

Naslov naloge:

3D TISKALNIK

Področje:

Strojništvo

Dijak:

Blaž Barlič, TM/4.c

Šola:

Srednja šola tehniških strok Šiška

Mentor:

dr. Rok Juhant, univ. dipl. inž. el.

Leto:

Marec 2024

KAZALO

Vsebina

KAZALO	2
SEZNAM PRILOG	3
1. UVOD	5
2. TEORETIČNI DEL.....	6
2.1 Specifikacije 3D tiskalnika.....	6
2.2 Snovanje ogrodja.....	6
2.3 Linearna vodila	7
2.3 Koračni motorji	7
2.4 Pretvorba rotacijskega gibanja v linearno	7
2.5 Glava tiskalnika	8
2.6 Ogrevana podlaga.....	9
2.7 Senzorji	9
2.8 Krmilnik ter gonilniki koračnih motorjev	9
2.9 Napajanje.....	10
2.10 Nosilci	11
2.11Sestavljanje.....	12
2.12 Programiranje	14
2.13 Kalibracija tiskalnika	15
3. EKSPERIMENTALNI DEL.....	16
3.1 Hitrost tiskalnika	16
3.2 Natančnost	16
4. REZULTATI	17
4.1 Hitrost	17
4.2 Natančnost	17
4.3 Cena.....	17
5. RAZPRAVA.....	17
6. ZAKLJUČEK.....	18
7. LITERATURA	19

SEZNAM PRILOG

SLIKA 1: ALUMINIJASTI NOSILCI	6
SLIKA 2: VODILA	7
SLIKA 3: KORAČNI MOTOR Z JERMENSKIM PRENOSOM	8
SLIKA 4: KRMILNIK	10
SLIKA 5: NAPAVALNIK	10
SLIKA 6: PRIMER NOSILCA.....	11
SLIKA 7: 3D TISKALNIK	11
SLIKA 8: SESTAVNI DELI Z OSI.....	12
SLIKA 9: SESTAVI DELI Y OSI.....	13
SLIKA 10: SESTAVLJEN 3D TISKALNIK.....	13
SLIKA 11: PRIMER KONFIGURACIJE V VS CODE	15
SLIKA 12: 3D MODEL ZA KALIBRACIJO.....	16

KLJUČNE BESEDE

3D tiskalnik, aditivna proizvodnja, programiranje, konstruiranje.

POVZETEK

V zadnjem letu sem se začel ukvarjati s 3D tiskalniki in že kmalu na začetku se mi je porodilo vprašanje ali bi bil zmožen tudi sam sestaviti in sprogramirati svoj 3D tiskalnik. Zato sem se v tem letu odločil, da se v tem preizkusim v okviru raziskovalne naloge. Moj cilj je bil sestaviti delujoč 3D tiskalnik, ki bi tiskal izdelke s hitrostjo in natančnostjo konkurenčno povprečnim že obstoječim 3D tiskalnikom na trgu, hkrati pa bi bila tudi njegova cena podobna tem tiskalnikom. Odločil sem se za preprosto kartezično zgradbo tiskalnika s pomikom tiskalne podlage v navpični Z smeri ter pomikom tiskalne glave v vodoravnih X in Y smereh. Za krmiljenje tiskalnika sem si izbral odprtokodni program Marlin, za pretvarjanje 3D modelov v G kodo pa program 'Prusa slicer'. Rezultati raziskovalne naloge so pokazali, da je v lastni režiji možno izdelati 3D tiskalnik, ki bo omogočal hitrost in natančnost, primerljivo podobnim komercialnim 3D tiskalnikom, žal pa se s ceno nisem uspel približati ceni takšnih tiskalnikov, kar je posledica bolj trajnostno naravnane izbora materialov, ki bodo omogočali daljšo življenjsko dobo brez zmanjšanja hitrosti in natančnosti tiskanja.

1. UVOD

Med poletnimi počitnicami sem se začel zanimati nad 3D tiskalniki in kmalu po nakupu prvega sem si zastavil cilj da tudi sam sestavim svoj 3D tiskalnik, ki bi tiskal izdelke z hitrostjo in natančnostjo primerljivo podobnim tiskalnikom ki so že na voljo na trgu.

Glede na to, da s snovanjem in izdelavo podobnih naprav nisem imel nobenih izkušenj, je bilo že pri odločitvi za tip tiskalnika potrebno dobro premisliti. Poleg tega je potrebno upoštevati še dejstvo, da je izdelava 3D tiskalnika, ki bi po hitrosti tiskanja, kakovosti izdelkov ter ceni same izdelave konkuriral 3D tiskalnikom na trgu zelo zahtevna naloga, saj so cene materialov za en sam tiskalnik višje kot pri masovni proizvodnji tiskalnikov velikih podjetij. Poleg tega je potrebno upoštevati še izkušnost osebe ki tiskalnik izdeluje ter konfigurira njegove nastavitve, kar neposredno vpliva na končno natančnost tiskalnika. Prednost izdelave lastnega tiskalnika pa vidim v tem, da imaš kot snovalec proste roke pri izbiri komponent ter funkcij, ki jih želiš vključiti v tiskalnik. To pomeni, da lahko v tiskalnik vključimo le komponente ki jih za našo uporabo potrebujemo, ter tako prihranimo nekaj denarja pri za nas nepotrebnih funkcijah. Poleg tega je veliko lažje diagnosticirati in odpraviti napako v sistemu, pri katerem si zraven od snovanja do prve uporabe.

Ob vseh teh mislih sem si torej za raziskovalno nalogo zadal tri glavne hipoteze:

H1: Izdelava 3D tiskalnika, ki bo omogočal natančnost, primerljivo z podobnimi tiskalniki na trgu, kar pomeni vsaj 0,5 mm.

H2: Izdelava 3D tiskalnika, ki se bo lahko med tiskanjem premikal z hitrostjo vsaj 70 mm/s.

H3: Izdelava 3D tiskalnika po ceni, primerljivi tiskalnikom s podobno natančnostjo in hitrostjo, kar pomeni ceno pod 600 €.

2. TEORETIČNI DEL

2.1 Specifikacije 3D tiskalnika

Preden sem se začel ukvarjati z snovanjem 3D tiskalnika, sem se moral vprašati, kakšne lastnosti si želim na tiskalniku.

Glede na svoje potrebe sem ugotovil da na tiskalniku ne potrebujem delovne površine večje od 220 x 220 x 250 mm (X, Y, Z). Poleg tega mora omogočati tiskanje z materiali ki jih najpogosteje uporabljam. To so PETG, PLA ter njegove različice (LW PLA, PLA +, ...). Tiskalnik mora obenem omogočati izdelavo čim bolj natančnih izdelkov, saj večinoma tiskam dele ki zahtevajo dovolj veliko natančnost, da jih lahko uporabim kot nadomestne dele ali nadgradnje za plastičnih elementov v najrazličnejših napravah.

Ena izmed glavnih zahtev pa je zagotovo možnost nadgrajevanja, če bi se za to odločil v prihodnosti. Želim si namreč 3D tiskalnik, ki bi ga lahko kasneje čim bolj enostavno prilagodil novim zahtevam (višje hitrosti, temperatura, drug operacijski sistem, ...), namesto da bi bil primoran kupiti novega.

2.2 Snovanje ogrodja

Pri načrtovanju ogrodja 3D tiskalnika sem moral misliti na to, da bo njegova konstrukcija omogočala implementacijo vseh sestavnih delov z čim boljšim izkoristkom prostora. Poleg tega sem želel uporabiti čim bolj preproste in fleksibilne elemente, saj bi bila izdelava po meri narejenih delov ogrodja predraga za izdelavo enega samega tiskalnika.

Glede na navedene kriterije sem se odločil za uporabo aluminijastih vodil s presekom 20x20 mm, saj so ustrezala vsem zahtevam. So relativno poceni, dobavljiva v poljubnih dolžinah ter omogočajo izdelavo stabilnih konstrukcij vseh mogočih oblik.



Slika 1: Aluminijasti nosilci

2.3 Linearna vodila

Vodila, po katerih se bodo premikale X, Y in Z osi ter njihova implementacija so eden izmed ključnih elementov, ki imajo velik vpliv na natančnost 3D tiskalnika. Zato sem za vodila X in Y osi izbral IGUS–ova vodila iz serije drylin T, ki poleg natančnih linearnih pomikov omogočajo delovanje brez dodatnega maziva, kar pomeni, da prah in tujki, ki bi se pri uporabi klasičnih linearnih vodil z kotalnimi elementi prilepili na mazivo na vodilu ter po možnosti poškodovali kotalne elemente v niso problematični.

Za Z os pa sem izbral aluminijaste palice, po katerih se premikajo drsni ležaji.



Slika 2: Vodila

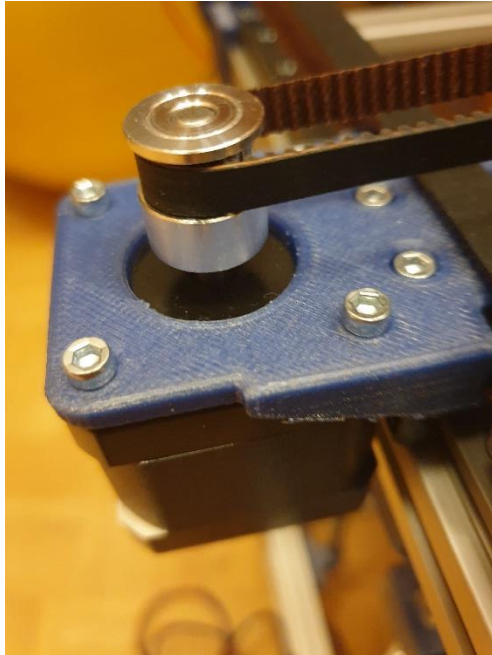
2.3 Koračni motorji

Pri izbiri koračnih motorjev sem gledal predvsem na to, da imajo zadosten navor za premikanje osi z zadovoljivimi hitrostmi. Motorje sem izbral predvsem na podlagi specifikacij koračnih motorjev mojega sedanjega 3D tiskalnika ter priporočil iz spleta.

2.4 Pretvorba rotacijskega gibanja v linearno

Da bi rotacijo koračnih motorjev pretvoril v linearno gibanje osi, ki ga želimo, je na voljo več različnih rešitev. Prva je uporaba navojnih vreten ter matic. Pri navojnih vretenih je potrebno biti pozoren na njihov korak, ki nam pove, za koliko mm se bo

navojna matica pomaknila po navojnem vretenu v enem vrtljaju. To opcijo sem uporabil za premikanje Z osi, ker le ta ne zahteva velike hitrosti, saj se uporablja le za premike na naslednje plasti izdelka. Izbral sem dve navojni vreteni dimenzij 10 x 2 mm (zunanji premer vretena x korak). Za Premike X in Y osi pa sem izbral jermenski prenos in sicer z uporabo zobatih jermenov, ki za razliko od navojnih vreten omogočajo hitrejše premike.



Slika 3: Koračni motor z jermenskim prenosom

2.5 Glava tiskalnika

Za najpomembnejši del pretvorbe filameta v uporaben 3D izdelek je odgovorna prav glava tiskalnika. Na njej se nahaja več pomembnih elementov kot so:

- Ekstruder (v primeru direct drive konfiguracije), ki skupaj s koračnim motorjem poskrbi za podajanje filameta.
- Hotend, ki skrbi za to, da se filament ob prehodu skozenj stopi ter v tekoči obliki skozi šobo steče do željenega mesta na izdelku.
- Ventilator toplotnega izmenjevalca, ki preprečuje toploti da bi se širila po hotendu na prostale dele glave.
- Ventilator za hlajenje izdelka, ki je namenjen pravočasnemu ohlajanju tekoče plastike na podlagi, da se le ta strdi na pravem mestu izdelka.

Za svoj tiskalnik sem izbral E3D-jev V6 hotend ter njihov Titan ekstruder v direct drive konfiguraciji. Skupaj s hotendom sem dobil tudi ventilator toplotnega izmenjevalca, za hlajenje izdelka pa sem uporabil radialni ventilator dimenzije 50 x 50 x 15 mm (Širina x dolžina x debelina).

2.6 Ogrevana podlaga

Pri tiskanju z materiali ki imajo višjo temperaturo tališča se rade pojavljajo težave zaradi prehitrega ohlajanja dna izdelka, med tem ko nad njim še nastajajo nove plasti. Zaradi tega se lahko zgodi, da se del izdelka odlepi od podlage, izdelek pa je zaradi ukrivljenosti na koncu neuporaben ali pa se že med samim procesom tiskanja popolnoma odlepi od podlage. To težavo preprosto rešimo z implementacijo ogrevane podlage, ki ohranja spodnje plasti izdelka na ravno pravšnji temperaturi, da se le ta ne odlepi od podlage ter posledično upogne.

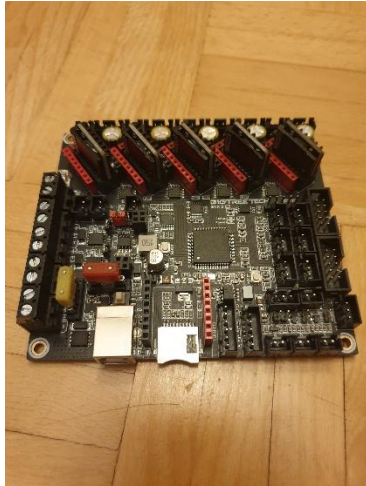
Pri izvedbi ogrevane podlage sem se odločil za uporabo 250 W silikonskega grelca, priključenega na enosmerno napetost 24 V, na dnu plošče iz litega aluminija, saj ta omogoča hitro ter enakomerno segrevanje celotne delovne površine. Za podlago, na katero se bo tiskal izdelek pa sem izbral tanko ploščo vzmetnega jekla s PEX premazom za čim boljšo adhezijo prve plasti izdelka, ki bo na aluminijasto ploščo pritrjena s pomočjo magnetne podlage, odporne na visoke temperature.

2.7 Senzorji

Da si lahko 3D tiskalnik poišče svojo ničelno točko potrebuje vsaka os svoj senzor, ki krmilniku pove, kdaj je dosežena ničelna točka posamezne osi. Za X in Y os sem izbral preprosta NO (normally open) mehanska končna stikala. Za Z os pa sem uporabil tipalo BLTouch podjetja Antclabs, ki poleg določanja ničelne točke omogoča tiskalniku avtomatsko zaznavanje nepravilnosti delovne površine, ter programsko kompenzacijo le te.

2.8 Krmilnik ter gonilniki koračnih motorjev

Pri izbiri krmilnika sem gledal predvsem na to, da omogoča krmiljenje vsaj petih koračnih motorjev, treh ventilatorjev, treh senzorjev/končnih stikal ter USB povezavo z računalnikom. Poleg tega mora podpirati operacijski sistem Marlin, zelo zaželeno pa je tudi, da podpira možnosti za nadgradnjo v prihodnosti (operacijski sistem Klipper, CAN BUS povezava v glavo tiskalnika, LCD zaslon, ...). Kot ustrezen krmilnik sem izbral Bigtreetech-ov SKR 3 EZ, skupaj z gonilniki motorjev EZ 2209, ki omogočajo tiho ter natančno delovanje koračnih motorjev, hkrati pa niso predragi. Ker je maksimalen tok na izhodu krmilnika, namenjenem napajanju grelca ogrevane podlage manjši od toka ki ga le ta potrebuje, sem moral za krmiljenje grelca dodati še dodaten mosfet, ki omogoča preklapljanje višjih tokov.



Slika 4: Krmilnik

2.9 Napajanje

Vse do sedaj izbrane komponente delujejo na enosmerni napetosti 24 V. V ta namen sem moral izbrati napajalnik, ki bo zagotavljal konstantno napetost 24 V ter dovolj toka za delovanje vseh komponent. V ta namen sem najprej seštel skupni tok vseh komponent (koračni motorji, grelci, sensorji, ventilatorji, ...) ki je znašal 17,5 A. Nato sem izračunal potrebno moč napajalnika:

$$P = U * I = 24 \text{ V} * 17,5 \text{ A} = 420 \text{ W}$$

Zaradi varnosti sem nato izbral napajalnik s 500 W moči.

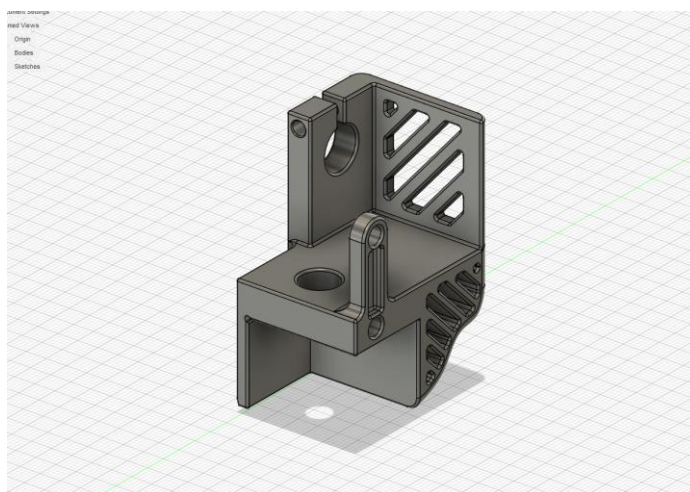


Slika 5: Napajalnik

2.10 Nosilci

Da bi lahko vsa vodila ter elektroniko pritrtil na samo ogrodje, sem moral najprej v programu Fusion 360 izdelati 3D modele vseh potrebnih nosilcev. Pri tem sem moral še posebej paziti na pravilne dimenzije, saj morajo nosilci omogočati natančno prileganje vseh elementov (koračni motorji, vodila, senzori ter ostala elektronika).

Ko sem imel dokončane vse 3D modele, sem se lotil tiskanja. Vse dele sem se odločil natisniti iz materiala PETG, ki nudi temperaturno odpornost do 80°C ter dobre mehanske lastnosti, obenem pa ni preveč zahteven za tiskanje. Za tiskanje sem uporabljal svoj 3D tiskalnik Anycubic Kobra 2.



Slika 6: Primer nosilca



Slika 7: 3D tiskalnik

2.11 Sestavljanje

Ko sem imel natisnjene vse nosilce, ter kupljeno vso elektroniko, dele ogrodja ter vodila, sem se lotil sestavljanja samega 3D tiskalnika. Najprej sem iz aluminijastih nosilcev s presekom 20 x 20 mm izdelal ogrodje. Uporabil sem 13 nosilcev dolžine 300 mm ter 4 nosilce dolžine 420 mm. Za vezne elemente sem uporabil kotne nosilce v kombinaciji z M5 x 10 imbus vijaki ter nosilcem primerne matice. Poleg tega sem uporabil tudi srednje močno sredstvo proti odvijanju vijakov.

Za tem sem na ogrodje pritrtil ogrevano podlago skupaj z njenimi vodili, navojnima vretenoma, ter koračnima motorjema. Da bi se podlaga po vodilih premikala kar se da natančno ter z minimalnim trenjem, sem moral poskrbeti, da so bili nosilci na katerih so vodila vpeta, nameščeni kar se da natančno. Nosilce vodil sem na ogrodje ter podlago pritrtil z imbus vijaki M5 x 10.

Nato sem na vrh ogrodja dodal vodila Y osi, koračni motor, napenjalce jermenov, ter jermene same. Za pritrditev vodil sem uporabil imbus vijake M3 x 10 . Potrebno se je bilo prepričati, da sta vodili na obeh straneh tiskalnika poravnani ter vzporedni eno drugemu.

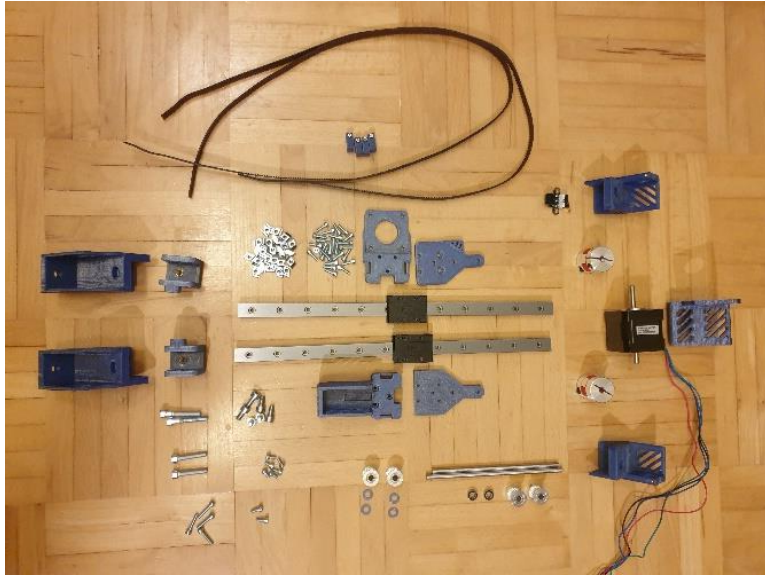
Za tem sem na Y os pritrtil še vodilo X osi ter glavo tiskalnika.

V dno tiskalnika sem pritrtil še napajalnik, krmilnik, ter mosfet za krmiljenje grelca ogrevane podlage.

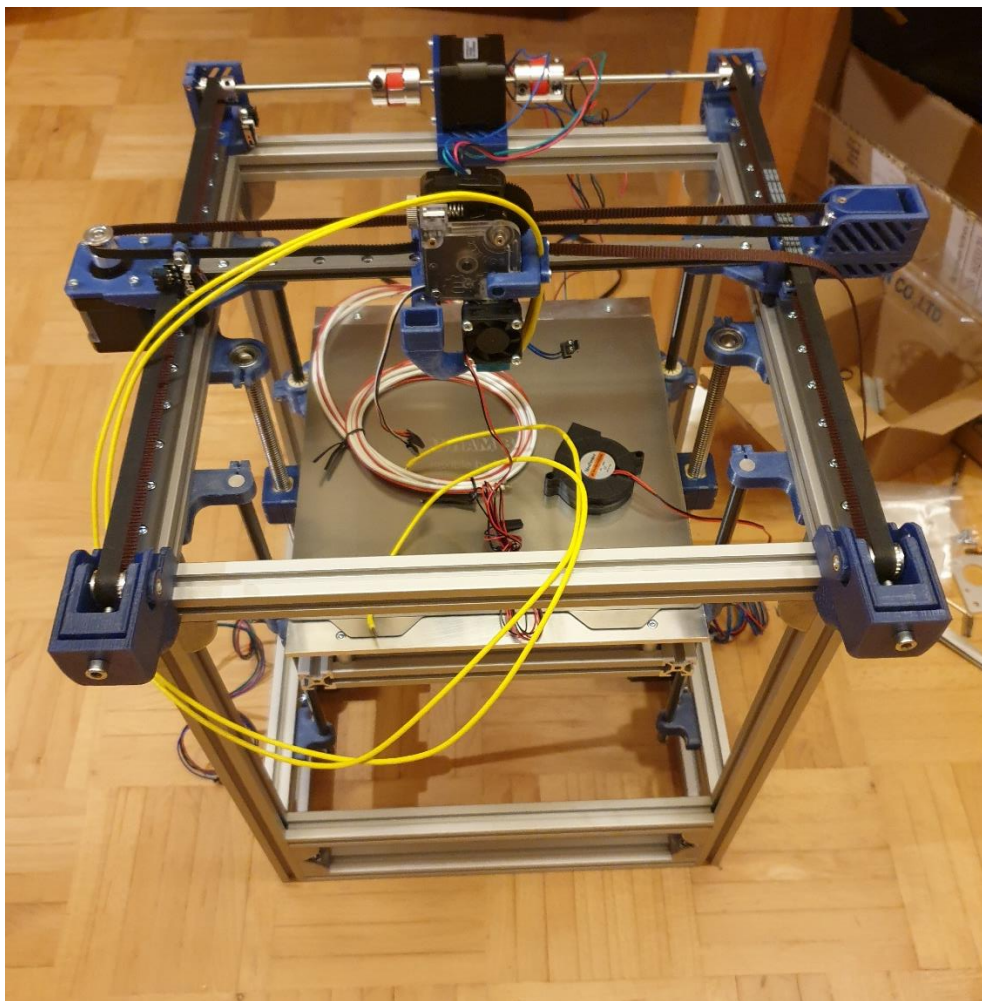
Kar se tiče fizičnega sestavljanja tiskalnika, sem moral na koncu le še povezati vse kable ter jih čim bolj optimalno speljati po ogrodju do krmilnika ter napajalnika.



Slika 8: Sestavni deli Z osi



Slika 9: Sestavi deli Y osi



Slika 10: sestavljen 3D tiskalnik

2.12 Programiranje

Na krmilnik je bilo treba nato naložiti operacijski sistem. Iz interneta sem si prenesel zadnjo verzijo sistema Marlin (Marlin 2.1) ter v njem s pomočjo programa Visual studio code ter v njem definiral vse potrebne parametre tiskalnika. Najprej je bilo treba programu povedati, kateri krmilnik uporablja moj tiskalnik. Nato sem vklopil vse željene funkcije (BLTouch auto bed leveling, 2 koračna motorja za Z os, Končna stikala za X in Y osi, ...), nastavil maksimalne hitrosti in pospeške vseh koračnih motorjev ter za vsako os izračunal koliko korakov mora narediti koračni motor, da se os premakne za 1 mm. Za izračune sem najprej potreboval podatke koračnih motorjev, pogonskih jermenic ter navojnih vreten:

- Pri vseh koračnih motorjih na tiskalniku se os motorja v enem koraku zavrti za $1,8^\circ$, vsak korak pa se razdeli še na 64 oz. 256 mikro korakov
- Vse jermenice imajo 20 zob, jermeni pa korak 2 mm
- Korak navojnega vretena je 2 mm na vrtljaj

Iz teh podatkov sledijo enačbe:

- Z os: $n = (\text{št. Korakov na vrtljaj} \times \text{delitev koraka}) / (\text{korak vretena})$
 $= (200 \times 64) / (2\text{mm}) = 6400$
- X os: $n = (\text{št. Korakov na vrtljaj} \times \text{delitev koraka}) / (\text{št. Zob jermenice} \times \text{korak jermena}) = (200 \times 256) / (20 \times 2 \text{ mm}) = 1280$
- Y os: $n = (\text{št. Korakov na vrtljaj} \times \text{delitev koraka}) / (\text{št. Zob jermenice} \times \text{korak jermena}) = (200 \times 256) / (20 \times 2 \text{ mm}) = 1280$

n → koraki/mm

```

119 // #define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D PRINTER"
120
121 // Printer's unique ID, used by some programs to differentiate between machines.
122 // Choose your own or use a service like https://www.uuidgenerator.net/version4
123 // #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"
124
125 // @section stepper drivers
126
127 /**
128  * Stepper Drivers
129  *
130  * These settings allow Marlin to tune stepper driver timing and enable advanced options for
131  * stepper drivers that support them. You may also override timing options in Configuration_adv.h.
132  *
133  * Use TMC2208/TMC2208_STANDALONE for TMC2225 drivers and TMC2209/TMC2209_STANDALONE for TMC2226 drivers.
134  *
135  * Options: A4988, A5984, DRV8825, LV8729, TB6560, TB6600, TMC2100,
136  *          TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2160, TMC2160_STANDALONE,
137  *          TMC2208, TMC2208_STANDALONE, TMC2209, TMC2209_STANDALONE,
138  *          TMC2660, TMC2660_STANDALONE, TMC5130, TMC5130_STANDALONE,
139  *          TMC5160, TMC5160_STANDALONE
140  * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'TB6560', 'TB6600', 'TMC2100', 'TMC2130', 'TMC2130_STANDALONE',
141  */
142 #define X_DRIVER_TYPE  TMC2209
143 #define Y_DRIVER_TYPE  TMC2209
144 #define Z_DRIVER_TYPE  TMC2209
145 // #define X2_DRIVER_TYPE  A4988
146 // #define Y2_DRIVER_TYPE  A4988
147 // #define Z2_DRIVER_TYPE  A4988
148 // #define Z3_DRIVER_TYPE  A4988
149 // #define Z4_DRIVER_TYPE  A4988
150 // #define I_DRIVER_TYPE  A4988
151 // #define J_DRIVER_TYPE  A4988
152 // #define K_DRIVER_TYPE  A4988
153 // #define U_DRIVER_TYPE  A4988
154 // #define V_DRIVER_TYPE  A4988
155 // #define W_DRIVER_TYPE  A4988
156 #define E0_DRIVER_TYPE TMC2209
157 // #define E1_DRIVER_TYPE A4988
158 // #define E2_DRIVER_TYPE A4988
159 // #define E3_DRIVER_TYPE A4988
160 // #define E4_DRIVER_TYPE A4988
161 // #define E5_DRIVER_TYPE A4988
162 // #define E6_DRIVER_TYPE A4988
163 // #define E7_DRIVER_TYPE A4988
164
165 /**
166  * Additional Axis Settings
167  *
168  * Define AXISn_ROTATES for all axes that rotate or pivot.
169  * Rotational axis coordinates are expressed in degrees.
170  *
171  * AXISn_NAME defines the letter used to refer to the axis in (most) G-code commands.
172  * By convention the names and roles are typically:

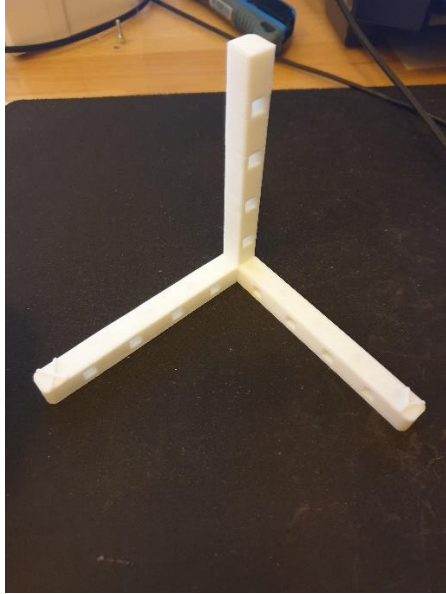
```

Slika 11: Primer konfiguracije v VS code

2.13 Kalibracija tiskalnika

Ko je bil operacijski sistem naložen na krmilnik, je sledila kalibracija vseh nastavitvev v programu Prusa slicer. Treba je bilo nastaviti parametre kot so, temperatura hotenda ter ogrevane podlage, velikost delovne površine, zamik Z osi, glede na podatek sensorja, maksimalne hitrosti, ...

Vse te parametre je bilo treba prilagoditi glede na napake na tiskanih izdelkih in ko sem bil z njimi zadovoljen, je prišla na vrsto kalibracija korakov motorjev. Za to si je potrebno izbrati 3D model, ki ga je enostavno zmeriti v vseh treh smereh, ter natisniti nekaj kosov. Nato izmerimo dimenzije vseh izdelkov ter glede na njihovo povprečno odstopanje od idealne mere popravimo vrednosti korakov na mm v tiskalniku.



Slika 12: 3D model za kalibracijo

3. EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Hitrost tiskalnika

Na začetku sem si postavil cilj, da tiskalnik tiska vsaj z hitrostjo 70 mm/s. To pomeni, da lahko pri tej hitrosti natisne izdelke zadovoljive kakovosti ter dimenzijske natančnosti. Teorijo sem preveril tako, da sem isti izdelek tiskal z vedno večjo hitrostjo, ter za maksimalno izbral zadnjo, pri kateri je bila kakovost izdelka še zadovoljiva.

3.2 Natančnost

Ko sem končal s kalibracijo tiskalnika, je bilo treba preveriti, ali tiskalnik dosega željeno natančnost. To sem sklenil preveriti tako, da sem si izbral preprost 3D model dimenzij 100 x 100 x 100 mm ter jih natisnil 5 z enakimi nastavitvami tiskalnika. Nato sem izmeril vse tri dimenzije vsakega izdelka posebej, ter izračunal, za koliko se razlikuje od idealne dimenzije. Iz vseh razlik sem nato izračunal povprečno odstopanje od željene vrednosti, ter iz tega razbral, ali tiskalnik dosega željeno natančnost ali ne.

4. REZULTATI

4.1 Hitrost

Najvišjo hitrost s katero tiskalnik tiska zadovoljive izdelke sem našel zelo hitro. Začel sem namreč s hitrostjo 50 mm/s ter jo postopno višal po 10 mm/s. Pri 90 mm/s je bila kvaliteta izdelka že nekoliko vprašljiva, zato sem za maksimalno hitrost določil 80 mm/s, kar ustreza zadanemu cilju. Prva hipoteza je s tem potrjena.

4.2 Natančnost

Po zaključku vseh meritev sem ugotovil, da moj 3D tiskalnik tiska izdelke s natančnostjo približno $\pm 0,4$ mm, kar je primerljivo s povprečnimi tiskalniki na trgu, ki omogočajo natančnost okoli $\pm 0,5$ mm. Tudi druga hipoteza je torej potrjena.

4.3 Cena

Na koncu sem seštel cene vseh komponent tiskalnika, ter ugotovil, da me je izdelava tiskalnika stala dobrih 1000,00 €, cena podobnih tiskalnikov na trgu pa se giblje od 300 do 600 €. Iz tega zaključujem, da mi cenovno gledano ni uspelo izdelati tiskalnika, konkurenčnega drugim tiskalnikom na trgu. Zato mi zadnje hipoteze ni uspelo potrditi.

5. RAZPRAVA

Glede hitrosti tiskalnika sem zelo zadovoljen, vendar bi jo lahko z uporabo naprednejših funkcij sistema Marli še povečal. Če pa se bom v prihodnosti odločil za implementacijo sistema Klipper namesto Marlin-a, bi se hitrost dalo dvigniti tudi nad 100 mm/s.

Cenovno gledano tiskalnik ni konkurenčen tistim na trgu, vendar mi dodatna cena ni tolikšna težava, ko gre za izbiro kvalitetnih delov, ki jih ni treba tako pogosto menjati ali vzdrževati (vodila, ekstruder, hotend, ...).

6. ZAKLJUČEK

Glavni cilj moje raziskovalne naloge je bil, sestaviti delujoč 3D tiskalnik. Poleg tega da deluje, dosega tudi želene hitrosti ter natančnost, zato sem mnenja, da je bila ta raziskovalna naloga uspešna. V procesu snovanja in izgradnje 3D tiskalnika sem se veliko naučil o samem delovanju 3D tiskalnikov, prednostih in slabostih različnih komponent ter poglobil svoje znanje 3D modeliranja v programu Fusion 360. Poleg tega sem se naučil konfigurirati operacijski sistem Marlin, kar mi bo prišlo prav pri posodobitvi sistema v mojem starem tiskalniku, ter morebitni implementaciji nadgradenj.

7. LITERATURA

- [How to Build a 3D Printer \(drdflo.com\)](https://drdflo.com), 10.11.2023
- [Updated Marlin firmware setup guide - VS Code and Auto Build Marlin \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=...), 15.2.2024
- [3D Printer Controller Boards: Buying Guide and Top Recommendations - 3D Insider](https://www.3dinsider.com), 8.12.2023
- [3D Printer Stepper Motor: All You Need to Know | All3DP](https://www.all3dp.com), 4.12.2023
- [\(18\) Fusion 360 Form Mastery - Part 4 - The Design Approach #Fusion360 #Tsplines - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 3.1.2024
- Liza Wallach Kloski, Nick Kloski (2021). Make: Getting Started with 3D Printing. Make Community, LCC
- Sean Aranda (2021). 3D printing failures: How to diagnose and repair all desktop 3D printing issues.