STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ
KOMENSKÉHO 44, 040 01 KOŠICE

3D TLAČIAREŇ S MOŽNOSŤOU OVLÁDANIA CEZ WIFI

PAVOL KLACIK

2022

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ
KOMENSKÉHO 44, 040 01 KOŠICE

3D TLAČIAREŇ S MOŽNOSŤOU OVLÁDANIA CEZ WIFI

Záverečná práca

Praktická časť odbornej zložky maturitnej skúšky
Forma: Obhajoba vlastného projektu

2022
Košice

Riešiteľ:
Pavol KLACIK

Ročník štúdia: štvrtý

Konzultant:
Ing. Lukáš Kollár

Obsah

0 Úvod **1**

1 Problematika a prehľad literatúry **2**

1.1 Prehľad existujúcich riešení 2

1.2 Použité technológie 3

1.2.1 FDM 3D Tlačenie 3

1.2.2 Arduino Mega 2560 + ESP8266 3

1.2.3 Ramps 1.6 4

1.2.4 28BYJ-48 4

1.2.5 DRV8825 5

1.2.6 Hot-end 5

1.2.7 M8 hobbed bolt a extrúder 6

1.2.8 Firmvér Marlin 7

1.2.9 Firmvér ESP3D 7

1.3 Finančná analýza 8

2 Výsledky práce **10**

2.1 Nákup súčiastok 10

2.2 Konštrukcia základne 11

2.3 Úprava elektronických komponentov 12

2.4 Konštrukcia extrúdera 13

2.5 Pripojenie komponentov na Ramps 14

2.6 Tlačová podložka 14

2.7 Firmvér Marlin 15

2.8 Prostredie Pronterface a prvé výtlačky 15

2.9 Firmvér ESP3D 17

3 Závery a zhrnutie **18**

4 Resumé **19**

5 Zoznam použitej literatúry **20**

6 Prílohy **21**

Prílohy A – Fotografie 3D tlačiarne 21

Príloha A.1 – Hotová 3D Tlačiareň 21

Príloha A.2 – Súčiastky tlačiarne v sliceri 22

Príloha A.3 – Tlač súčiastok na školskej tlačiarni 22

Príloha A.4 – Konštrukcia základňe tlačiarne 23

Príloha A.5 – Externé spínače na arduine 23

Príloha A.6 – Detail externých spínačov 24

Príloha A.7 – Test prevysov (hore) a retrakcie náplne (dole) 24

0 Úvod

Cieľom našej práce bolo vlastnoručné zostrojenie jednoduchej 3D tlačiarne pomocou voľne dostupných materiálov a súčiastok. Túto prácu sme si vybrali preto, že sa nám páčilo technické zhotovenie tlačiarne, ktoré navrhol a jej originálny autor. Tlačiareň bola navrhnutá tak, aby sa väčšina jej konštrukcie dala vytlačiť na inej 3D tlačiarni s pomerne malým pôdorysom. To znamená, že by sa táto tlačiareň teoreticky vedela sama replikovať.

Ďalšou výhodou tejto tlačiarne je jej pomerne nízka cena, na ktorej sa podieľajú najmä lacné krokové motory 28BYJ-48, ktoré by inak boli značnou položkou na zozname súčiastok. Okrem toho sme ušetrili aj na vyššie spomínaných tlačených súčiastkach, ktoré sme si mohli vytlačiť na školskej tlačiarni vo vysokej kvalite a bez poplatkov. Za túto možnosť by sme chceli poďakovať hlavne pani učiteľke Ing. Jaroslave Richterovej, ktorá nám školskú tlačiareň sprístupnila.

Našim hlavným cieľom bolo získanie technických zručností z oblastí elektrotechniky, mechatroniky a 3D tlačenia. Pri jej zostrojovaní sme museli čeliť mnohým výzvam, ktoré nás stáli veľa času a úsilia, ale dali nám veľa skúseností do budúcnosti. Pre takúto tlačiareň vieme po jej zhotovení nájsť uplatnenie pri iných projektoch alebo pre osobné potreby.

Táto tlačiareň však nie je ideálna, na čom sa podieľajú najmä už spomínané krokové motory, ktoré nie sú pre tento účel stavané. Tieto motory pri behu tlačiarne vydávajú nepríjemný hluk, nehovoriac o ich malom výkone, čo znamená, že sa hýbu asi 10 krát pomalšie, ako pri ostatných komerčných 3D tlačiarňach.

Túto tlačiareň navrhol v roku 2015 Martin “thorgal” Hrib na fóre RepRap [1]. Pomocou nej chcel najmä vyskúšať uplatnenie vyššie spomínaných krokových motorov v oblasti 3D tlačenia. Jeho návrhom sme sa pri konštrukcii tlačiarne inšpirovali, ale urobili sme zopár zmien, ako napríklad pridanie modulu ESP8266 pre ovládanie na diaľku, alebo odnímateľná tlačová podložka pre lepšiu údržbu tlačiarne.

Aj napriek tomu, že sme nemuseli tlačiareň navrhovať úplne od základu, to nebola ľahká úloha. Pri zhotovovaní tlačiarne sme narazili na veľa problémov, ktoré boli zapríčinené buď našou vlastnou nepozornosťou, alebo zlou dokumentáciou rôznych komponentov a technológií na internete. Každý takýto problém nás stál veľa času a námahy, ale pri každom sme sa naučili niečo nové o tom, ako takáto tlačiareň funguje.

1 Problematika a prehľad literatúry

1.1 Prehľad existujúcich riešení

Ako sme už spomínali v úvode, pri projekte sme sa inšpirovali návrhom Martina Hriba na fóre RepRap [1]. Jeho tlačiareň ToyRep (Toy Replicator) využíva pre extrúder, ako aj pohyb vo všetkých osiach krokové motory 28BYJ-48. Osi X a Y sa pohybujú po vodiacich tyčiach pomocou lineárnych ložísk a ozubených remeňov. Os Z sa pohybuje priamo pomocou páru týchto motorov, metrických (M5) závitových tyčí a matíc. Základom celej tlačiarne je 75 wattový zdroj, ktorý je dostupný na internete ako 12V napájanie pre LEDky, ale pri tomto projekte ho autor využil ako napájanie celej tlačiarne.

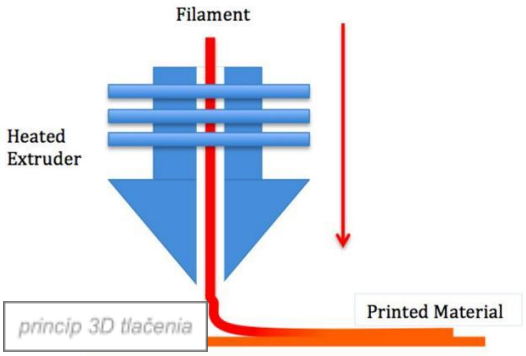
Pre ovládanie tlačiarne využil autor Arduino Mega 2560 so shieldom Ramps 1.4. Pre naše účely sme tento shield zmenili na Ramps 1.6 [2], ktorý je funkčne identický s 1.4, ale navyše má pridané pasívne chladenie (heatsink) pre MOSFETy, ako aj lepšie riešené konektory pre vstupné napätie a vyhrievanú podložku. Taktiež sme namiesto obyčajného Arduina Mega použili model so zabudovaným ESP8266 modulom, ktorý nám umožnil pripojiť našu tlačiareň na internet a bezdrôtovo s ňou komunikovať bez akýchkoľvek káblov alebo súčiastok navyše.

Ako posledné by som chcel spomenúť hot-end, pre ktorý si originálny autor zvolil model E3D v5, ale my sme si vybrali verziu v6, pretože nám bola dostupnejšia. Najväčším rozdielom medzi týmito dvoma hot-endami je ich dĺžka. V6 je asi o 5mm kratší ako v5, kvôli čomu sme museli mierne modifikovať jednu časť extrúdera. Okrem týchto zmien sme sa snažili držať originálneho návrhu, aby nevznikli žiadne nevyžiadané problémy pri konštrukcii.

1.2 Použité technológie

1.2.1 FDM 3D Tlačenie

FDM, alebo Fused Deposition Modelling je v dnešnej dobe asi najrozšírenejší spôsob 3D tlačenia. Tento spôsob tlače využívame aj my a funguje na princípe postupného vrstvenia roztaveného materiálu na seba do požadovaných tvarov. Tieto vrstvy následne chladnú, spájajú sa dokopy a postupne vytvárajú 3D objekt.

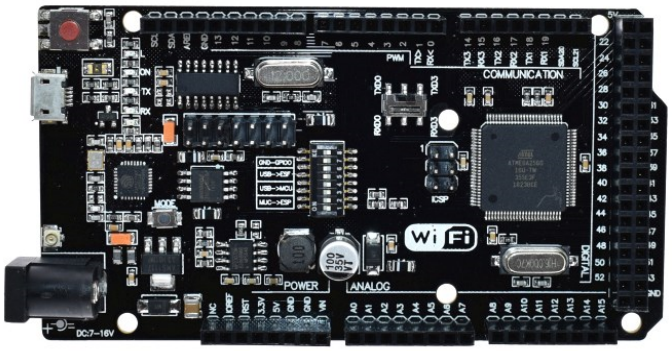


princip 3D tlačenia

Pri FDM tlačení sa dá použiť veľa rôznych materiálov, ale najčastejšie sa používajú rôzne druhy plastov ako napríklad PLA, ABS, PET, alebo nylon. Pri našom projekte používame ako náplň do tlačiarne PLA, pretože sa topí pri nižšej teplote ako ABS, čo znamená, že môžme mať v tlačiarni použité komponenty vytlačené na inej tlačiarni z ABS bez toho, aby sme sa museli báť, že sa teplom znehodnotia.

1.2.2 Arduino Mega 2560 + ESP8266

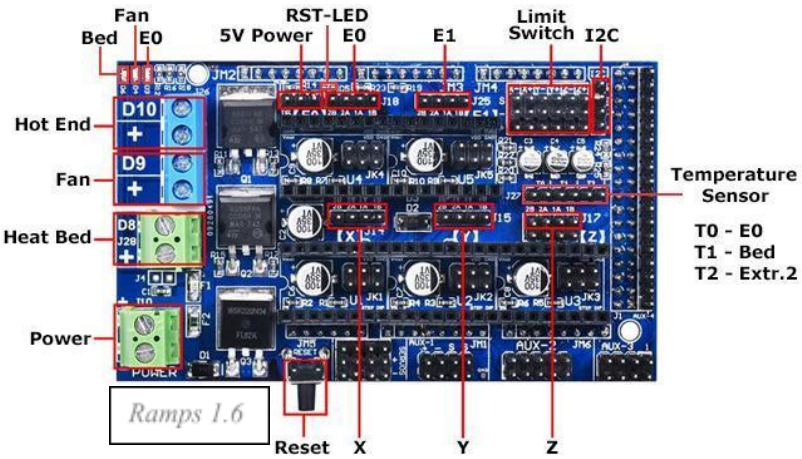
Arduino Mega je open-source vývojová doska od talianskej firmy Arduino. V našom prípade je využitá ako riadiaca jednotka celej tlačiarne, ktorej z počítača odošleme inštrukcie v tvare súboru G-code a ona ich premieňa na teplotu hot-endu a pohyby motorov v rôznych osiach. V našom prípade sme si zvolili čínsku kópiu, ktorá ma na tej istej doske aj mikročip ESP8266, ktorý je s arduinom priamo spojený pomocou pinov pre sériovú komunikáciu. To nám dovoľuje pripojiť sa na wifi sieť, ktorú naša tlačiareň vytvorí a následne do arduina posielať G-code bez toho, aby sme s ňou museli byť spojení pomocou USB kábla.



Mega 2560 + ESP8266

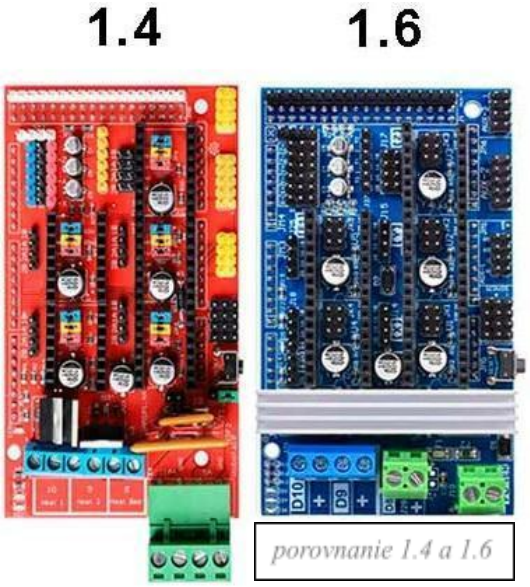
1.2.3 Ramps 1.6

Ramps je prídavný modul pre arduino, po anglicky “shield”. Tento shield nám dovoľuje pomocou výstupných pinov na arduine ovládať motory, výhrevné telesá, ventilátory a všetky ostatné komponenty tlačiarne, ktoré napájame pomocou 12V, a nie priamo z arduina. Tento shield taktiež dokáže posielať informácie z tlačiarne do vstupných pinov arduina aby sme vedeli tlačiareň monitorovať. To znamená, že tento shield je akési médium medzi 5V logikou arduina a 12V napájaním tlačiarne.



Ramps 1.6

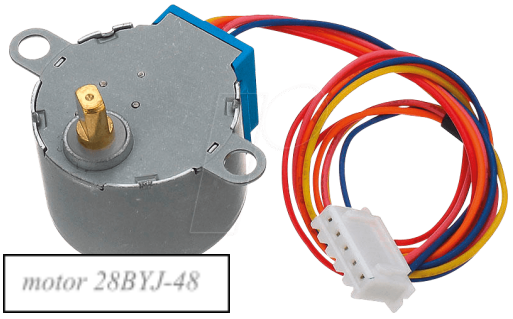
V autorovom originálnom návrhu bol použitý Ramps 1.4, ale my sme sa rozhodli pre novšiu verziu 1.6 [2], ktorá sa správa identicky, ale má lepšie umiestnené vstupné MOSFETy aj s pasívnym chladením pomocou heatsinku. Okrem toho má aj upravené konektory na vstupe, ktoré sa pri modeli 1.4 zvykli prehrievať, čo spôsobovalo zbytočné straty energie a mohlo to poškodiť celú tlačiareň.



porovnanie 1.4 a 1.6

1.2.4 28BYJ-48

28BYJ-48 je lacný krokový motor. Pre naše účely sme si zvolili 12v verziu, ale existuje aj 5v prevedenie. Od základu sú tieto motory unipolárne, ale pre použitie v kombinácii so shieldom Ramps sme ich museli modifikovať na bipolárne. To sme docielili tak, že sme spoločný bod dvoch cievok odpojili a cievky napájame osobitne.

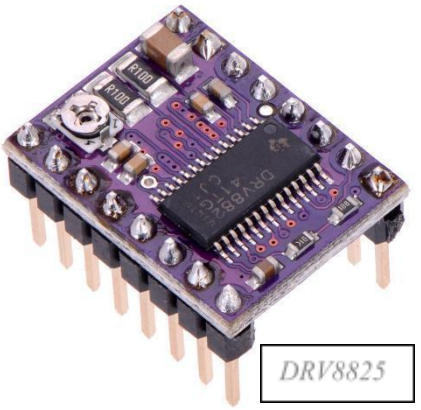

motor 28BYJ-48

motor Nema 17

Tieto motory sa dajú použiť pre ovládanie 3D tlačiarne, ako to aj náš projekt dokazuje, ale nie je to odporúčané, pretože sú pomalé, nepresné, majú slabý výkon a prehrievajú sa. Motory 28BYJ-48 sú určené hlavne pre menšie prototypy a projekty, kde nám až tak nezáleží na rýchlosti alebo presnosti. Odráža sa na tom aj ich cena, kým ostatné krokové motory, ktoré sa väčšinou využívajú pri tlačiarňach sa zvyknú pohybovať v rozmedzí 10-20€ [3], tieto motory sme kupovali len za asi 1,50€ za kus .

1.2.5 DRV8825

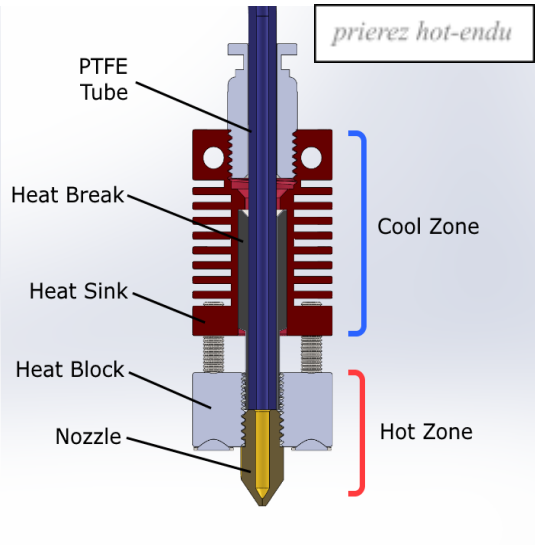
DRV8825 je ovládač pre krokové motory, ktorý sa pripája na shield Ramps. Hlavnou úlohou tohto ovládača je riadiť prúd, ktorý motorom preteká, ako aj ovládať jeho rýchlosť a smer. To docieli pomocou dvoch vstupných pinov. Ak dostane ovládač signál do STEP pinu, pohne krokovým motorom o jeden krok dopredu alebo dozadu podľa toho, aký signál prečíta z DIR pinu [4].


DRV8825

1.2.6 Hot-end

V našom projekte sme použili hot-end E3D v6. Hot-end tlačiarne je časť, ktorá zohrieva plastovú náplň v hlavici na správnu teplotu. To znamená, že premieňa náplň (filament) na roztavený plast, ktorý následne pomocou extrúdera vytláčame cez hlavicu von z tlačiarne a vrstvíme ho na seba, aby nám vznikol hotový plastový produkt. Hot-end sa skladá z dvoch hlavných častí: z chladiča a výhrevného bloku.

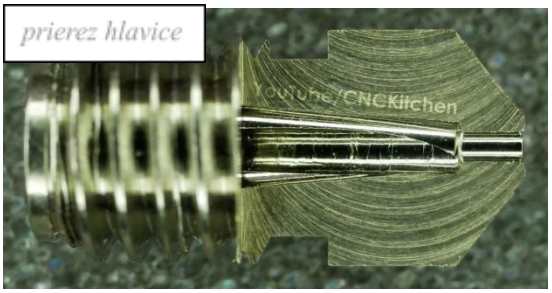
Výhrevný blok má v sebe topné teliesko, ktoré premieňa prúd zo zdroja na teplo, ktorým následne taví náplň. V tomto bloku je taktiež zasunutý termistor, ktorý slúži ako teplotný senzor.



prierez hot-endu

Chladič je vrúbkovaná kovová časť hot-endu chladená ventilátorom a slúži pre plynulý prechod teploty náplne a zároveň zabraňuje tomu, aby sa plast predčasne nahrial. Počas chodu tlačiarne je studený plast tlačený extrúderom do hot-endu a ak by sa predčasne nahrial, mohlo by to znamenať, že sa tlačiareň upchá.

Cez chladič a výhrevný blok ide otvor, cez ktorý je plast pretláčaný do hlavice. Tento otvor má väčšinou veľkosť 1,75mm alebo 3mm (podľa priemeru náplne) a postupne sa zmenšuje až na veľkosť otvoru na konci hlavice, ktorý nám určuje šírku vrstvy, ktorou tlačíme. Veľkosť hlavice priamo ovplyvňuje kvalitu a čas tlačenia. V našom prípade sme si vybrali veľkosť náplne 3mm, pretože sme rátali s tým, že motory sú menej výkonné a chceli sme zaistiť, aby sa pri väčších rýchlostiach tlačenia stíhali otáčať. Nerátali sme však s tým, že pri menšom odbere náplne nám bude treba väčší tlak v hlavici, čo aj tak limituje rýchlosť, akou vieme náplň posúvať.



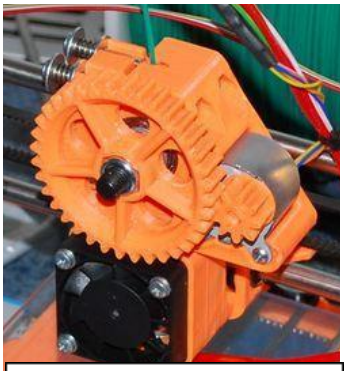
prierez hlavice

1.2.7 M8 hobbed bolt a extrúder

M8 hobbed bolt je skrutka s priemerom 8mm, ktorá má v sebe v strede zárezy, ktoré sa zarežú do mäkkého plastu náplne a keď sa skrutka otáča, tak náplň posúva ďalej do hot-endu, ktorý ju následne roztaví. Pohybom tejto skrutky vieme regulovať tlak plastu v hot-ende, ako aj to, či chceme plast z konca vytláčať, alebo ho vtiahnuť späť do hot-endu.

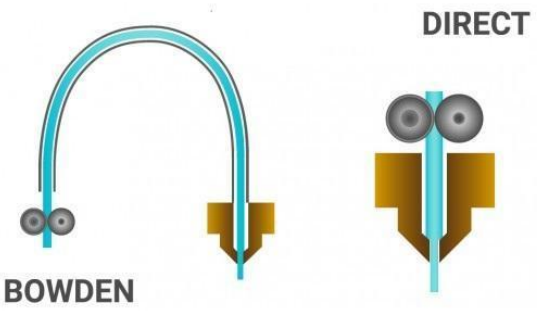
M8 hobbed bolt

Touto skrutkou pohybujeme pomocou veľkého ozubeného kolesa, ktoré je spojené s pastorkom na krokovom motore. Takýto prevod nám vie zaručiť väčšiu rýchlosť tlačenia, ale prichádzame pri nej o silu motora.


priamy extrúder tlačiarne

Takáto forma extrúdera sa volá priama, pretože je extrúder umiestnený priamo na tlačiacej hlavici. Druhou formou by bol bowdenový extrúder, ktorý je umiestnený mimo hlavice a náplň posúva do hot-endu cez tenkú plastovú hadičku, ktorá sa nazýva bowden. Obe spôsoby majú svoje výhody a nevýhody [5].

Hlavnou výhodou priameho extrúdera je, že je spoľahlivejší. Keďže náplň tlačíme priamo do hot-endu, znamená to, že materiál menej pruží a stačí nám na to menej výkonný motor. Jednou jeho nevýhodou je, že musíme mať celú konštrukciu extrúdera upevnenú na pohyblivej osi, čo znamená, že s osou nevieme vyvíjať príliš veľké rýchlosti, pretože má veľkú zotrvačnosť.



priamy a bowdenový extrúder

Bowdenový extrúder práve v tomto vyniká. Keďže je konštrukcia upevnená mimo hot-endu, tak je značne odľahčený a vieme sa bezpečne pohybovať väčšími rýchlosťami. Nevýhodou ale je, že náplň musí v hadičke cestovať väčšiu vzdialenosť. To môže spôsobovať problémy napríklad pri pružných, alebo abrazívnych materiáloch.

1.2.8 Firmvér Marlin

Marlin je v dnešnej dobe asi najpoužívanejší firmvér pre ovládanie komerčných 3D tlačiarní. Tento firmvér interpretuje G-code príkazy, ktoré tlačiarni pošleme z počítača a premieňa ich na hodnoty pre pohyby motorov a teploty výhrevných teliesok.

V našom prípade sme ho pomocou softvéru Arduino IDE nahrali do Arduina Mega, ktoré od nás dostáva príkazy cez USB kábel, alebo cez ESP8266 pomocou firmvéru ESP3D. V oboch prípadoch dostane firmvér príkazy G-code cez sériové rozhranie arduina a následne ich spracuje a odošle Ramps shieldu, ktorý ovláda jednotlivé komponenty tlačiarne.

Firmvér sa skladá z viacerých súborov, v ktorých sa dajú meniť rôzne nastavenia a parametre tlačiarne. Hlavnými sú asi Configuration.h a Configuration_adv.h. Tieto súbory obsahujú väčšinu premenných, ktoré si program za behu načítava. Úpravou týchto premenných vieme nakonfigurovať firmvér pre naše potreby, alebo zabezpečiť rýchlejšiu a efektívnejšiu tlač.

1.2.9 Firmvér ESP3D

ESP3D je firmvér pre mikročipy ESP (ESP32, ESP8266...), ktorý slúži na pridanie vzdialeného ovládacieho prvku ku 3D tlačiarňam. Tento firmvér dokáže buď vytvoriť vlastný prístupový bod, alebo sa pripojiť na už existujúcu sieť a následne vytvoriť webstránku s používateľským rozhraním, pomocou ktorého vieme ovládať a monitorovať tlačiareň. Stačí nám na to správne nakonfigurovať jeho nastavenia a ESP spojiť so sériovým rozhraním Arduina alebo iného zariadenia, ktoré riadi tlačiareň.

V našom prípade ho máme nahraté v čipe ESP8266. Nahrali sme ho tam podobne ako Marlin, cez softvér Arduino IDE. Tento mikročip máme umiestnený na tej istej doske ako Arduino a zároveň majú spojené sériové piny, takže nepotrebujeme zapájať nič navyše.

1.3 Finančná analýza

Ako môžete v tabuľke vidieť, väčšinu vecí sa nám podarilo nakúpiť pomerne lacno. Najdrahšou položkou na celom zozname sú vodiace oceľové tyče, ktoré sme nakupovali na Slovensku a zaplatili sme za nich 9€ za meter. Závitové tyče, skrutky, matice a podložky sme kúpili lokálne v železiarstve.

Všetky ostatné komponenty sme buď mali doma po ruke, alebo sme ich objednali z Čínskeho e-shopu Aliexpress. Súčiastky objednávané z Číny sú neporovnateľne lacnejšie ako tie lokálne, ale musíte niekedy čakať až zopár mesiacov, kým vám ich dovezú. Práve preto bolo potrebné všetko objednávať v dostatočnom predstihu.

Autor v roku 2015 vypočítal náklady na 103€ [6] vrátane 3D tlačených súčiastok, káblov, sťahovacích pások a iných vecí, ktoré som v nižšie uvedenom rozpočte z rôznych dôvodov neuvádzal. Nám sa tento rozpočet podarilo aj bez vyššie spomínaných komponentov prekročiť, čo môže byť spôsobené hlavne infláciou a 20 percentnou daňou [7], ktorú v roku 2021 zaviedla Európska Únia na všetky výrobky importované z Číny.

Tento rozpočet však nie je úplne kompletný, pretože sme pri niektorých položkách vypočítavali cenu za kus pri kúpe viacerých kusov, ako bolo pre projekt nutné. Buď preto, že sme chceli mať rezervu pre prípad, že by sa niečo pokazilo, alebo sa dali súčiastky objednať len v minimálnom množstve, ktoré prevyšovalo naše potreby.

Položka	Počet	Cena za ks (€)	Cena spolu (€)
Arduino Mega 2560	1	10,15	10,15
Ramps 1.6	1	5,41	5,41
28BYJ-48	5	1,55	7,75
DRV8825	5	1,60	8,00
E3D v6 clone	1	4,91	4,91
75w LED PSU	1	15,23	15,23
250V 3A spínač	1	1,50	1,50
Koncový spínač	3	0,17	0,51
4010 ventilátor	1	3,50	3,50
GT2 remeň (m)	2	0,75	1,50
LM8UU ložisko	11	0,50	5,50
608ZZ ložisko	3	0,24	0,72
624ZZ ložisko	2	0,21	0,42
M8 hobbed skrutka	1	1,40	1,40
Ø7/5x15mm pružina	6	0,10	0,61
Ø8mm vodiaca tyč (m)	2	9,00	18,00
M8 závitová tyč (m)	2	0,99	1,98
M5 závitová tyč (m)	1	0,99	0,99
M3 závitová tyč (m)	1	0,99	0,99
Sklenená podložka	1	4,00	4,00
Skrutky, matice a podložky	-	11,32	11,32
			104.38€

2 Výsledky práce

2.1 Nákup súčiastok

Prvým krokom pri tomto projekte bolo spísanie všetkých súčiastok na jeden zoznam kvôli prehľadnosti. Potom sme čo najskôr objednali súčiastky z Číny, pretože dodacia doba môže byť až zopár mesiacov.

Súčiastky z Číny

Za tento čas sme si pripravili zvyšné súčasti tlačiarne. Ako ďalší krok po objednaní súčiastok sme požiadali pani učiteľku Jaroslavu Richterovú, aby nám sprístupnila tlačiareň a najbližšie dva týždne sme si postupne tlačili konštrukčné súčiastky našej tlačiarne.

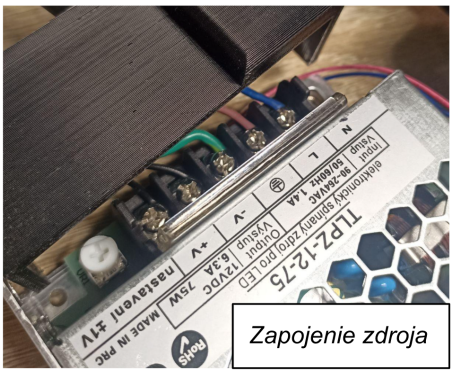
Počas toho, ako sme tlačili súčiastky, sme prešli miestne železiarstva a zohnali všetky potrebné skrutky, matice, podložky a závitové tyče. Taktiež sme si v elektre kúpili spínač na zdroj jednosmerného napätia, ktorý nám slúži na zapínanie a vypínanie tlačiarne. Ako jeden z posledných krokov sme na internete našli napájací zdroj, ktorého rozmery nám sedeli s návrhom tlačiarne.

Vytlačené súčiastky

Ako posledné sme zakúpili 8mm oceľové vodiace tyče, ktoré sme na stolovej píle spolu so závitovými tyčami narezali na ich presné rozmery. Tieto vodiace tyče sú vyrobené z tvrdenej ocele, aby odolávali mechanickému poškodeniu, čo ale znamenalo, že odolávali aj našej píle.

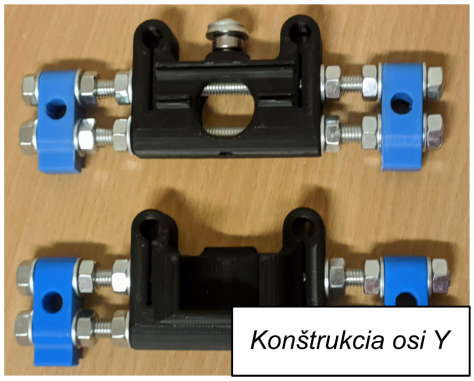
2.2 Konštrukcia základne

Po tom, čo sme väčšinu súčiastok mali nakúpených, sme mohli začať so samotnou konštrukciou tlačiarne. Úplne prvým krokom, ako aj jedným z najdôležitejších bolo pripojenie jednosmerného zdroja na zástrčku pomocou vyššie spomínaného dvojfázového spínača. Zo zdroja sme následne vyviedli 12V výstup, ktorý nám slúži na napájanie tlačiarne.



Zapojenie zdroja

Celú túto spleť káblov sme opatrne vložili do 3D tlačeného krytu, ktorý sme následne pevne priskrutkovali na zdroj. Ďalej sme na túto konštrukciu pripevnili 3 závitové tyče M8, ktoré nám spolu so zdrojom poslúžia ako základ tlačiarne. Aj kvôli tomuto bolo dôležité sa uistiť, že je zdroj správne zapojený, pretože sa nám k nemu týmto krokom zamedzí prístup.


Konštrukcia osi Y

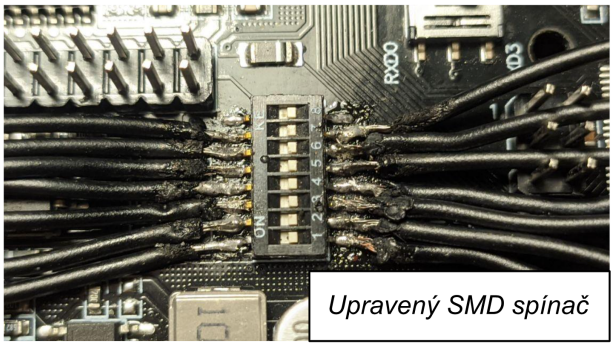
Na tieto tyče sme následne nasunuli a upevnili držiaky pre motory v osi Z a do nich sme vsunuli vodiace tyče pre túto os. Na pravú stranu sme ešte upevnili krátky kus závitovej tyče M3, ktorá nám bude slúžiť pre nastavenie nulovej polohy na osi Z. Pri tomto kroku ešte nemusia byť matice silno dotiahnuté, pretože sa nimi ešte budú nastavovať určité vzdialenosti.

Ako ďalšie sme namontovali držiak pre os Y, ktorý sa skladá z ďalších dvoch závitových tyčí a troch 3D tlačených súčiastok. Podobnú konštrukciu sme zopakovali na druhej strane tlačiarne, s tým rozdielom, že na tejto strane je upevnené len ložisko pre remeň a nie motor.

Konštrukcia tlačovej podložky

Následne sme si pripravili časť, na ktorú sa neskôr pripevní tlačová podložka. Táto časť sa skladá z troch osobitných tlačených súčiastok pevne zoskrutkovaných dokopy. Na tieto súčiastky sme následne upevnili štyri lineárne ložiská pomocou sťahovacích pások. Cez tieto ložiská sme prestrčili dve vodiace tyče, ktoré sme zasunuli do oboch strán osi Y. Ešte predtým sme však odmerali správnu dĺžku ozubeného remeňa a umiestnili sme obidva jeho konce do pripravených slučiek na tejto konštrukcii.

2.3 Úprava elektronických komponentov

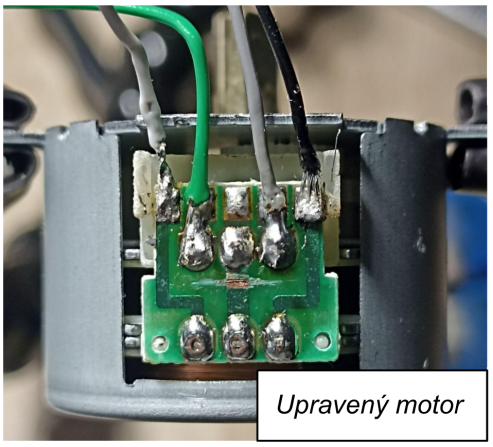


Upravený SMD spínač

Následne sme si museli pripraviť arduino so shieldom Ramps. Pred tým než sme ho vložili do tlačiarne, bolo potrebné ho trochu upraviť. Na našej doske sa nachádza aj Arduino Mega, aj ESP8266, na prepínanie rôznych režimov týchto dvoch mikročipov sa na doske nachádza aj 7 SMD spínačov, ku ktorým by sme ale po upevnení arduina na konštrukciu nemali prístup. Preto sme museli od kontaktov spínačov vyviesť 14 káblov mimo arduina, na ktoré sme následne v tom správnom poradí napájkovali 7 väčších spínačov. Pri tomto kroku bolo najmä potrebné dbať na poradie káblov, a aj na to, aby sme nepoškodili plôšky pôvodných spínačov.

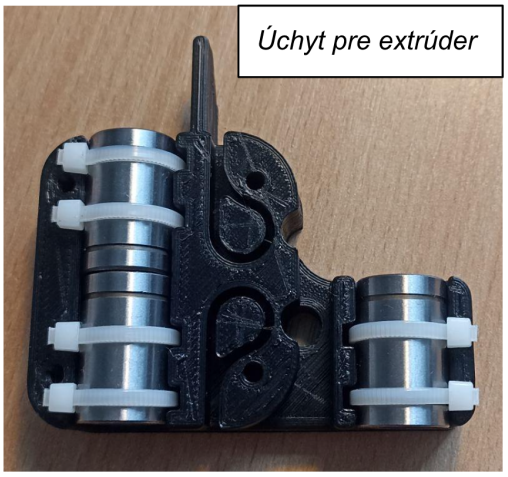
Na toto arduino sme teraz mohli zasunúť shield Ramps, čím sme zakryli pôvodný spínač. Arduino so shieldom sme následne vložili medzi zdroj a zadnú stranu konštrukcie tlačiarne a na vstupné svorky na shielde sme pripojili 12V zo zdroja. Potom sme ho pomocou štyroch matíc upevnili na mieste, aby sa pri pripájaní a odpájaní káblov niečo nepohlo a nepoškodilo.

Ako ďalší krok sme si pripravili krokové motory, ktoré bolo potrebné prerobiť z unipolárnych na bipolárne. Dokopy nám takto trebalo prerobiť päť motorov. Najprv sme z motorov odstránili kryt, pod ktorým je plošný spoj s kontaktami cievok. Na tomto plošnom spoji sme rezákom prerušili cestu ku strednému kontaktu, od ktorého sme aj odpojili kábel. Zvyšné 4 káble sme odstrihli v správnej dĺžke, aby nám neprečnievali, na ich konce sme nakrimpovali dupont konektory a v správnom poradí sme ich zasunuli do plastovej koncovky konektora.


Upravený motor

Tri z týchto motorov sme pripevnili na osi Y a Z a konektory sme pripojili ich miesta na shielde Ramps. Na tomto shielde sa nachádza päť konektorov pre krokové motory, ako aj päť zodpovedajúcich miest pre pripojenie ovládačov pre tieto motory. Pod každým ovládačom sa nachádzajú tri páry pinov, pomocou ktorých sme si vybrali počet microstepov motora. Následne sme zapojili krokové ovládače, pri čom sme museli dávať pozor na ich orientáciu. Riadili sme sa pri tom pinmi GND a DIR, ktoré boli vyznačené aj na shielde, aj na ovládači.

2.4 Konštrukcia extrúdera

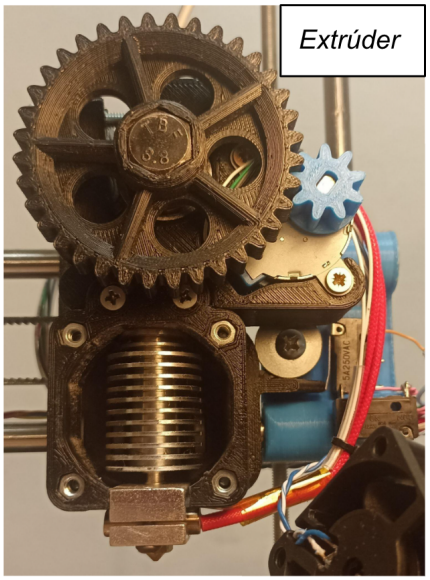

Úchyt pre extrúder

Ako ďalšie sme si pripravili konštrukciu pre os X, ktorá sa skladala z troch tlačených súčiastok, dvoch vodiacich tyčí a 7 lineárnych ložísk (4 pre pohyb po osi Z a 3 pre pohyb po osi X). Tieto ložiská sú opäť pripevnené sťahovacími páskami a nasunuté na zodpovedajúce vodiace tyče. Na túto os sme opäť potrebovali odmerať a upevniť správnu dĺžku ozubeného remeňa. Ten je napnutý medzi ozubeným kolieskom na motore a ložiskom na opačnej strane.

Ako ďalší krok sme do tejto konštrukcie sekundovým lepidlom opatrne prilepili na obe strany maticu M5, ktorá nám dovolí konštrukciou pohybovať po osi Z. Pre tento pohyb nám slúžia dve motory, ktoré sme si pripojili v predchádzajúcom kroku. Na tieto motory nasunieme pomocou 3D vytlačených držiakov závitové tyče, ktoré sa budú otáčať spolu s motormi a zaskrutkujeme ich do vyššie spomínaných matíc.

Tieto závitové tyče, ako aj obidve zvislé vodiace tyče sme následne upevnili na vrchu tlačiarne do vytlačených držiakov, cez ktoré ide závitová tyč M8 s maticami, ktoré držia tyče pevne pokope. Závitové tyče sú upevnené v ložiskách, aby sa mohli voľne otáčať.

Po tomto kroku sme začali s konštrukciou extrúdera. Ten sa skladá z krokového motora upevneného na 3D vytlačenej konštrukcii, ktorý pomocou ozubeného kolieska otáča vrúbkovanou skrutkou upevnenou v ložiskách. Táto skrutka nám pohybuje náplňou a posúva ju do hot-endu.

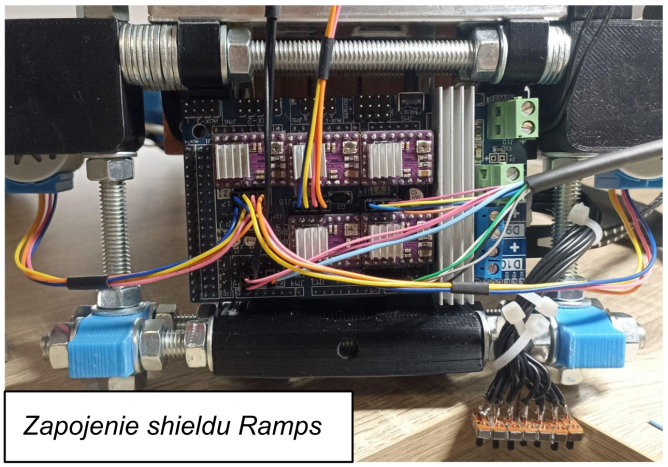

Extrúder

Hot-end je pripevnený na spodnej časti tejto konštrukcie. Jeho chladič je upevnený tak, aby pred ním mohol byť umiestnený 40mm DC ventilátor a okolo neho mohol prúdiť vzduch. Keďže sme kúpili kratší rozmer hot-endu, tak sme museli trochu improvizovať a z tejto konštrukcie kúsok odrezať, aby sa do nej vošiel.

2.5 Pripojenie komponentov na Ramps

Po tomto kroku sme na všetky tri osi umiestnili koncové spínače, ktoré nám budú udávať počiatočnú (nulovú) polohu osí. Zo spínačov na osiach X a Z, ako aj z hot-endu a z krokových motorov na osi X a na extrúderi sme potiahli káble ku shieldu Ramps, kde sme na nich nakrimpovali konektory a zapojili ich na potrebné miesta.

Väčšinu týchto káblov máme potiahnutých v jednom 18-žilovom vodiči, čo síce pôsobí esteticky príjemne, ale má to vedľajší účinok, že sa na vodičoch koncových spínačov indukuje napätie z vodičov motorov, čo má za následok občasné chyby pri tlači. Tieto chyby sa snažíme potláčať softvérovo (premennou vo firmvéri) ako aj hardvérovo (kondenzátorom pripojeným na spínač), ale stále nám občas spôsobujú problémy.



Zapojenie shieldu Ramps

2.6 Tlačová podložka

Po tomto kroku nám z hardvérového hľadiska ostáva len jeden krok, pripevniť tlačovú podložku na os Y. To sme docielili pomocou štyroch skrutiek, ktoré nám držia na vytlačenej konštrukcii štvorec vyrezaný z plávajúcej podlahy. Medzi touto doskou a plastovou konštrukciou sú na skrutkách nasunuté pružiny, ktoré ich od seba odtláčajú. Doťahovaním a uvoľňovaním týchto skrutiek vieme vyrovnať podložku voči hot-endu, aby sme mali čo najpresnejšie výtlačky.

Na túto dosku sme po jej vyrovnaní upevnili pomocou štyroch štipcov na dokumenty sklenenú podložku, na ktorú budeme tlačiť. Túto podložku sme zohnali u miestnych sklenárov, ktorí nám ju profesionálne narezali na správne rozmery a obrúsili jej ostré hrany.

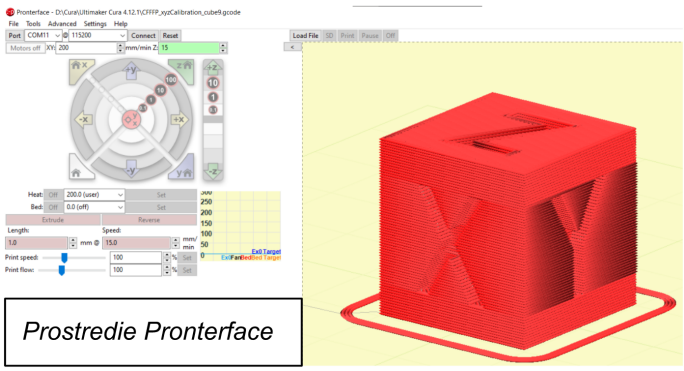
2.7 Firmvér Marlin

Po tom, čo sme dokončili konštrukciu tlačiarne, sme začali s jej softvérom. Ako prvý krok sme si z GitHubu stiahli najnovšiu verziu open source firmvéru Marlin. Tento firmvér sa skladá z viacerých súborov, ale nás najviac zaujímal súbor Configuration.h. Tento súbor obsahuje nastavenia skoro všetkých hodnôt tlačiarne. Prešli sme ho riadok po riadku a upravovali sme jednotlivé hodnoty podľa potreby, až kým sme nenarazili na nastavenia, ktoré sa už týkali zložitejších zariadení, ako je naša tlačiareň.

Keď sme už mali pocit, že majú všetky premenné aspoň približne tú správnu hodnotu, tak sme súbor uložili a súbor marlin.ino sme dali nahrať ako bežný sketch do arduina. Po odstránení všetkých errorov, ktoré nám Arduino IDE vyhadzovalo, sme súbor konečne úspešne nahrali do Arduina. Konfiguračný súbor môžeme kedykoľvek zmeniť a firmvér znova nahrať do arduina, ale musíme počítať s tým, že jeho kompilácia trvá približne 10 minút.

2.8 Prostredie Pronterface a prvé výtlačky

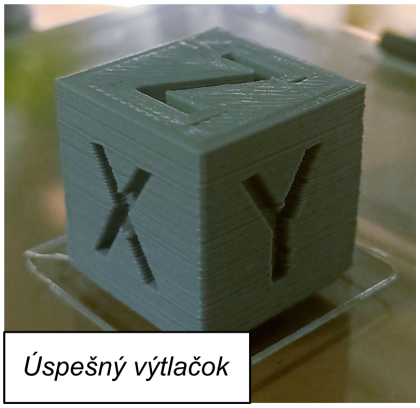
Po nahratí firmvéru sme sa rozhodli otestovať základnú funkčnosť tlačiarne, a to pomocou softvéru Pronterface. Po otvorení tohto softvéru sme zvolili komunikačný port a prenosovú frekvenciu, ktorú používa naša tlačiareň. Na náš obdiv sa softvér bez problémov spojil s tlačiarňou a dokonca sme ňou vedeli aj úspešne hýbať. Jedným problémom ale bola rýchlosť pohybu. Ak sme ju nastavili na čokoľvek vyššie ako 200mm/m (3,3mm/s) pre osi X a Y a 15mm/m (0,25mm/s) pre os Z, tak sa motory prestali točiť, pretože boli preťažené.



Prostredie Pronterface

Ďalej sme sa museli vrátiť ku konfiguračnému súboru a podľa dĺžky, o ktorú sa jednotlivé osi pohli na naše pokyny sme museli pozmeniť hodnoty steps/mm, alebo počet krokov motora na jeden lineárny milimeter. Tento krok sme opakovali, až kým sa osi nehýbali dostatočne presne. Podľa týchto nových hodnôt sme ešte mohli trochu upraviť maximálne rýchlosti motorov, ale radšej sme si nechali trochu rezervu, aby sa uprostred tlače náhodou nepreťažili.

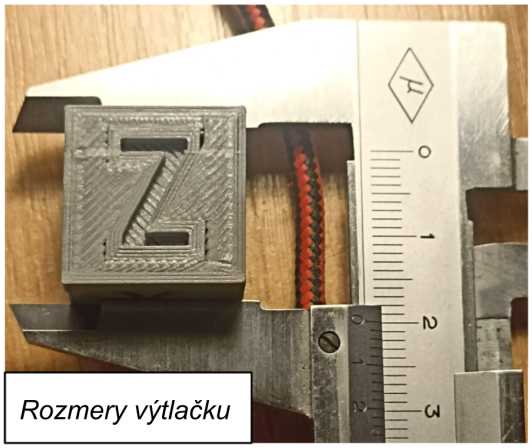
Po tom, čo sme mali všetky osi nakalibrované, tak sme mohli po prvýkrát spustiť tlač. Z internetu sme stiahli jednoduchý model kalibračnej kocky, a nahrali ho do softvéru Cura. Cura je slicer, ktorý nám premení 3D objekt na súradnice a iné parametre, ktoré si tlačiareň za behu od nás načítava. Tieto hodnoty sú obsiahnuté v súbore G-code. V tomto sliceri si môžme presnejšie a rýchlejšie nastaviť všetky parametre tlačeného objektu, ako napríklad rýchlosť tlače, počet vonkajších stien, výšku vrstvy a podobne.



Úspešný výtlačok

Keď sme nastavili tieto hodnoty, mohli sme výsledný G-code súbor nahrať do softvéru Pronterface a poslať tlačiarni na spracovanie. Po tom, čo sme prvýkrát dali príkaz na tlačenie, nám vybehla chybová hláška *Error:Line Number is not Last Line Number+1, Last Line: 0*. Problémom bola chyba komunikácie medzi tlačiarňou a ovládacím softvérom.

Jediné "riešenie", aké sa nám podarilo nájsť bolo poslať tlačiarni po začatí tlače manuálne príkaz *M110 N17*, ktorý nastaví line number na 17, čo bol zatiaľ vo všetkých prípadoch ten správny riadok v súbore G-code. Tlačiareň nám síce stále vyhodí chybu, ale aspoň začne tlačiť. Toto riešenie je však iba provizórne a v budúcnosti by sme ho chceli vyriešiť zmenou použitého softvéru (napríklad na Repetier).

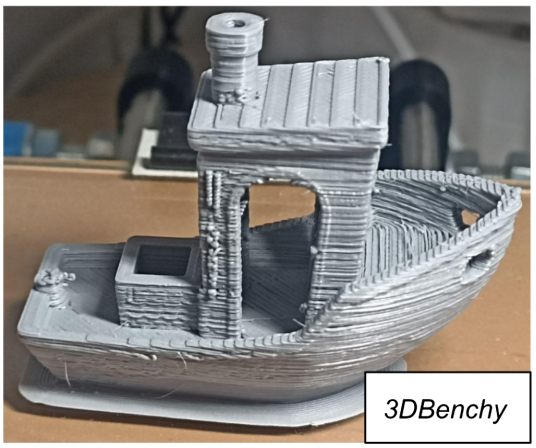

Rozmery výtlačku

Po našom prvom úspešnom spustení tlače sa prvá vrstva vytlačila ako mala, ale každá nasledujúca vrstva bola posunutá asi o 5mm vľavo. To bolo zapríčinené príliš vysokou hodnotou mm/s v sliceri Cura. Motory nemali pre túto rýchlosť dostatočný výkon, a tak sa prešmykovali a os sa nedostala na požadovanú polohu. Po tom, čo sme túto premennú zmenili na reálnejšiu hodnotu, sme dostali náš úplne prvý 3D výtlačok.

Táto kocka o veľkosti 20x20x0mm sa tlačila asi dve hodiny a jej kvalita vôbec neodpovedala tomuto času, ale čo bolo hlavné, jej rozmery sedeli takmer presne. Kocka mala reálnu veľkosť 19,8x19,8x20,2mm. Podľa týchto veľkostí sme ešte naposledy upravili premennú steps/mm a nahrali sme na arduino nový firmvér.

2.9 Firmvér ESP3D

Keď sme už mali samotné tlačenie celkom dobre nastavené, sme sa mohli venovať ďalšej časti projektu, firmvéru ESP3D. Tento firmvér sme rovnako ako Marlin stiahli z GitHubu a pomocou Arduino IDE nahrali na ESP8266. Po nahraní nám ESP vytvorilo prístupový bod, na ktorom vytvorilo web stránku. Keď sme sa pripojili na tento prístupový bod a zadali do prehliadača správnu IP adresu, tak sme sa dostali na stránku ESP3D. Táto stránka však bola neúplná a žiadala od nás, aby sme nahrali HTML súbor s obsahom celej stránky. Tento súbor sa nachádzal medzi konfiguračnými súbormi, ktoré sme sťahovali z GitHubu.


3DBenchy

Po nahratí súboru sa rozhranie stránky zmenilo na podobné, ako mal program Pronterface. Na tomto rozhraní sa nachádzali šípky pre pohyb osami, graf teploty hot-endu, ako aj rôzne nastavenia pre tlačiareň a firmvér ESP3D. Pomocou týchto nastavení sme zmenili kanál prístupového bodu na taký, ktorý sa v našom okolí využíva čo najmenej, aby nedochádzalo k rušeniu. Taktiež tu môžme zmeniť parametre prístupového bodu ako napríklad jeho SSID, heslo, alebo IP adresu, na ktorej sa bude nachádzať stránka s grafickým rozhraním.

Pomocou ESP3D sa vieme podobne ako pomocou Pronterface pripojiť na tlačiareň, monitorovať a meniť teplotu hlavice alebo individuálne pohybovať osami. S jedným rozdielom, že nemusíme byť fyzicky spojení s tlačiarňou, ale stačí že sme pripojení na prístupový bod. Jednu vec, ktorú však kvôli hardvérovým limitáciám nemôžme pomocou tohto firmvéru robiť je samotné spúšťanie tlače.

Hlavným dôvodom je to, že ESP8266 vie naraz interpretovať len jeden príkaz, takže firmvér nedokáže v jednu chvíľu komunikovať s tlačiarňou a vytvárať prístupový bod so stránkou. Jedným riešením do budúcnosti by bolo použiť ESP32, ktoré takýto multitasking zvláda, ale zatiaľ nám takáto úroveň ovládania a monitorovania tlačiarne stačí.

3 Závery a zhrnutie

Myslíme si, že sme tento projekt aj napriek mnohým prekážkam zvládli podľa očakávaní. Väčšina problémov, ktoré stále pretrvávajú, súvisia hlavne s výberom súčiastok a konštrukciou tlačiarne a ak by sme ich chceli odstrániť, museli by sme od základov zmeniť jej návrh.

Podľa nášho názoru je 3D tlačiareň perfektným projektom pre niekoho, kto chce rozumieť hardvéru a konštrukcii podobných zariadení, ako aj softvéru, ktorý ich celý riadi. Tieto dve časti musia pri akomkoľvek mechatronickom projekte spolupracovať v perfektnom súlade, inak veci nebudú fungovať tak, ako majú.

Okrem toho bolo výsledkom nášho snaženia niečo, pre čo môžeme v budúcnosti nájsť reálne využitie. 3D tlačiareň je ten pravý nástroj pre pretvorenie našich nápadov na reálny výrobok. To sa môže hodiť pri iných projektoch, kde budeme potrebovať vytvoriť súčiastku na mieru bez toho, aby sme museli ručne obrábať nejaký materiál.

Aj napriek tomu, že je náš projekt už hotový, by sme na ňom v budúcnosti chceli urobiť zopár zmien. Asi tou najväčšou a zároveň najdrahšou zmenou by bola výmena všetkých krokových motorov za model Nema 17. Ako sme už spomínali, táto zmena by nám zvýšila náklady na tlačiareň o asi 50€, ale znamenalo by to, že by tlačiareň bežala rýchlejšie a presnejšie. Pre tieto motory sme dokonca na internete našli 3D model, ktorý by stačilo vytlačiť a vymeniť s tým, ktorý aktuálne používame.

Tieto motory však majú oveľa vyššiu spotrebu ako tie, ktoré tlačiareň aktuálne používa. To by znamenalo, že by tlačiareň spotrebovávala viac energie, než sme jej aktuálne schopní dodať. Bohužiaľ nie je jednoduché vymeniť napájací zdroj za výkonnejší, pretože je okolo neho doslova postavená celá tlačiareň. Jedným riešením by bolo pridať ku doterajšiemu zdroju ešte jeden zapojený paralelne. Je možné, že pre tento účel by nám stačilo použiť obyčajný 12 voltový napájací zdroj (trafo), napríklad od vŕtačky alebo vysávača, ktorý by sme zapojili do zásuvky spolu s tlačiarňou.

Okrem toho by sme ešte radi vymenili aktuálne krokové ovládače (DRV8825) za kvalitnejší model, ako napríklad TMC228, ktorý by nám znova o trochu zvýšil náklady, ale zaručil by v kombinácii s motormi Nema 17 čo najväčšiu presnosť a čo najmenšiu hlučnosť.

Tieto zmeny budeme musieť v budúcnosti zvážiť, pretože si za cenu našej tlačiarne aj s týmito modifikáciami môžeme zakúpiť komerčnú tlačiareň, ktorá by mala oveľa lepšie vlastnosti ako čokoľvek, čo by sme dokázali vlastnoručne zostrojiť.

4 Resumé

The overall goal of our project was to create a functional 3D printer based on a design by Martin Hrib [1] from the Czech Republic. We first got this idea from our friend, who also built this 3D printer as his class project. We didn't want to focus on designing this printer, but only on building and improving it, so this project was a perfect fit for us.

We learned a lot of new stuff while working on this project, mainly the steps for creating and troubleshooting a 3D printer, but also how to manage your time and expectations while working on a project. We had no problem ordering the parts and building the printer's hardware, in part thanks to Martin's great instructional article.

The software part was a little more demanding. We had to manually comb through the entire Marlin configuration file and change some of the variables to suit our needs. Some, like the steps per millimeter had to be fine-tuned through careful calculations and measurements to make sure that the print dimensions were accurate.

We think that the project was an overall success, but there were a lot of obstacles in our way. If we ever were to work on a similar project, we will definitely know what to avoid.

5 Zoznam použitej literatúry

[1] Martin Hrib. RepRap: ToyRep [online]. Aktualizované 24-12-2015 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://reprap.org/wiki/ToyREP>.

[2] Edlab. RepRap: Ramps 1.6 [online]. Aktualizované 2022-08-02 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.6>.

[3] Brian Howie. Find This Best: Best 3D Printer Motors [online]. Aktualizované 31-01-2022 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://www.findthisbest.com/best-3d-printer-motors>.

[4] Last Minute Engineers. Control Stepper Motor with DRV8825 Driver Module & Arduino [online]. [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>.

[5] Tobias Hullette. Direct Drive vs Bowden Extruder: The Differences [online]. Aktualizované 20-03-2021 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://all3dp.com/2/direct-vs-bowden-extruder-technology-shootout/>.

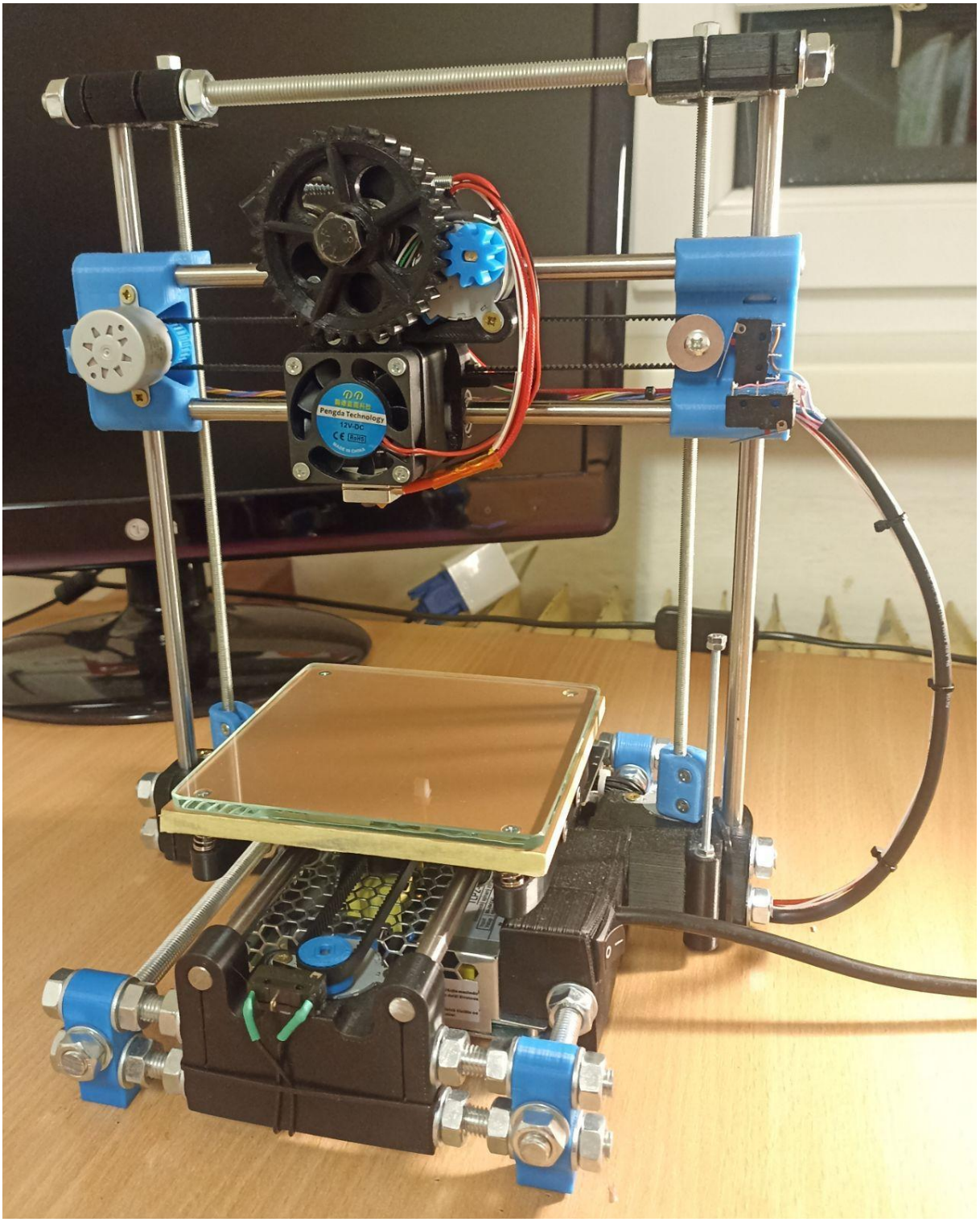
[6] Martin Hrib. RepRap: File:2015-10-01 ToyREP-BoM.zip [online file]. Aktualizované 01-10-2015 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://reprap.org/wiki/File:2015-10-01_ToyREP-BoM.zip>.

[7] Dominika Pukalovič. Zrušenie oslobodenia od DPH pri dovoze zásielok do 22 eur [online]. Aktualizované 18-09-2020 [cit 25-02-2022]. Dostupné na internete: <https://www.podnikajte.sk/dan-z-pridanej-hodnoty/zrusenie-oslobodenia-dph-dovoz-do-22-eur>.

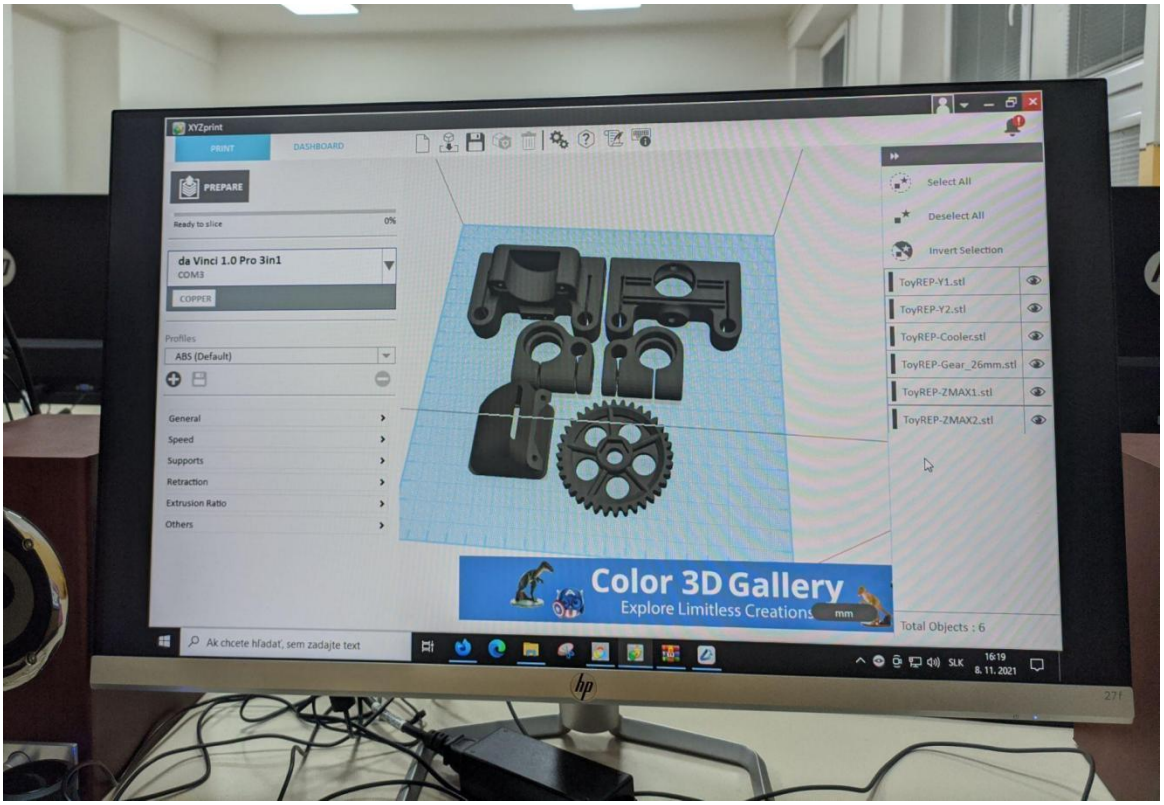
6 Prílohy

Prílohy A – Fotografie 3D tlačiarne

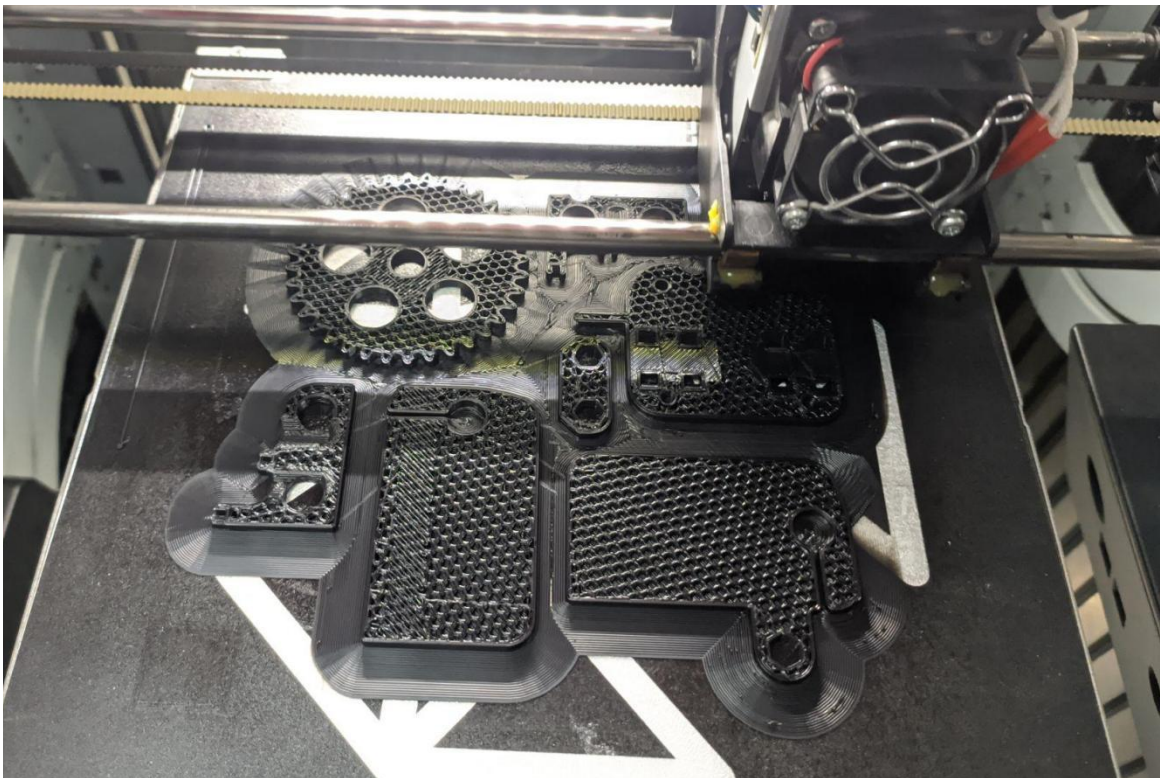
Príloha A.1 – Hotová 3D Tlačiareň



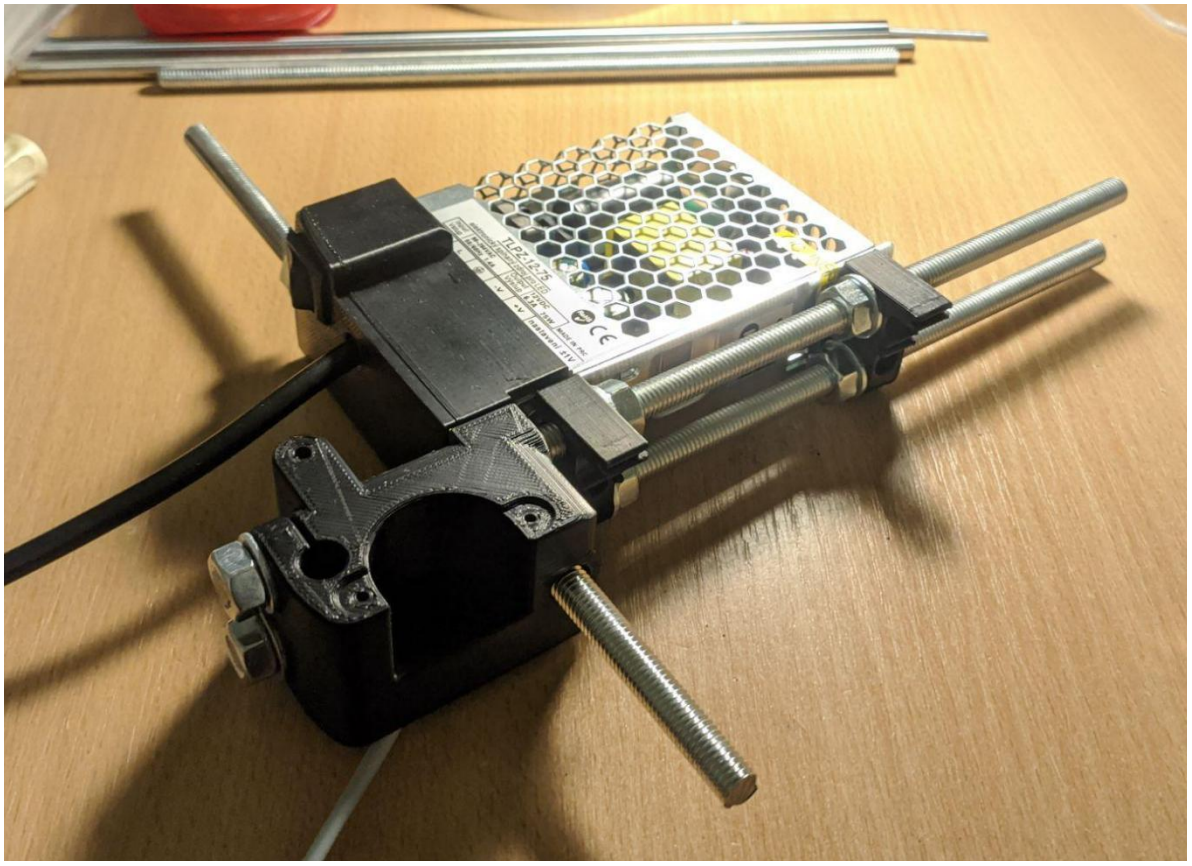
Príloha A.2 – Súčiastky tlačiarne v sliceri



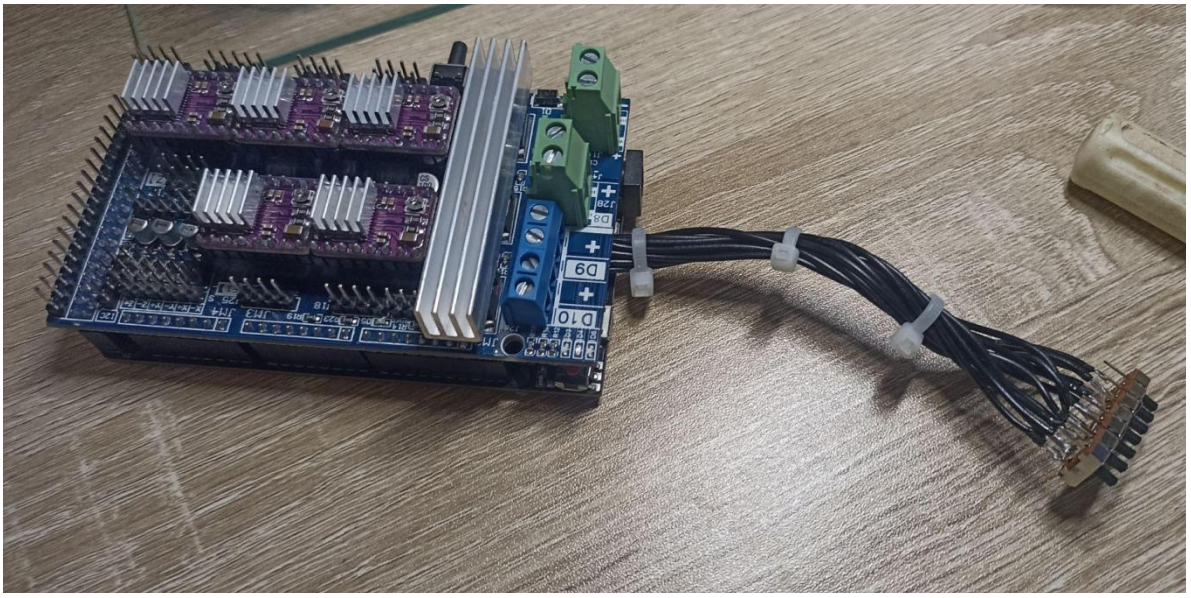
Príloha A.3 – Tlač súčiastok na školskej tlačiarni



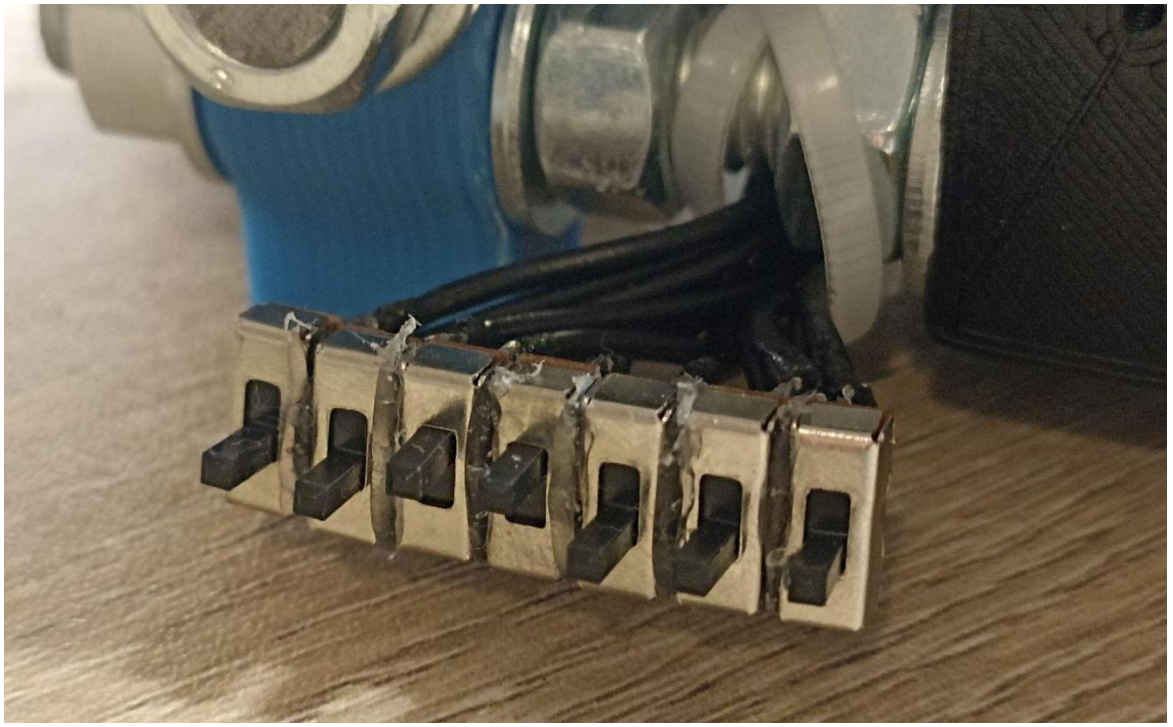
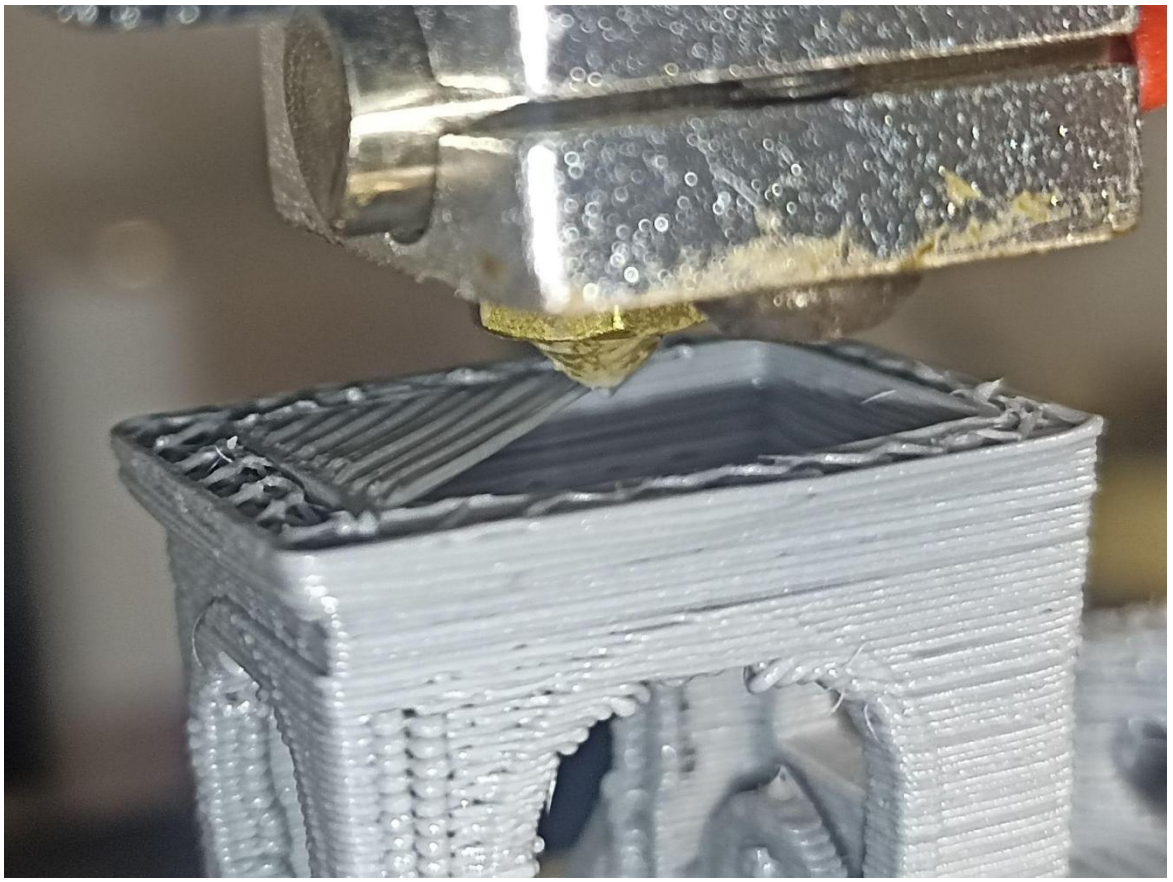
Príloha A.4 – Konštrukcia základňe tlačiarne



Príloha A.5 – Externé spínače na arduine



Príloha A.6 – Detail externých spínačov



Príloha A.7 – Test prevysov (hore) a retrakcie náplne (dole)