STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví a doprava

Vysokorychlostní 3D tiskárna

Autoři: Jakub Průcha
Škola: Gymnázium Vlašim, Tylova 271, 258 01 Vlašim
Kraj: Středočeský kraj
Konzultant: RNDr. Petra Surynková, Ph.D.
Vlašim 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví a doprava

Vysokorychlostní 3D tiskárna

High-speed 3D printer

Autoři: Jakub Průcha
Škola: Gymnázium Vlašim, Tylova 271, 25801 Vlašim
Kraj: Středočeský kraj
Konzultant: RNDr. Petra Surynková, Ph.D.
Vlašim 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Ve Vlašimi dne 15.3.2024 Jakub Průcha

Anotace

Ve své práci jsem se zabýval návrhem, konstrukcí a kalibrací FDM 3D tiskárny typu CoreXY. Cílem mé práce bylo vytvořit 3D tiskárnu schopnou konkurovat posledním verzím komerčně dostupných vysokorychlostních tiskáren od společností Prusa Research a Bambulab GmbH, které jsou špičkou ve své třídě.

Klíčová slova

3D tiskárna; Klipper; CoreXY; rychlost; kvalita

Annotation

In my paper, I focused on the design, construction, and calibration of a CoreXY-type FDM 3D printer. The goal of my work was to create a 3D printer capable of competing with the latest versions of commercially available high-speed printers from companies such as Prusa Research and Bambulab GmbH, which are at the top of their class.

Keywords

3D printer; Klipper; CoreXY; speed; quality

Obsah

1 Úvod....6
2 teorie rychlosti tisku....7
3 Konstrukce....7
3.1 3D modelování....7
3.1.1 Modelování netištěných dílů....8
3.1.2 Modelování tištěných dílů....9
3.2 Hardware....10
3.2.1 Rám....11
3.2.2 Systém pohonu tiskové hlavy....12
3.2.3 Hotend....13
3.2.4 Extruder....14
3.2.5 Uložení podložky....16
3.3 Elektronika a software....17
3.3.1 Drivery....17
3.3.2 Základní deska....18
3.3.3 Kamera....18
3.3.4 Chytrý senzor filamentu....19
3.3.5 Klipper....20
3.3.6 Input Shaping....21
3.3.7 Pressure advance....22
3.3.8 Z tilt....23
3.3.9 Bed leveling....23
3.3.10 Užitečné funkce....24
4 Závěr....24
5 Použitá literatura....35
6 Seznam obrázků a tabulek....35

1 Úvod

Cílem mé práce bylo navrhnout, zkonstruovat a odladit vysokorychlostní 3D tiskárnu, která bude použitelná jak v domácím prostředí, tak v průmyslovém nasazení. Zásadním přínosem této tiskárny v porovnání s komerčně dostupnými vysokorychlostními modely by měla být ještě vyšší rychlost výtisku při zachování kvality. Vysokorychlostní kvalitní tisk ocení zejména uživatelé v průmyslovém sektoru při malosériové výrobě či pro účely rychlého prototypování.

Ve své práci jsem navazoval na vlastní zkušenosti s opravami a úpravami běžně dostupných 3D tiskáren. Při této činnosti jsem dospěl k závěru, že mnoho tiskáren má vlastnosti či konstrukční nedostatky, které limitují maximální rychlost jejich tisku.. Je zřejmé, že tyto nedostatky jsou kompromisem vycházejícím z cenové politiky výrobce. Proto jsem se rozhodl pokusit se o vlastní konstrukci, která by tato kompromisní řešení neobsahovala.

Cílové hodnoty rychlostí tisku, které jsem chtěl ve své práci překonat, vycházejí z technických specifikací výrobců Prusa Research a Bambulab GmbH, viz tabulka 1.

Tabulka 1: přehled rychlostí tiskáren

Tiskárna	MAX rychlost	MAX akcelerace	Čas Benchy[1]
Ender 5 plus	300 mm/s	500 mm/s^2	67 min
Prusa i3 Mk3s	200 mm/s	1 000 mm/s^2	81 min
Prusa i3 Mk4	600 mm/s	10 000 mm/s^2	12 min 38 s
Bambulab	600 mm/s	20 000 mm/s^2	17 min 45 s

Mezi hlavní předpoklady pro splnění mých cílů patří kvalitní zpracování mechanických částí tiskárny, výkonná řídicí jednotka a použití pokročilých funkcí pro řízení 3D tisku.

[1]3D benchy je jeden z testovacích modelů používaných pro srovnávací testy kvality a rychlosti.

2 TEORIE RYCHLOSTI TISKU

Čas výtisku je ovlivňován dvěma faktory. Prvním faktorem je požadovaná rychlost tiskové hlavy určená slicerem. Druhým faktorem je akcelerace tiskové hlavy. U členitých tisků (mnoho hran) je akcelerace daleko důležitější. Naopak u větších tisků s menším počtem hran se začíná projevovat i požadovaná rychlost tiskové hlavy. Jinými slovy, tisková hlava většinou nestihne zrychlit na požadovanou rychlost, proto bývá důležitější hodnota akcelerace.

3 KONSTRUKCE

Konstrukční práce na tiskárně začínaly nejprve CAD modelováním základních mechanických částí a následně jejich výrobou. Nemám k dispozici průmyslové obráběcí stroje, proto jsem se snažil některé komponenty vytisknout. Pro tyto účely byla použita starší upravená 3D tiskárna Ender 5 plus[2] tisknoucí z PLA bez příměsí barev pro vyšší odolnost a nižší cenu. Většina částí tiskárny je však složena z běžně dostupných výrobků zakoupených ve specializovaných e-shopech zaměřených na 3D tisk. Největší část – rám tiskárny, je postaven z běžných hliníkových konstrukčních profilů, jejichž obrábění jsem zvládl vlastními silami.

Elektronika tiskárny je opět postavena na běžně dostupných hardwarových komponentách. Byly vybírány s ohledem na dosažení stanovených cílů a následně po firmwarové stránce poměrně značně upraveny.

Všechny výše uvedené části tiskárny byly vybrány tak, aby poskytly konstrukční základ pro pokročilé technologie 3D tisku, díky kterým je možno dosahovat požadovaných rychlostí a kvality tisku a které popisuji v kapitolách 2.2 a 2.3 této práce.

3.1 3D modelování

Veškeré 3D modelování bylo provedeno v CAD softwaru SOLIDWORKS Student Edition od společnosti Dassault Systèmes. Na obrázku 1 je zobrazeno logo tohoto programu. Tento software jsem zvolil zejména proto, že funguje na bázi parametrického modelování, které umožňuje jednoduché úpravy složitých sestav. Výsledkem 3D modelování byla sestava dílů představujících vyvíjenou 3D tiskárnu.

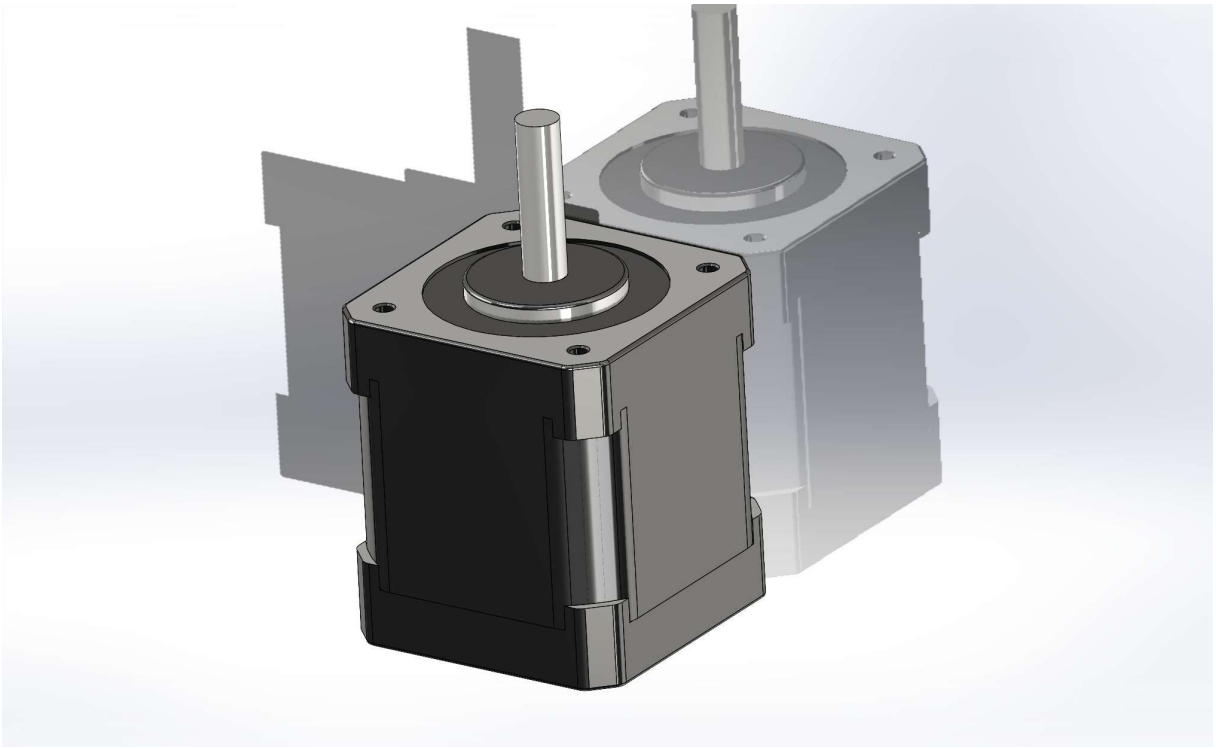
.

Obrázek 1: logo programu SOLIDWORKS

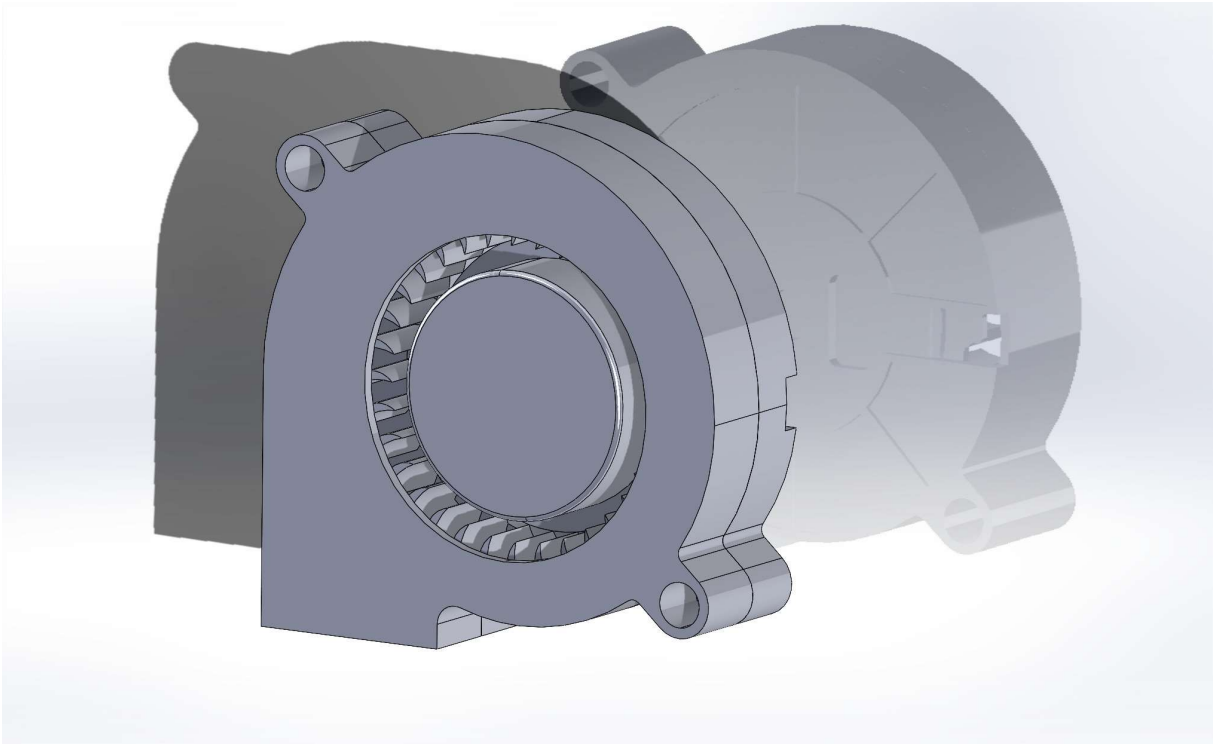
[2]Mezi úpravy patří: lepší základní deska, přidání prizmatického vedení, krátký extruder, kvalitnější řemeny, lepší displej a další.

3.1.1 Modelování netištěných dílů

Většinu netištěných dílů jsem modeloval podle technických výkresů, poskytnutých výrobcem. Některé díly bylo možno stáhnout z webu výrobce ve formátu STEP a vložit je přímo do sestavy. Na obrázku 2 a 3 jsou ukázky modelů netištěných dílů. Když byla sestava netištěných dílů hotová, bylo možno začít modelovat tištěné díly.



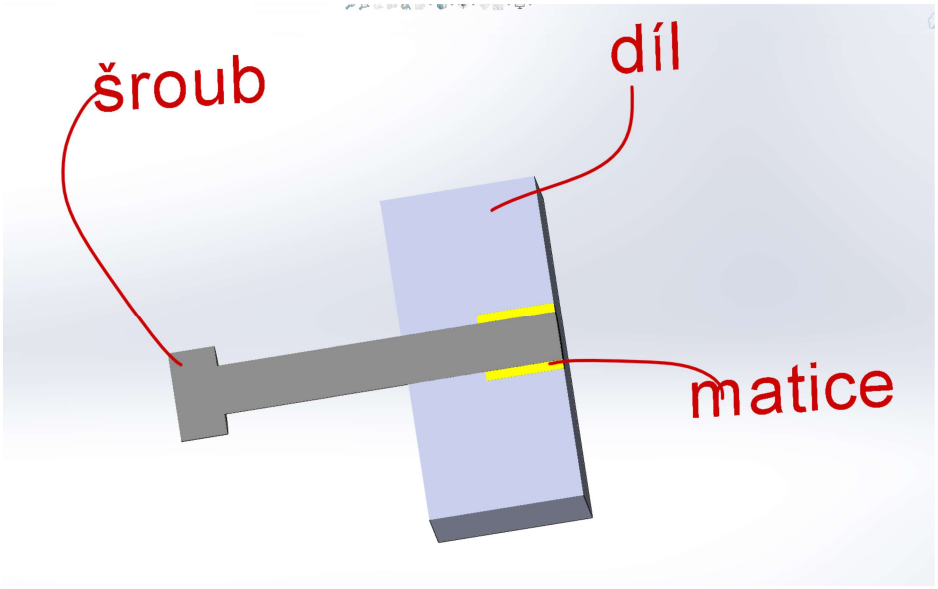
Obrázek 2: krokový motor nema17 48 mm



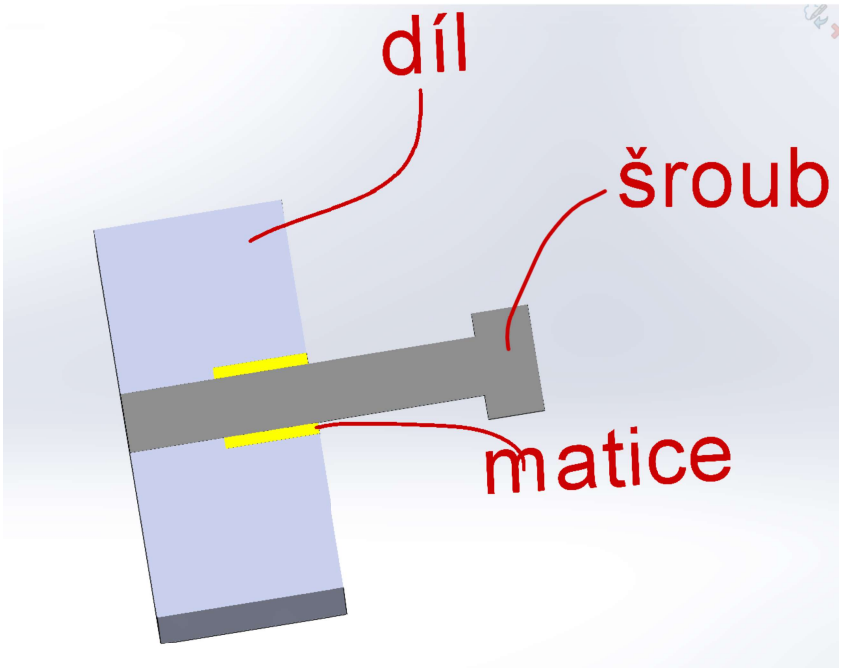
Obrázek 3: radiální ventilátor 5015

3.1.2 Modelování tištěných dílů

Tištěné díly tvoří menší části tiskárny, ale jsou stejně důležité. Např. extruder je z velké části tvořen tištěnými díly. Při modelování tištěných dílů je nutno již předem přemýšlet nad orientací dílu pro tisk. Tím se lze vyvarovat zbytečných tiskových podpor, které nejenže zvyšují náklady na tisk, ale hlavně je nutno po jejich odstranění upravit povrch dílu pro jeho dobré dosednutí. Dále je nutno volit správné umístnění matic (viz obrázky 4 a 5) pro šroubové spoje, a to zejména u mechanicky namáhaných dílů, jako je již zmíněný extruder. Na celé tiskárně jsou použity jednotné zápustné matice M3.



Obrázek 4: správné uložení matice



Obrázek 5: špatné uložení matice

3.2 Hardware

Výčet a základní specifikace hardwarových komponent uvádím v tabulce 2.

Tabulka 2: hardwarové vlastnosti tiskárny

Celková velikost	450 x 600 x 600
Tisková oblast	250 x 225 x 300 není finální
Rám	Cube
Ukotvení podložky	3bodové nezávislé uložení
Řemenový systém	CoreXY řemen s ocelovým kordem
Krokové motory	Osa XY dva 400krokové motory Osa Z tři 200krokové motory
Typ vedení	Osa XY lineární prizmatické vedení Osa Z hlazené tyče
Extruder	Krátký s převodovkou oboustranný náhon
Hotend	E3D V6 Volcano bronz 70W topné těleso max 500 ºC Bimetalový heat break Kalená ocelová tryska 0,4 mm
Chlazení vytisku	2x radiální ventilátor 5015
Displej	Dotykový
Doplňky	Magnetický tiskový plát s práškovým PEI Bl-touch

3.2.1 Rám

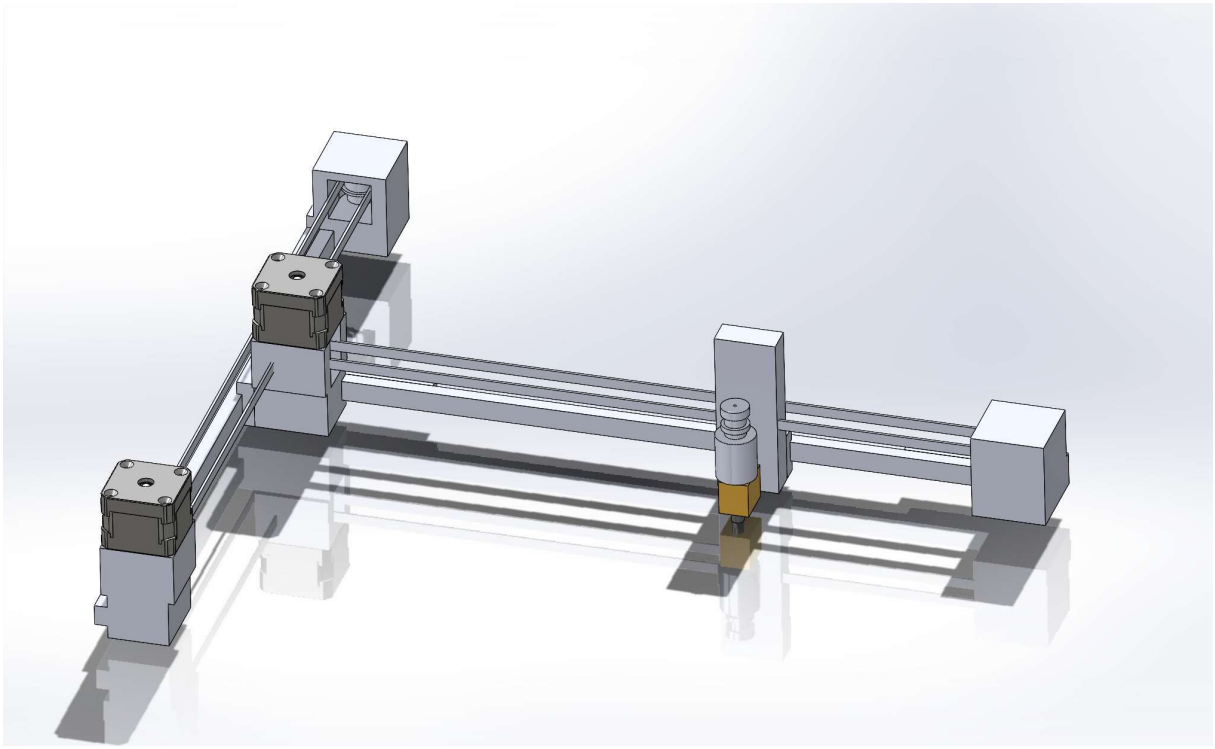
Použitý rám je typu cube zobrazený na obrázku 7. Nevýhodou tohoto typu rámu je jeho větší objem a jeho vyšší cena pro sestavení, ale zato umožňuje osadit systém pohonu tiskové hlavy CoreXY a pohyb podložky v ose Z. Další jeho významnou předností je odolnost vůči zkrutu.

V počátku stavby jsem hliníkové profily spojoval pouze standardními spojkami, které fungují na základě tření. Toto řešení se ukázalo jako nevhodné a to, pro nízkou pevnost spojů. Z toho důvodu jsem musel použít šroubové spoje, které teprve poskytly požadovanou pevnost rámu.

Obrázek 6: neosazený rám

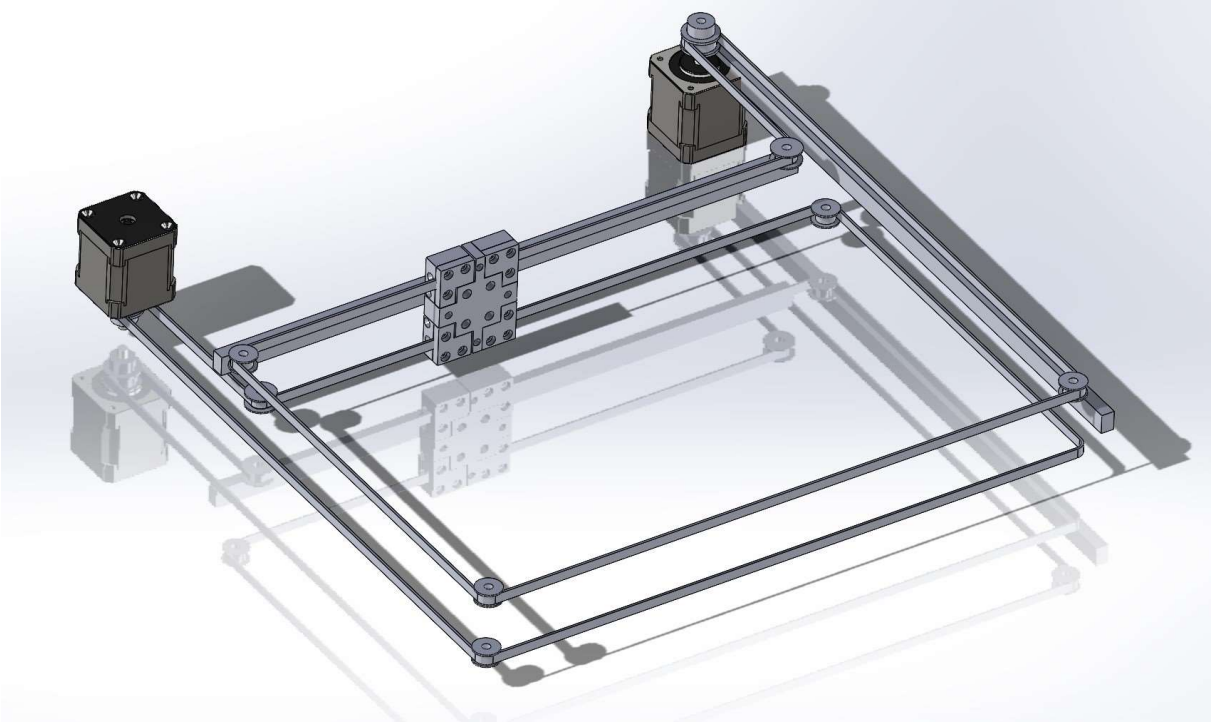
3.2.2 Systém pohonu tiskové hlavy

Drtivá většina všech 3D tiskáren používá pro pohyb tiskové hlavy standardní pohon, kdy je každá z os (X a Y) poháněna samostatným krokovým motorem, zobrazený na obrázku 8. Tento typ pohonu je konstrukčně jednoduchý, ale nelze s ním dosáhnout větších akcelerací tiskové hlavy.



Obrázek 7: vedení cartesian

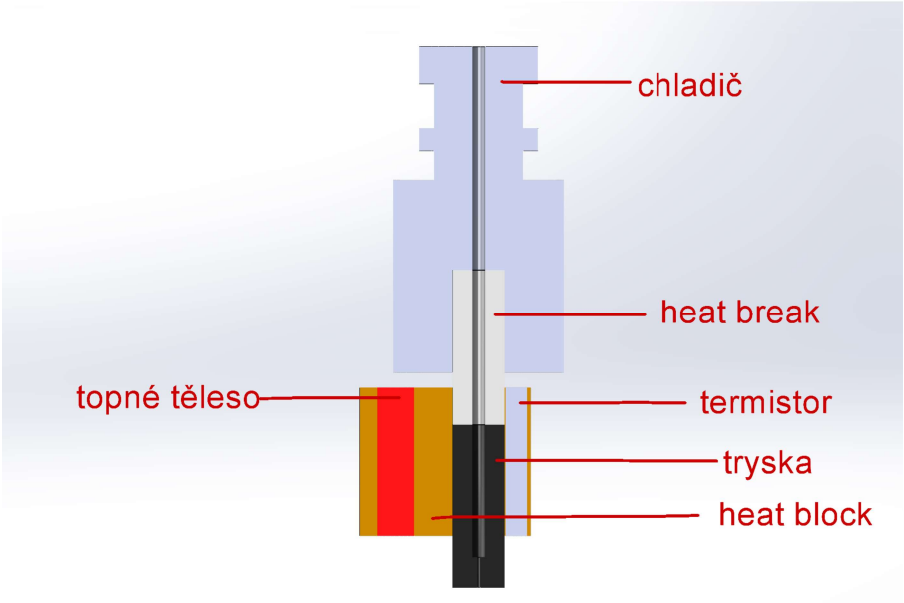
Výkonnějším typem pohonu je CoreXY zobrazený na obrázku 9, které umožňuje vysoké akcelerace. V tomto případě oba motory pohybují současně osami X i Y. Tím se dosahuje větších sil, které umožňují používat vysoké akcelerace. Ty jsou důležitější pro výsledný čas tisku než samotná rychlost pohybu tiskové hlavy. Tento typ náhonu pohání dva čtyřsetkrokové motory NEMA 17 48 mm. Tyto krokové motory jsou velice přesné, ale mají nižší krouticí moment. Ten kompenzuji přepnutím driveru do hlučnějšího, ale vysoce výkonného režimu. Pro přenos pohybu jsem použil vysoce kvalitní 6mm řemeny s ocelovým kordem. Celý systém tiskové hlavy se pohybuje na prizmatickém lineárním vedení MGN12, které přináší vyšší zatížitelnost a přesnost.



Obrázek 8: vedení CoreXY

3.2.3 Hotend

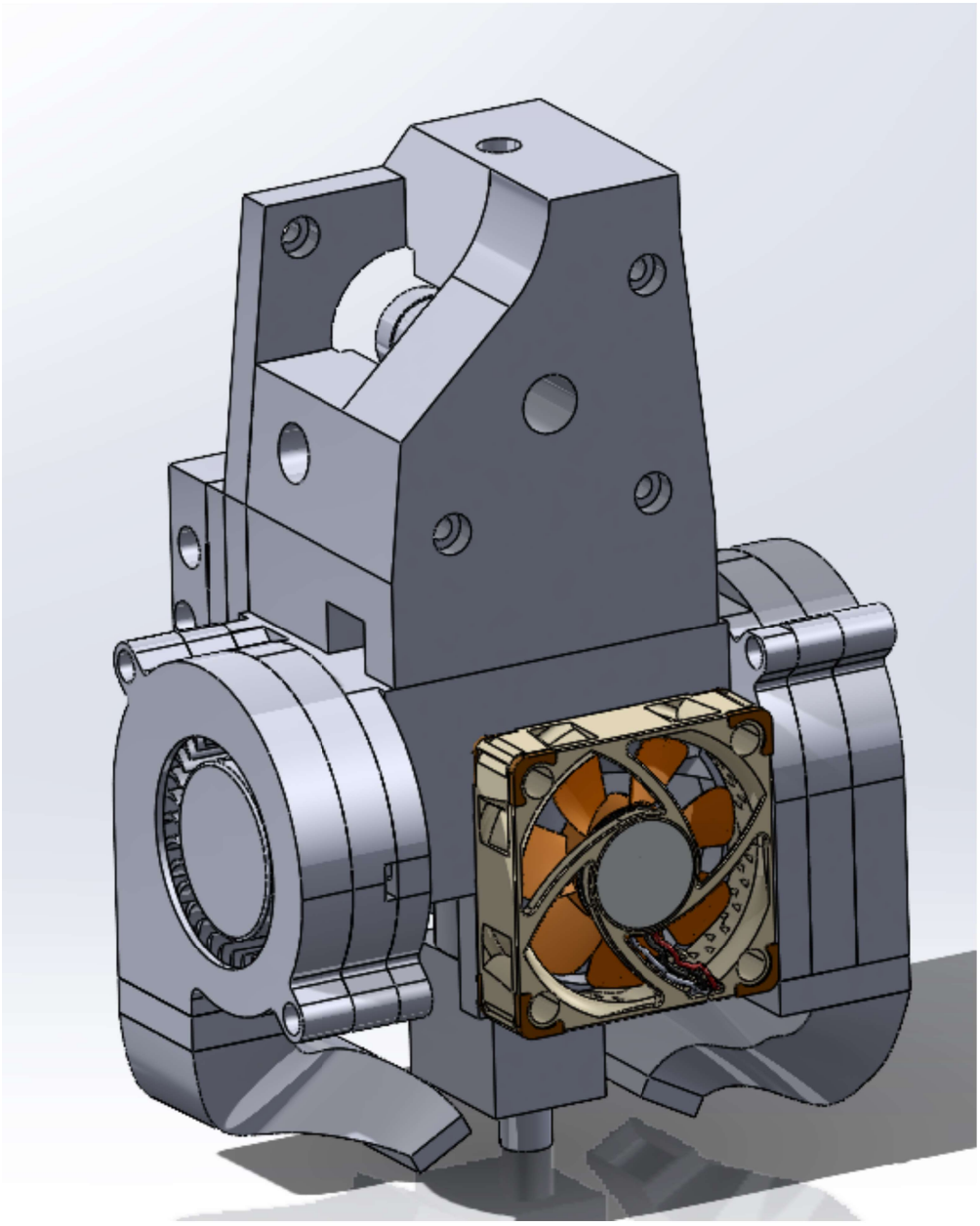
Pro dosažení vysokých rychlostí tisku bylo třeba použít hotend, který zvládne vysoký průtok materiálu tryskou. Použil jsem hotend E3DV6 Volcano (zobrazený na obrázku 10) s bronzovým heat blockem zaručujícím vysokou tepelnou kapacitu, osazeným 70W topnou patronou a termistorem podporujícím teploty do 500 ºC. Díky tomu je možno dosahovat rychlého zahřátí tiskového materiálu. Tryska je z kalené oceli, o průměru 0,4 mm od firmy Brozzl. Heat break je bimetalový, čímž je docíleno dobré izolace heat bloku od zbytku hotendu. Díky tomuto řešení může průtok tryskou spolehlivě přesahovat 40 mm^3/s. Průtok u běžných tiskáren se pohybuje okolo 15 mm^3/s.



Obrázek 9: popis hotendu E3D V6 Volcano

3.2.4 Extruder

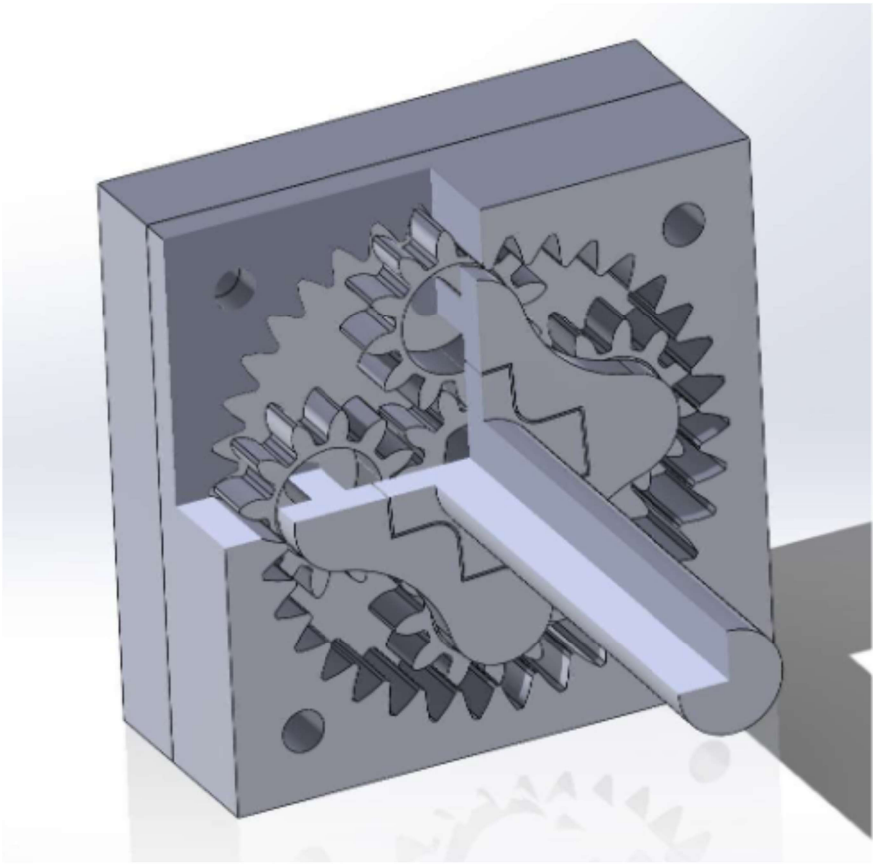
Při návrhu extruderu jsem zohledňoval zejména jeho nízkou hmotnost, přesnost podávání a výkon chlazení. Tyto vlastnosti z velké části určují maximální možnou akceleraci, a přímo tím ovlivňují dobu tisku. Výsledný model extruderu je zobrazen na obrázku 10.



Obrázek 10: extruder

Pro zachování co nejnižší hmotnosti extruderu je použit menší a lehčí krokový motor, který je přímo propojen s planetovou převodovkou o poměru 1 : 4,4. Tím je zároveň docíleno přesnějšího dávkování filamentu. Samozřejmostí je oboustranný náhon filamentu pomocí velkých podávacích koleček od společnosti Bontech.

Planetová převodovka extruderu je mnou speciálně navržená a kompletně tištěná. Planety a slunce jsou tištěny z Poly Carbon filamentu plněného uhlíkem pro vysokou odolnost. Věnec a odvodová osa z planet jsou tištěné z polotransparentního PLA. Celá převodovka je zobrazena na obrázku 11.



Obrázek 11: řez planetovou převodovkou

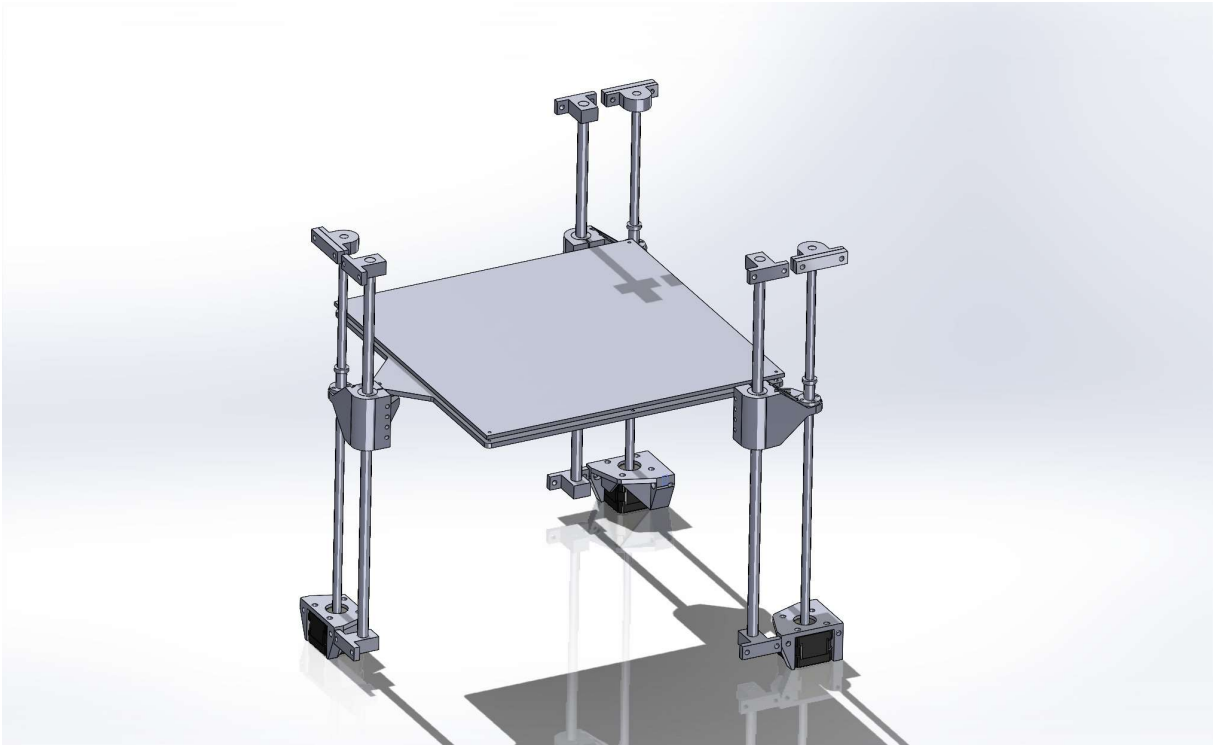
Extruder je od začátku konstruován jako krátký, což zamezuje především dlouhým retrakcím[3]. Ty drasticky prodlužují tisk u některých typů modelů s četnými přejezdy tiskové hlavy. Dobrým příkladem je třeba model Eiffelovy věže.

Pro tiskovou hlavu jsem navrhl velmi výkonné chlazení, které umožňuje tisk převisů vysokými rychlostmi při zachování kvality. Je tvořeno dvěma radiálními ventilátory a speciálně modelovanými ofukovými svody.

[3]Retrakce je zatažení filamentu zpět do hotendu, k němuž dochází proto, aby tryska takzvaně neukápla při přejezdech a tím nepoškodila povrch výtisku.

3.2.5 Uložení podložky

Celá vyhřívaná podložka je uložena plovoucím způsobem ve 3 bodech, můžete vidět na obrázku 12. Každý z těchto bodů má samostatné lineární vedení pomocí 10mm hlazené tyče a samostatný krokový motor, díky čemuž je možné využít funkci Z tilt popsanou níže. Toto řešení se nevyskytuje u běžně dostupných 3D tiskáren.



Obrázek 12: uložení podložky na pojezdech osy Z

3.3 Elektronika a software

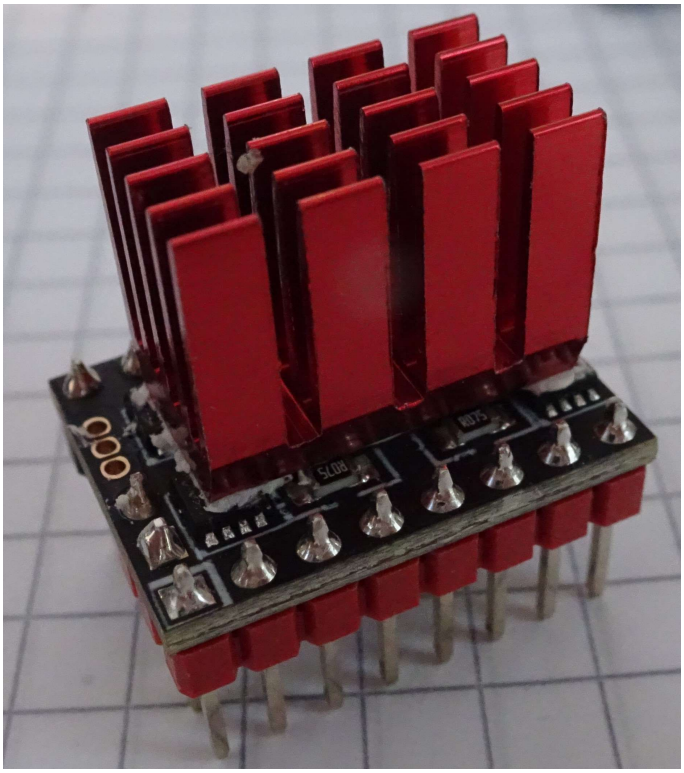
Pro dosažení požadovaných rychlostí tiskárna disponuje vysoce výkonnou základní deskou a řídicím modulem RaspBerry, na kterém běží v Linuxové distribuci firmware Klipper. Toto řešení řídicího systému tiskárny umožňuje implementaci pokročilých softwarových funkcí, které podrobně popisuji v dalších kapitolách. Pro přehledné ovládání tiskárny je použit dotykový displej s přehledným rozhraním, a to i v češtině.

Tabulka 3: shrnutí elektroniky a funkcí

Drivery	TMC 5160T PRO
Základní deska	BTT Octopus pro H723 RaspBerry Pi 3B+
Zdroj	24 V 350 W
Kamer	Úhel záběru 185º
Senzor filamentu	Přítomnost struny Pohyb struny
Firmware	Klipper
Input shaping	Redukce ghosting
Pressure advance	Lepší tisk rohů
Z tilt	Vyrovnání podložky
Bed leveling	Přizpůsobení první vrstvy dle zakřivení podložky
Rušení objektů	Vyloučení dílu z tisku během tisku
LED pásky	RGB osvětlení výtisku

3.3.1 Drivery

Driver je elektronický modul, který slouží k napájení a ovládání krokových motorů. Osazuje se do patice na základní desce tiskárny. Pro rychlou tiskárnu je nutno použít jedny z nejvýkonnějších driverů. Jedná se o TMC 5160T PRO zobrazený na obrázku 13. Tyto drivery umožňují řídit krokové motory v tichém módu a umožňují maximální proud až 3 A při napětí 56 V. Tyto hodnoty umožňují provoz i vyšších řad krokových motorů, jako např. NEMA17. Další zajímavou vlastností je funkce Stalldguard, což je vlastně virtuální koncový spínač. Realizuje se měřením odporu na cívce krokového motoru a využívá se např. při kalibraci či parkování tiskárny.



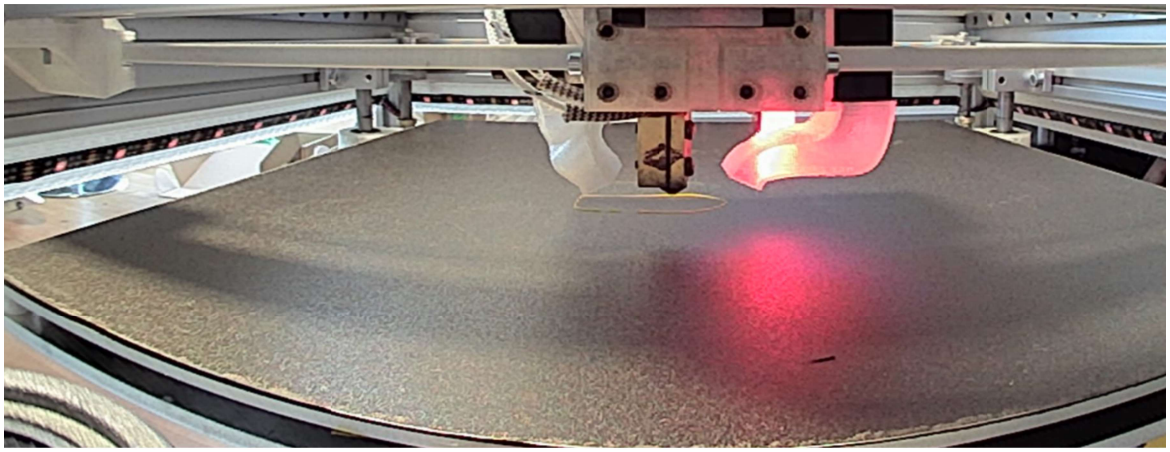
Obrázek 13: driver BTT TMC 5160T pro

3.3.2 Základní deska

Pro řízení pokročilých funkcí 3D tisku používám systém Klipper, což je linuxová distribuce, běžící mimo základní desku tiskárny na samostatném počítači. V tomto případě Raspberry Pi 3B+. Na základní desce tak neběží žádný řídicí systém (např. Marln), jako je tomu u běžných tiskáren. Ale i tak je nutné, aby disponovala dostatečným výpočetním výkonem pro řízení tisku. Z těchto důvodů je použita základní deska BTT Octopus Pro H723. Tato deska umí obsloužit až 8 nezávislých krokových motorů a 4 topné patrony pro hotend. Dále mnoho ventilátorů s možností různých funkčních napětí, RGB led pásky a velké množství senzorů a dalších periferií.

3.3.3 Kamera

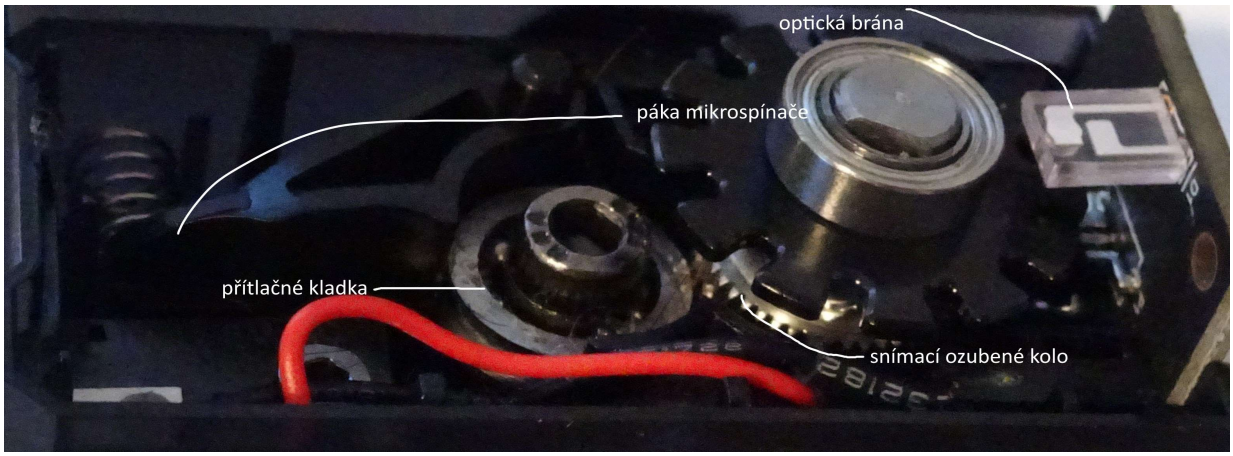
Velice užitečnou funkcí se ukázala být kamera nasměrovaná na výtisk. Je použita USB kamera s fish eye objektivem s úhlem záběru 185°, připojená k RaspBerry počítači. Záběry z kamery je možno sledovat přes webové rozhraní řídicího systém Klipper, a to i vzdáleně při použití VPN či veřejné IP. S kamerou je možno sledovat průběh tisku a případně chybný tisk vzdáleně pozastavit. Na obrázku 14 je snímek z kamery.



Obrázek 14: snímek z kamery

3.3.4 Chytrý senzor filamentu

Tiskárna disponuje chytrým senzorem filamentu od firmy BTT popsaném na obrázku 15. Tento senzor neměří pouze přítomnost filamentu, ale i posun filamentu pomocí optického senzoru. Principiálně stejný senzor je např. ve starých kuličkových počítačových myších. Tiskárna tak dokáže rozpoznat nejen nepřítomnost filamentu (pokud dojde cívka), ale i zauzlování filamentu na cívce nebo ucpání či přicpání trysky během tisku. V těchto situacích tiskárna pozastaví tisk, počká na reakci uživatele a mnohdy tím zachrání rozsáhlý tisk.

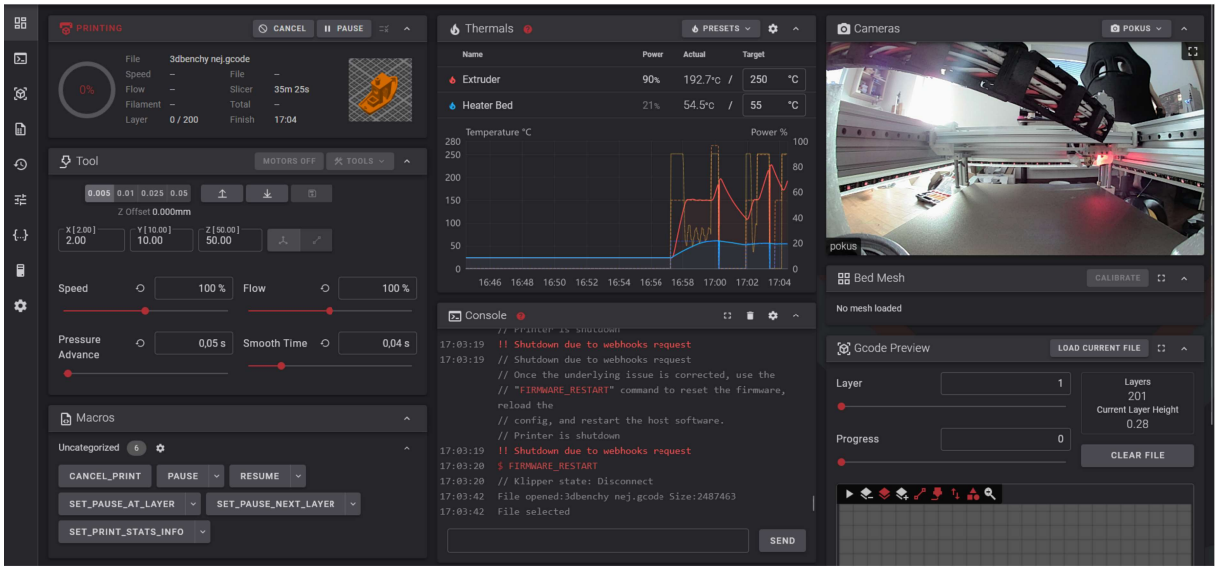


Obrázek 15: popis senzoru filamentu

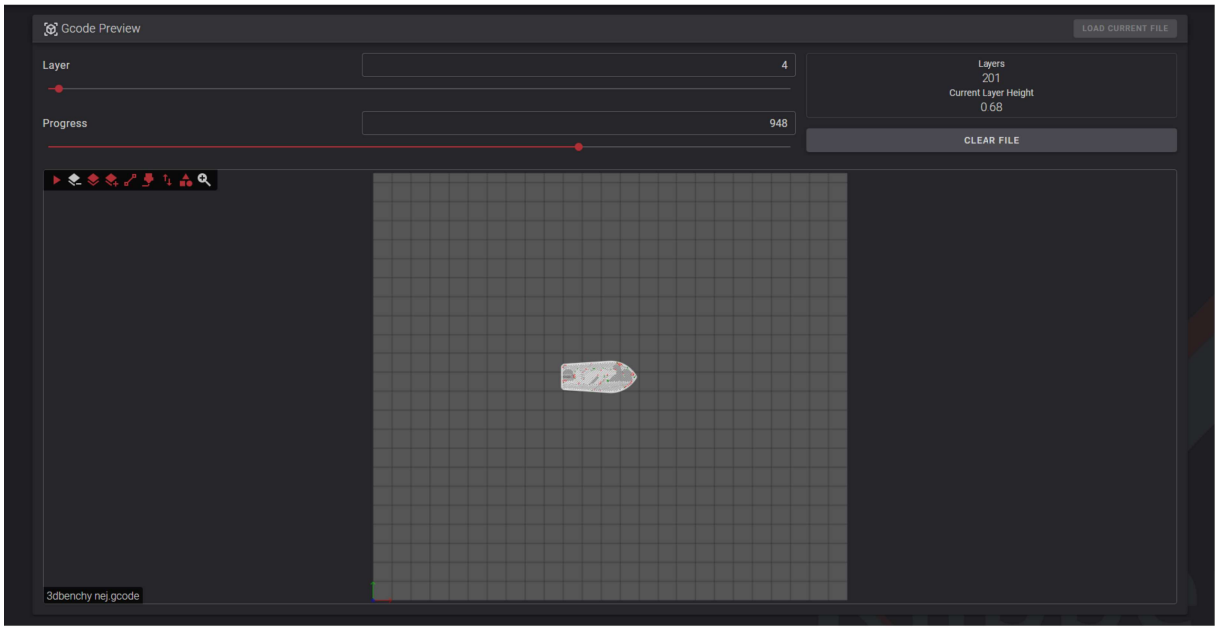
3.3.5 Klipper

Klipper je pokročilý firmware vytvořený v Pythonu, běžící na RaspBerry Pi 3B+, které následně přes UART komunikuje se základní deskou, ke které jsou připojeny ostatní periferie. Firmware disponuje pokročilými fukcemi jako Input shaping, Pressure advance, Z tilt a další. Tyto jsou podrobně vysvětleny v odstavcích 2.3.6–2.3.10.

Pro snadnou správu je k dispozici několik stylů webových rozhraní. Ty umožňují ovládání tiskárny pomocí běžného webového prohlížeče. Rozhraní je zobrazeno na obrazcích 16 a 17.



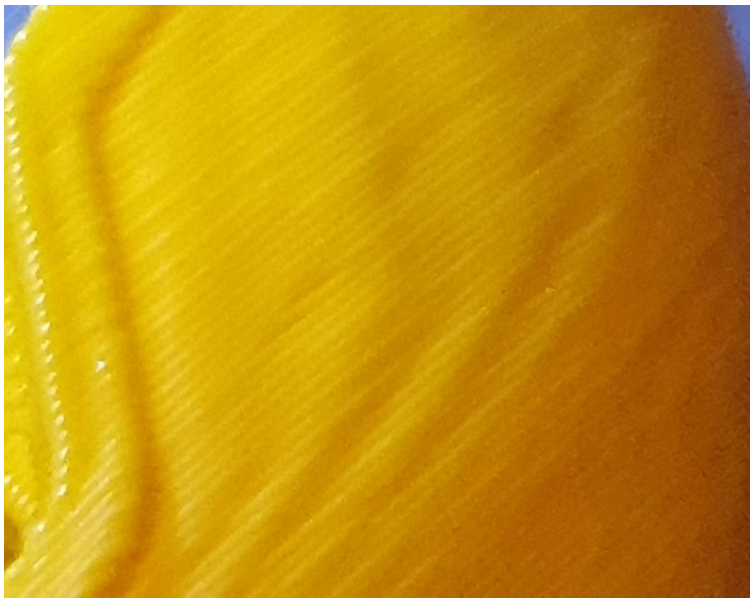
Obrázek 16: hlavní stránka klippru



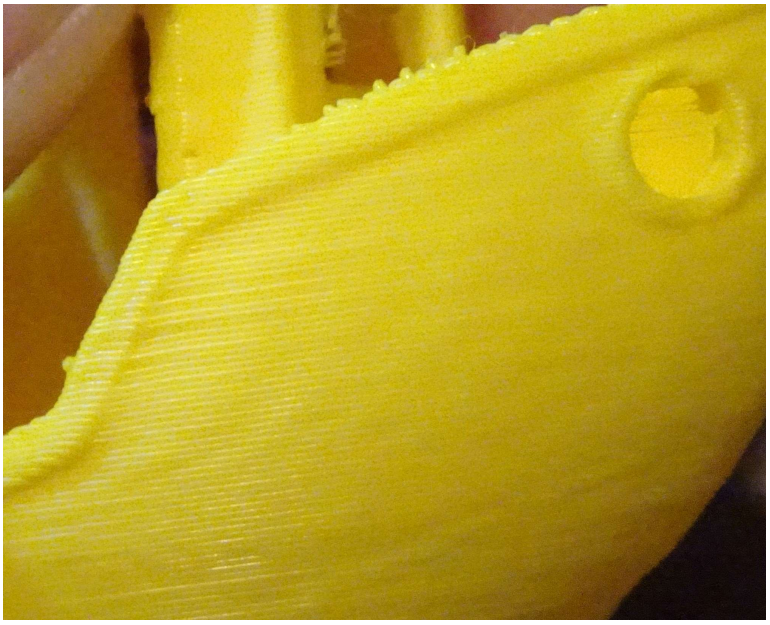
Obrázek 17: přehled tisknoucího gcode

3.3.6 Input Shaping

Tato funkce se snaží potlačit takzvaný ghosting (zobrazený na obrázku 18 a 19 již potlačený), který vzniká u vysokorychlostního tisku, při kterém začíná rezonovat rám. Vibrace rámu se následně promítají na výtisku opakováním hran. Tato funkce vkládá opačnou frekvenci vibrací pomocí krokových motorů, čímž se snaží eliminovat vibrace podobně jako např. noise cancelling potlačující u sluchátek okolní hluk. Pro zjištění přesné frekvence vibrací se využívá zabudovaný akcelerometr v tiskové hlavě. Ten si při prvním zapnutí změří frekvence pro aktuálně nastavenou hodnotu akcelerace.



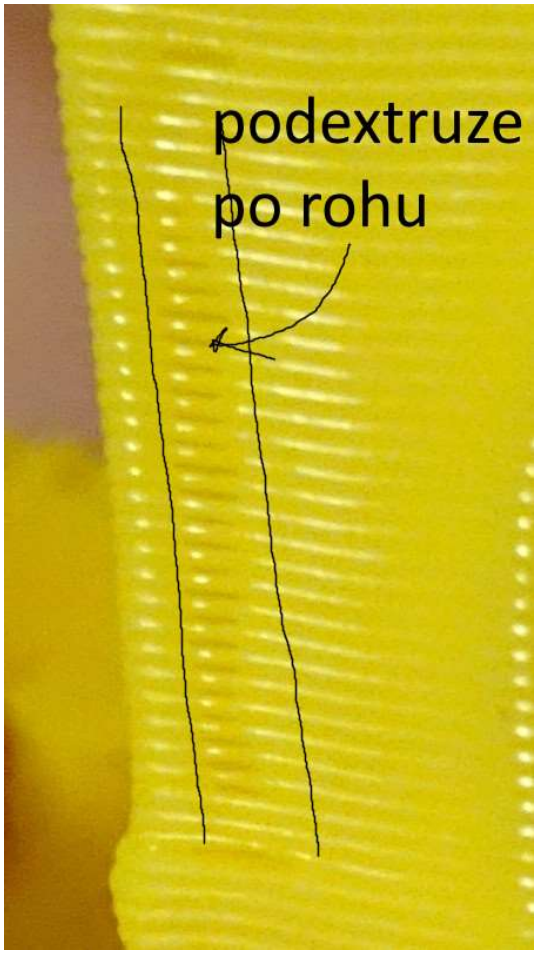
Obrázek 18: vypnutý inpu shaping čas tisku 22 min



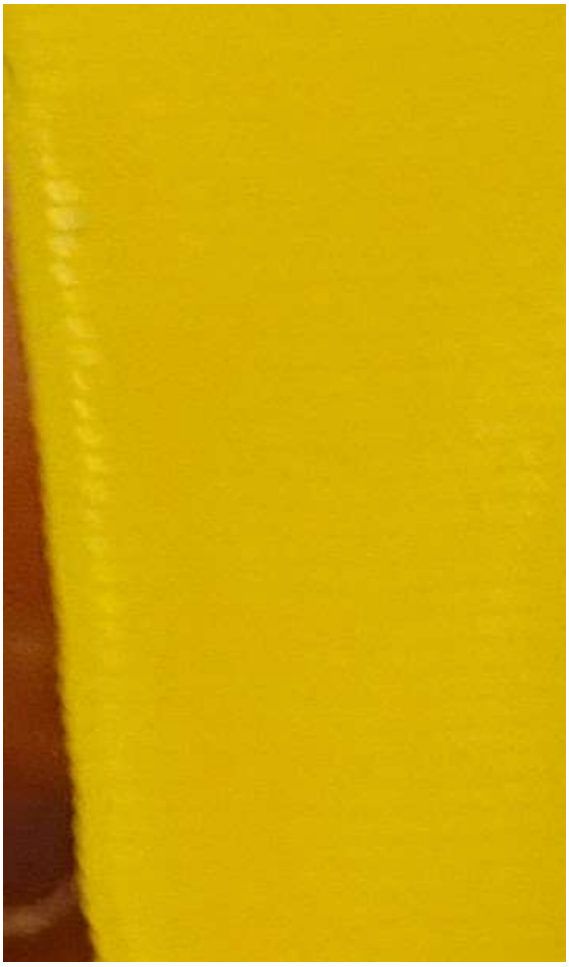
Obrázek 19: zapnutý input shaping čas tisku 15 min 16 s

3.3.7 Pressure advance

Tato funkce upravuje dávkování filamentu v rozích výtisku, aby nedocházelo k podextrudovaní či přeextrudovaní v rozích nebo ve výjezdech z rohů (zobrazené na obrázku 21). Tato funkce je ovlivněná K faktorem, který je nutné změřit pomocí testovacích tisků. Bohužel tato hodnota se mění podle rychlosti tisku a různých teplot či odlišných filamentů. Proto je dobré si tento K faktor ověřit pro nová nastavení či filamenty. Na obrázku 20 je K faktor již správně nastaven.



Obrázek 20: špatně nastavený K faktor

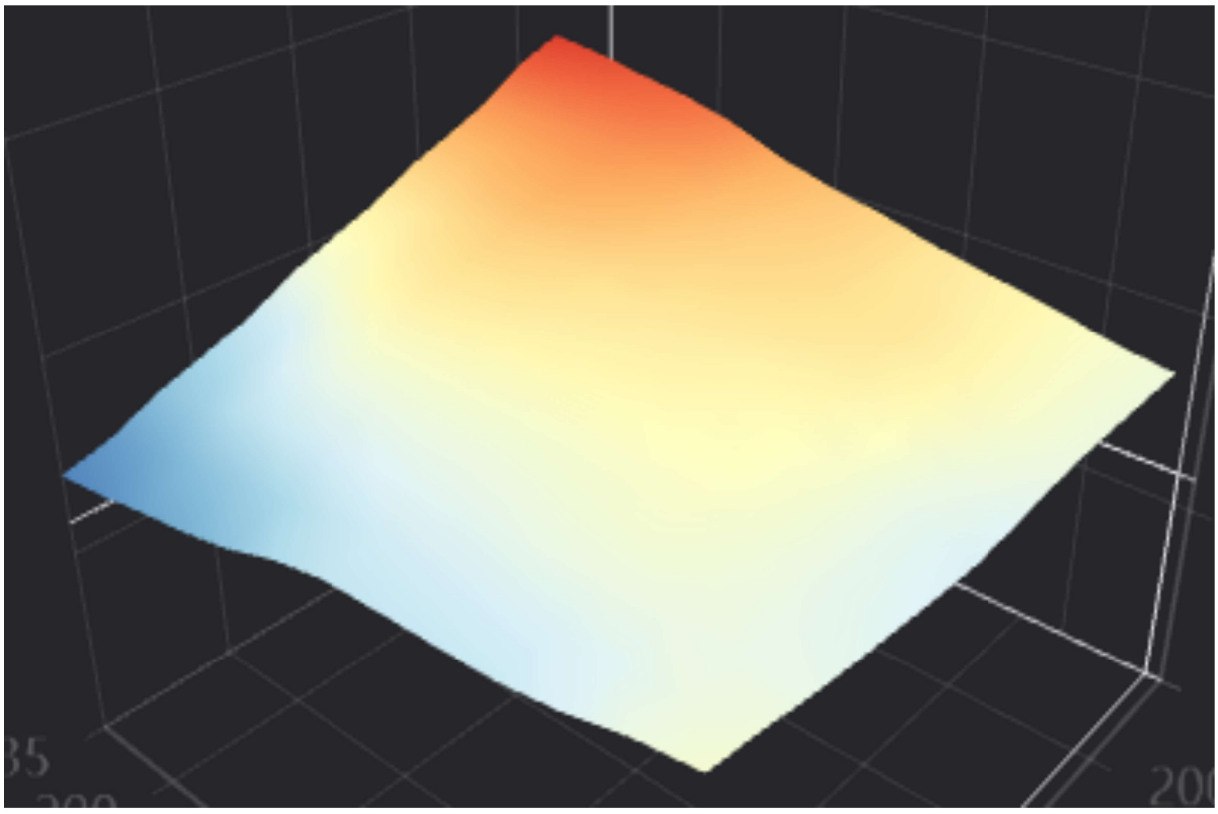

Obrázek 21: správně nastavený K faktor

3.3.8 Z tilt

Tato funkce řeší dorovnání podložky na rovinu XY. Funkce má definované body uchycení podložky v prostoru k pojezdům všech tří pojezdů osy Z. Dále jsou definované souřadnice měřících bodů; v nich se změří odchylka a dle ní se případně posunou jednotlivé osy. Tento proces se opakuje do té doby, dokud není splněná tolerance 0,0025 mm od roviny os XY.

3.3.9 Bed leveling

Tato technologie přizpůsobuje první vrstvu výtisku podle rovinatosti podložky. Ta je změřena na mapě 5 x 5 bodů při prvním spuštění tiskárny pomocí senzoru BL-touch. Klipper z těchto hodnot následně vygeneruje zakřivenou plochu (zobrazena na obrázku 22), kterou promítne do prvních vrstev výtisku. Proto je první vrstva při dané teplotě dokonalá. Důležité je podotknout, že pokud se změní teplota podložky, je nutné naměřit hodnoty znovu, protože je možné, že se podložka rozepne.



Obrázek 22: zobrazení křivosti tiskové podložky

3.3.10 Užitečné funkce

Rušení objektů

Pomocí této funkce je možné zrušit tisk jednoho či více objektů, které se během tisku pokazily (odlepení od podložky, apod.). Nevzniká riziko, že vadný objekt poruší ostatní neporušené objekty aktuálního tisku. Zároveň se tím samozřejmě šetří tiskový materiál.

Tisk ze sliceru

Klipper je pomocí TCP/IP možno propojit přímo se slicerem a z něj posílat gcode přímo do tiskárny bez nutnosti přenášet jej na SD kartu nebo jiná média.

4 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo navrhnout, zkonstruovat a odladit vysokorychlostní 3D tiskárnu, použitelnou jak v domácím prostředí, tak v průmyslovém nasazení. Práce se soustředila na rešerši existujících řešení a praktické využití jejich maximálního potenciálu. Tyto cíle práce byly dosaženy.

Byla navržena, zkonstruována a v praktickém provozu otestována nová 3D tiskárna, schopná tisknout rychleji a kvalitněji než většina komerčních strojů. Srovnání s komerčně dostupnými tiskárnami, kdy moje tiskárna je označena jako Mk1 viz tabulka 4.

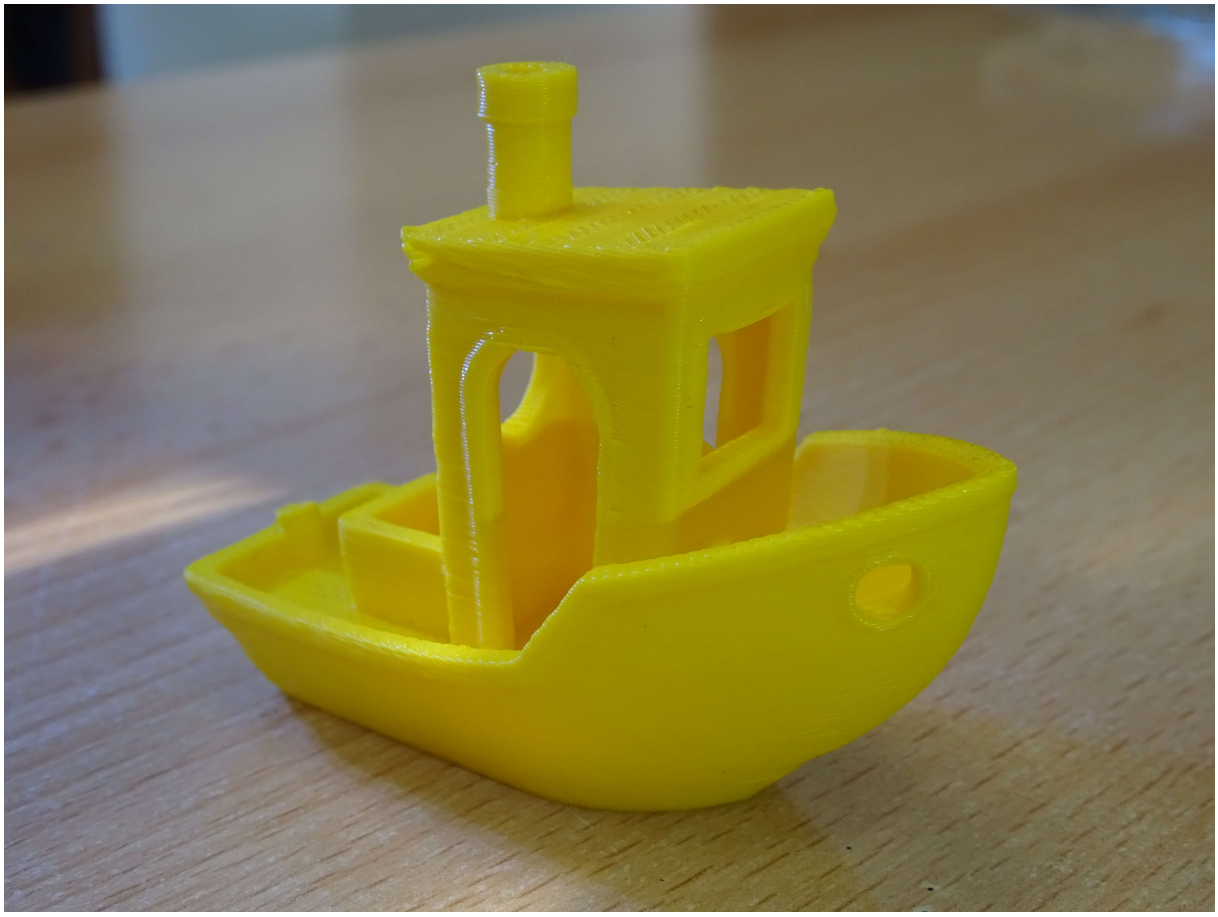
Tabulka 4: výsledný přehled rychlostí tiskáren

Tiskárna	MAX rychlost	MAX akcelerace	Čas Benchy
Ender 5 plus	300 mm/s	500 mm/s^2	67 min
Prusa i3 Mk3s	200 mm/s	1 000 mm/s^2	81 min
Prusa i3 Mk4	600 mm/s	10 000 mm/s^2	19 min 11 s
Bambulab	600 mm/s	20 000 mm/s^2	12 min 38 s
Mk1	500 mm/s	15 000 mm/s^2	14 min 22 s

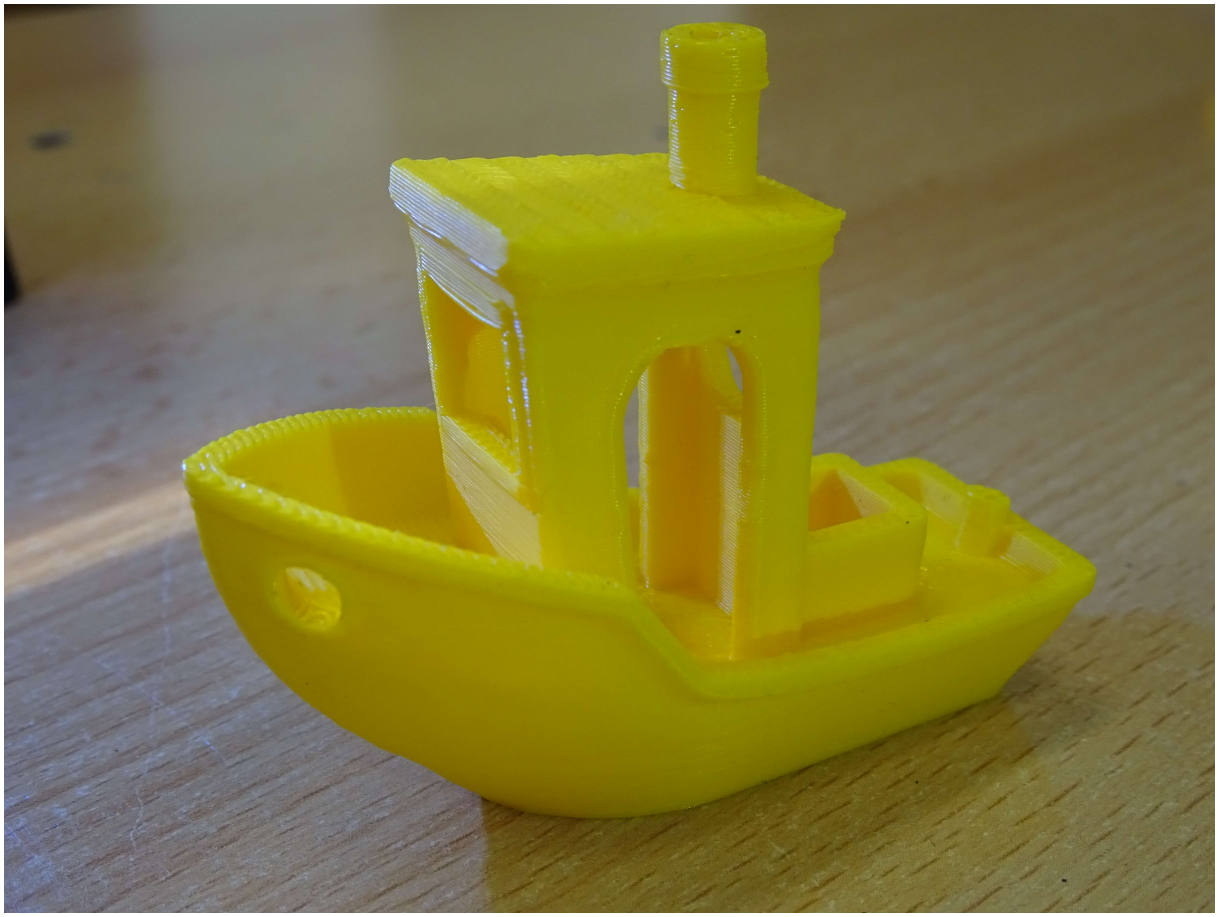
Práce na tomto projektu mi rozšířila schopnosti v práci s CAD softwarem SOLIDWORKS a poskytla mi zkušenosti a hlubší vhled do problematikou vysokorychlostního 3D tisku, zejména v oblasti řídicího systému Klipper. Dalším benefitem jsou zkušenosti sparcí na odborné činnosti.

Dale bych chtěl celou tiskárnu zakrytovat pro možnost tisku z náročných materiálů. Další věcí je vývoj multimateriálové jednotky.

Na obrázcích 23 – 26 jsou snimky 3D benchy vytištěné za pouhých 15 min 19 s. Obrázky 27 – 33 jsou snímky samotné tiskárny.



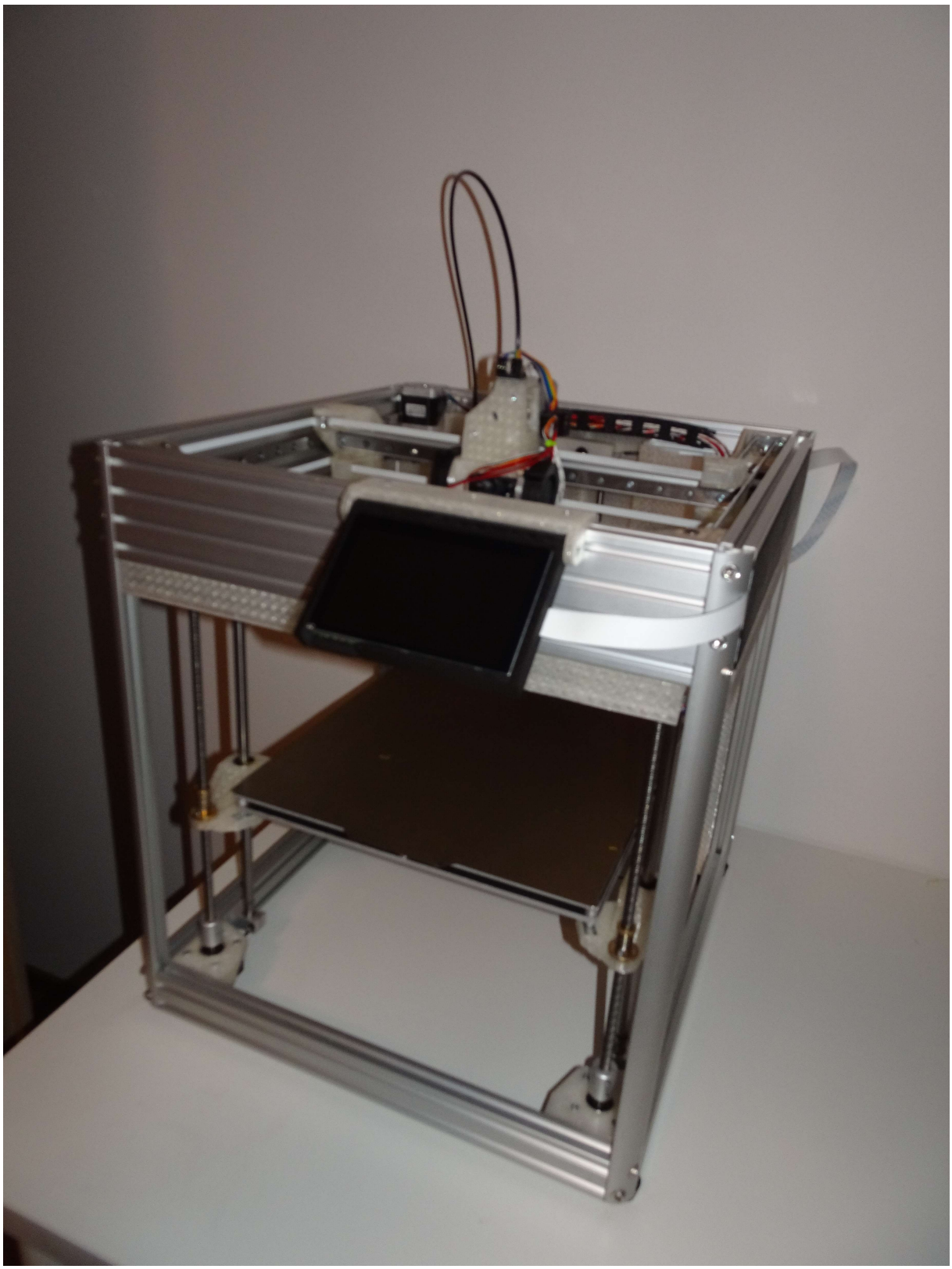
Obrázek 23: 3D benchy 15 min 16 s pohled 1



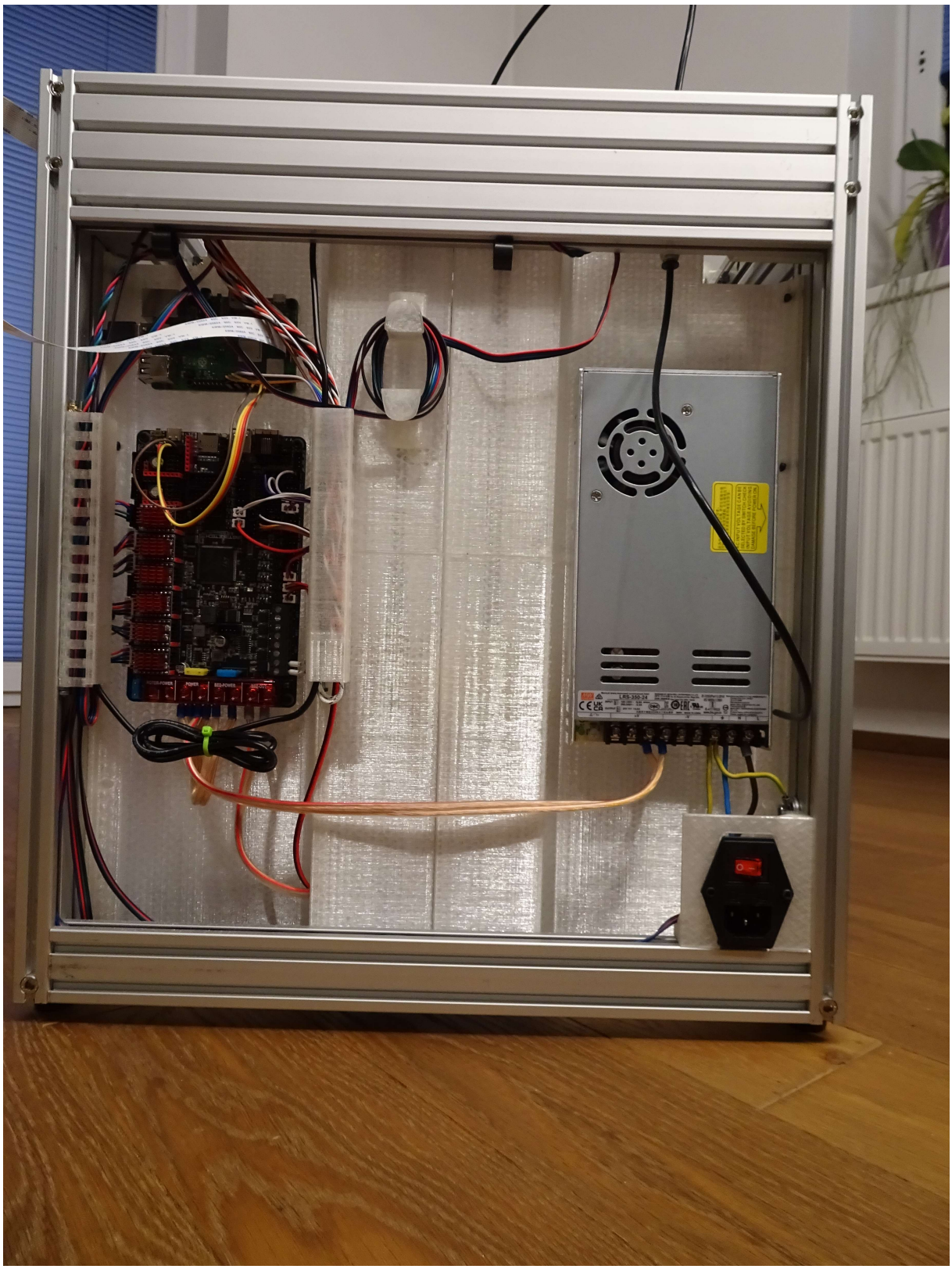
Obrázek 24: 3D benchy 15 min 16 s pohled 2

Obrázek 25: 3D benchy 15 min 16 s pohled 3

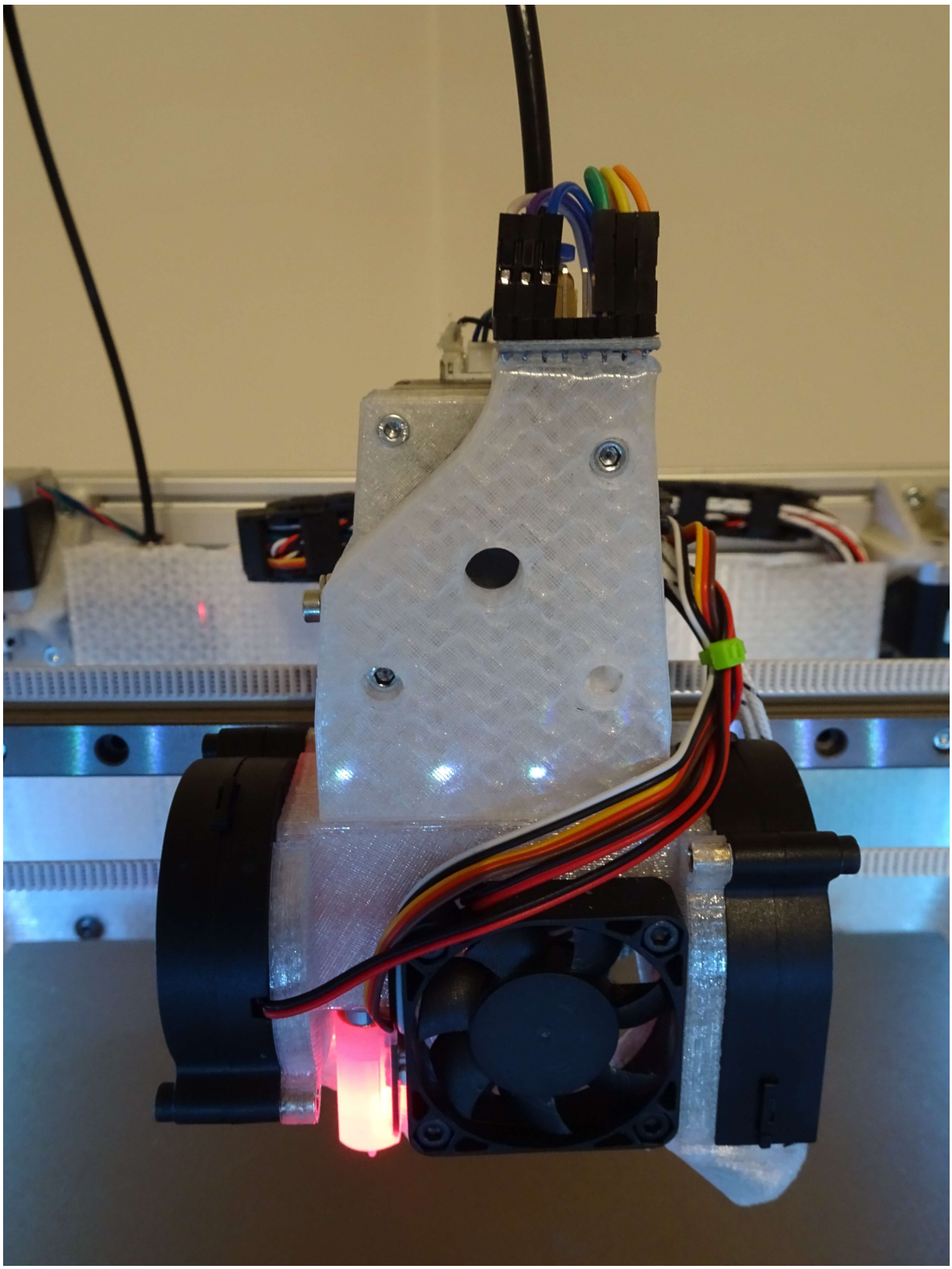
Obrázek 26: 3D benchy 15 min 16 s pohled 4



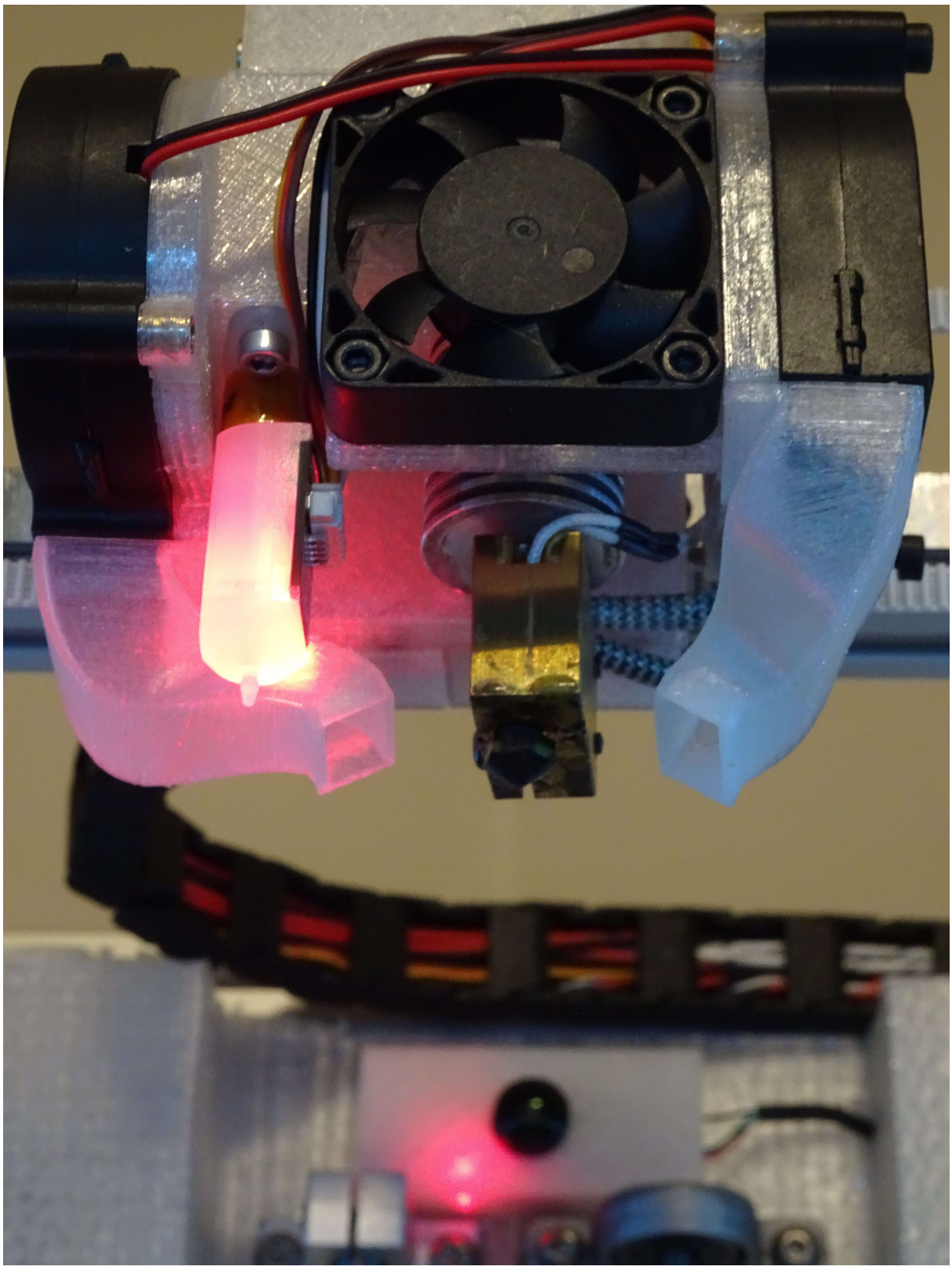
Obrázek 27: výsledná tiskárna



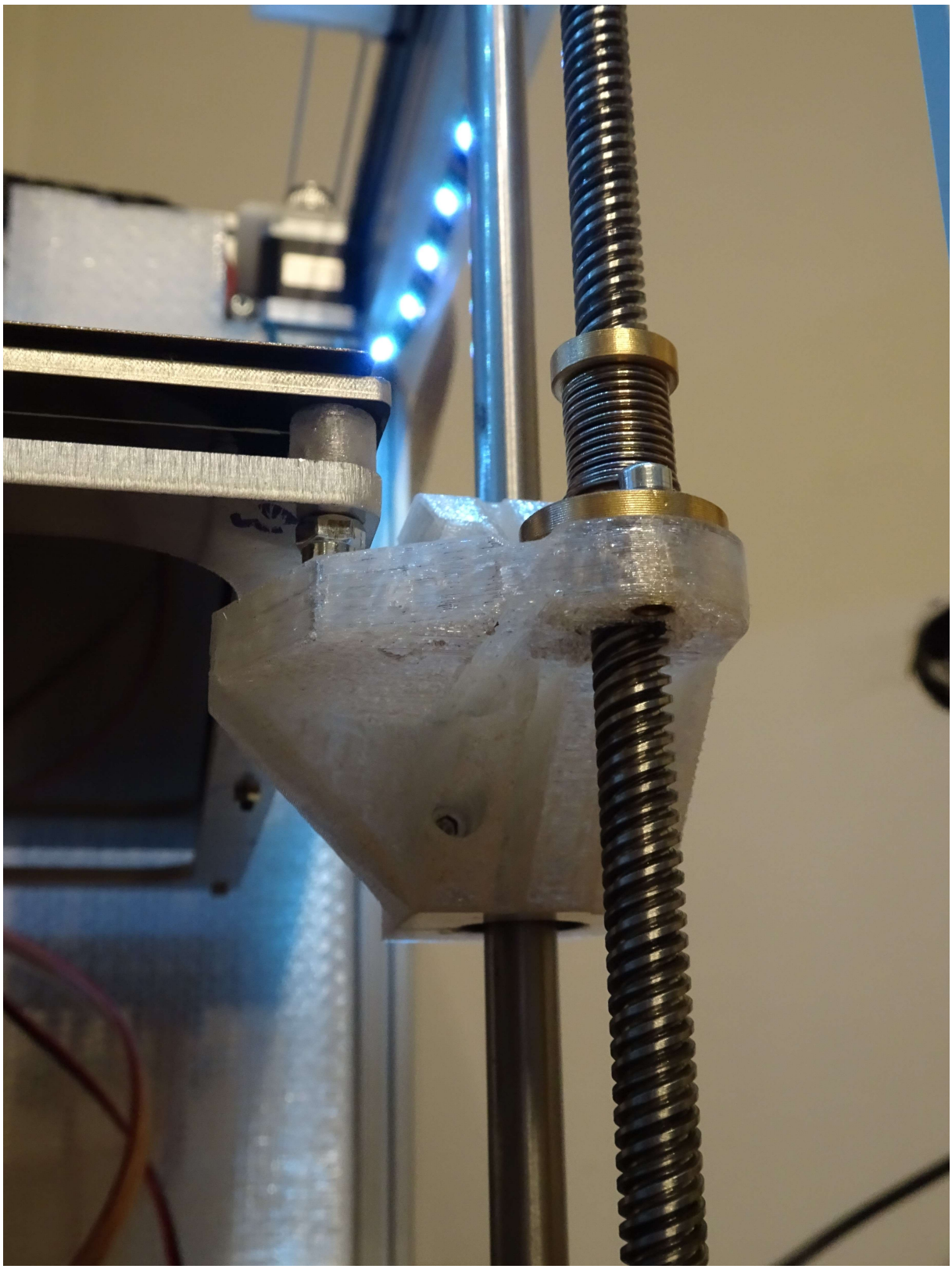
Obrázek 28: Zapojení elektroniky



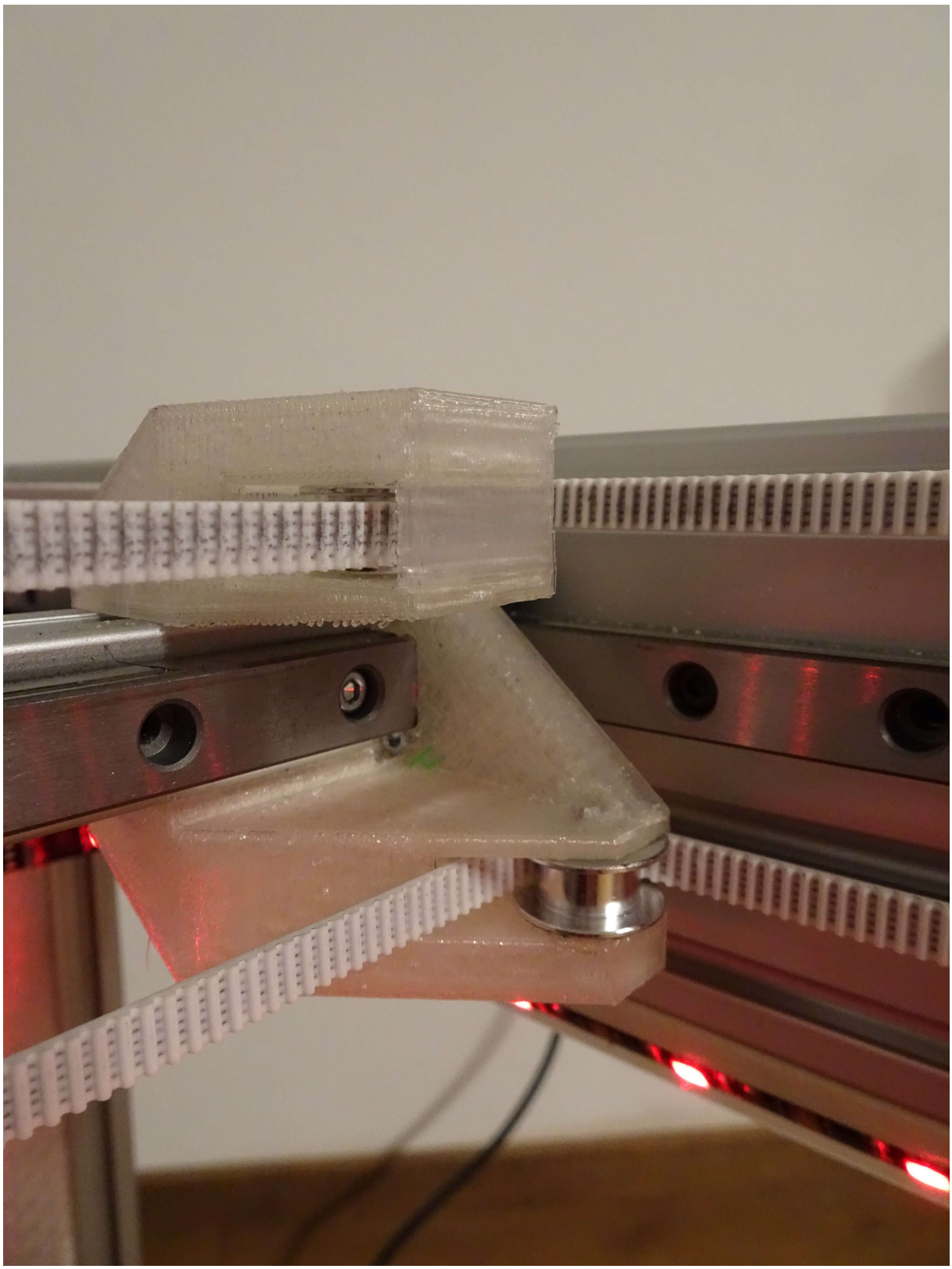
Obrázek 29: extruder



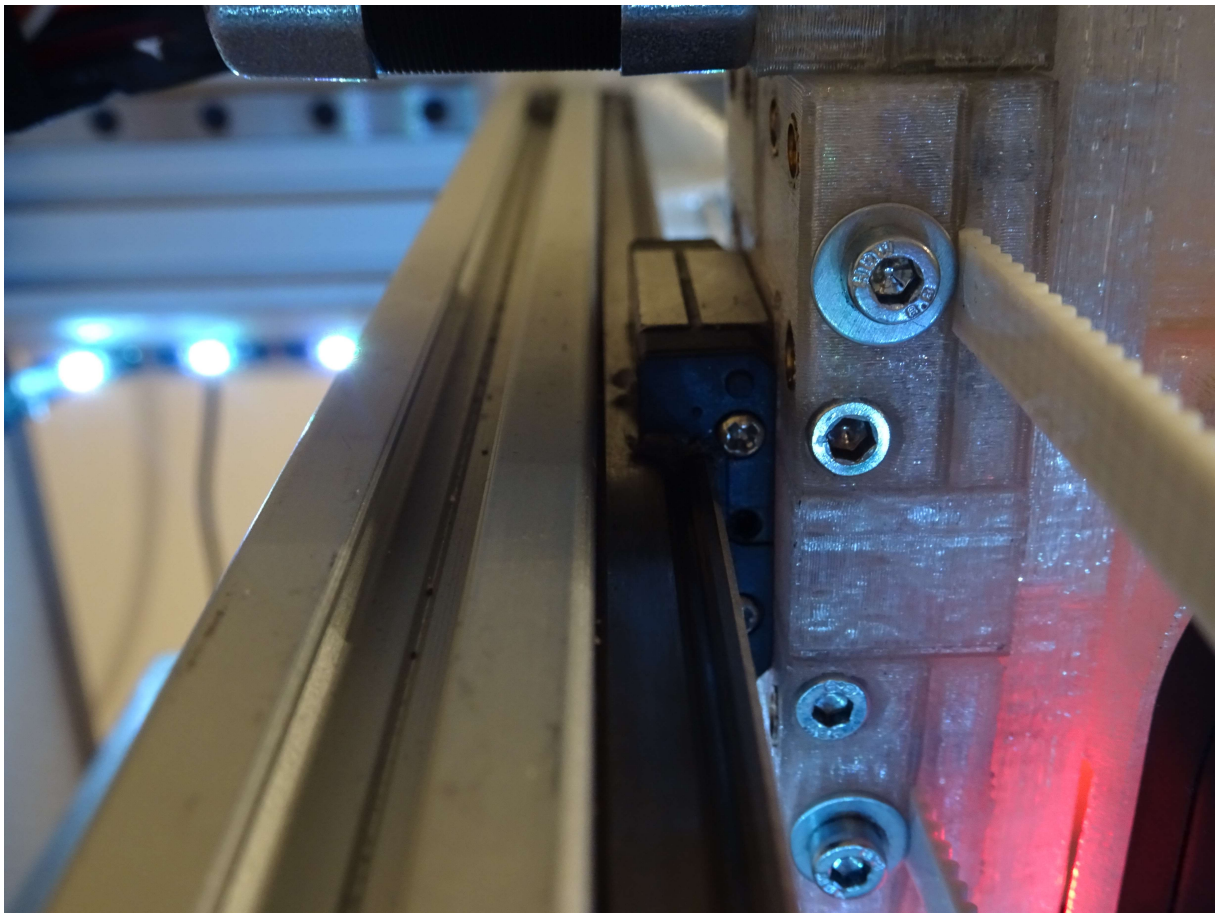
Obrázek 30: vývod svodů chladících ventilátorů



Obrázek 31: ukotvení podložky na vozík osy Z



Obrázek 32: vozík osy Y s kladkami řemenového systému



Obrázek 33: vozík prizmatického vedení osy X

5 POUŽITÁ LITERATURA

[1] *Domovská stránka řídícího systému Klipper* [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: https://www.klipper3d.org/

6 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: logo programu SOLIDWORKS....7

Obrázek 2: krokový motor nema17 48 mm....8

Obrázek 3: radiální ventilátor 5015....8

Obrázek 4: správné uložení matice....9

Obrázek 5: špatné uložení matice....9

Obrázek 6: neosazený rám....11

Obrázek 7: vedení cartesian....12

Obrázek 8: vedení CoreXY....13

Obrázek 9: popis hotendu E3D V6 Volcano....13

Obrázek 10: extruder....14

Obrázek 11: řez planetovou převodovkou....15

Obrázek 12: uložení podložky na pojezdech osy Z....16

Obrázek 13: driver BTT TMC 5160T pro....18

Obrázek 14: snímek z kamery....19

Obrázek 15: popis senzoru filamentu....19

Obrázek 16: hlavní stránka klippru....20

Obrázek 17: přehled tisknoucího gcode....20

Obrázek 18: vypnutý inpu shaping čas tisku 22 min....21

Obrázek 19: zapnutý input shaping čas tisku 15 min 16 s....21

Obrázek 20: špatně nastavený K faktor....22

Obrázek 21: správně nastavený K faktor....22

Obrázek 22: zobrazení křivosti tiskové podložky.....23

Obrázek 23: 3D benchy 15 min 16 s pohled 1.....26

Obrázek 24: 3D benchy 15 min 16 s pohled 2.....26

Obrázek 25: 3D benchy 15 min 16 s pohled 3.....27

Obrázek 26: 3D benchy 15 min 16 s pohled 4.....27

Obrázek 27: výsledná tiskárna.....28

Obrázek 28: Zapojení elektroniky.....29

Obrázek 29: extruder.....30

Obrázek 30: vývod svodů chladících ventilátorů.....31

Obrázek 31: ukotvení podložky na vozík osy Z.....32

Obrázek 32: vozík osy Y s kladkami řemenového systému.....33

Obrázek 33: vozík prizmatického vedení osy X.....34

Tabulka 1: přehled rychlostí tiskáren.....6

Tabulka 2: hardwarové vlastnosti tiskárny.....10

Tabulka 3: shrnutí elektroniky a funkcí.....17

Tabulka 4: výsledný přehled rychlostí tiskáren.....24