezu č. B17 a držák end-stopu č. A16. Na osičku krokového motoru byla nasunuta řemenice. Na druhý hliníkový profil byl třemi šrouby M3 a T-matkami připevněn tištěný díl uchycení řemenu osa X. Poté do tištěného komponentu zvaného napínák osy X byla vložena kladka, která je uchycena šroubem M4 a matkou M4. Takto sestavený díl byl vložen do uchycení řemenu osa X, a uchycen dvěma šrouby M5 a dvěma matkami M5. Na obrázku č. 46 jsou jednotlivé komponenty označeny tištěné díly následovně: uchycení

řemenu osa X č. B20 a napínák osy č. B14.

**Obrázek 46 - Stavba 3D tiskárny - Přichycení komponentů osy X**



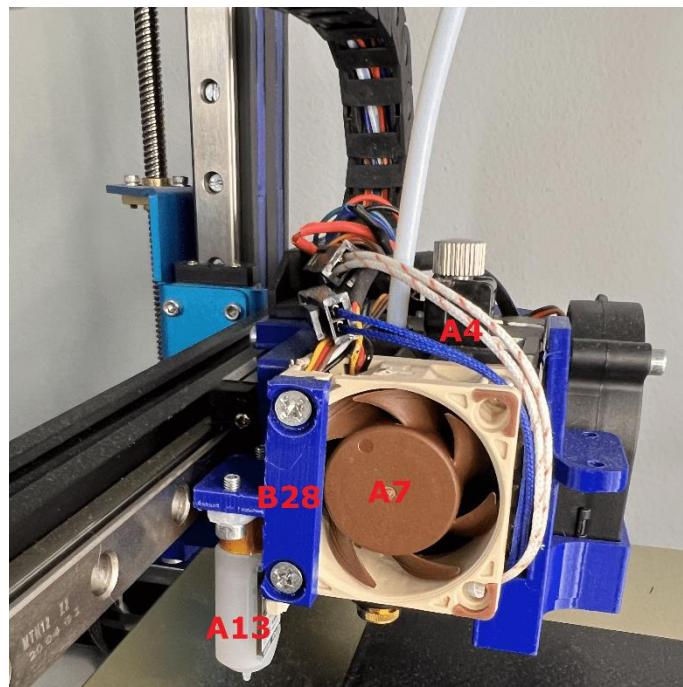
Zdroj: Vlastní zpracování

Čtyřimi šrouby M3 je připevněn tištěný díl uchycení extruderu osa X k vozíku na lineárním vedení s tištěným dílem uchycení energořezu osa X. Vytištěnými záhyby na komponentu zámek řemenu osa X je protažen řemen a za pomoci dvou šroubů M3 a dvou matek M3 je řemen uzamknut a tištěný komponent přimontován k extruderu osy X.

Na komponent uchycení extruderu osa X je pomocí 4 šroubů M3 přišroubován extruder s hotendem, který je na obrázku č. 47 vyznačen číslem A4. Z levé strany extruderu s hotendem, kde se nachází žebrování chlazení, je upevněno 4 šrouby M3 chlazení hotendu. Na chlazení hotendu je dvěma šrouby M4 přichycen tištěný díl. Držák kalibrační sondy, na nějž je dvěma šrouby M3 připevněna kalibrační sonda. Na obrázku č. 47 je vyznačen pod č. A7 chlazení hotendu, č. A13 kalibrační sonda a tištěný

komponent držák kalibrační sondy pod č. B28. Dvěma šrouby M3 je uchycen na přední straně extruderu s hotendem tištěný komponent úchyt a směrovač ofuku radiálního ventilátoru, do něhož je vložen radiální ventilátor. Jedním šroubem M3 a stahovací páskou z pravé strany extruderu s hotendem je připevněna tištěná krytka na kabeláž. V posledním kroku stavby osy X byl dvěma vrutovými šrouby M3 přichycen end-stop (č. A23) k tištěnému dílu držák endstopu osa X.

**Obrázek 47 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení kalibrační sondy a chlazení extruderu s hotendem**

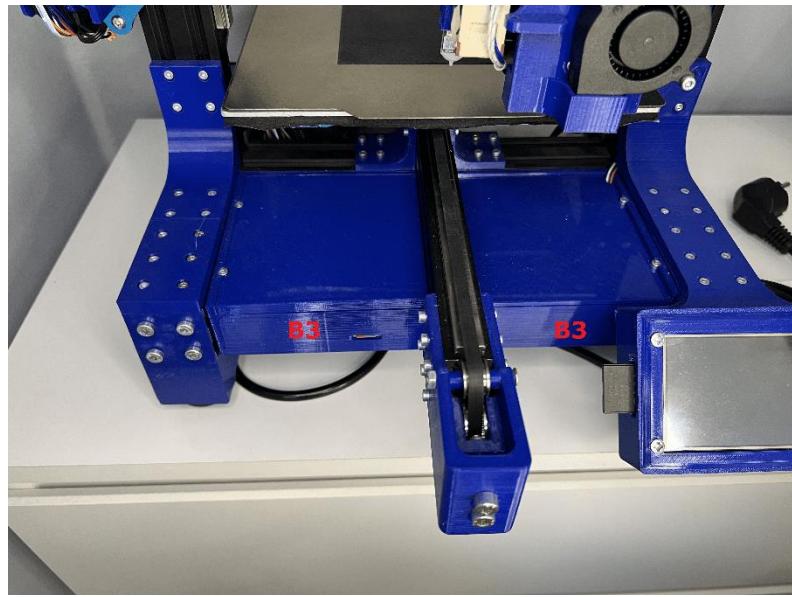


Zdroj: Vlastní zpracování

### 2.3.5 Doplňkové práce

Nejprve byla přichycena krabička pro elektroniku šesti šrouby M4 a T-matkami M4 do spodních hliníkových profilů v přední části tiskárny. Do krabičky byla následně připevněna na určené místo základová deska čtyřmi šrouby M3. Do základové desky byla připojena kabeláž pro ovládání tiskárny, která je vedena vyříznutým otvorem v krabičce a hliníkovým profilem (1B). Mezi kabeláž patří: dva kably pro pohon osy Z, jeden kabel pro pohon Y a end-stop osy Y, napájecí kabel ke zdroji, kabel pro vyhřívání podložky a její teplotní čidlo, kabel pro pohon motoru osy X a end-stop, kabel pro kalibrační sondu, kabel pro topné tělíska hotendu a teplotní čidlo, kabel pro napájení chlazení hotendu a radiálního ventilátoru. Dále je kabeláž nutné zapojit do jednotlivých komponentů. Na obrázku č. 48 je možné vidět, kde je na tiskárně uchycen plastový díl krabička pro elektroniku s č. B3

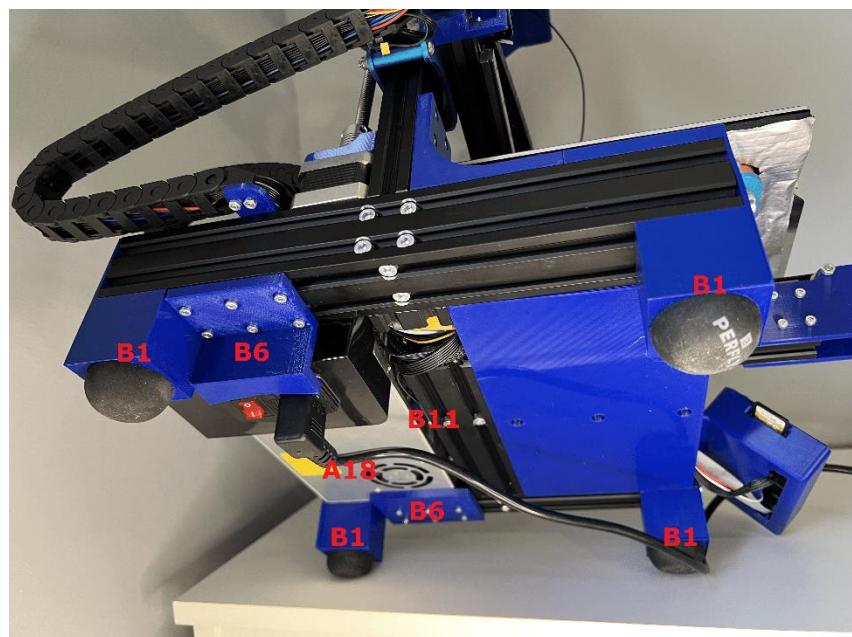
Obrázek 48 - Stavba 3D tiskárny - Připevnění krabičky na elektroniku



Zdroj: Vlastní zpracování

V dalším kroku bylo zapotřebí připevnit bezpečně zdroj za krabičku pro elektroniku. Pomocí šroubu M3 a T-matky M3 byl přichycen plastový díl zarážka zdroje. Šesti šrouby M3 a T-matkami M3 byl upevněn plastový díl uchycení zdroje do každého z hliníkových profilů typu 1A a pak byl nasunut samotný zdroj. Na obrázku č. 49 jsou zvýrazněny výše zmínované díly: zdroj č. A18, plastový díl zarážka zdroje č. B11, plastový díl uchycení zdroje č. B6.

Obrázek 49 - Stavba 3D tiskárny - Přichycení komponentů ve spodní části tiskárny

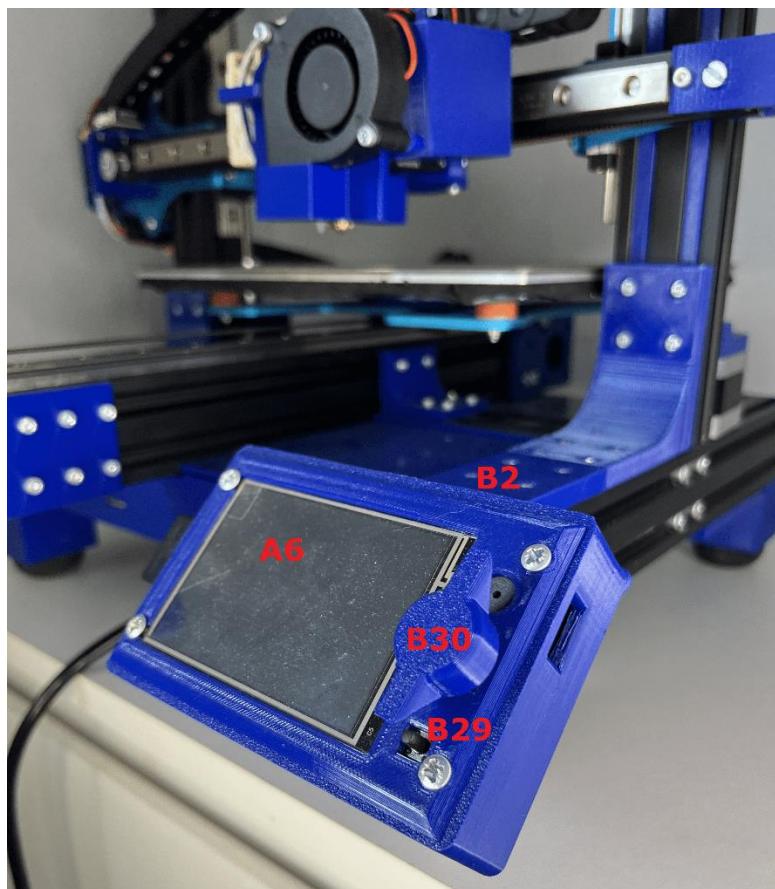


Zdroj: Vlastní zpracování

Pro přichycení každé nohy bylo zapotřebí 4 šroubů M5 a 4 šroubů M4 a čtyř t-matek M4, přičemž zadní nohy mají navíc zarážku pro zabezpečení vysunutí zdroje. Nohy byly uchyceny do hliníkových profilů 1A. Do každé nohy byl vložen squashový míček pro minimalizování vibrací. Výše zmíněné komponenty jsou vyobrazeny na obrázku č. 49 nahoře, kde plastový díl nohy tiskárny mají č. B1.

Do základové desky vložíme dva kabely pro chod display a zapojíme je. Display se vložil do plastového dílu uchycení obrazovky a upevnil za pomoci čtyř vrutových šroubů M4, pod které byl vložen plastový díl krytka obrazovky. Dále bylo zapotřebí nasunout plastový díl ovládání obrazovky na joystick. Pomocí 6 šroubů M3 a T-matek M3 bylo k tiskárně upevněno uchycení obrazovky na hliníkový profil 1A v přední části tiskárny vpravo. Na obrázku č. 50 jsou označeny komponenty, přičemž obrazovka má č. A6, plastový díl krytka obrazovky má č. B29, plastový díl ovládání obrazovky má č. B30, plastový díl uchycení obrazovky má č. B2.

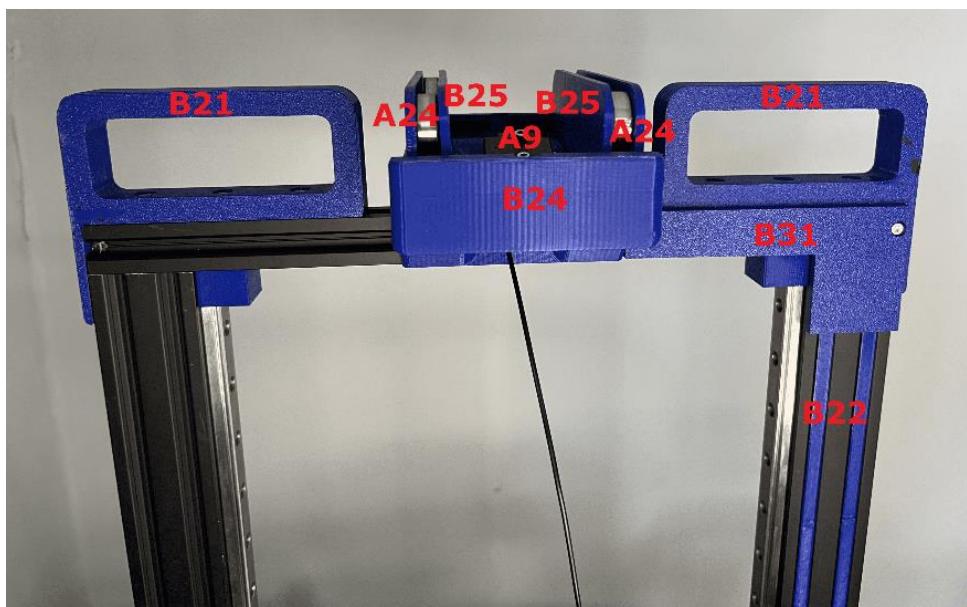
**Obrázek 50 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení obrazovky**



Zdroj: Vlastní zpracování

Na střed hliníkového profilu 1E byl připevněn plastový díl držák filamentu a senzoru filamentu šesti šrouby M4 a T-matkami M4, do něhož byl připevněn dvěma šrouby M3 senzor filamentu, jehož kabel byl veden hliníkovými profily až do obrazovky. Do hliníkového profilu 1D, kterým je veden kabel, nasuneme 6 kusů plastového dílu krytka vedení kabelu. Na horní část tiskárny byla následně přichycena dvě madla, každé pomocí třech šroubů M4, tří t-matek M4 a jednoho šroubu M3 a T-matky M3. Dvěma šrouby M3 a T-matkami M3 byl přidělán plastový díl krytka kabelu filamentu do hliníkového profilu 1E. Na každou stranu držáku filamentu a senzoru filamentu jsou zasunuty dva kusy plastového dílu pohybových kolejnic pro filament, mezi něž se vloží dvě ložiska. Výše zmíněné komponenty jsou na obrázku č. 51 zvýrazněny, plastový díl držák filamentu a senzoru filamentu č. B24, senzor filamentu č. A9, plastový díl krytka vedení kabelu č. B22, plastový díl madla č. B21, plastový díl krytka kabelu filamentu č. B31, plastový díl pohybová kolejnice pro filament č. B25, ložiska č. A24.

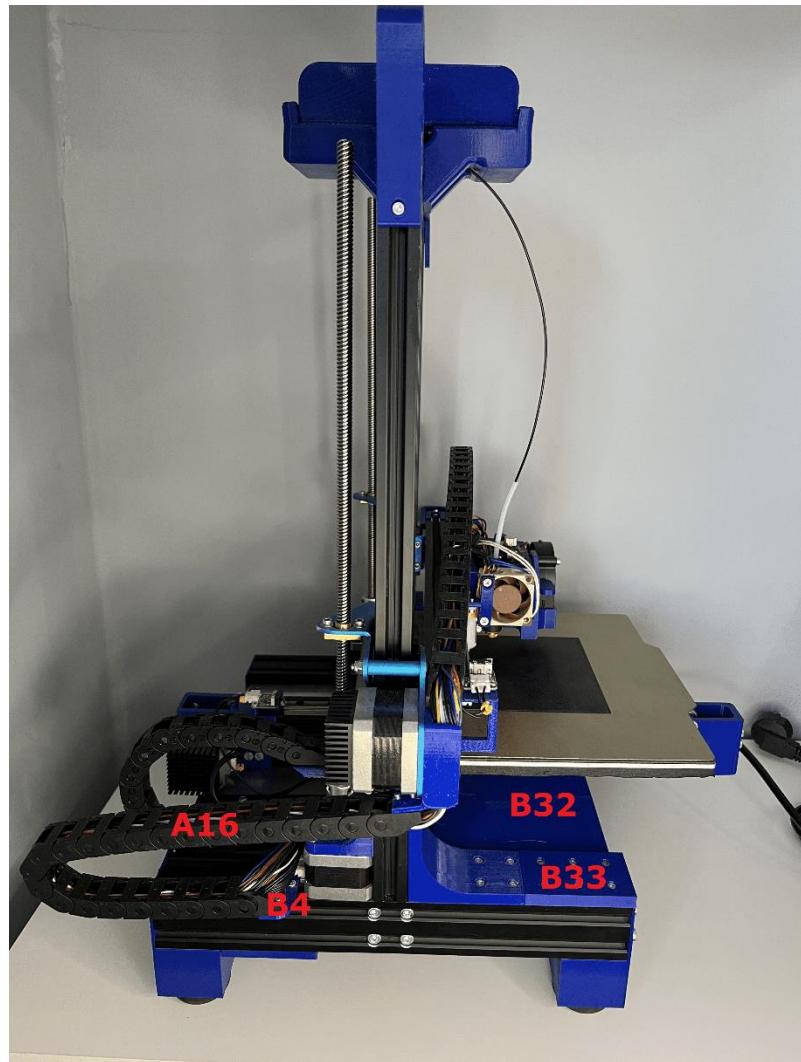
**Obrázek 51 - Stavba 3D tiskárny - Připevnění madel a držáku na filament**



Zdroj: Vlastní zpracování

Za krokový motor osy Z, kde je vedena kabeláž, je přimontován plastový díl uchycení energořezu osa X a Y za pomoci čtyř šroubů M3 a T-matek M3. Veškerá kabeláž je schována do třech energořezů, vždy pro každou osu X, Y,Z jeden. Každý energořez je přichycen dvěma šrouby M3 na obou stranách. Krabička na kabeláž je ukryta dvěma plastovými díly krytka krabičky na elektroniku, které jsou přidělány 4 šrouby M3. Poslední plastový díl krytka hliníkového profilu je k tiskárně upevněn pomocí šesti šroubů M3 a T-matky M3. Plastový díl uchycení energořezu je na obrázku č. 52 znázorněn č. B4, energořezy č. A16, plastový díl krytka krabičky na elektroniku č. B32, plastový díl krytka hliníkového profilu č. B33.

Obrázek 52 - Stavba 3D tiskárny - Dokončovací práce



Zdroj: Vlastní zpracování

## 2.4 Programování softwarové části

V kapitole Programování softwarové části bude popsáno komplikování firmwaru pro 3D tiskárnu v open-source programu Marlin, který je volně ke stažení na stránkách marlinfw.org. Program je nutné nakomplikovat pro konkrétní typ základové desky a 3D tiskárny a pomocí micro SD karty vložit do tiskárny, která se sama nainstaluje.

Po stažení firmwaru Marlin je zapotřebí také stáhnout i upravenou verzi firmwaru pro konkrétní základovou desku na stránkách Github.com, na které odkazoval sám výrobce základové desky. Ze stažených souborů se zkopiují soubory Configuration\_adv.h a Configuration.h do originálního firmware Marlin. V programu Marlin je zapotřebí odkomentovat přepsané soubory, přičemž s ostatními soubory není zapotřebí manipulovat.

#### **2.4.1 Configuration.h**

Jestli bylo přepsání souborů Configuration\_adv.h a Configuration.h správné se zjistí v ř. 24 a ř. 144 složky Configuration.h, kdy by na udávaných rádcích měl být název používané základové desky.

Na ř. 161 je zapotřebí změnit údaj na 1,75, což je průměr tiskového materiálu, ze kterého bude tištěno.

Na ř. 468 se změní hodnota na 5, díky čemuž umožníme tiskárně tisknout v pokojové teplotě od 5 °C.

Na ř. 482 byla přepsána hodnota na vyšší stupeň 320 °C, což je maximální teplota, při které bude tiskárna tisknout. Při jejím překročení se 3D tiskárna z bezpečnostních důvodů automaticky vypne.

Na ř. 490 byla udána hodnota 125 °C. Hodnota udává maximální možnou teplotu nahřátí podložky.

Na ř. 815 je zapotřebí změnit poslední údaj ve složené závorce na 379,5, který udává počet kroků na mm u krovkového motoru na extruderu.

Na ř. 835 se změní hodnota na hodnotu složené závorky na {1000, 1000, 100, 5000}, díky změněným hodnotám se bude tiskárna přesouvat rychleji.

Na ř. 1241 byla přepsána hodnota na 230, čímž je přepsán údaj osy X pro velikost tiskové plochy.

Na ř. 1242 byla udána nová hodnota 230, čímž došlo ke změně velikosti tiskové plochy pro osu Y.

Na ř. 1250 je zapotřebí změnit údaj na 248, čímž došlo ke změně maximální možné výšky pro výjezd osy Z.

Na ř. 1245 je zapotřebí přepsat hodnotu na -27,5 a na ř. 1246 na +20, dané údaje zajišťují tisk tiskárny na středu.

Na ř. 1714 – 1738 byly popsány tiskové parametry pro jednotlivé tiskové materiály. Pro materiál PLA byla nastavena teplota trysky na 210 °C, teplota podložky na 60 °C a vypnut ofuk větráčků. Pro materiál PETG byla nastavena teplota trysky na 240 °C, teplota podložky na 80 °C a vypnut ofuk větráčků. Pro materiál TPU byla nastavena teplota trysky na 230 °C, teplota podložky na 50 °C a vypnut ofuk větráčků.

Na ř. 1847 se odkomentuje časomíra tisku.

Na ř. 89 se naopak zakomentuje a tím se zdeaktivuje obrazovka pro dobu bootování firmwaru.

#### **2.4.2 Configuration\_adv.h**

Na ř. 1844 se odkomentuje funkce snížení množství vytlačeného filamentu před zastavením, což zabraňuje tvorbě nárůstu materiálu v rozích tištěných objektů.

Na ř. 3418 je zapotřebí odkomentovat, čímž je povoleno zobrazování aktuální teploty tiskárny.

Na ř. 3496 se odkomentuje rychlejší čtení tiskového souboru.

#### **2.4.3 Konfigurace kalibrační sondy**

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 972, který odemkne novou funkcionalitu pro základovou desku v podobě kalibrační sondy.

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 1396 a 1406 umožňující spuštění funkčnosti kalibrační sondy.

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 1596 zabezpečující kalibrační sondu výjezdem osy Z o 60 mm.

Ve složce Configuration.h na ř. 1064 se změní hodnoty složené závorky udávající posunutí pozice kalibrační sondy od trysky na {-7, -40, 0}.

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 1071 a změní se hodnoty v závorce udávající rychlosť tiskové hlavy při pohybu v osách X a Y při použití kalibrační sondy na (200\*60).

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 1074 a změní se hodnoty v závorce udávající rychlosť tiskové hlavy při pohybu v ose Z při použití kalibrační sondy na (5\*60).

Ve složce Configuration\_adv.h se odkomentuje ř. 1797, čímž se povolí tzv. baby-step pro všechny osy o jednotky menší než jsou milimetry využívající se při kalibraci první vrstvy osy Z.

#### **2.4.4 Konfigurace senzoru filamentu**

Ve složce Configuration.h se odkomentuje ř. 1294 a 1300, tím se odemkne nová funkcionalita pro základovou desku.

Ve složce Configuration.h na ř. 1744 se odkomentuje spouštění příkazu M600 v G-codu, díky čemuž při potřebě výměny materiálu zajede tisková hlava do strany a umožní jeho výměnu.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2315 se odkomentuje určení vytažení množství filamentu z hotendu a následné vložené množství jiného materiálu.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2317 je zapotřebí změnit hodnotu na 60 mm/s, čímž je určena rychlosť vtažení filamentu při retrakci.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2318 je přepsána hodnota na 2 mm. Je tak určena délka filamentu, který je při retrakci vtažen do trysky.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2320 je udána hodnota 10 mm/s, která určuje výsunu materiálu při retrakci.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2322 je přepsána hodnota na 100 mm. Je tak určena délka filamentu, který je při retrakci vytažen z trysky.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2326 se změní hodnota na 6 mm/s, což určuje rychlosť vtažení nového filamentu do trysky.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2331 se udá hodnota 100 mm pro určení délky vtažení nového filamentu.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2335 je zapotřebí změnit rychlosť na 3 mm/s, která udává rychlosť druhého vtažení nového filamentu do trysky.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2336 se udá hodnota 50 mm pro určení délky druhého vtažení nového filamentu.

Ve složce Configuration\_adv.h se odkomentuje ř. 2341, který pozastavuje chlazení trysky při výměně materiálu.

Ve složce Configuration\_adv.h na ř. 2349 se daný řádek odkomentuje a údaj se změní na hodnotu 60 udávající čas od zastavení tiskárny při výměně filamentu do vypnutí při nahřívání. Údaj se udává z důvodu zamezení zbytečného nahřívání tiskárny při absenci obsluhy.

Po dokončení všech úprav firmwaru je zapotřebí celý soubor zkompilovat a nahrát na micro SD kartu

jako firmware.bin, následně se micro SD karta vloží do tiskárny a 3D tiskárna se spustí.

## 2.5 Kalibrace

Při prvním spuštění tiskárny je zapotřebí provést kalibraci. Prvním bodem kalibrace je vyrovnání dvou krokových motorů osy Z tím, že osa Z vyjede až nahoru k zarážkám.

Druhým bodem je provedení tzv. autohome, kdy se ověřuje, jestli je sestavovaná 3D tiskárna schopna najít bod [0; 0; 0], čímž je ověrena funkčnost end-stopů a kalibrační sondy. Pokud tiskárna nedokáže povést tzv. autohoming, je zapotřebí hledat chybu v krokových motorech, ve špatně komplikovaném firmware anebo špatně zapojených end-stopech.

Třetím bodem je ověření průtoku materiálu tryskou zahřátím tiskárny a zavedením materiálu do hotendu. Na konci vstupu materiálu do PTFE trubičky se odměří 100 mm filamentu a na tiskárně se zvolí průtok materiálu 100 mm. Pokud je vypotřebovaná přesně vyznačená část od vstupu do PTFE trubičky, dávkuje tiskárna správné množství. V případě špatného dávkování je zapotřebí úpravy počtu kroků na motoru extruderu.

Čtvrtým bodem kalibrace je kalibrace první vrstvy pomocí souboru připraveného na SD kartě, díky čemuž je provedena kalibrace první vrstvy tisku. Vzhledem k odlišné výšce trysky oproti kalibrační sondě je zapotřebí zjištění rozdílu jejich délky a zapsání rozdílu do tiskárny, díky čemuž bude první vrstva vždy ve stejně výšce od podložky bez ohledu na druh podložky.

Pátým bodem kalibrace je kalibrace poměru stran, která se provede odměřením vytištěné první vrstvy z předchozího bodu od hran tiskové plochy.

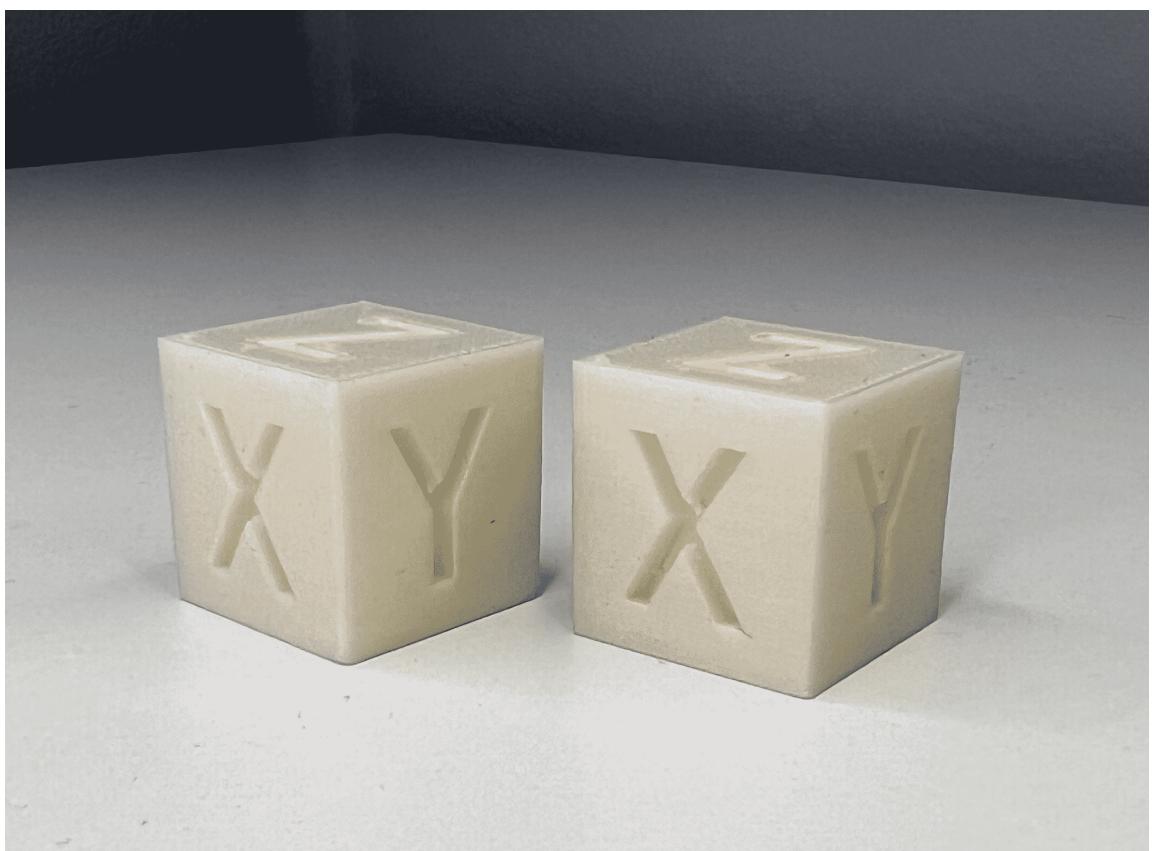
## 2.6 Porovnání kvality tisku

V kapitole Porovnání kvality tisku budou prezentovány výtisky používané v RepRap komunitě pro porovnání kvality tisku. Každý výtisk byl vytištěn na sestavené 3D tiskárně a zároveň i na zakoupené 3D tiskárně Prusa MK3S+, která byla vybrána z důvodu její rozšířenosti a ceně 26 990 Kč. Levnější typ 3D tiskárny k porovnání nebyl vybrán z důvodu porovnání sestavené 3D tiskárny s tiskárnou, která by odpovídala alespoň stejné či lepší kvalitě tisku. Na každém jednotlivém výtisku byly testovány jiné parametry pro určení kvality tisku. Obě tiskárny tiskly ve stejné místnosti, na stejně podložce, ze stejného materiálu, kterým byl Prusament PLA Vanilla White. Tisková struna měla průměr 1,75 mm a výrobce u ní garantuje přesnost +-0,02 mm. Vždy se jedná o první výtisk u obou tiskáren. Tiskové nastavení bylo: teplota při tisku 215 °C, podložka 60 °C, hotend 215 °C, výška a šířka vrstvy 0,2 mm,

počet perimetru 3, výplň 10 %, rychlosť 45 mm/s a retrakcia 0,8 mm. Na obrázcích uvedených níže je vždy levý výtisk z tiskárny MK3S+ a pravý výtisk je ze sestavovanej 3D tiskárny.

Prvň zkouškou tisku byla kalibrační kostka, u které byla testována rozměrovost ve třech osách. U obou tiskáren vychází všechny tři strany stejně dlouhé, konkrétně 20 mm. Vytisklé modely na sobě nemají žádné jiné vady a jsou vyobrazeny na obrázku č. 53.

**Obrázek 53 - Porovnání kvality tisku - Kalibrační kostka**



Zdroj: Vlastní zpracování

Druhou zkouškou tisku byla lodička Benchy, která je v komunitě RepRap nejstahovanějším modelem pro porovnání kvality tisku. Je zde testováno uchycení první vrstvy s textem, přemostění a tisk do oblouku. Oba modely vyšly téměř identicky, přičemž u obou tiskáren byl nalezen menší stringing. U tiskárny MK3S+ se u přemostění objevil lehčí defekt, který je způsoben nedostatečným chlazením trysky a detailní fotka chyby je na obrázku č. 54. Vytisklé modely lodiček Benchy je možné vidět na obrázku č. 54.

Obrázek 54 - Porovnání kvality tisku - Lodička Benchy



Zdroj: Vlastní zpracování

Třetí zkouškou tisku byl výtisk draka s roztaženými křídly pro zkoušku tisku první vrstvy, neboť křídlo má pouze jednu vrstvu. Oba výtisky se povedlo vytisknout, přičemž u tiskárny Prusa MK3S byla první vrstva tištěna výše kvůli špatně nakalibrované první vrstvě, a tak na sebe nanášený materiál nedoléhá. Draky je možné vidět na obrázku č. 55.

Obrázek 55 - Porovnání kvality tisku - Drak



Zdroj: Vlastní zpracování

Čtvrtou zkouškou tisku je 3D model testující průměr děr, přemostění, psaní textu a sklon tisku. U výtisku ze sestavované 3D tiskárny byl zjištěn nepatrně větší stringing. Výsledky tisku jsou na obrázku č. 56.

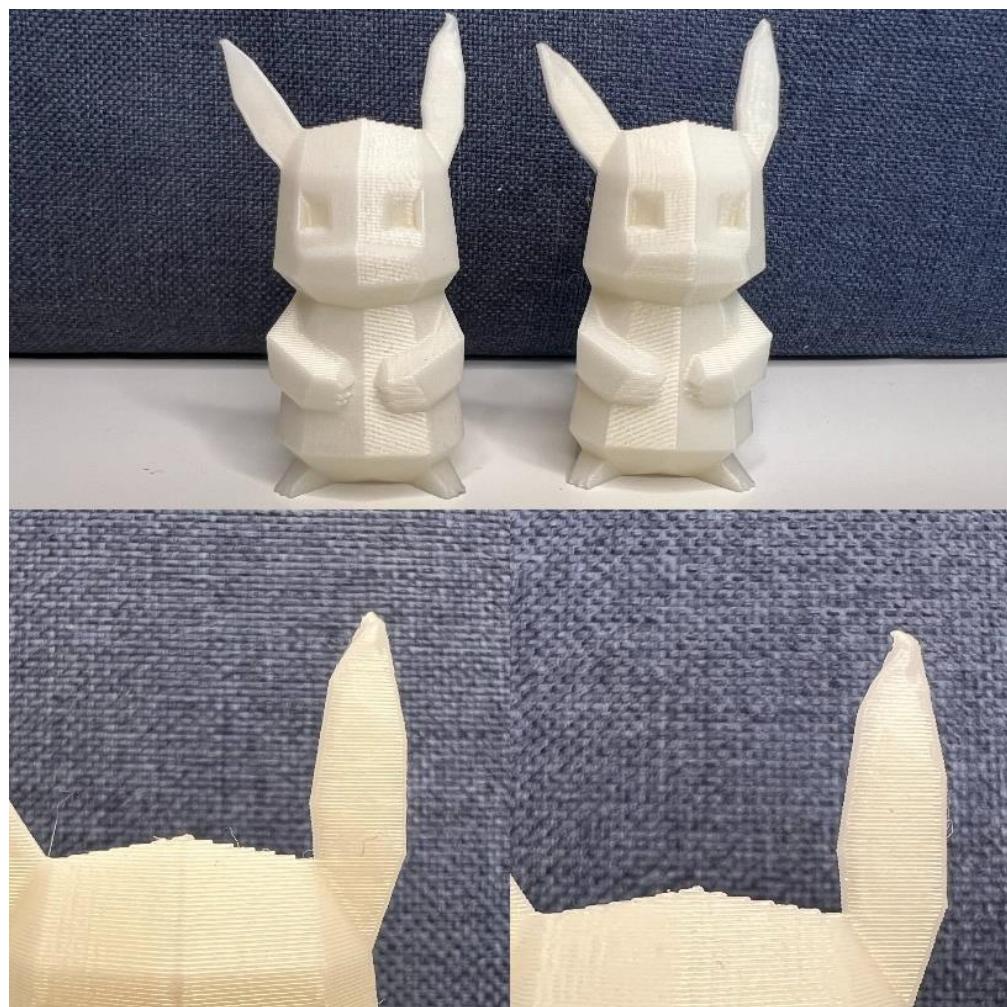
**Obrázek 56 - Porovnání kvality tisku - Test 4 (kalibrace)**



Zdroj: Vlastní zpracování

Pátou zkouškou byl tisk figurky, u které byl testován přejezd tiskové hlavy od těla k ocasu bez stringingu. Výtisky jsou skoro shodné, nicméně u výtisku z tiskárny Prusa MK3S+ byl zjištěn nepatrně větší stringing a u modelu ze sestavované 3D tiskárny byly zjištěny nerovnosti ve špičce ucha figurky. Oba modely jsou na obrázku č. 57.

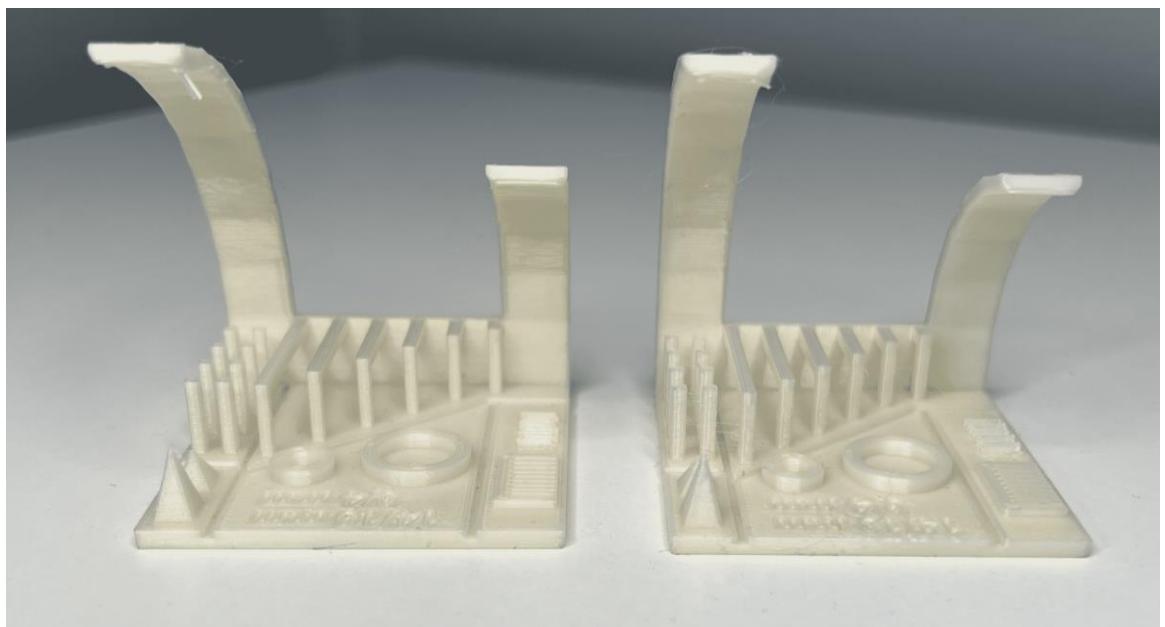
**Obrázek 57 - Porovnání kvality tisku - Figurka**



Zdroj: Vlastní zpracování

Šestou zkouškou kvality tisku bylo vytištění modelu kalibrace, který testuje sklon tisku. Obě tiskárny vytiskly shodný model, pouze tiskárna Prusa MK3S+ má u sklonu  $80^\circ$  špatně spojený materiál z důvodu malého chlazení trysky z jedné strany. Sestavovaná 3D tiskárna má chlazení ze dvou stran. Výtisky jsou vyobrazená na obrázku č. 58.

**Obrázek 58 - Porovnání kvality tisku - Test 6 (kalibrace)**



Zdroj: Vlastní zpracování

Sedmou zkouškou byl Tyrannosaurus Rex, jehož zvláštností je pohyblivost jednotlivých částí kostry. Výtisk vypadá jako složený z více částí, které jsou ovšem automaticky spojeny již během tisku. Výsledkem byly dva identické výtisky, které je možné vidět na obrázku č. 59.

**Obrázek 59 - Porovnání kvality tisku - Tyronasaurus Rex**



Zdroj: Vlastní zpracování

Osmou zkouškou tisku byl tisk postavy kočky, který testoval rozměr v osách X a Y, konkrétně se tiskl rozměr 20 mm. Tento model je oproti modelu kalibrační kostky složitější a poukáže na více chyb tiskárny. U obou výtisků je nepatrný stringing a jsou k vidění na obrázku č. 60.

**Obrázek 60 - Porovnání kvality tisku - Kočka**



Zdroj: Vlastní zpracování

Na obou tiskárnách se povedlo vytisknout všechny výtisky na první pokus pouze s nepatrnými rozdíly. Jednotlivé tiskové modely jsou ke stažení na Thingivers.com a Printables.com, přesné odkazy jsou uvedeny u jednotlivých modelů v tabulce, která je v příloze E (Thingivers; 2023) (Printables; 2023).

## 2.7 Možnosti případného vylepšení tiskárny

Momentálně sestavená 3D tiskárna pracuje v režimu off-line, neboli pro zahájení tisku je zapotřebí dodat tiskárně tisková data přes SD kartu anebo pomocí flash disku. Aby bylo možné posílat do tiskárny tiskové příkazy online a tiskárnu monitorovat a ovládat, je zapotřebí instalovat Raspberry Pi, na kterém je nahrán software Octoprint. Díky přidanému zařízení jsou do tiskárny z počítače posílány aktuální tiskové příkazy, je možné tisk sledovat pomocí kamery vidět statistiky a ovládat tiskárnu.

Jinou alternativou pro řešení možnosti posílání online tiskových dat do 3D tiskárny je instalace softwaru Cliper namísto již zmiňovaného Octoprintu. Cliper přináší i novější technologie jako je Inputshaper a Smoothpressre Advance. Inputshaper pomáhá snižovat dopad vibrací na kvalitu tisku, díky čemuž je dosaženo vyšší rychlosti tisku při zachování stejné kvality tisku. Smoothpresser Advance umožňuje snížit rychlosť výtoku materiálu z trysky například v rozích tištěného objektu. Zároveň během celého tisku přístroj propočítává dopředu potřebný průtok materiálu a podle toho vytlačuje jeho konstantě stejné množství, díky čemuž je výtisk hladší a stěny vždy shodné.

Dalším možným vylepšením je zaboxování tiskárny do uzavřeného prostoru, díky čemuž bude okolo tiskárny konstantní teplota, kterou bude možné zvyšovat pomocí vytápěných podložek. Tato výhoda umožňuje lepší tisk z náročnějších materiálů jako je nylon a PC blend, které se u neuzavřených tiskáren při tisku smršťují. Na druhou stanu nevýhodou zaboxování je potřeba vyndání elektroniky, jako je zdroj a základová deska, mimo box.

Větší tisková plocha by majiteli tiskárny umožnila tisknout rozměrně větší modely, ale u tiskárny typu Kartéz je tato výhoda vykoupena většími vibracemi a větším chlazením tištěného objektu pomocí delších přejezdů. Pro větší tiskovou plochu je také potřeba zajistit větší zdroj.

Dalším možným vylepšením současné sestavované 3D tiskárny je přidání led osvětlení, které umožní lepší pohled na tiskovou plochu.

## Závěr

Hlavní cílem této bakalářské práce byla stavba hobby 3D tiskárny, přičemž všechny plastové díly byly namodelovány a vytisknuty na 3D tiskárně. Sestavenou 3D tiskárnu lze považovat za hlavní přínos této bakalářské práce.

Při stavbě 3D tiskárny bylo zapotřebí nejprve definovat základní parametry tiskárny, kdy bylo určeno, že sestavovaná 3D tiskárna bude využívat technologii FFF a bude kartézského typu, neboť tento typ tiskáren se vyznačuje jednoduchou údržbou a jednoduchostí tisku. Mezi další důvody volby FFF Kartézské tiskárny bylo její velké rozšíření v komunitě RepRap. Následně byla nadefinována i velikost tiskové plochy o rozměrech 23x23x24 cm, kterou je možné považovat za zlatý střed. Daný typ 3D tiskárny byl vybrán také z důvodu opravitelnosti, neboť díly použité ke stavbě byly vybrány tak, aby byla možná jejich záměna či vylepšení od různých výrobců.

V dalším kroku bylo zapotřebí nakoupit komponenty, které není možné vytisknout na 3D tiskárně, mezi něž patří například díly jako extruder, tryska, řemeny, řídící elektronika, závitové tyče, hliníkové profily a hotend, a vytisknout plastové díly. Tištěné plastové díly mají na sestavované 3D tiskárně stejnou barvu – tmavě modrá, lze je tak odlišit od nakoupených komponentů. Seznam nakoupených komponentů je možné shlédnout v příloze A a seznam tištěných dílů v příloze B.

Zároveň byl splněn požadavek budgetu, který byl stanoven na 15 000 Kč, čímž se nachází ve zlatém středu mezi levnými 3D tiskárnami a hobby tiskárnami. Dochází tak ke skloubení dostupnosti, bezpečnosti a kvality provedení 3D tiskárny. Do rozpočtu byl krom zakoupených komponentů zahrnut i materiál pro tisk plastových dílů a celkové náklady činily 14 924 Kč v době pořízení. Vzhledem k aktuální situaci na trhu by při aktuálních cenách v roce 2023 byl náklad na zakoupení totožných komponentů 20 418 Kč.

Za pomoci všech komponentů byla sestavena navrhovaná 3D tiskárna. Nejprve byla sestavena kostra tiskárny a následně jednotlivé osy Y, Z a X. Vše bylo dokončeno doplnkovými pracemi. V dalším kroku bylo zapotřebí naprogramovat softwarovou část ve volně stažitelném programu Marlin. Zde bylo nutné nakompilovat program pro konkrétní typ zvolené základové desky a 3D tiskárny a vložit jej pomocí SD karty do sestavené tiskárny. Před zahájením tisku bylo ještě zapotřebí provést kalibraci tiskárny, do níž patří vyrovnaní krokových motorů osy Z, provedení tzv. autohome, ověření průtoku materiálu tryskou, kalibrace první vrstvy a kalibrace poměru stran.

Na závěr bakalářské práce bylo provedeno porovnání kvality tisku sestavené 3D tiskárny s tiskárnou Prusa MK3S, která stála 26 990 Kč, a to za pomoci osmi výtisků používaných v komunitě RepRap. Během testování tiskly obě tiskárny ve stejné místnosti, na stejně podložce, ze stejného materiálu,

přičemž vždy se jednalo o první výtisk. Výsledkem bylo, že všechny modely se podařilo na obou tiskárnách vytisknout na první pokus pouze s nepatrnými rozdíly. Drobné rozdíly byly nalezeny na figurce, drakovi a lodičce, přičemž detailní fotografie rozdílů jsou v kapitole 2.6 Porovnání kvality tisku.

Mezi možná vylepšení sestavené 3D tiskárny patří instalace Raspberry Pi se softwarem Octoprint nebo Cliper. Dalším vylepšením může být zakrytování tiskárny, čímž bude zajištěna konstantní teplota v jejím okolí, a tím by bylo možné tisknout z materiálů náročnějších na tisk. Větší tisková plocha by umožnila tisk rozměrnějších modelů a led osvětlení by poskytlo lepší pohled na tiskovou plochu. Vzhledem k rychlému vývoji technologií na poli 3D tiskáren by pro možnost větší tiskové plochy bylo lepší využít 3D tiskárnu typu Core XY, která by ovšem nesplnila zadaný budget, neboť je náročnější na nakoupené díly. Na druhou stranu díky své konstrukci umožňuje pohyb tiskové plochy pouze ve směru nahoru dolů, a tak u tisku větších modelů zajišťuje lepší kvalitu a rychlosť tisku.

RepRap komunita má velkou uživatelskou základnu, kde uživatelé mezi sebou sdílejí své cenné poznatky ohledně vylepšení a oprav 3D tiskáren. Tyto poznatky byly použity pro stavbu 3D tiskárny, a tak mezi dílčí cíle práce patřilo také zveřejnění manuálu stavby tiskárny a modelů tištěných dílů na GitHubu (<https://github.com/hasmanjosef/bcjh>).

Cíl bakalářské práce stavba hobby 3D tiskárny typu FFF - Kartézská, kde všechny plastové díly byly vytištěny pomocí 3D tisku, lze považovat za splněný. Zároveň byly splněny i další cíle nadefinované v zadání bakalářské práce, mezi které patří rozpočet 15 000 Kč a firmware Marlin. Při porovnání kvality tisku bylo dokázáno, že sestavená tiskárna se vyrovná i dražším tiskárnám. Nabízí tiskovou kvalitu, bezpečnost a i finanční dostupnost.

## **Seznam použitých zdrojů**

3D Jake. (2023). *E3D Prusa V6 Hotend*. Získáno 07. 06 2023, z 3D Jake:

<https://www.3djake.cz/e3d/prusa-v6-hotend>

3D Printing Dublin Team. (2020). *Benefits of SLA printing*. Získáno 28. 05 2023, z 3D Printing Dublin:

<https://www.3dprintingdublin.com/benefits-of-sla-printing/>

3Dtisk.pro. (2023). *Co je to filament?* Získáno 28. 04 2023, z 3Dtisk.PRO: <https://3dtisk.pro/pro-zakaznicky/co-je-to-filament/>

Abhishek Sharma. (2023). *10 Best 3D Slicing Programs of 2023*. Získáno 16. 05 2023, z SelfCAD:  
<https://www.selfcad.com/blog/10-best-3d-slicers>

Additive. (2023). *What is Ultimaker Cura? A Quick Guide*. Získáno 17. 05 2023, z Additive:  
<https://additive-x.com/blog/what-is-ultimaker-cura-a-quick-guide/>

Autodesk Instructables. (2021). *Design and Make a 3D Puzzle Cube (with Fusion360)*. Získáno 15. 05 2023, z Autodesk Instructables: <https://www.instructables.com/Design-and-Make-a-3D-Puzzle-Cube-with-Fusion360/>

Balcarová, K. (2018). *Co je to filament?* Získáno 28. 04 2023, z Miroluk:  
<https://www.miroluk.cz/clanky-jake-je-zakladni-rozdeleni-materialu-filamentu-pro-3d-tiskarny-a-jake-jsou-v-nich-rozdily.html>

Beamler. (2019). *Selective Laser Sintering*. Získáno 03. 06 2023, z Beamler:  
<https://www.beamler.com/3d-printing-capabilities/processes/sls-selective-laser-sintering/>

Brazio, J. (2023). *What is Marlin?* Získáno 10. 05 2023, z Marlin Firmware:  
<https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>

Carolo, L. (2022). *Tinkercad Tutorial: 6 Simple Steps to Success*. Získáno 15. 05 2023, z All3DP:  
<https://all3dp.com/2/tinkercad-tutorial-easy-beginners/>

Carolo, L. (2023). *3D Printer G-code Commands: Main List & Quick Tutorial*. Získáno 16. 05 2023, z ALL3DP: <https://all3dp.com/2/3d-printer-g-code-commands-list-tutorial/>

Cundie, M. (2019). *RepRap 3D tištěný pohyb – sebereplikační design pro rychlý vývoj prototypů a inspirující inovaci*. Získáno 22. 04 2023, z Infocube: <https://infocube.cz/cs/reprap-3d-tisteny-pohyb-sebereplikacni-design-pro-rychly-vyvoj-prototypu-a-inspirujici-inovaci/>

Digital manufacturing news and research. (2020). *FFF vs FDM: Difference and Best Printers*. Získáno 28. 05 2023, z Digital manufacturing news and research: <https://top3dshop.com/blog/fff-vs-fdm-difference-and-best-printers>

Education-WIKI.com. (2020). *Výhody 3D tisku - 10 hlavních výhod 3D tisku*. Získáno 23. 04 2023, z Education-WIKI.com: <https://cs.education-wiki.com/7488174-advantages-of-3d-printing>

- FabWeaver. (2022). *FFF Printing: Direct Extrusion and Bowden Extrusion*. Získáno 06. 06 2023, z FabWeaver: <https://blog.fabweaver.com/fff-printing-direct-extrusion-bowden-extrusion-0>
- Fakulta strojní ČVUT v Praze. (2019). *SLA*. Získáno 30. 05 2023, z Fakulta strojní ČVUT v Praze: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologii-3dtisk/sla-3dtisk/>
- Fakulta strojní ČVUT v Praze. (2019). *FDM*. Získáno 28. 05 2023, z Fakulta strojní ČVUT v Praze: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologii-3dtisk/fdm-3dtisk/>
- Fakulta strojní ČVUT v Praze. (2019). *SLS*. Získáno 03. 06 2023, z Fakulta strojní ČVUT v Praze: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologii-3dtisk/sls-3dtisk/>
- Flynt, J. (2019). *What are Polar 3D Printers and Best Models to Consider*. Získáno 28. 04 2023, z 3Dinsider: <https://3dinsider.com/polar-3d-printers/>
- Frey, S. (2023). *Simplify3D 5.0: Free Download of the Full Version*. Získáno 17. 05 2023, z All3DP: <https://all3dp.com/1/simplify3d-free-download-full-version/>
- Gcharge, P. (2022). *The Best 3D Printer Firmware of 2022*. Získáno 10. 05 2023, z All3DP: <https://all3dp.com/2/3d-printer-firmware-which-to-choose-and-how-to-change-it/>
- Grey, K. (2018). *Kreativita bez hranic: Zapojte celou rodinu a vytvořte si vlastní dekorace na stromeček, nebo formy na cukroví*. Získáno 24. 05 2023, z Ženy s.r.o.: <https://zenysro.cz/doporucomy/bydleni-a-domacnost/domaci-vykrajovatka-na-cukrovni-hacky-pro-detи-3d-tiskarna/>
- Gringer. (2018). *Fused filament fabrication*. Získáno 10. 06 2023, z Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fused\\_filament\\_fabrication#/media/File:FDM\\_printing\\_diagram.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication#/media/File:FDM_printing_diagram.svg)
- Hesse, V. (2023). *Cura – základy 3D tisku*. Získáno 17. 05 2023, z HardWired: <https://hardwired.dev/cura-zaklady-3d-tisku/>
- Hooper, S. (2022). *CoreXY Kinematics*. Získáno 26. 04 2023, z 3D Distributed: <https://3ddistributed.com/corexy-3d-printer/corexy-kinematics/>
- Hrončák, M. (2021). *Slicing*. Získáno 22. 05 2023, z BI - 3D Tisk: [https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/@B192/tutorials/slicing.html#\\_podpory-supports](https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/@B192/tutorials/slicing.html#_podpory-supports)
- Hrončák, M. (2023). *Slicing*. Získáno 16. 05 2023, z BI-3DT 3D tisk: <https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/tutorials/slicing.html>
- Jackson O'Connell. (2022). *3D Printing Infill: The Basics for Perfect Results*. Získáno 22. 05 2023, z All 3DP: <https://all3dp.com/2/infill-3d-printing-what-it-means-and-how-to-use-it/>
- Kakabadze, G. (2018). *Sub-categories of 3D Printers*. Získáno 28. 04 2023, z ResearchGate: <https://www.researchgate.net/figure/Sub-Categories-of-3D-Printers-Wakimoto->

2018\_fig2\_344929048

Kloski, L. W., & Kloski, N. (2017). *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press.

MBM Technik. (2023). *SCA5618 – NEMA 23*. Získáno 07. 06 2023, z MBM Technik:

<https://www.mbmtechnik.cz/elektromotory/krokove-motory/krokove-motory-36/sca5618-nema-23>

Michálek, T. (2016). *Typy 3D tiskáren*. Získáno 25. 04 2023, z Makers Lab: <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>

Moto Focus. (2022). *3D tisk v automobilovém průmyslu*. Získáno 24. 05 2023, z Moto Focus:

<https://motofocus.cz/jine-info-zajimavosti/77360,3d-tisk-v-automobilovem-prumyslu>

O'Connell, J. (2020). *3D Printed iPhone Case: 10 Best 3D Print/STL Files*. Získáno 24. 05 2023, z All 3DP: <https://all3dp.com/2/3d-printed-iphone-case-3d-models/>

O'Connell, J. (2022). *Raft vs Brim vs Skirt: The Differences (incl. Cura settings)*. Získáno 22. 05 2023, z All 3DP: <https://all3dp.com/2/3d-printing-raft-brim-and-skirt-all-you-need-to-know/>

Plugmake. (2015). *RepRap and Adrian Bowyer*. Získáno 22. 04 2023, z Plugmake:

<http://plugnmake.com/news/blog/2015/07/27/interview-with-the-maker-jim-spencer/reprap-and-bowyer-flickr-si/?fbclid=IwAR3D9UsCz9pON4oKU9v39XJ56HyWQvNMQGjrMlmmJcbDyrcmtYb5qb9LcRc>

Premo s.r.o. (2022). *Využití 3D tisku: Co lze vytisknout na 3D tiskárně*. Získáno 24. 05 2023, z Premo: <https://www.premocz.eu/vyuziti-3d-tisku>

PrestaShop SA. (2022). *Delta 3D Printers*. Získáno 25. 04 2023, z Filament2print:

[https://filament2print.com/gb/blog/158\\_3d-delta-printers.html?fbclid=IwAR1IHUg5CKHlIgPsF8jE-vv96WDhCFz1SxcCqnNwaku0t82Q209qkNhSLU8](https://filament2print.com/gb/blog/158_3d-delta-printers.html?fbclid=IwAR1IHUg5CKHlIgPsF8jE-vv96WDhCFz1SxcCqnNwaku0t82Q209qkNhSLU8)

Printing It 3D Team. (2022). *How Does a 3D Printer Hotend Work? Facts Explained*. Získáno 07. 06 2023, z Printing It 3D: <https://printingit3d.com/how-does-a-3d-printer-hotend-work/>

Prusa Research. (2022). *Vrstvy a perimetry*. Získáno 22. 05 2023, z Průša 3D:

[https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetny\\_1748](https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetny_1748)

Prusa Research. (2023). *Od prototypu do výroby za méně než dva měsíce: 3D tisk Seco Tools pro Škoda Auto*. Získáno 24. 05 2023, z Prusa Research: [https://blog.prusa3d.com/cs/od-prototypu-do-vyroby-za-mene-nez-dva-mesice-3d-tisk-seco-tools-pro-skoda-auto\\_77323/](https://blog.prusa3d.com/cs/od-prototypu-do-vyroby-za-mene-nez-dva-mesice-3d-tisk-seco-tools-pro-skoda-auto_77323/)

PrusaResearch. (2023). *PrusaSlicer 2.5.2*. Získáno 16. 05 2023, z PrusaResearch:

[https://www.prusa3d.com/cs/stranka/prusaslicer\\_424/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/prusaslicer_424/)

Průša Research. (2022). *Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi*. Získáno 24. 04 2023, z Průša Research:

[https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi\\_112464](https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi_112464)

Sharplayers s.r.o. (2023). *Topné podložky*. Získáno 06. 06 2023, z Sharplayers:

<https://eshop.sharplayers.cz/topne-podlozky>

Simplify 3D. (2021). *How to Use Supports*. Získáno 22. 05 2023, z Simplify 3D:

<https://www.simplify3d.com/how-to-use-supports/>

Simplify3D. (2019). *Simplify3D® Version 4.1*. Získáno 17. 05 2023, z Simplify3D:

<https://www.simplify3d.com/products/simplify3d-software/whats-new/version-4-1/>

Smith 3D. (2022). *SKR Mini E3 V2 / V3 on Ender 3 V2 / Ender 3 S1 LCD DWIN Knob Screen*. Získáno 07. 06 2023, z Smith 3D: <https://www.smith3d.com/skr-mini-e3-v2-v3-on-ender-3-v2-ender-3-s1-lcd-dwin-knob-screen/>

Stříteský, O. (2019). *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Získáno 22. 04 2023, z Průša 3D:

[https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_464/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_464/)

Tinkercad. (2023). *Začněte s 3D návrhy*. Získáno 15. 05 2023, z Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/3d-design>

Tiskni.xyz. (2022). *Encyklopédie 3D tisku: základní slovník pojmu i pro úplné začátečníky*. Získáno 06.

06 2023, z Tiskni.xyz: <https://tiskni.xyz/encyklopedie-3d-tisk>

UltiMaker. (2023). *Bridging*. Získáno 22. 05 2023, z UltiMaker:

<https://support.makerbot.com/s/article/1667337959538>

Vanta, D. (2019). *Proč používat 3D tisk? Kde se dá využít?* Získáno 24. 05 2023, z Technologie

budoucnosti: <https://technologiebudoucnosti.cz/proc-pouzivat-3d-tisk-kde-se-da-vyuzit/>

Visualio. (2022). *DLP a LCD 3D tisk*. Získáno 30. 05 2023, z Cotu: <https://www.cotu.cz/blog/148/dlp-a-lcd-3d-tisk>

Visualio. (2022). *SLS (Selective Laser Sintering)*. Získáno 03. 06 2023, z Cotu:

<https://www.cotu.cz/en/blog/126/sls-selective-laser-sintering>

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 - Adrian Bowyer zakladatel projektu RepRap .....	13
Obrázek 2 - Ukázka prototypů a modelů tištěných na 3D tiskárně .....	14
Obrázek 3 - Ukázka konstrukčního dílu tištěného na 3D tiskárně.....	14
Obrázek 4 - Ukázka dekorativních předmětů tištěných na 3D tiskárně .....	15
Obrázek 5 - Ukázka krytů na mobilní telefon vytisknutých na 3D tiskárně.....	15
Obrázek 6 - Ukázka technologie 3D tisku FFF/FDM .....	16
Obrázek 7 - Ukázka technologie 3D tisku SLA/DLP .....	17
Obrázek 8 - Schéma tisku pomocí metody SLA .....	18
Obrázek 9 - Schéma tisku pomocí metody DLP.....	19
Obrázek 10 - Ukázka tisku pomocí technologie SLS.....	19
Obrázek 11 - Schéma tisku pomocí technologie SLS.....	20
Obrázek 12 - Kartézská tiskárna .....	21
Obrázek 13 - CoreXY tiskárna.....	22
Obrázek 14 - Delta tiskárna.....	23
Obrázek 15 - Polar tiskárna.....	24
Obrázek 16 - Výrobek z filamentu ABS.....	25
Obrázek 17 - Výrobky z materiálu PLA .....	26
Obrázek 18 - Výrobek z filamentu PETG.....	26
Obrázek 19 - Výrobky z filamentu TPU .....	27
Obrázek 20 - Typy extruderů.....	29
Obrázek 21 - Komponenty vyhřívané podložky .....	29
Obrázek 22 - Hotend.....	30
Obrázek 23 - Krovový motor .....	30
Obrázek 24 - Řídící jednotka.....	31
Obrázek 25 - Informace o tiskárně na obrazovce typické pro firmware Marlin .....	32
Obrázek 26 - Ukázka z programu Tinkercad.....	33
Obrázek 27 - Ukázka programu Autodesk Fusion 360 .....	34
Obrázek 28 - Ukázka vygenerovaného rádkového G-codu.....	35
Obrázek 29 - Ukázka G-codu v PrusaSlicer .....	36
Obrázek 30 - Ukázka programu Simplify3D .....	37
Obrázek 31 - Ukázka slicovacího programu Cura .....	38
Obrázek 32 - Rozdílné výšky vrstvy a jejich vliv na detail tištěného objektu.....	39
Obrázek 33 - Procentuální výplň tisku.....	39
Obrázek 34 - Ukázka tisku přemostění.....	40
Obrázek 35 - Ukázka využití tiskové techniky přemostění .....	40

Obrázek 36 - Ukázka límce, obrysu a raftu .....	41
Obrázek 37 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkové profily (tvar H) .....	48
Obrázek 38 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkový profil (A1C).....	48
Obrázek 39 - Stavba 3D tiskárny - Hliníkové profily (A1D a A1E) .....	49
Obrázek 40 - Stavba 3D tiskárny - Lineární vedení.....	50
Obrázek 41 - Stavba 3D tiskárny - Krokový motor a jeho uchycení.....	51
Obrázek 42 - Stavba 3D tiskárny - Napínák osy Y .....	52
Obrázek 43 - Stavba 3D tiskárny - Lineární vedení osa Z .....	53
Obrázek 44 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení komponentů pro pohyb osy Z.....	54
Obrázek 45 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení osy X .....	55
Obrázek 46 - Stavba 3D tiskárny - Přichycení komponentů osy X.....	56
Obrázek 47 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení kalibrační sondy a chlazení extruderu s hotendem.....	57
Obrázek 48 - Stavba 3D tiskárny - Připevnění krabičky na elektroniku .....	58
Obrázek 49 - Stavba 3D tiskárny - Přichycení komponentů ve spodní části tiskárny .....	58
Obrázek 50 - Stavba 3D tiskárny - Uchycení obrazovky .....	59
Obrázek 51 - Stavba 3D tiskárny - Připevnění madel a držáku na filament.....	60
Obrázek 52 - Stavba 3D tiskárny - Dokončovací práce .....	61
Obrázek 53 - Porovnání kvality tisku - Kalibrační kostka .....	66
Obrázek 54 - Porovnání kvality tisku - Lodička Benchy.....	67
Obrázek 55 - Porovnání kvality tisku - Drak.....	68
Obrázek 56 - Porovnání kvality tisku - Test 4 (kalibrace).....	69
Obrázek 57 - Porovnání kvality tisku - Figurka .....	69
Obrázek 58 - Porovnání kvality tisku - Test 6 (kalibrace).....	70
Obrázek 59 - Porovnání kvality tisku - Tyronasaurus Rex.....	70
Obrázek 60 - Porovnání kvality tisku - Kočka.....	71

## **Seznam příloh**

Příloha A – Nakoupené komponenty a rozpočet.....	82
Příloha B – Seznam tištěných komponentů .....	83
Příloha C – Fotodokumentace sestavované tiskárny.....	84
Příloha D – Modely tištěných komponentů .....	86
Příloha E – Tabulka modelů pro porovnání kvality tisku .....	88

## Příloha A – Nakoupené komponenty a rozpočet

Označení komponentu	Název komponentu (počet kusů)	Cena pořízení	Aktuální cena 2023
A1	Hliníkové profily (7ks)	1 100 Kč	1 500 Kč
A2	Lineární vedení (4ks)	2 000 Kč	2 500 Kč
A3	Krokové motory (5ks)	1 495 Kč	1 800 Kč
A4	Extruder s hotendem (1ks)	2 999 Kč	4 600 Kč
A5	Základní deska (1ks)	890 Kč	1 190 Kč
A6	Obrazovka (1ks)	890 Kč	1 190 Kč
A7	Chlazení hotednu (1ks)	189 Kč	245 Kč
A8	Radiální ventilátor (1ks)	50 Kč	75 Kč
A9	Filament senzor (1ks)	70 Kč	100 Kč
A10	Vyhřívaná podložka (1ks)	435 Kč	530 Kč
A11	Závitové tyče (2ks)	150 Kč	269 Kč
A12	Sklo magnetická flexibilní podložka (1ks)	690 Kč	890 Kč
A13	Kalibrační sonda (1ks)	599 Kč	890 Kč
A14	Řemeny (2ks)	70 Kč	98 Kč
A15	Izolace (1ks)	69 Kč	99 Kč
A16	Energořez (3ks)	482 Kč	508 Kč
A17	Pasivní chlazení motoru (2ks)	20 Kč	38 Kč
A18	Zdroj (1ks)	1 090 Kč	1 690 Kč
A19	Měnič napětí (2ks)	18 Kč	38 Kč
A20	Squashové míčky (4ks)	148 Kč	188 Kč
A21	Spojovací materiál	305 Kč	440 Kč
A22	Materiál pro tisk (2kg)	600 Kč	700 Kč
A23	Endstop (2ks)	20 Kč	38 Kč
A24	Ložiska (4ks)	15 Kč	42 Kč
A25	Pružný závit (2ks)	30 Kč	60 Kč
A26	Hliníkové díly (4ks)	500 Kč	700 Kč
<b>Celková cena</b>		<b>14 924 Kč</b>	<b>20 418 Kč</b>

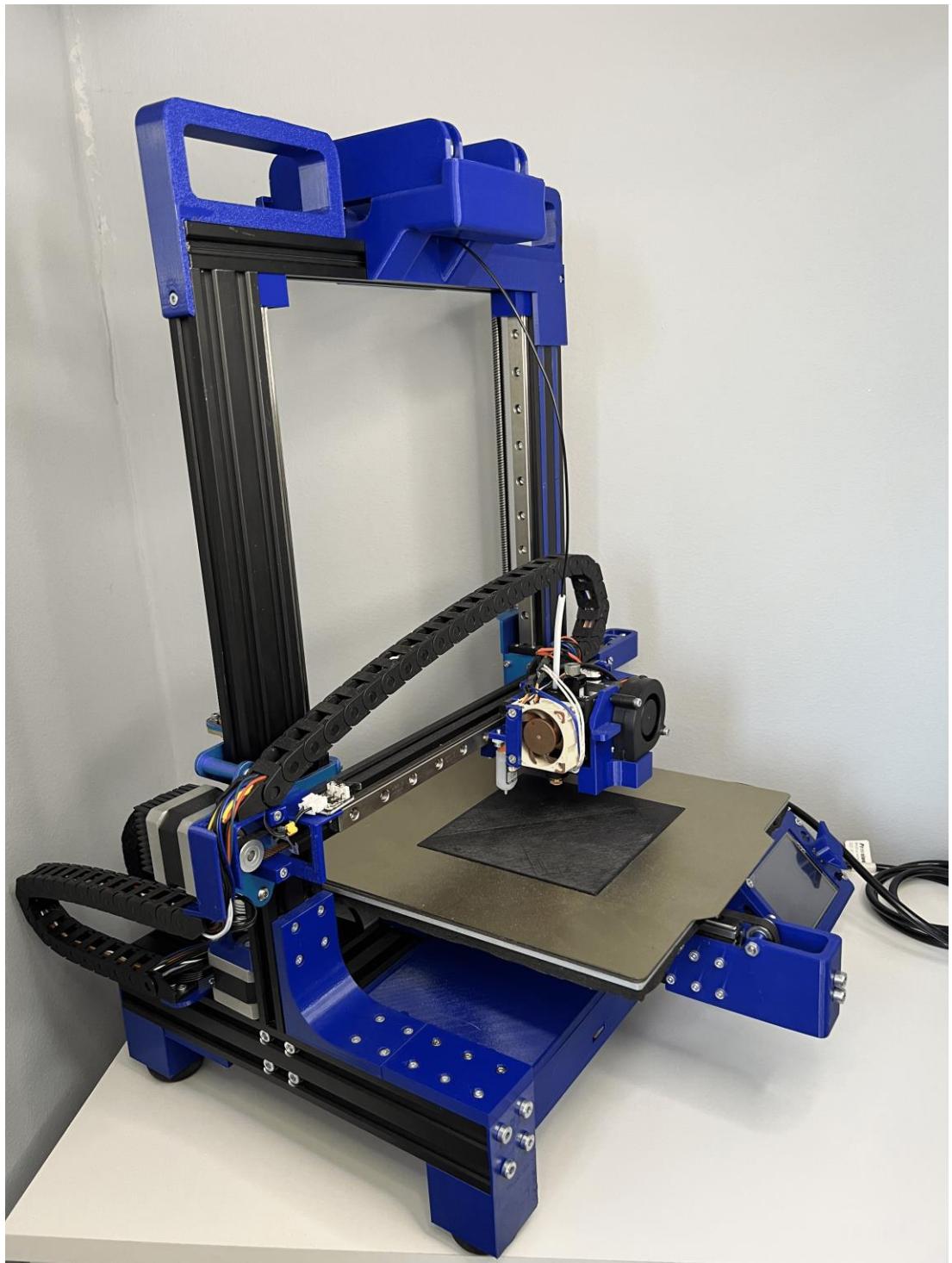
Zdroj: Vlastní zpracování

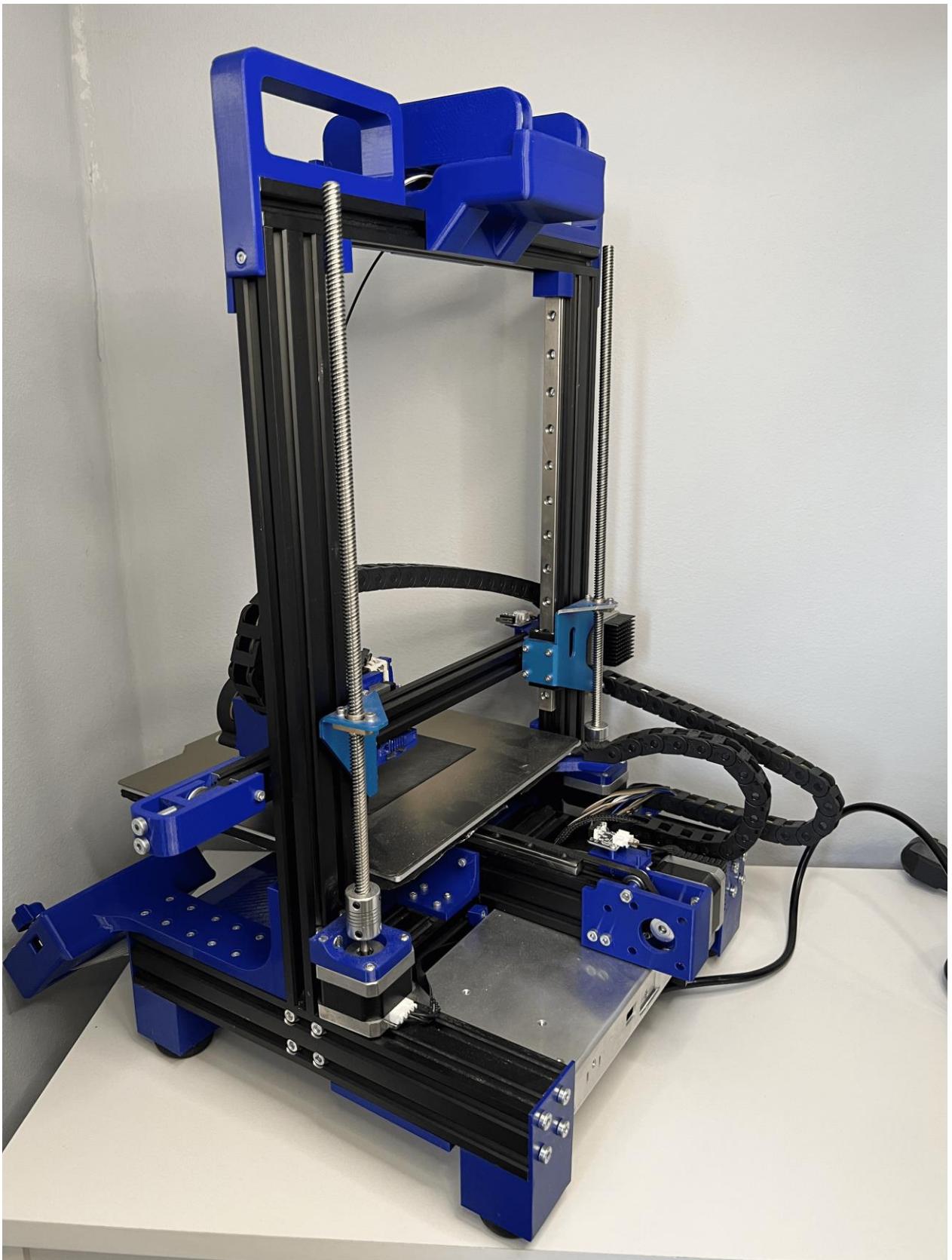
## Příloha B – Seznam tištěných komponentů

Č. komponenty	Název komponentů (počet ks)
B1	Nohy
B2	Uchycení obrazovky
B3	Krabička na elektroniku
B4	Uchycení energořezu osa x a y
B5	Napínak osy Y
B6	Uchycení zdroje
B7	Držák z motoru
B8	Zpevnovač konstrukce
B9	Spojnice osy Z a Y
B10	Uchycení řemenu osa Y
B11	Zarážka zdroje
B12	Uchycení motoru osa Y
B13	Držák energořezu podložky
B14	Napínaky osy (2ks)
B15	Držák endstopu osa X
B16	Uchycení energořezu osa Z a X
B17	Uchycení extruderu osa X
B18	Úchyt a smerovač ofuku radiaálního ventilátoru
B19	Krabička na kabeláž
B20	Uchycení remenu osu X
B21	Madla (2ks)
B22	Krytky vedení kabelu (7ks)
B23	Zarážky osy Z (2ks)
B24	Držák filamentu a senzoru na filament
B25	Pohybové kolejnice pro filament
B26	Zámek řemenu osa Y
B27	Zámek řemenu osa X
B28	Držák kalibrační sondy
B29	Krytka obrazovky
B30	Ovládání obrazovky
B31	Krytka kabelu filamentu
B32	Krytka krabicky na elektroniku
B33	Krytka hliníkového profilu
B34	Ložiska u napínáku
B35	Uchycení kabelu E

Zdroj: Vlastní zpracování

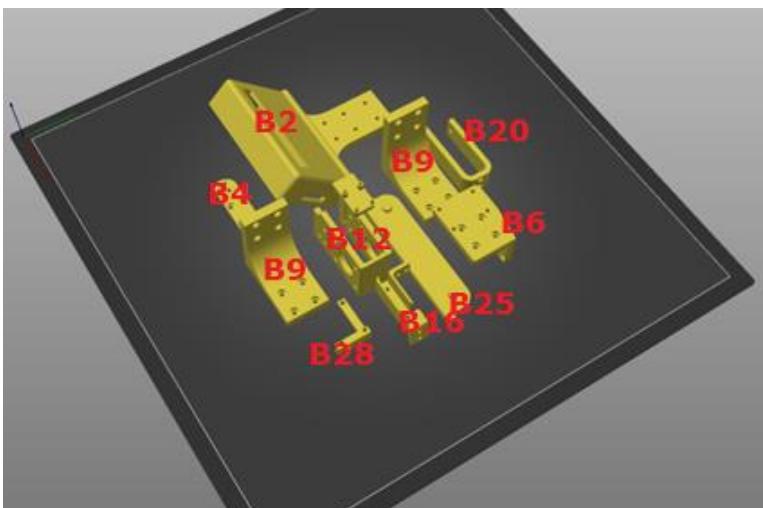
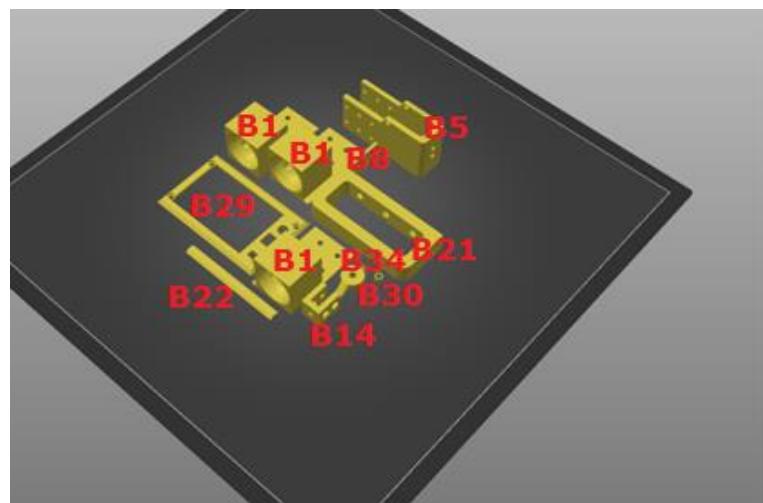
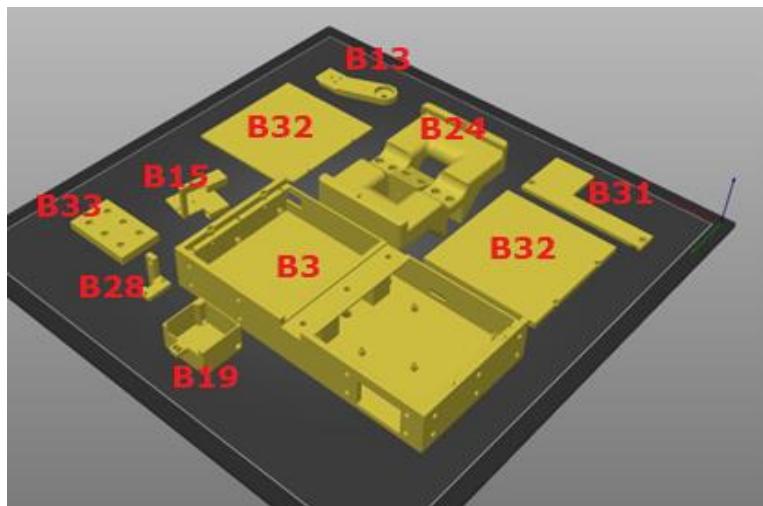
## Příloha C – Fotodokumentace sestavované tiskárny

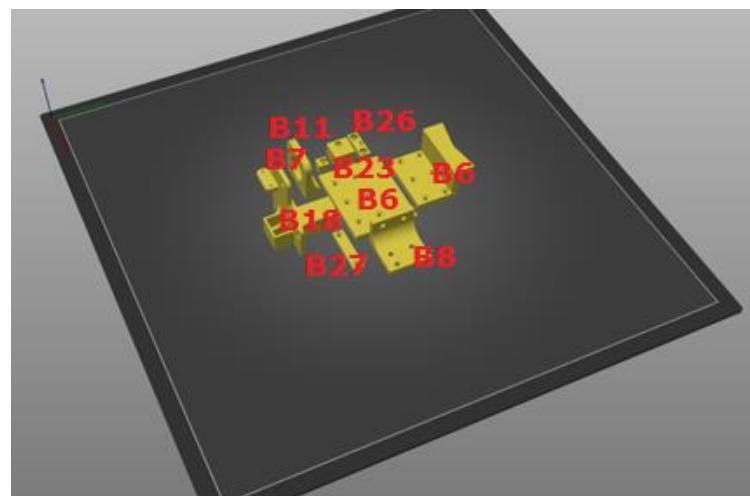




Zdroj: Vlastní zpracování

## Příloha D – Modely tištěných komponentů





Zdroj: Vlastní zpracování

## Příloha E – Tabulka modelů pro porovnání kvality tisku

Č. obrázku	Název	Odkaz
53	Kalibrační kostka	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:1278865">https://www.thingiverse.com/thing:1278865</a>
54	Lodička Benchy	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:763622">https://www.thingiverse.com/thing:763622</a>
55	Drak	<a href="https://www.printables.com/model/404447-flying-night-dragon">https://www.printables.com/model/404447-flying-night-dragon</a>
56	Test 4 (kalibrace)	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:2975429">https://www.thingiverse.com/thing:2975429</a>
57	Postavička	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:376601">https://www.thingiverse.com/thing:376601</a>
58	Test 6 (kalibrace)	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:704409">https://www.thingiverse.com/thing:704409</a>
59	Tyrannosaurus Rex	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:2738211">https://www.thingiverse.com/thing:2738211</a>
60	Kočka	<a href="https://www.thingiverse.com/thing:1545913">https://www.thingiverse.com/thing:1545913</a>

Zdroj: Vlastní zpracování