3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi

Posavec, Bruno

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ RAČUNARSTVO

Bruno Posavec 0313027114

3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi

Završni rad

Čakovec, srpanj 2024.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ RAČUNARSTVO

Bruno Posavec 0313027114

3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi

3-axis engraving machine based on Arduino platform

Završni rad

Mentor: dipl. ing. Jurica Trstenjak

Čakovec, srpanj 2024.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

PRIJAVA TEME I OBRANE ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA

Stručni prijediplomski studij:

Računarstvo ☑ Održivi razvoj ☐ Menadžment turizma i sporta ☐

Stručni diplomski studij Menadžment turizma i sporta: ☐

Pristupnik: Bruno Posavec (ime i prezime), JMBAG: _____

Kolegij: Digitalni elektronički sklopovi (na kojem se piše rad)

Mentor: Jurica Trstenjak, v. pred. (ime i prezime, zvanje)

Naslov rada: 3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi

Naslov rada na engleskom jeziku: 3-axis engraving machine based on the Arduino platform

Članovi povjerenstva:
1. Bruno Trsstenjak, prof. struč. stud. (ime i prezime, zvanje), predsjednik
2. Sanja Brekalo, prof. struč. stud. (ime i prezime, zvanje), član
3. Jurica Trstenjak, v.pred. (ime i prezime, zvanje), mentor
4. Marija Miščančuk, v.pred. (ime i prezime, zvanje), zamjenski član

Broj zadatka: 2023-RAČ-9

Kratki opis zadatka: 3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi će se sastajati od raznih rabljenih dijelova printera ili plotera, Arduino platforme, 3 koračna motora, napajanja te programskog dijela za Arduino.

Datum: 17.9.2024.

Potpis mentora: Jurica Trstenjak

Predgovor

Veliku zahvalnost iskazujem svojem mentoru, prof. Jurici Trstenjaku, dipl. ing., na iskazanom povjerenju, savjetima i vodstvu u izradi završnog rada.

Zahvaljujem svim djelatnicima Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, svojoj obitelji i svima koji su bili uz mene tijekom cijelog obrazovanja.

Veliko hvala svima!

Sažetak

U završnom radu opisana je izrađena 3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduinu čija je namjena graviranje raznih oblika u drvo ili plastiku. CNC stroj za graviranje sastoji se od mehaničkih i elektroničkih dijelova, uključujući okvir od materijala koji se koriste u namještaju, teleskopske vodilice za ladice, vijke i trapezna navojna vretena. Od elektroničkih dijelova koriste se sklopke, senzor za kalibraciju Z osi, tri koračna motora, jedan istosmjerni motor, pretvarač istosmjernog napona, napajanje, modul H-mosta, moduli upravljača, CNC *shield* proširenje za Arduino i Arduino UNO. Za sam rad stroja nužno je i računalo preko kojeg se šalje kôd za izvršavanje. Stroj ima 3 osi: X, Y i Z. Svaka je izrađena kao modul, baza je napravljena od šperploče ili medijapana, na njoj su vijcima pričvršćeni nosači koračnog motora, ležaja, po dvije vodilice te blok (klizač) koji putuje niz os. Na Z osi montiran je istosmjerni motor koji vrti alat. Softver stroja radi u tri dijela. Grafičko sučelje za upravljanje preko računala izrađeno u C# komunicira sa strojem. Softver na Arduinu izrađen je u C++/C koji upravlja strojem, a za rad se koristi G-kôd koji se napravi u CAM alatu kao što je Fusion 360.

Ključne riječi: *CNC, stroj, graviranje, Arduino, računalo*

Summary

This paper talks about the 3 axis machine for engraving based on Arudino. The main use of this machine is engraving various shapes in wood or plastic. The CNC engraving machine consists of mechanical and electronic parts including a frame made of materials used in furniture, telescopic guides for drawers ,screws and threaded screw rods . Electronic parts include switches, Z-axis calibration sensor, three stepper motors, one DC motor, boost converter, power supply, H-bridge module, stepper drivers, CNC shield and Arduino UNO. A cumputer is also necessary for the operation of machine itself as it's used for sending code for execution. The machine has 3 axes X, Y, Z. Each one is made as a module. The base is made out of plywood or mediapan and on it are bolted stepper motor mount, bearings with mounts and two guides that have a block(slider) which travels down the axis mounted on them. A DC motor is mounted on the Zaxis, which rotates the tool. The machine software works in three parts. A graphical interface for computer was made in C# which communicates with machine. Software on the Arduino is made in C++/C that controls the operation of machine according to G-côde made in CAM tool such as Fusion 360.

Key words: *CNC, machine, engraving, Arduino, computer*

Popis korištenih kratica

CNC - (eng. Computer Numerical Control)

UART – (eng. Universal asynchronous reciver/transmitter)

RAM – (eng. Random-access memory)

NEMA – (eng. National Electrical Manufacturers Associacion)

PWM – (eng. Pulse With Modulation)

USB - (eng. Universal Serial Bus)

CAD- (eng. Computer aided Design)

CAM – (eng. Computer adied Manufacturing)

CAE - (eng. Computer aided Engineering)

PCB - (eng. Printed Circuit Bord)

GRBL – (eng. G-code Reference Block Library)

Sadržaj

1. Uvod

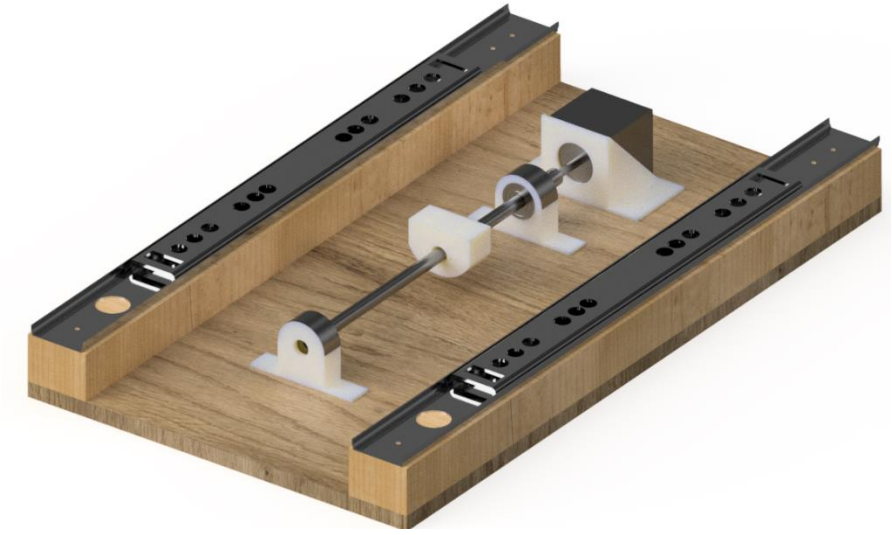
Ideja za ovakav projekt proteže se već duži vremenski period, najviše iz želje da bi se njime mogle izraditi tiskane pločice koje bi služile za izradu strujnih krugova. Cilj projekta bio je izraditi 3-osnu mašinu za graviranje baziranu na Arduino platformi. Graviranje je postupak kod kojeg se u površinu materijala urezuju znakovi ili ukrasi. CNC je upravljanje alatom pomoću računala. Arduino UNO će upravljati modulima, a računalo će putem upravljačkog programa slati naredbe na Arduino. Stroj je izrađen od dijelova koji su bili lako dostupni. Sastoji se od 3 osi, a svaka os sadrži koračni motor koji ostvaruje pokrete, zatim navojnog vretena koje pretvara kružno gibanje motora u pravocrtno te vodilica koje usmjeravaju pokrete. Na Z osi nalazi se istosmjerni motor s glodalom. Arduino upravlja koračnim motorima putem A4988 modula, a istosmjernim motorom pomoću BTS7960 modula. Za napajanje se koristi 12 V prekidačko napajanje, a istosmjerni motor napaja pretvarač istosmjernog napona koji povisuje napon na 24 V kako bi mogao postići punu brzinu od 20 000 okretaja u minuti. *Fusion* 360 će se koristiti za generiranje G-kôda koji se putem C# programa šalje preko UBS-a na Arduino, koji zatim izvodi operacije prema kôdu. Arduino na sebi ima Arduino CNC softver koji podržava osnovne G-kôd naredbe kako bi upravljao strojem, izrađen u Arduino IDE koji je primarno u C++. Za naprednije upravljanje konačnim motorima koristi se biblioteka AccelStepper koja daje mogućnost naprednog upravljanja brzinom te akceleracijom konačnih motora uz objektno orijentirano sučelje.

2. MATERIJALI

2.1. Konstrukcija

Konstrukcija stroja je izrađena od raznih dostupnih materijala iverice, šperploče, medijapana, jele i bukve. Baza stroja je iverica. Na bazi stroja nalazi se Y os i konstrukcija za X osi. Baza Y os izrađena je od medijapana, a ostale od šperploče. Bočne stranice na bazama izrađene su od jele i vijcima su pričvršćene za dno. Na njih su montirane teleskopske vodilice za ladice. U središnji dio montirana je os s pogonom kojeg čini koračni motor s nosačem, dva nosača trapeznog vretena. Kroz njih prolazi trapezno navojno vreteno koje na sebi ima maticu. Matica je pričvršćena u pokretni blok. Pokretni blok odnosno klizač je pričvršćen za pokretni dio vodilice kako bi se kretao po osi zajedno s radnim stolom. Sam radni stol na Y osi napravljen je od iverice i sadrži niz utora s navojnim maticama kako bi se materijali za obradu mogli pričvrstiti. X os je montirana iznad Y osi na konstrukciju za X os, a orijentirana je tako da ostvari okomiti pokret u odnosu na Y os. Na klizaču X osi montirana je Z os koja je okomita na X os. Na klizaču Z osi montiran je prihvat za istosmjerni motor koji se sastoji od spojne pločice na kojoj su zavarene dvije spojnice za stezanje glavnog motora.

Slika 1. 3D model-Modul(X,Y,Z) osi



Izvor: autor

2.2. MEHANIČKI DIJELOVI

2.2.1. Ležajevi

U projektu su korišteni ležajevi promjera 22 mm sa središnjim otvorom od 8 mm i debljinom od 7 mm. Njihova uloga je držati trapezno navojno vreteno u centru s pogonskim motorom te omogućiti okretanje osi.

Slika 2. Ležajevi

Izvor: autor

2.2.2. Trapezno navojno vreteno

Trapezno navojno vreteno sastoji se od šipke s trapeznim navojem i matice. Okretanjem vretena matica putuje te se time kružno gibanje pretvara u pravocrtno. Nema elemenata između kontakta. Jeftinija su od kugličnih, ali manje učinkovita zbog trenja i praznog hoda. Na X i Y osi nalaze se vretena promjera 8 mm s 8 mm hodom dužine 350 mm, dok je na Z osi 8 mm s 2 mm hoda i 200 mm dužine. Vretena promjera 8 mm najčešće se mogu pronaći na 3D printerima.

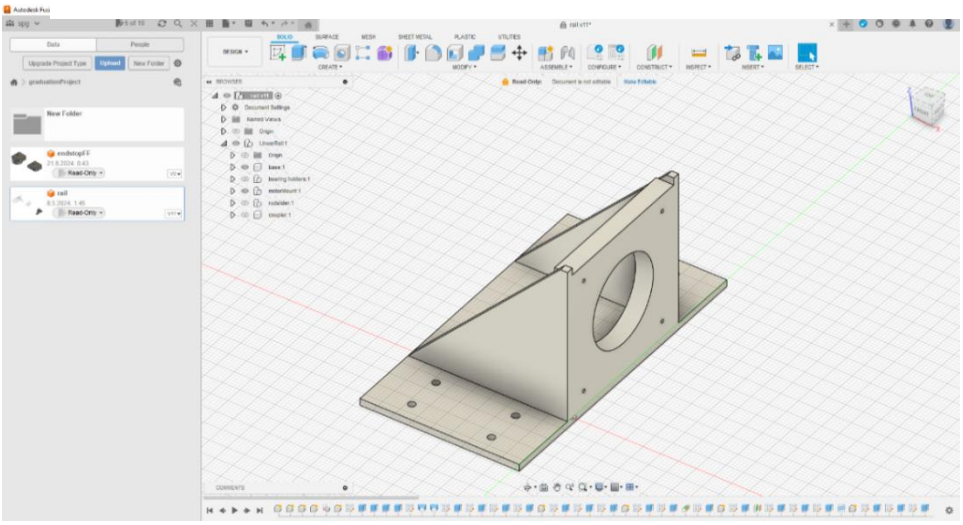
Slika 3. Trapezno navojno vreteno

Izvor: https://vi.aliexpress.com/item/4001332632943.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.110.74201802CuD8sO&gatewayAdapt=glo2vnm. (pristup 14. 8.2024.)

2.2.3. Stalak za koračni motor

Stalak za koračni motor je modeliran i izrađen pomoću 3D printera uz korištenje PLA plastike.

Slika 4. Model stalka za koračni motor

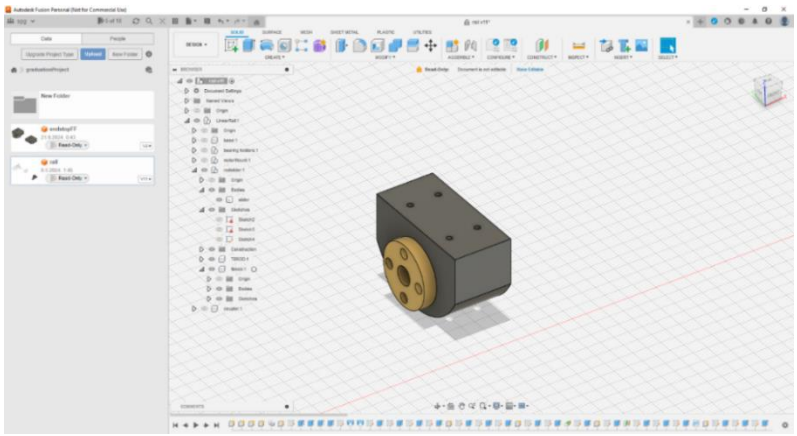


Izvor: autor

2.2.4. Blok za maticu

Blok za maticu je 3D printani dio koji pričvršćuje maticu navojnog vretena za klizač koji putuje po osi.

Slika 5. Model bloka za maticu.

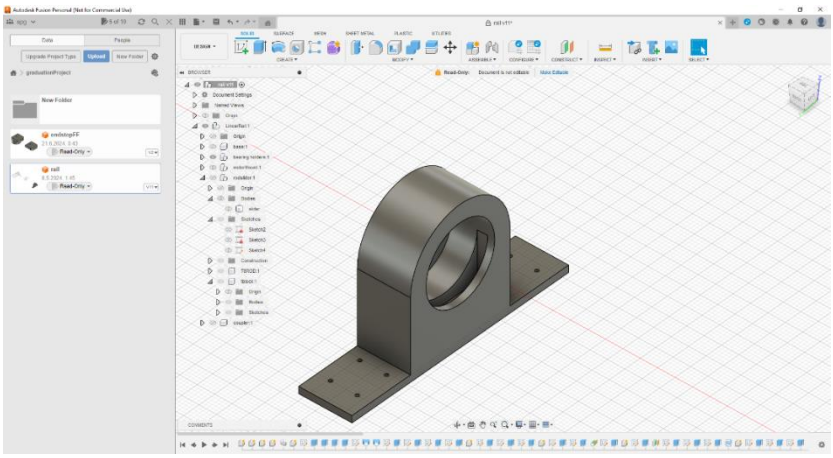


Izvor: autor

2.2.5. Stalak za ležaj

3D printani dijelovi koji drže ležajeve na osi kako bi bili u ravnini s motorom.

Slika 6. 3D model stalaka za ležaj



Izvor: autor

2.2.6. Steznik za istosmjerni motor

Steznik za motor sastoji se od dvije spojnice koje su zavarene na pločicu i služe za pričvršćivanje istosmjernog motora.

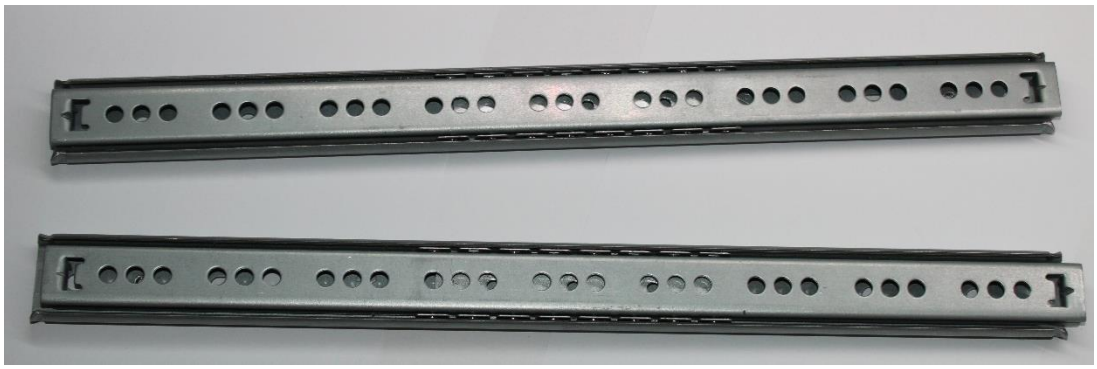
Slika 7. Spojnica i pločica

Izvor: autor

2.2.7. Teleskopske vodilice

Vodilice su ključan dio mašine jer određuju smjer kretanja i nose osi ili podlogu. Postoji niz vrsta vodilica, no često se dijele u dvije skupine: one s valjnim tijelima i bez valjnih tijela. One s valjnim tijelima smanjuju trenje i time osiguravaju lakši pomak. Linearne vodilice sastoje se od tračnice i bloka u kojem se nalazi niz valjnih tijela. Teleskopske vodilice za ladice i stol sastoje se od tračnice i kliznog dijela koji u zidovima sadrži loptice. Znatno su jeftinije i pristupačnije od linearnih i zbog toga su korištene u ovom projektu.

Slika 8. Teleskopske vodilice



Izvor: autor

2.2.8. Prihvat za motor 5 na 8 mm

Potrebno je pričvrstiti trapezno vreteno za motor te se za tu svrhu koristi prihvat koji ima dva utora, jedan od 5 mm, koji odgovara promjeru šipke na motoru, i drugi od 8 mm koji odgovara trapeznom vretenu.

Slika 9. Prihvat za motor

Izvor: autor

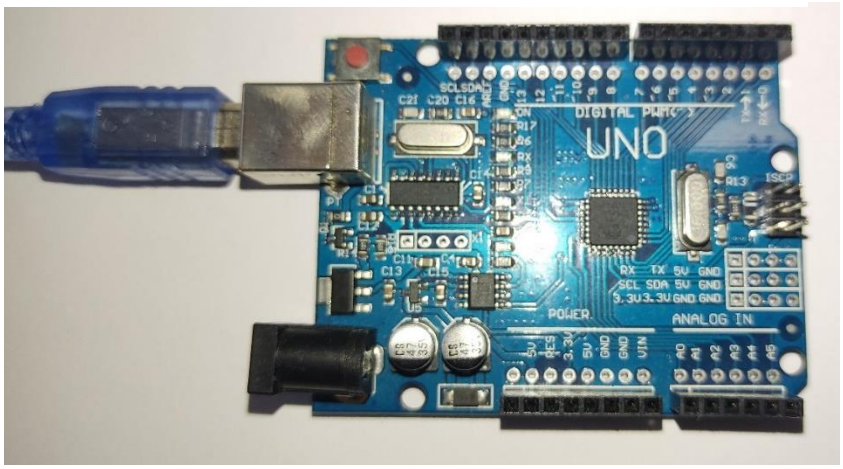
2.2.9. Ostali dijelovi

Vijci, matice, trio matice, spojne pločice, kutnici, akrilno staklo.

2.3. Arduino

Arduino pločica je razvojna platforma bazirana na Atmelovom mikroupravljaču, a cilj Arduina je omogućiti svima lagani ulaz u programiranje mikroupravljača. Mikroupravljač u sebi sadrži *bootloader* koji omogućuje učitavanje programa putem USB-a. Komunikacija se izvodi preko sučelja koje prevodi USB u UART[1] i zbog toga pločica ne treba zasebni programer za programiranje. Arduino UNO je baziran na Atmega328P-PU koji je 8-bitni mikroupravljač s 32 KB *flash* memorije i 2 KB RAM memorije. U projektu Arduino vrši upravljanje dijelovima stroja prema uputama zadanim u obliku G-kôda. Programiranje se vrši putem Arduino IDE. Arduino UNO ima 12 digitalnih ulaza i izlaza od kojih 6 ima mogućnost PWM izlaza, a 6 pinova sadrži 8-bitni ADC.

Slika 10. Arduino UNO



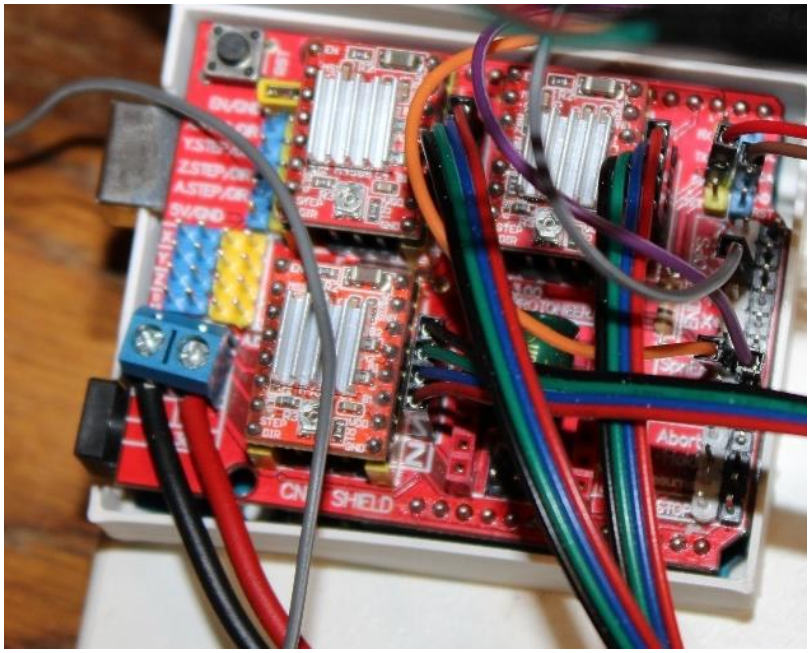
Izvor: autor

[1] UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, protokol za komunikaciju između dvaju uređaja. Koristi dvije linije za zaseban smjer, umjesto *clock* signala koristi se *baud rate*. Uređaji prethodno moraju imati postavljenu brzinu slanja podataka.

2.4. CNC modul

CNC modul je proširenje za Arduino UNO koje se priključuje na Arduino pločicu. Dizajniran je tako da je kompatibilan s GRBL-om, softverom otvorenoga kôda koji razumije G-kôd i upravlja hardverom. Na sebi ima izvedene priključke za module upravljača koračnih motora kao što su A4988 ili DRV8825 te ulaze kao što su granični prekidači.

Slika 11. Arduino UNO s CNC modulom te 3 upravljača



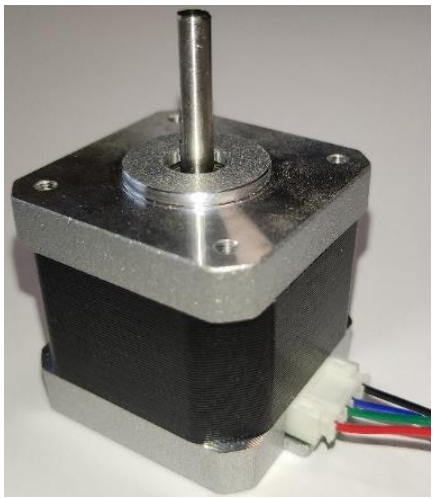
Izvor: autor

2.5. Koračni motor

Koračni motor je vrsta istosmjernog motora koji se u odnosu na klasični vrti korak po korak i time osigurava precizno kretanje. Ovisno o izradi postoji nekoliko vrsta: sa stalnim magnetima, varijabilnom reluktancijom i hibridni. Također mogu imati različiti broj para zavojnica, odnosno faza, pri čemu najčešće korišteni imaju dvije ili četiri. Postoji u više dostupnih veličina, gdje su veći motori snažniji. NEMA[2] standard kod koračnih motora govori o veličini prednje strane motora dok ostale karakteristike ovise o modelu. Različiti koračni motori mogu imati različiti broj koraka po revoluciji. U projektu je korišten NEMA 17 hs4401 koji je bipolarni hibridni koračni motor koji ima 200 koraka po okretaju što daje pomak od 1,8 stupnjeva. Hibridni koračni motor sastoji se od dva zupčanika od feromagnetnog materijala između kojih se nalazi magnet. Na taj način jedan zupčanik je južni pol, a drugi sjeverni. Zupčanici su zamaknuti tako da je zubac drugog između prvog. Na statoru se nalaze zavojnice koje tvore elektromagnet s feromagnetnom jezgrom i na njihovim su vrhovima oblikovani zupci koji su poravnati sa zupcima na rotoru. Pri uključivanju faze zavojnica s obadvije strane nalaze se dva različita pola u blizini jednog zupca zavojnice. S obzirom na to da se suprotni polovi privlače, a istoimeni odbijaju, suprotan će se rotirati prema zavojnici. Zatim se uključuje drugi niz zavojnica kod kojih se ponovo nalaze dva različita pola. Polaritet polova je također različit s obje strane i samim time će se, ovisno o smjeru struje kroz zavojnice, odrediti smjer okretaja. Maksimalna struja mu je 1.5 A i daje 40 Ncm okretnog momenta.

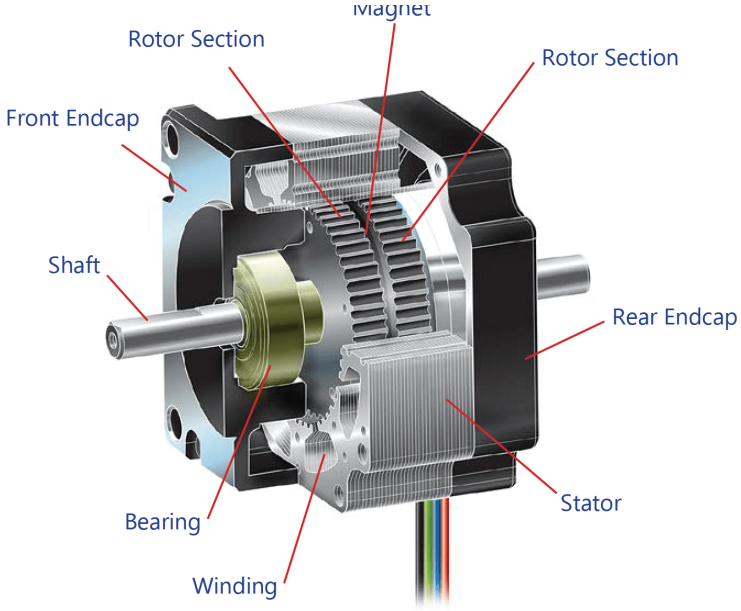
[2] NEMA (National Electrical Manufacturers Association) – definira standarde za razne uređaje, a u slučaju steppera govori o veličini prednje strane motora

Slika 12. Koračni motor NEMA 17 hs4401



Izvor: autor

Slika 13. Koračni motor iznutra



Izvor: https://www.linengineering.com/technology/hybrid-stepper-motors

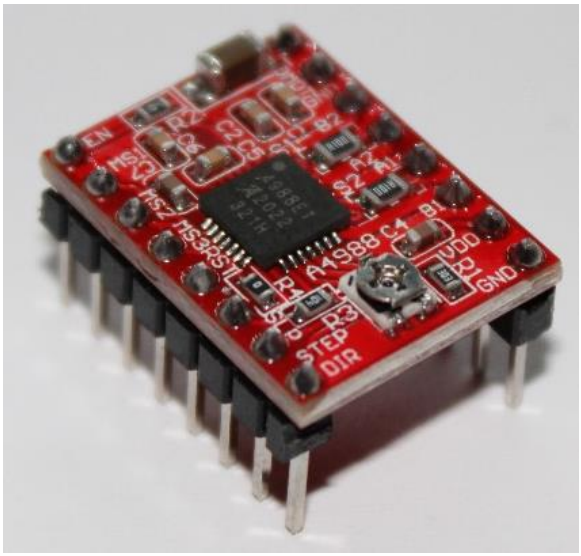
(pristup : 17.9.2024)

2.6. Modul A4988

A4988 je upravljač bipolarnih koračnih motora. Unutar sebe sadrži pretvarač koji, ovisno o stanju na ulazima, upravlja kontrolerom i pretvaračima. Moguće je odabrati od punog koraka do jedne šesnaestine koraka što se radi pomoću četiri ulaza, a s tri ulaza se upravlja smjerom, rotacijom i omogućavanjem okretanja motora. Također na sebi ima i ograničavanje izlazne struje pomoću potenciometra (na modulu), a njime se postavlja U_{ref}, dok se praćenje provodi na dva vanjska otpornika R_s za svaku fazu. Maksimalna izlazna struja se računa prema formuli 2.1. R_s ovisi o proizvođaču, najčešće iznosi 0.1Ω.

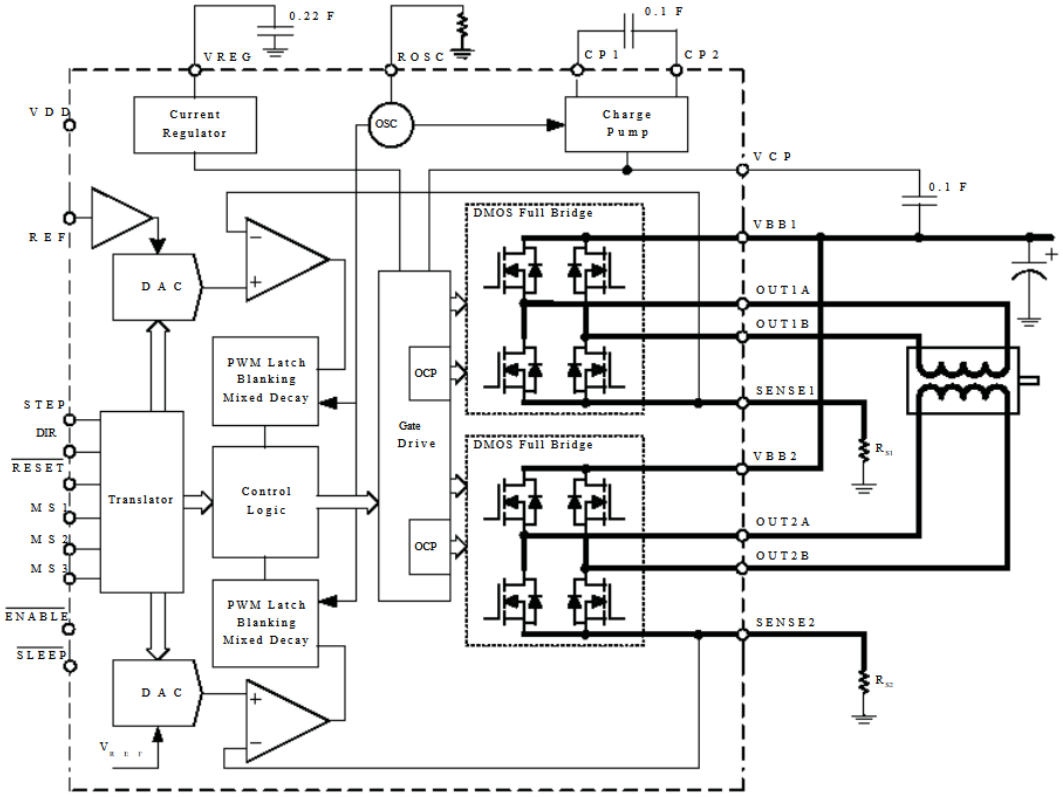
$$I = \frac{U_{ref}}{8 * R_s} \tag{2.1}$$

Slika 14. Modul upravljača koračnih motora A4988



Izvor: autor

Slika 15. Blok-shema upravljača koračnog motora

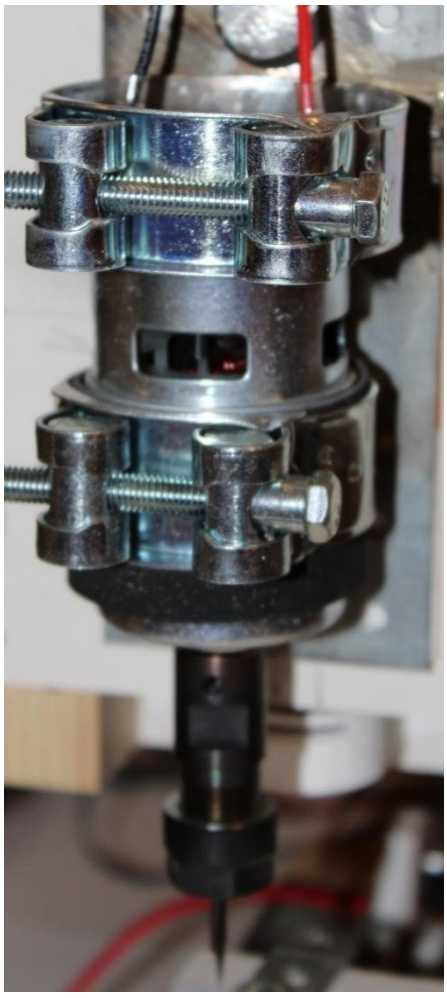


Izvor: https://www.alldatasheet.com/html-pdf/338780/ALLEGRO/A4988/888/3/A4988.html (pristup 17.9.2024)

2.7. Istosmjerni motor s četkicama

Postoji više vrsta istosmjernih motora: sa stalnim magnetima, elektromagnetima, s četkicama i bez četkica. Istosmjerni motor s četkicama i stalnim magnetima sastoji se od statora na kojem se nalaze magneti i rotora na kojem su zavojnice. Za prijenos struje na zavojnice kontakt se ostvaruje pomoću četkica i komutatora. Radi na temelju Lorentzove sile koja nastaje uslijed gibanja elektrona u magnetskom polju. Smjer sile određuje se pravilom lijeve ruke. U projektu se koristi za vrtnju glodala i drugih alata. Nedostatak istosmjernog motora s četkicama je kraći životni vijek jer se četkice uslijed vrtnje troše. Prednost mu je da nema potrebu za dodatnom upravljačkom jedinicom. U projektu je korišten motor koji na sebi ima steznu glavu za alat promjera do 3.15 mm.

Slika 16. Istosmjerni motor s četkicama.

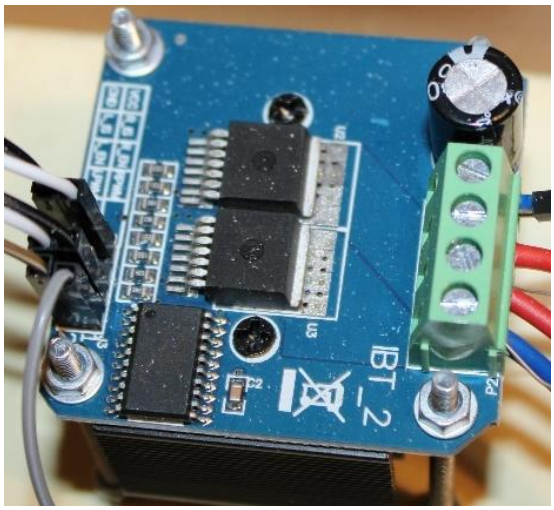


Izvor: autor

2.8. Modul BTS7960

Arduino sam ne može pokretati velika trošila, odnosno veće struje ni napone iznad 5 V, pa se za upravljanje istosmjernim motorom koristi BTS7960 modul. To je modul „H-most“ (engl. H-bridge) za velike struje. Na modulu se nalaze dva integrirana polovična H-mosta. Maksimalna struja mu je 43 A, a napon od 6 do 27 V. Za spajanje na mikroupravljač ima dva izlaza za mjerenje struje i četiri za kontrolu, od kojih su dva za omogućavanje upravljanja. H-most je elektronički sklop pomoću kojeg se može upravljati smjerom vrtnje istosmjernog motora, a sastoji se od četiri sklopke tako da dvije spajaju svaku stranu motora s oba pola izvora. Uključivanjem suprotnih sklopki omogućuje se prolaz struje kroz motor u jednom smjeru, a njihovim gašenjem te paljenjem drugih motor će se vrtjeti u drugom smjeru, dok se brzina istosmjernog motora može upravljati pomoću PWM-a[3]. U BTS7960 ulogu sklopki preuzimaju MOSFETI. U projektu se koristi samo jedan ulaz jer će se motor vrtjeti samo u jednom smjeru te je dodana obrnuto polarizirana dioda za zaštitu u slučaju EMF-a iz motora.

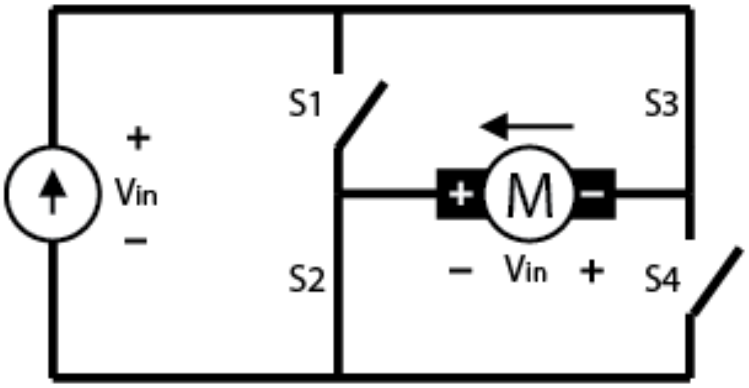
Slika 17. BTS7960 modul



Izvor : autor

[3] PWM (engl. *Pulse With Modulation*) – tehnika kod koje se pomoću digitalnog signala simulira analogni variranjem vremena trajanja napona visoko/nisko.

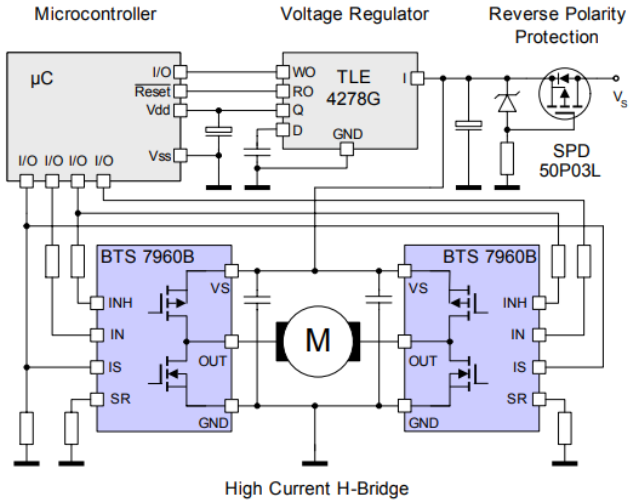
Slika 18. H-most



Izvor: *https://digilent.com/blog/what-is-an-h-bridge/*

(pristup: 17.9.2024)

Slika 19. Shema BTS7960 modula



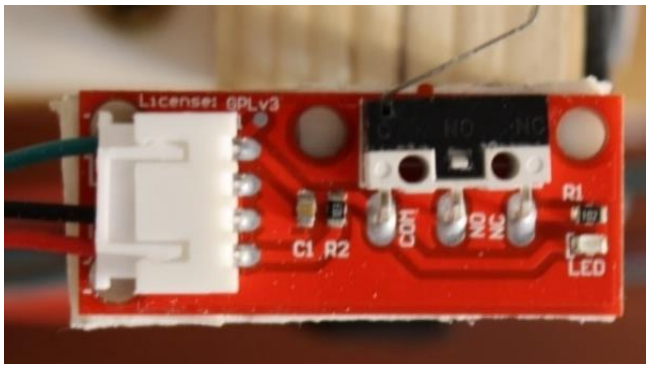
Izvor:
https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf

(pristup: 17.9.2024)

2.9. Prekidači

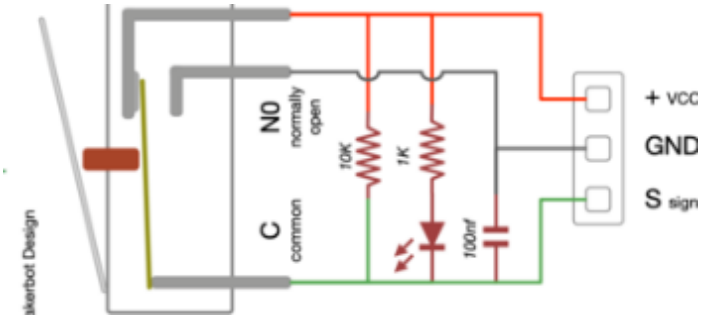
Prekidači služe za uključivanje i isključivanje strujnoga kruga. U projektu se koriste na krajevima osi kako bi Arduino dobio informacije da je došao do kraja jedne osi. Na sami uređaj montirana je „gljiva“ odnosno sigurnosna sklopka, koja pritiskom na tu „gljivu“ isključuje cijeli uređaj. Za granične prekidače korišteni su moduli koji u sebi imaju kondenzatore, otpornike i LED diodu. Kondenzator služi za smanjenje smetnji, a otpornici jedan za podizanje napona signalne žice na logičku jedinicu, dok drugi služi za ograničavanje struje kroz LED diodu. S obzirom na to da su moduli prekidača spojeni na isti ulaz, nije moguće koristiti 5 V jer dovodi do velike struje kroz Arduino te su korišteni samo signalni izlaz i zemlja. Za spajanje na isti ulaz korištena je eksperimentalna pločica i na nju je montiran otpornik 10 KΩ koji služi za podizanje napona na logičkih 5 V.

Slika 20. Izgled graničnog prekidača



Izvor: autor

Slika 21. Shema graničnog prekidača



Izvor: https://reprap.org/wiki/Mechanical_Endstop. (pristup 13. 8. 2024.)

Slika 22. Gljiva tipkalo

Izvor: autor

2.10. CNC *touch* senzor

Za preciznije namještanje alata koristi se CNC *touch probe* koja radi tako da se ostvari kontakt preko metala na motoru, odnosno alata, i dobro izolirane metalne površine. Pritiskom na Z-cal gumb poziva se Zcal funkcija. Ona pomiče Z os sve dok ne ostvari kontakt sa senzorom, koji je spojen zajedno s graničnim prekidačima te funkcionira na isti način. Nakon ostvarenog kontakta glava stroja vraća se 5 mm iznad materijala kako bi se senzor mogao maknuti. Zatim se pozicija stroja postavlja na 24.5 mm visine te ostale osi na 0 mm.

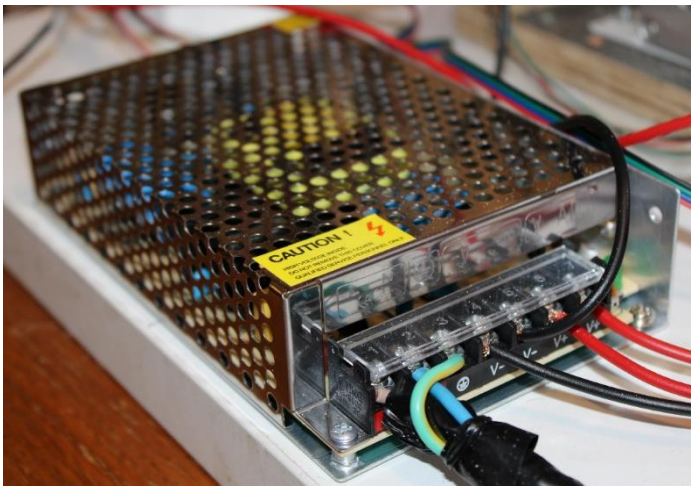
Slika 23. CNC touch senzor

Izvor: autor

2.10. Napajanje

Za komponente je potreban izvor istosmjerne struje niskog napona, a za tu svrhu koristi se prekidačko napajanje. Prekidačko napajanje sastoji se od filtera, ispravljača koji pretvara izmjeničnu u istosmjernu, prekidača, transformatora i kruga za upravljanje. Izlaz je izoliran u odnosu na ulaz preko transformatora i optokaplera[4]. Na izlazu se prati napon te po potrebi smanjuje ili povećava širina PWM kojim se prekida ulaz. Izlaz se dodatno filtrira kako bi se dobio što stabilniji napon. Glavna prednost prekidačkog napajanja je visoka učinkovitost, a većom frekvencijom smanjuje se veličina potrebnog transformatora. Paljenjem i gašenjem odbacuje se potreba za disipacijom nekorištene snage. Jedini nedostatak je što paljenjem i gašenjem ostaju manje fluktuacije u naponu koje nije moguće potpuno otkloniti. U projektu je korišteno 12 V 10 A napajanje.

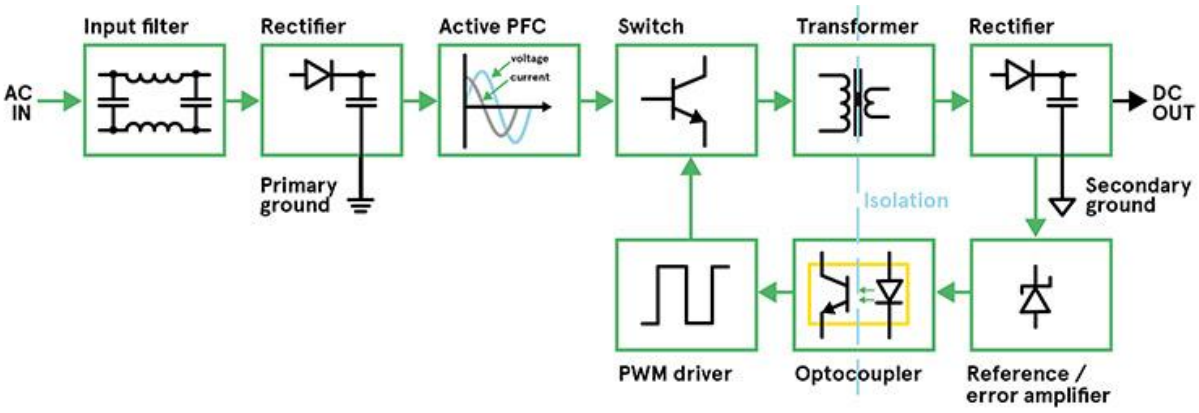
Slika 24. Prekidačko napajanje



Izvor: autor

[4] Optokapler – komponenta koja pomoću svjetla prenosi upravljački signal iz jednog strujnog kruga u drugi

Slika 25. Blok-shema prekidačkog napajanja

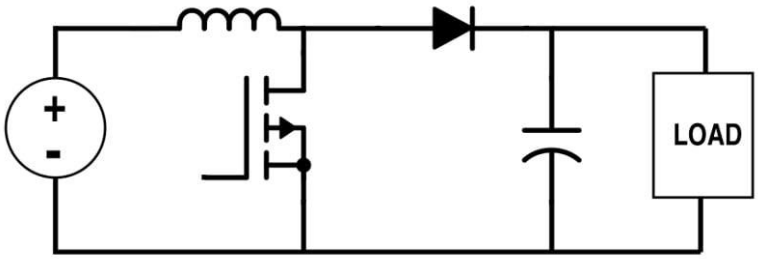


Izvor: https://elektronikaupraksi.com/napajanje/prekidacko-napajanje-switch-mode-power-supply-smps/ (pristup 17.9.2024)

2.11. Pretvarač istosmjernog napona

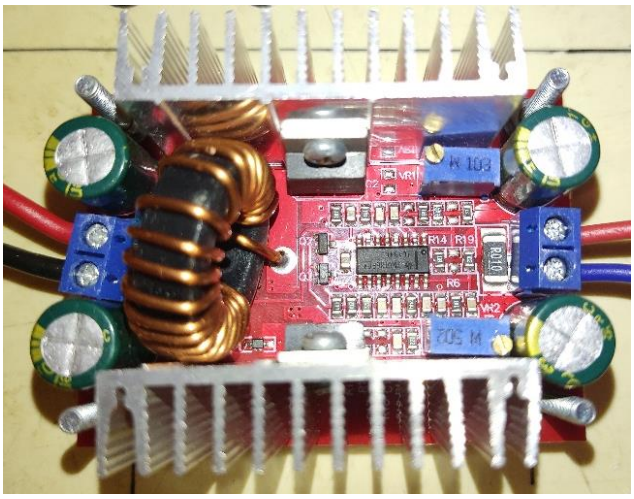
Budući da se u projektu koristi 12 V napajanje, a istosmjerni motor zahtijeva 24 V za maksimalnu brzinu vrtnje, da bi se izbjegla potreba za 2 napajanja, koristi se pretvarač istosmjernog napona koji povisuje napon na 24 V. Pretvarač je oblik prekidačkog napajanja koji radi na bazi Faraday-Lenzovog zakona. Osnovni pretvarač sastoji se od: zavojnice, sklopke, diode i kondenzatora. Paljenjem sklopke struja prolazi kroz zavojnicu uslijed čega nastaje magnetsko polje. Gašenjem sklopke energija u obliku magnetskog polja pohranjena u zavojnici ispušta se kroz diodu u kondenzator, dok dioda onemogućuje pražnjenje kondenzatora kroz sklopku. Na samu sklopku može se dodati još jedan sklop koji daje PWM kako bi se regulirao i održao stabilan napon. U projektu je korišten 400 W 15 A 10-60 V modul koji ima dva potenciometra s kojima se može regulirati izlazni napon i struja.

Slika 26. Shema osnovnog pretvarača napona.



Izvor:https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-the-operation-of-a-boost-converter/ (pristup: 13.8.204)

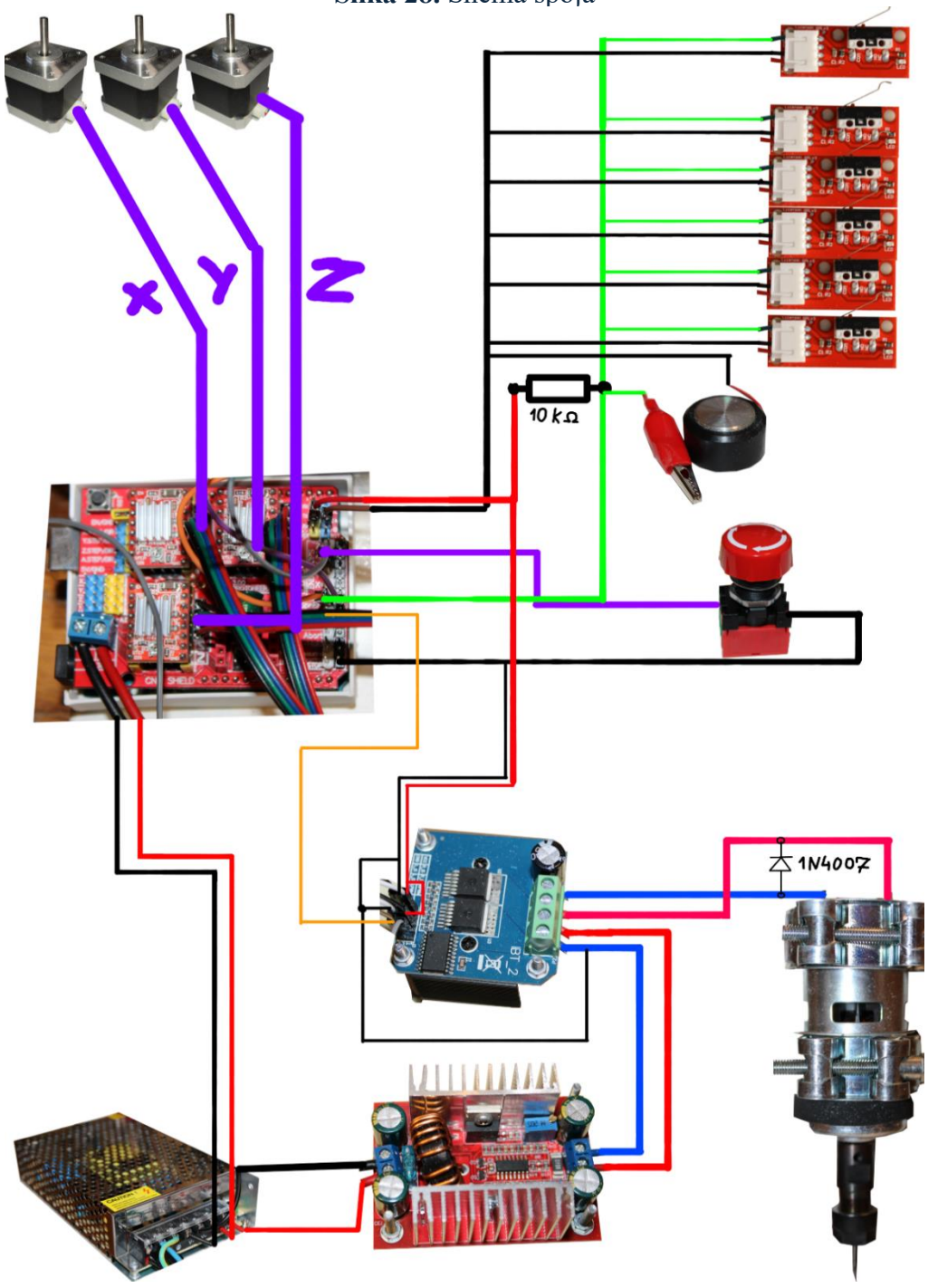
Slika 27. Pretvarač napona



Izvor: autor

3. SHEMA SPOJA PROJEKTA

Slika 28. Shema spoja



Izvor: autor

4. SOFTVER

3.1. Arduino IDE

Arduino IDE je razvojno okruženje za programiranje Arduino pločica i drugih kompatibilnih razvojnih pločica. U novijoj verziji 2.0 promijenjeno je sučelje i dodane su nove mogućnosti kao što je osnovno automatsko popunjavanje. U projektu je korišten za izradu softvera koji upravlja strojem. Programiranje se primarno vrši u C++-u, no može se i u C-u. U samom programu moguće je preuzeti i instalirati biblioteke, odabrati pločicu priključenu na određen USB ulaz, slati i primati podatke putem USB-a. Arduino ima već izveden niz funkcija koje olakšavaju samo programiranje mikroupravljača te nije nužno poznavati hardver na izrazito niskoj razini.

3.2. Biblioteke

U projektu je korištena biblioteka AccelStepper koja omogućava naprednu kontrolu koračnih motora na bazi objektno orijentiranog pristupa. Napravio ju je Mike McCauley, a održava ju Patrick Wasp .

AccelStepper ,Arduino , Dostupno na:
https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/accelstepper/ (Pristup 17.9.2024)

Može se upravljati s više motora istovremeno i podržava jako spore brzine. Također daje mogućnost akceleracije i deceleracije. Korištenje same biblioteke je jednostavno, započinje se izradom objekata motora. Na samom objektu postavljaju se parametri te se zatim pokreće motor pomoću *run* metode koja se mora uzastopno pozivati sve dok udaljenost stavljena na motoru ne dođe na 0.

3.3. G-KÔD

G-kôd je jezik za upravljanje CNC strojevima i 3D printerima. Djelomično je standardiziran jer neke mogućnosti mogu ovisiti o proizvođaču strojeva, no postoji određeni niz koji je isti za sve (G-code Tutor: CNC G Codes , https://gcodetutor.com/cnc-machine-training/cnc-g-codes.html) . Neke od njih su: G00, G01, G02, G03, G04, G20, G21, G90, G91, G40, G41, G42, G70-G76, G80-G86, G54-G59.

G00 pravocrtno gibanje maksimalnom brzinom

G01 pravocrtno gibanje

G02 kružno gibanje u smjeru kazaljke na satu

G03 kružno gibanje suprotno smjeru kazaljke na satu

G04 pauziranje

G20, G21 mjerne jedinice u mm ili inčevima

G90 parametri su zadani apsolutno, u odnosu na početnu poziciju stroja

G91 parametri su zadani relativno, u odnosu na trenutnu poziciju

G40 prekidanje kompenzacije alata

G41, G42 lijeva, desna kompenzacija alata

G70, G72, G74, G76 ciklusi za otklanjanje velikih količina materijala

G81, G82, G83, G84, G85, G86 ciklusi za bušenje rupa

G10, G54-G59 postavljanje točaka na materijalu, odabir točaka na materijalu.

3.4 Arduino CNC V0_0_8U_D

Arduino CNC je naziv softvera razvijenog u izradi projekta. Njegova funkcija je preuzimanje komandi s USB-a te interpretacija G-kôda i upravljanje strojem. Podržava osnovne G-kôd naredbe G0, G1, G2, G3, G17, G18, G19, G20, G21, G90, G91, M3, M4 i M30. Za početak Arduino očekuje samo USB naredbe koje se šalju kroz funkciju *doUsbCommands*, a primitkom $BEGIN# započinje se zaprimanje G-kôda.

Slika 29. doUsbCommands funckcija

```
bool doUSBcommands(String cmd) {
  // Return false if the command is empty or co
  if (cmd.length() == 0) {
    return false;
  }

  if (cmd == startUsbCommunication) {
    SendRepply(usbCommBeginReply);
    if (!usbCommRunning) {
      usbRun();
    }
    return true;
  }

  if (usbCommRunning || running) {
    if (cmd == usbCommEnd) {
      usbCommRunning = false;
      return true;
    }
    if (cmd == startGcodeStream) {
      SendRepply(okA);
      if (!running) {
        reciveGcode();
      }
      return true;
    }
    if (cmd == sendSingleGCln) {
      reciveSingleGcode();
      return true;
    }
    if (cmd == beginHomeSequence) {
      SendRepply(okA);
      home();
      SendRepply(sequenceDone);
      return true;
    }
    if (cmd == beginZcalSequence) {
      SendRepply(okA);
      zCal();
      SendRepply(sequenceDone);
      return true;
    }
    if (cmd == disableES) {
      SendRepply(okA);
      disableEndstops();
```

Izvor: autor

Slika 30. Zaprimanje G-kod naredbi

```
> void usbRun() {···
  }

  String usbLine = "";
  bool running = false;
  bool done = false;
  void reciveGcode() {
    running = true;
    while (running) {
      checkStopBtn();
      if (checkEndstops()) {

        SendRepply(stopGcodeStream);
        break;
      }

      usbLine = readUsbLine();
      usbLine.trim();

      if (usbLine.length() > 0) {
        if (!doUSBcommands(usbLine)) {
          readCommandLine(usbLine);
          delay(100);
        }
        if (!done) {
          SendRepply(gcodeStreamSendNext);
        }
      } else {
        delay(100);
        if (!done) {
          SendRepply(gcodeStreamSendNext);
        }
      }
      printStatus();
    }
    if (done) {
      home();
    }
  }
> void reciveSingleGcode() {···
  }

  // homing and calibration commands----------
  bool ignoreStopExecution = false;
```

Izvor: autor

Nakon izvršene linije šalje $NEXT# kako bi dao do znanja računalu da pošalje sljedeću liniju. G-kôd *streaming* radi tako da će, u slučaju da ne naiđe na određenu USB naredbu, preusmjeriti dobivenu liniju na čitanje u *readCommandLine()*. Čitanje radi tako da dobivenu liniju rastavlja na dijelove, prvo koristeći razmak. U slučaju da naiđe na zagrade, ignorirat će tu liniju. Nakon toga pojedina dobivena riječ se rastavlja na slovo i broj. Ako se radi o M, prevodi se M-komanda, a ako se radi o G, odradit će se G-komanda. Broj se zatim koristi za postavljanje vrijednosti varijabli kao što su varijabla (*motionMode*) koja se koristi za određivanje vrste kretanja u slučaju G0-G3 ili za odabir glavnih osi G18-G19, dok kod M komande utječu na vrtnju motora i prekid izvođenja programa. Ako se radi o drugim slovima, broj se preusmjerava kao određeni parametar i, nakon što se pročita linija, stroj izvršava kôd.

Slika 31. Dio koda koji čita linju G-koda i statusne varijable

```
}
//i za debug
int i = 1;
//////////////////////////////////////////////////////////
// Process G-code line
void readCommandLine(String gCodeLine) {

  checkStopBtn();
  Serial.println(gCodeLine);
  resetPosVars();
  calcStuff();

  for (unsigned int i = 0; i < gCodeLine.length(); i++) {
    if (gCodeLine[i] == ')') {
      ignore = false;
    } else if (gCodeLine[i] == '(') {
      ignore = true;
    }

    if (!ignore) {
      if (validChar(gCodeLine[i])) {
        readPC = true;
        output += gCodeLine[i];
      } else if (readPC) {
        gcodeSegmentReciver(output);
        readPC = false;
        output = "";
      }
    }
  }

  if (readPC && !(output == "")) {
    gcodeSegmentReciver(output);
    output = "";
    readPC = false;
  }

  if (!ignore) {
    executeCommand();
  }
    gcodeSegmentReciver(output);
    output = "";
    readPC = false;
  }

  if (!ignore) {
    executeCommand();
  }

  i++;
}

// Handle received G-code segment
void gcodeSegmentReciver(String code) {
  char c = code[0];
  code.remove(0, 1);
  double num = code.toDouble();

  switch (c) {
    case 'G': gCom(num); break;
    case 'M': mCom(num); break;
    case 'F': feedRate = num; break;
    case 'I': Ivalue = num; break;
    case 'J': Jvalue = num; break;
    case 'K': Kvalue = num; break;
    case 'R': Rvalue = num; break;
    case 'S': Svalue = num; break;
    case 'X': Xvalue = num; break;
    case 'Y': Yvalue = num; break;
    case 'Z': Zvalue = num; break;
  }
}

// Reset nonModal variables
void resetPosVars() {···
}
// set origin
void setOrigin() {···
}


// ----------------------Gocde iz
bool readPC = false;
bool ignore = false;
String output = "";

// G-code status variables
bool spindleOn = false;
bool spindleDirClock = true;
bool unitModeMM = true;
bool distanceModeAbs = false;
bool toolLengthOffset = false;
bool cutterCompensation = false;
bool exactStop = false;
bool feedRateModeUnitPmin = true;
byte motionMode = 0;  // g0 1 / g1
bool xyPlane = true;
bool xzPlane = false;
bool yzPlane = false;

// G-code parameter status variabl
float feedRate = 0;
float Ivalue = 0;
float Kvalue = 0;
float Jvalue = 0;
float Rvalue = 0;
float Svalue = 0;
float Xvalue = 0;
float Yvalue = 0;
float Zvalue = 0;

//speed
float speedVar;


//stuff thats recaclucated
bool calc = false;
float xAxisResoultion;
float yAxisResoultion;
```

Izvor: autor

Kod izvršavanja kôda postoji nekoliko slučajeva, a to su paljenje i gašenje vretena te pravocrtno i kružno gibanje. Kod paljenja motora broj okretaja u minuti izračunava se u postotak PWM-a prema kojem se izračuna PWM. Zatim se izlazni PWM postupno povećava svaki određeni vremenski razmak dok ne postigne traženu vrijednost. Za to vrijeme stroj ne radi ništa. Na isti način radi i gašenje. Za PWM izlaz koristi se Arduino funkcija analogWrite(8-bitna vrijednost).

Slika 32. funkcije za pokretanje i gašenje vrtnje alata

```
1118  byte spindleDelay = 100;
1119  void runSpindle(byte spdPWM) {
1120    Serial.println(spdPWM);
1121
1122
1123    if (spindleCurrent == spdPWM) {
1124      return;
1125    }
1126    if (spdPWM == 0) {
1127      spindleOFF();
1128    } else {
1129      spindleON(spdPWM);
1130    }
1131  }
1132  void spindleOFF() {
1133
1134    while (spindleCurrent > 0) {
1135      spindleCurrent--;
1136      analogWrite(spindleSpeedOut, spindleCurrent);
1137      delay(spindleDelay);
1138    }
1139  }
1140  void spindleON(byte &PWM) {
1141    if (PWM < spindleCurrent) {
1142      while (spindleCurrent > PWM) {
1143        spindleCurrent--;
1144        analogWrite(spindleSpeedOut, spindleCurrent);
1145        delay(spindleDelay);
1146      }
1147    }
1148    while (spindleCurrent < PWM) {
1149      spindleCurrent++;
1150      analogWrite(spindleSpeedOut, spindleCurrent);
1151      delay(spindleDelay);
1152    }
1153  }
1154  byte calcSpindleSpeed(float rpm) {
1155    return (rpm / spindleMaxRPM) * 255;
1156  }
```

Izvor : autor

Kod pravocrtnog kretanja prvo se izračunava broj potrebnih koraka te smjer. Zatim se traži motor s najviše koraka te se prema tome izračunaju brzine koristeći omjer broja koraka. Nakon svih izračuna osvježi se apsolutna pozicija stroja i postavljaju se parametri za svaki motor te se pokreće funkcija *moveMotors()*. U njoj se nalazi petlja koja radi dokle god motori ne postignu traženu poziciju. U međuvremenu stroj prati stanje graničnih prekidača i prekidača za hitno zaustavljanje putem funkcija *checkEndstops* i *checkStopBtn*. U slučaju da se neki od njih aktivira, motori će prestati s radom i vreteno će se polako zaustaviti.

Slika 33. Funkcija koja priprema linearni pomak

```
// prep data-----------------------------------------------
void moveAllAxis(float x, float y, float z, float spd) {
  enableSteppers();
  checkEndstops();

  checkStopBtn();

  float xt = 0, yt = 0, zt = 0;
  int xSteps, ySteps, zSteps;
  float xSpd, ySpd, zSpd;
  float xAcc, yAcc, zAcc;


  bool xDir = true, yDir = true, zDir = true;
  xSpd = calculateSpeedFrMMS(xAxisResoultion, spd);
  ySpd = calculateSpeedFrMMS(yAxisResoultion, spd);
  zSpd = calculateSpeedFrMMS(zAxisResoultion, spd);


  if (distanceModeAbs) {

    xt = calcMove(machineAbsPosX, x);
    yt = calcMove(machineAbsPosY, y);
    zt = calcMove(machineAbsPosZ, z);
  } else {
    xt = x;
    yt = y;
    zt = z;
  }

  if (unitModeMM) {
    xSteps = floor((xt * xAxisStepMM));
    ySteps = floor((yt * yAxisStepMM));
    zSteps = floor((zt * zAxisStepMM));
  } else {
    xSteps = floor(xt * (xAxisStepMM * 25.4));
    ySteps = floor(yt * (yAxisStepMM * 25.4));
    zSteps = floor(zt * (zAxisStepMM * 25.4));
  }


  if (xSteps < 0) {
    xSteps = xSteps * -1;
    xDir = false;
  }
  if (ySteps < 0) {
    ySteps = ySteps * -1;
    yDir = false;
  }
  if (zSteps < 0) {
    zSteps = zSteps * -1;

    zDir = false;
  }


  if (xDir) {
    machineAbsPosX += (xAxisResoultion * xSteps);
  } else {
    machineAbsPosX -= (xAxisResoultion * xSteps);
  }
  if (yDir) {
    machineAbsPosY += (yAxisResoultion * ySteps);
  } else {
    machineAbsPosY -= (yAxisResoultion * ySteps);
  }
  if (zDir) {
    machineAbsPosZ += (zAxisResoultion * zSteps);
  } else {
    machineAbsPosZ -= (zAxisResoultion * zSteps);
  }
  int primarySteps = max(xSteps, max(ySteps, zSteps));


  if (primarySteps == 0) { return; }

  float xRelSpd = (float)xSteps / primarySteps * xSpd;
  float yRelSpd = (float)ySteps / primarySteps * ySpd;
  float zRelSpd = (float)zSteps / primarySteps * zSpd;



  setMotorParameters(stepperX, xRelSpd, xAcc, xSteps, xDir);
  setMotorParameters(stepperY, yRelSpd, yAcc, ySteps, yDir);
  setMotorParameters(stepperZ, zRelSpd, zAcc, zSteps, zDir);

  moveMotors();
}
```

Izvor: autor

Slika 34. Pokretanje motora

```
void moveMotors() {

  while (stepperX.distanceToGo() != 0 || stepperY.distanceToGo() != 0 || stepperZ.distanceToGo() != 0) {
    checkStopBtn();

    if (checkStopBtn() || checkEndstops()) { return; }

    stepperX.run();
    if (checkStopBtn() || checkEndstops()) {
      Serial.println("X");
      return;
    }
    stepperY.run();
    if (checkStopBtn() || checkEndstops()) {
      Serial.println("Y");
      return;
    }
    stepperZ.run();
    if (checkStopBtn() || checkEndstops()) {
      Serial.println("Z");
      return;
    }
  }
}
```

Izvor: autor

Slika 35. Funkcije koje provjeravaju status prekidača

```
1211  bool checkStopBtn() {
1212    if (digitalRead(stpBtnPin) == LOW) {
1213      Serial.println("$STOPBTN#");
1214      stopExecutionSB();
1215      spindleOFF();
1216      running = false;
1217      return true;
1218    }
1219    return false;
1220  }
1221
1222  bool checkEndstops() {
1223
1224    if (digitalRead(endStpPin) == LOW) {
1225      if (!ignoreStopExecution) {
1226        running = false;
1227        spindleOFF();
1228        stopExecution();
1229        return true;
1230      }
1231    }
1232
1233    return false;
1234  }
```

Izvor: autor

Za kružni pokret ovisno o odabranim primarnim osima G17-G19 šalju se parametri u funkcije za izračun točaka kružnice. Funkcija za početak zaokruži točke, izračuna radijus i odredi gdje se na kružnici nalazi početna točka putem funkcije *getPointPosOnCircle*.

Slika 36. followCircle, dio 1

```
float outputA;
float outputB;
bool doFullCircle = false;
void followCircle(float startA, float startB, float centerA, float centerB, float targetA, float targetB, float increment, float threshold, bool dirClock) {

  float ctrA = centerA / increment;
  float ctrB = centerB / increment;

  float ta = targetA / increment;
  float tb = targetB / increment;

  float sa = startA / increment;
  float sb = startB / increment;


  ctrA = floor(ctrA) * increment;
  ctrB = floor(ctrB) * increment;


  ta = floor(ta) * increment;
  tb = floor(tb) * increment;

  sa = floor(sa) * increment;
  sb = floor(sb) * increment;

  if (sa == ta && sb == tb) {
    doFullCircle = true;
  } else {
    doFullCircle = false;
  }


  debugLn("follow cirlce: " + String(sa) + "," + String(sb) + " center: " + String(ctrA) + "," + String(ctrB) + " target: " + String(ta) + "," + String(tb));



  float pstarta = sa;
  float pstartb = sb;
  float radious = getTwoPointDistance(ctrA, ctrB, ta, tb);

  int checker = (4 * radious) / increment;
```

Izvor: autor

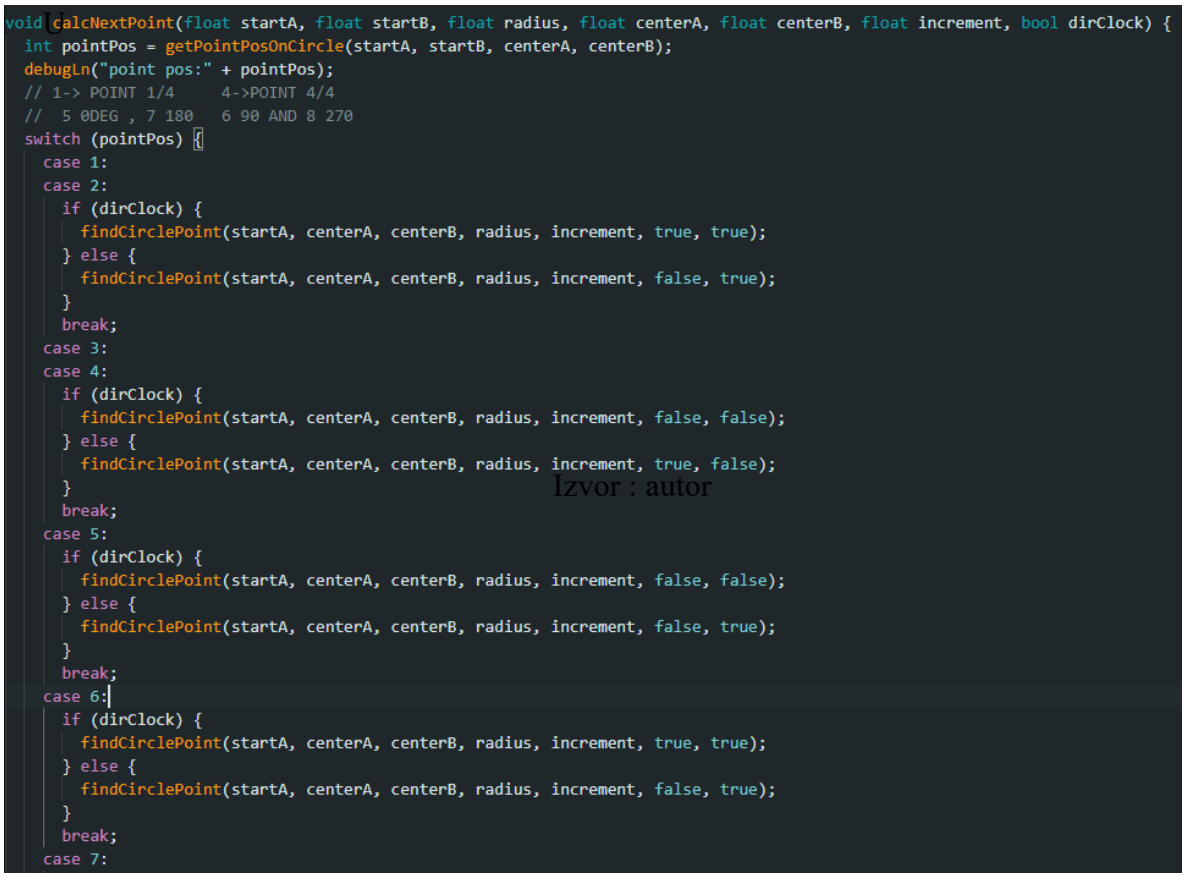
Slika 37. followCircle, dio 2

```
  if (radious <= increment) {
    debugLn("too small circle!");
    followCircleOutput(targetA, targetB);
    return;
  }

  bool runCircle = true;
  while (runCircle) {

    if (getTwoPointDistance(pstarta, pstartb, ta, tb) < threshold && !doFullCircle) {
      debugLn("treshold reached!");
      runCircle = false;
      break;
    }

    if (checker == 0) { break; }

    checker--;
    calcNextPoint(pstarta, pstartb, radious, ctrA, ctrB, increment, dirClock);
    pstarta = outputA;
    pstartb = outputB;

    followCircleOutput(pstarta, pstartb);
  }

  followCircleOutput(targetA, targetB);
}
```

Izvor: autor

Zatim šalje parametre u funkciju *calcNextPoint* koja služi kao središnja funkcija nakon obrade točaka, a *findCirlcePoint za* traženje točke.

Slika 38. calcNextPoint funkcija



```
void calcNextPoint(float startA, float startB, float radius, float centerA, float centerB, float increment, bool dirClock) {
  int pointPos = getPointPosOnCircle(startA, startB, centerA, centerB);
  debugLn("point pos:" + pointPos);
  // 1-> POINT 1/4     4->POINT 4/4
  //  5 0DEG , 7 180   6 90 AND 8 270
  switch (pointPos) {
    case 1:
    case 2:
      if (dirClock) {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, true, true);
      } else {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, false, true);
      }
      break;
    case 3:
    case 4:
      if (dirClock) {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, false, false);
      } else {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, true, false);
      }
      break;
    case 5:
      if (dirClock) {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, false, false);
      } else {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, false, true);
      }
      break;
    case 6:
      if (dirClock) {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, true, true);
      } else {
        findCirclePoint(startA, centerA, centerB, radius, increment, false, true);
      }
      break;
    case 7:
```

Izvor : autor

Izvor: autor

U funkciji *findCirclePoint* jedna se os iterira odmah, a druga se iterira tako dugo dok udaljenost nije veća ili jednaka radijusu kružnice.

Slika 39. findCirclePoint funkcija

```
void findCirclePoint(float axisA, float centerAxisA, float centerAxisB, float radius, float increment, bool right, bool up) {
  outputA = axisA;
  outputB = centerAxisB;
  if (right) {
    outputA += increment;
  } else {
    outputA -= increment;
  }

  while (getTwoPointDistance(outputA, outputB, centerAxisA, centerAxisB) < radius) {
    if (up) {
      outputB += increment;
    } else {
      outputB -= increment;
    }
  }

  // DECREASE IF ITS MORE THAN 20% OF RADIOUS OUTSIDE CIRCLE
  if ((getTwoPointDistance(outputA, outputB, centerAxisA, centerAxisB) - radius) > radius * 0.2) {
    if (up) {
      outputB -= increment;
    } else {
      outputB += increment;
    }
  }
}
```

Izvor: autor

Nakon izračunatih točaka os koja se iterirala, ako je udaljenost veća od radijusa za 20 %, oduzima se jedna vrijednost iteracije. Izračunate točke u početnoj funkciji šalju se u funkciju za izlaz, koja prije slanja u funkciju za linearni pomak vraća osi nazad u pravilan redoslijed ovisno o odabranim G17-G19. Nakon izvršenog pomaka ponavlja se računanje sve dok udaljenost ciljane i trenutne točke nije manja od određene vrijednosti. Kôd uz to podržava relativne i apsolutne vrijednosti (G90-G91), mogućnost korištenja mm ili inčeva (G20, G21). Postoje i dodatne funkcije koje se mogu pokrenuti uz određene USB komande, a to su *Home* i *Zcal*. *Home* će alatnu glavu stroja staviti u gornji lijevi kut, a *Zcal* će pomicati Z os sve dok ne udari u senzor te je vratiti 5 mm iznad njega. S obzirom na to da je senzor visine 19.5 mm, glava će biti 24.5 mm iznad materijala. To radi tako da šalje G0 Z-5 F20 liniju tako dugo dok

ne udari u *endstop*. Budući da je senzor spojen zajedno s graničnim gumbima, očitat će *true* te nakon toga onemogućuje prekid pokretanja te šalje liniju pomak +5 mm gore i nazad omogućuje prekidače. *Home* funkcija radi na isti način ponavljajući postupak za svaku os.

Slika 40. zCal funkcija

```
bool zcal = false;
void zCal() {
  SendRepply(okA);
  zcal = true;
  enableEndstops();
  running = true;

  String line = "G0 Z-5 F20";
  while (running) {
    checkStopBtn();
    if (checkEndstops()) {
      running = false;
      break;
    }
    delay(1000);
    readCommandLine(line);
  }
  disableEndstops();
  readCommandLine("G0 Z5 F20");
  enableEndstops();


  setOrigin();
  machineAbsPosZ = 24.5;
  zcal = false;
}
```

Izvor: autor

Slika 41. Dio Home funkcije

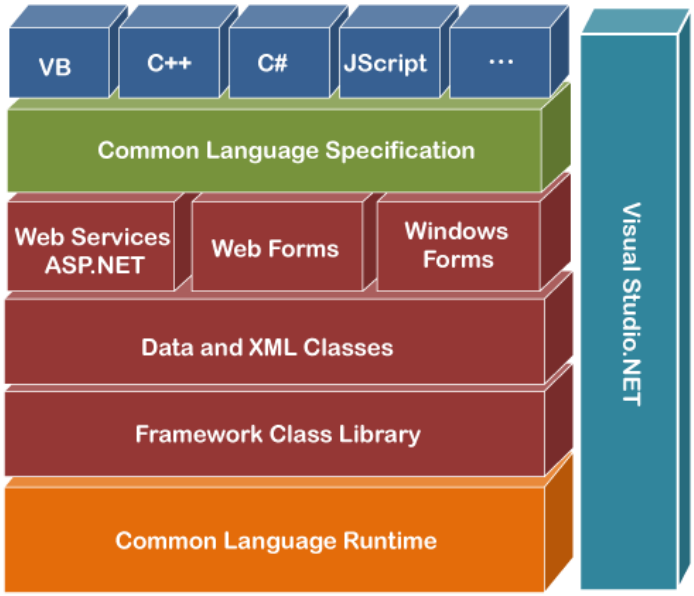
```
void home() {

  //ZAXIS
  enableEndstops();
  running = true;

  String line = "G0 Z15 F20";
  while (running) {
    checkStopBtn();
    if (checkEndstops()) {
      running = false;
      break;
    }
    delay(1000);
    readCommandLine(zAxisHome);
  }
  checkStopBtn();

  disableEndstops();
  readCommandLine(zAxisClear);
  enableEndstops();


  //XAXIS
  running = true;

  line = "G91 G0 X-50 F200";
  while (running) {
    checkStopBtn();
    if (checkEndstops()) {
      running = false;
      break;
    }
    delay(100);
    readCommandLine(xAxisHome);
  }
```

Izvor: autor

3.5. C# Windows Forms .NET

Windows Forms je programski okvir za izradu grafičkog sučelja na računalu i dio je .NET Frameworka. Daje mogućnost lagane izrade desktop programa s elementima koji se postavljaju na sam okvir. *.NET* je okruženje za razvoj softvera koji se sastoji od mnogo komponenata u različitim jezicima koji se prevode na zajednički jezik. Uključuje puno biblioteka za izradu raznih aplikacija te predložaka za njih. U projektu je korišten za izradu programa koji će slati komande i G-kôd na Arduino za izvršavanje. U .NET Framework postoje biblioteke za rad s datotekama te portovima koji olakšavaju rad s njima. Korištene su klase: *Port*, *openFileDialog, File* te *FileReader*.

Slika 42. .NET struktura



Izvor: https://www.javatpoint.com/vb-net-dot-net-framework-introduction (pristup 13.8.2024)

3.6. Arduino CNCPcontroller

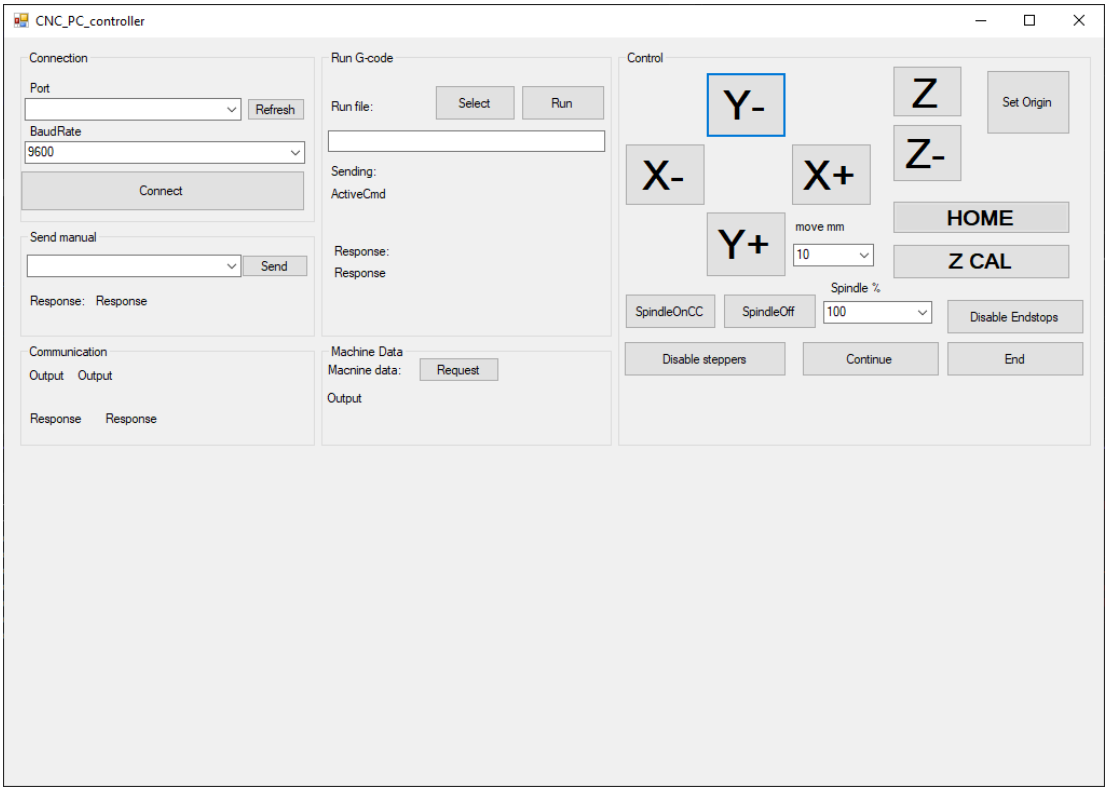
Arduino CNCPcontroller je naziv za softver razvijen za potrebe projekta. Izrađen je u C# Windows Forms .NET okruženju. Cilj ovog programa je slati komande na Arduino. Koristi .NET za datoteke i USB komunikaciju. Pri pokretanju program traži dostupne portove koji se zapisuju u listu. Nakon što odabere dostupan port, korisnik odabire brzinu slanja podataka te se pritiskom na gumb *connect* spaja na Arduino. Ima mogućnost kontroliranja svake osi pojedinačno koje se mogu koristiti kako bi se glava dovela na početnu poziciju. Odabirom datoteke može se pokrenuti izvršavanje G-kôda nakon čega program šalje liniju po liniju na Arduino. USB komunikacija se sastoji od jednostavnog protokola gdje Arduino očekuje određenu komandu te šalje određen odgovor po primitku. U početku se ostvaruje veza slanjem *$START* na što Arduino odgovara sa $CONNECTED #. Kako bi započelo slanje G-kôda, šalje se naredba $BEGIN, nakon čega Arduino odgovara $OK# te zatim očekuje G-kôd liniju i, nakon što se izvrši, šalje $NEXT#. Sama logika komunikacije je prepuštena drugoj klasi nazvanoj ArduinoCommunicator koja sadrži niz funkcija i definirane varijable za komunikaciju.

Slika 43. Udio kôda za čitanje datoteke i slanje G-kôda

```
1 reference
public async Task<bool> StreamGcodeFileAsync(string filePath, System.Windows.Forms.Label inputLbl,
    System.Windows.Forms.Label responseLbl,   System.Windows.Forms.Label machinePos){
    Streaming = true;


    string begin = await Task.Run(() => SendAndWRepply(startGcodeStream, 3, 100));
    responseLbl.Text = begin;

    if (!begin.Contains(ok))
    {
        LogLn("failed to start gcode stream");
        return false;
    }

    if (File.Exists(filePath))
    {
        try
        {
            using (StreamReader reader = new StreamReader(filePath))
            {
                string line;

                while ((line = await reader.ReadLineAsync()) != null)
                {


                    inputLbl.Invoke(new Action(() => inputLbl.Text = line));
                    await Task.Run(() => SendCmd(line));

                    bool wait = true;
                    string response = "";

                    while (wait)
                    {

                       response=  ReadResponseCMD(3600000);

                        LogLn("response =" + response);


                        if (response.Contains(gcodeStreamSendNext))
                        {
                            wait = false;
                            LogLn("line executed!");
                        }
                        if (response.Contains(stopGcodeStream))
                        {
                            wait = false;
                            LogLn("gcode stream stopped: pressed endstop or stop btn");
                            Streaming = false;
                            return false;
                        }
                        response = "";
```

Izvor: autor

Slika 44. Izgled sučelja programa



Izvor: autor

3.7. Fusion 360

Autodesk Fusion je profesionalni program Autodeska, kombinira niz alata CAD[5], CAM[6], CAE[7] i za PCB kako bi se moglo dizajnirati bilo što. U projektu je korišten za generiranje G-kôda i za izradu modela za 3D printanje. Postoji verzija za osobne potrebe koja je besplatna ukoliko prihodi ne iznose više od 1000 $ godišnje. Sam rad u Fusionu u CAD modu nalik je na tehničko crtanje s time da se 2D profil pretvara u 3D oblik na razne načine, kojeg se zatim može uređivati alatima, drugim profilima i tijelima. CAD služi za dizajniranje modela, CAM

[5] CAD (Computer aided design) – softver za izradu dizajna

[6] CAM (Computer aided manufacturing) – softver za izradu programa za CNC strojeve

[7] CAE (Computer aided engineering) - softver za simulaciju

je program za izradu pokreta CNC strojeva odnosno G-kôda, PCB za izradu tiskanih pločica. CAE je alat za analizu i simulaciju dizajna.

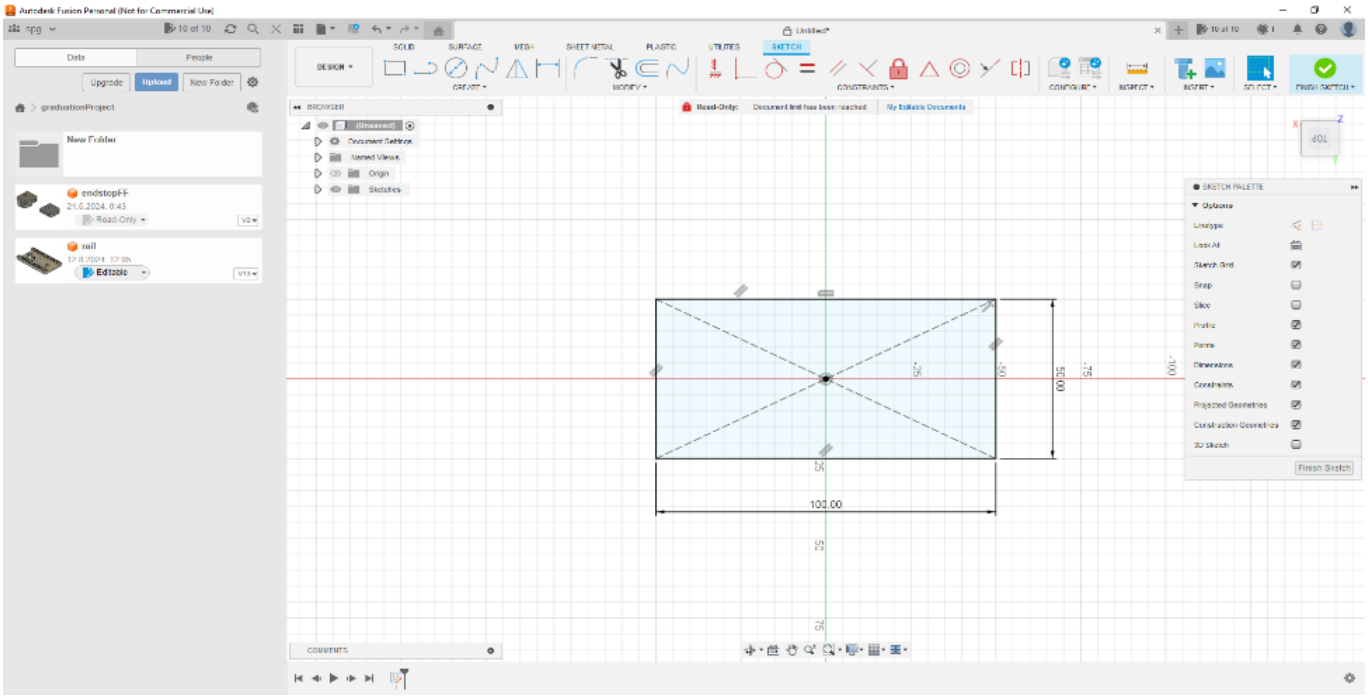
4. IZRADA G-KÔDA U FUSIONU 360

Prije izrade potrebno je postaviti alat koji će se koristiti za izradu. Prvo u gornjem lijevom kutu treba odabrati *manufacture* opciju kako bi se otvorilo sučelje za rad s CNC strojevima. Nakon toga se pod *upravljaj menijem* nalazi opcija *biblioteka alata*. Na lijevoj strani treba odabrati *lokalni*, zatim je potrebno odabrati *biblioteka* i kliknuti na gornji znak plusa, pa odabrati vrstu alata. Zatim je nužno uvrstiti niz parametara za određeni alat. Nakon dodavanja alata treba na sličan način dodati model stroja, oznaka desno od biblioteke alata. Kod stroja se odabire sličan stroj iz biblioteke Fusion360 te se povlači u lokalnu biblioteku. Nakon dodavanja moguće je podesiti parametre stroja. Posljednji nužni korak je biblioteka koja govori o strukturi G-kôda te obuhvaćanje naredbe, a kako je trenutni stroj napravljeni prema GRBL[8]-u , na isti način kao i kod stroja, uzima se GRBL[8] post. Nakon što je Fusion spreman za rad, potrebno se vratiti u sučelje za dizajniranje te napraviti oblik materijala ili dio materijala koji će biti radni prostor. Klikom na gumb za izradu sheme treba napraviti 2D oblik materijala. Zatim treba potvrditi s desne strane alatne trake kako bi se završilo crtanje sheme. Odabirom oblika te pritiskom na E, ili gornji alat za ekstruziju, unosom debljine materijala izrađuje se 3D oblik materijala. Zatim se odabirom gornje površine može nacrtati željeni oblik ili tekst. Tekst se može označiti te se napravi ekstruzija u željenu dubinu. Nakon crtanja ponovo treba otići u *manufacture* sučelje te odabrati alat 2D kontura (alat koji se nalazi na stroju kod izrade projekta podržava samo 2D konturu). Potrebno je odabrati oblike koje se želi gravirati, a može se i raditi samo o liniji u shemi. Odabirom oblika otvara se odabir alata gdje je nužno odabrati odgovarajući alat. Pritiskom na *enter* ili *ok* u skočnom

[8] GRBL - softver otvorenog kôda koji upravlja CNC strojem

prozoru završava se izrada puteva za alat. Na alatnoj traci pod menijem akcije treba kliknuti *post proces*. Otvorit će se sučelje u kojem se datoteci daje ime te se izradi G-kôd.

Slika 45. Izrada sheme materijala

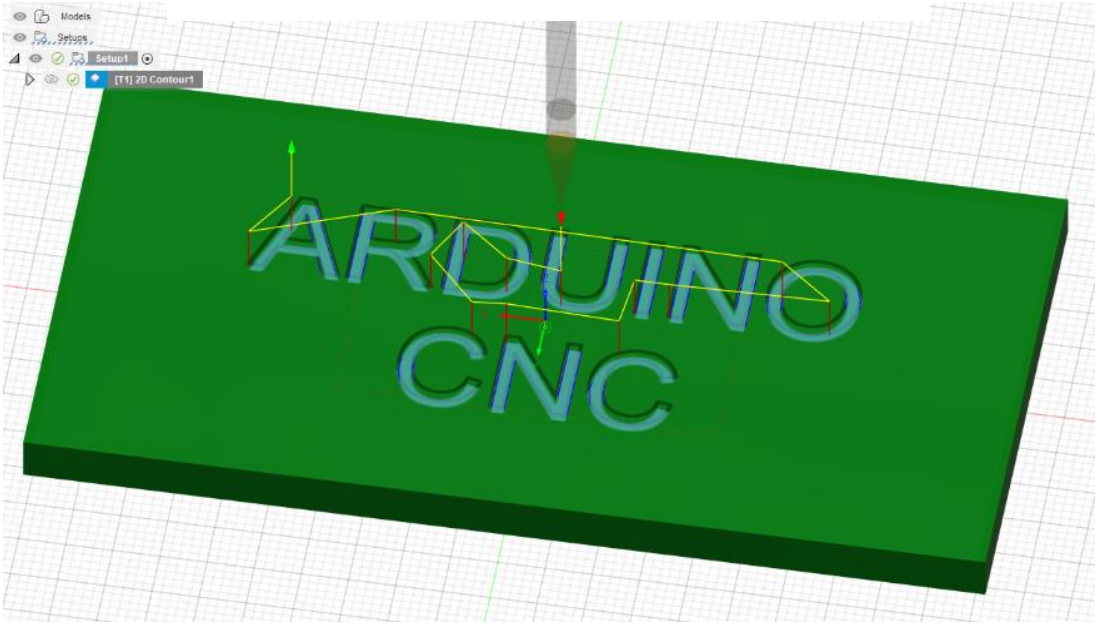


Izvor: autor

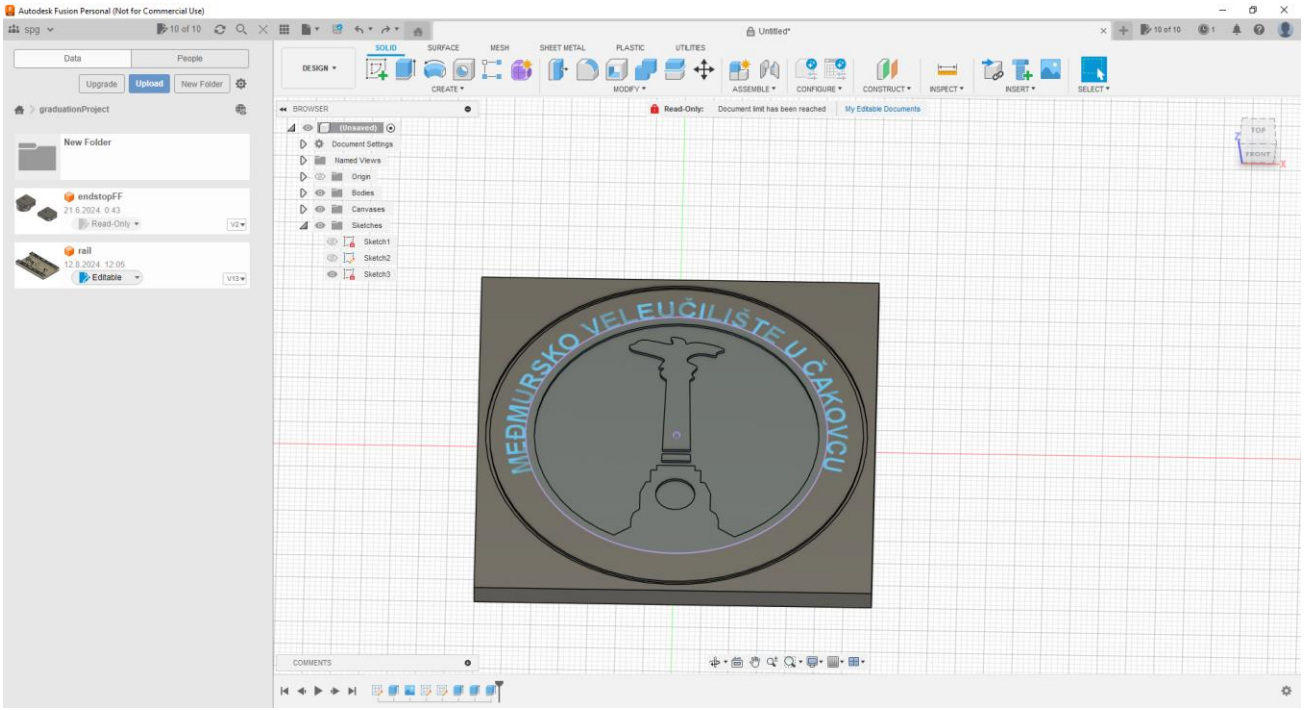
Slika 46. Crtanje teksta dizajn1

Izvor: autor

Slika 47. Tekst s putevima alata nakon odabira 2D konture

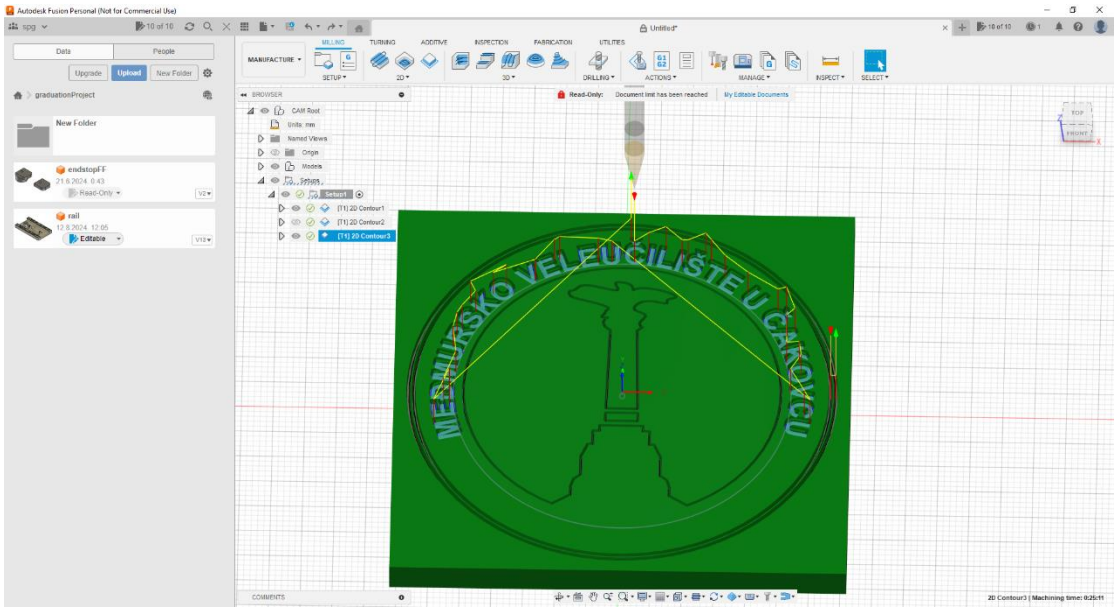


Slika 48. Dizajn 2



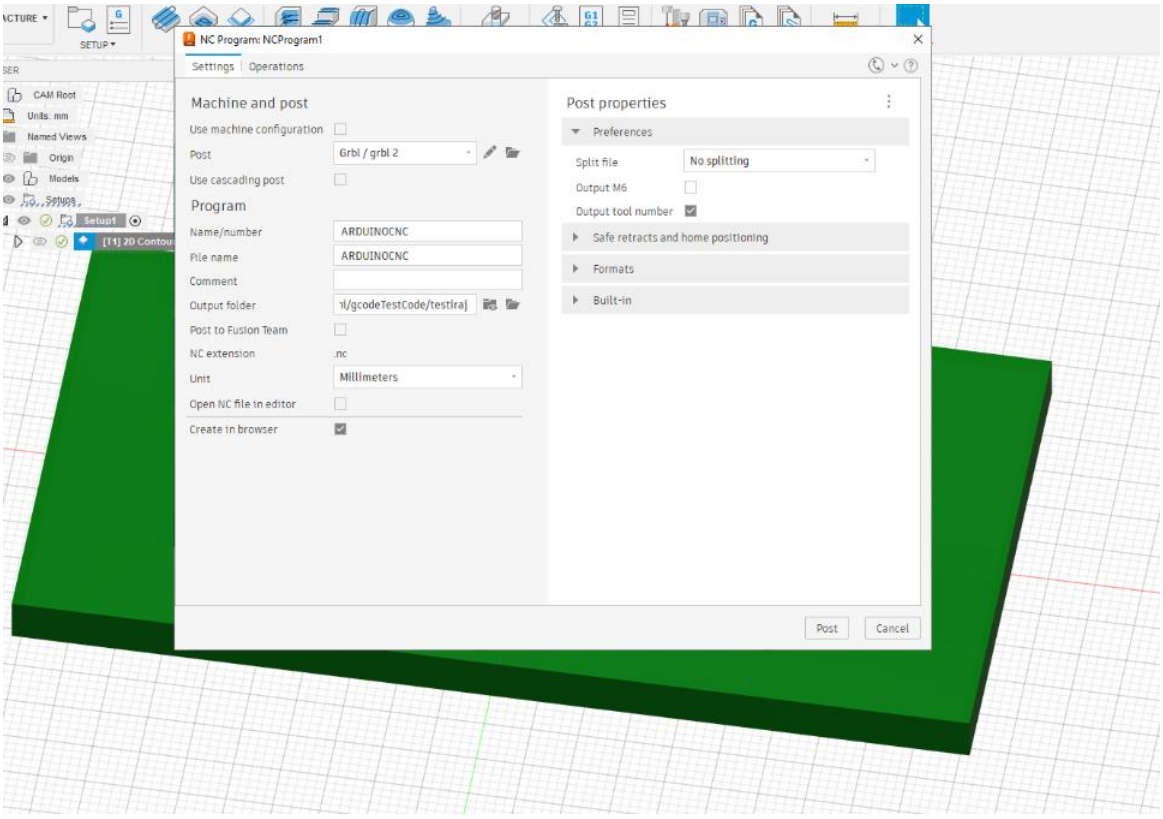
Izvor:autor

Slika 49. Dizajn 2 nakon odabira 2D kontura



Izvor: autor

Slika 50. Izrada G-kôd datoteke

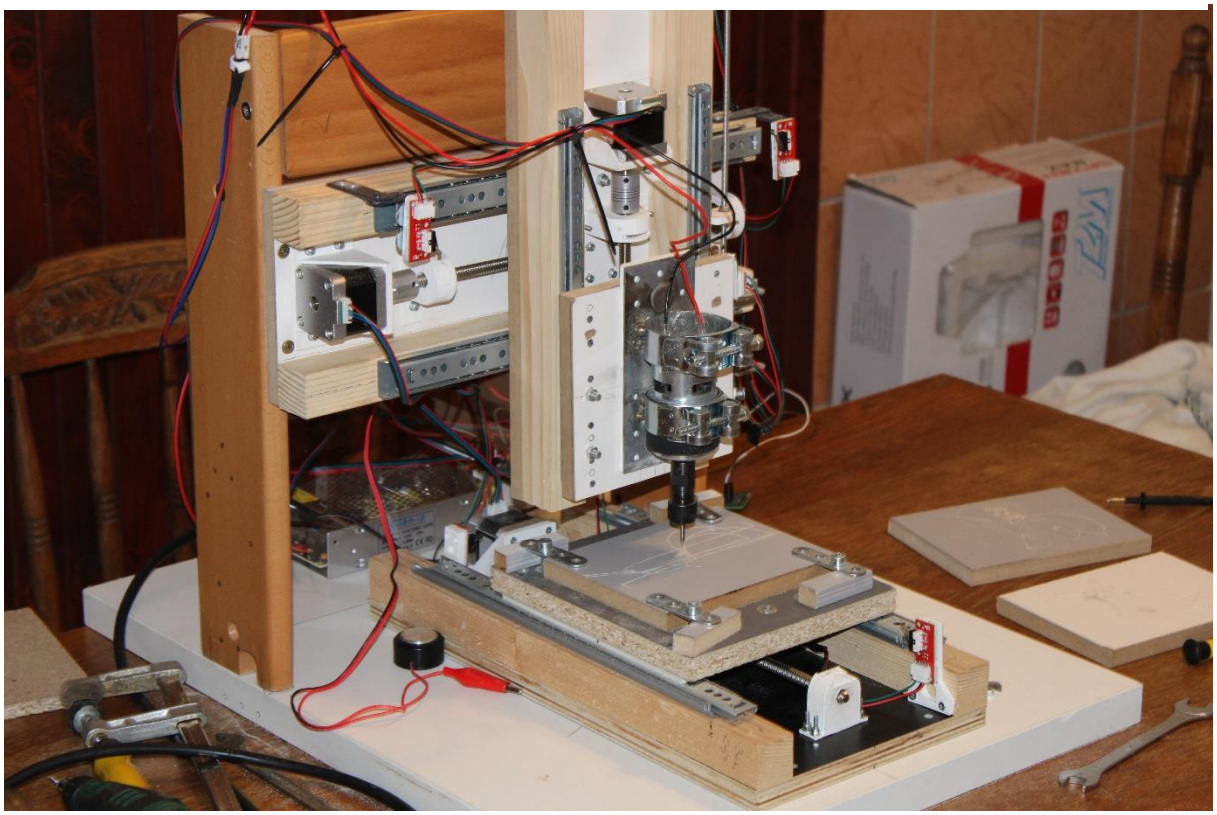


Izvor: autor

5. TESTIRANJE RADA

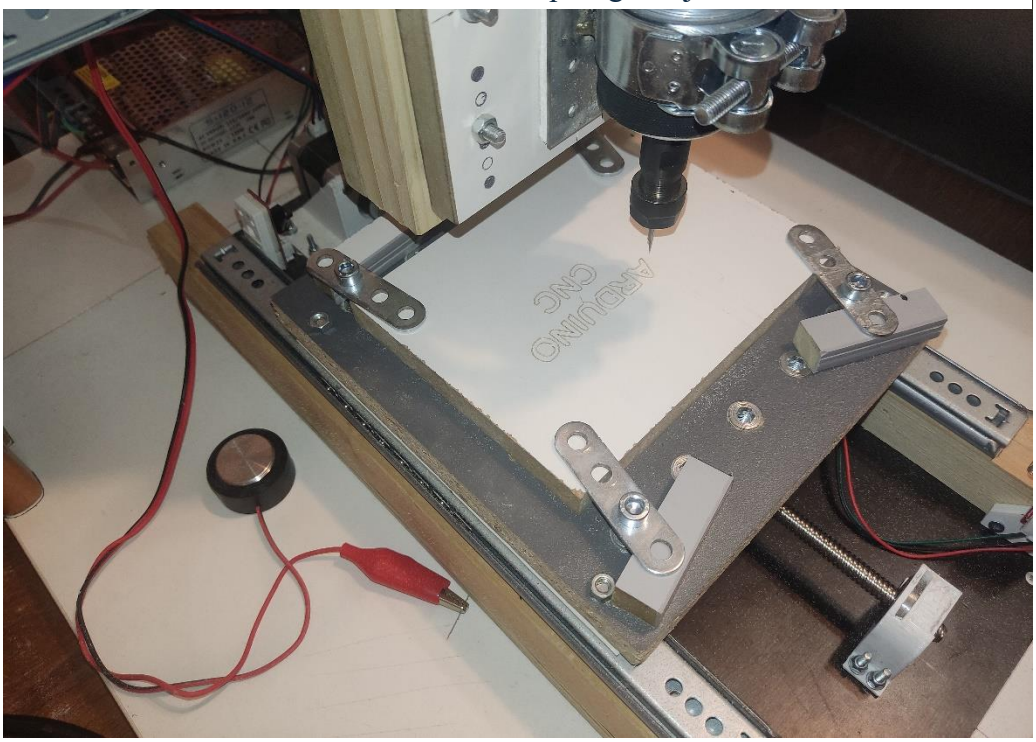
Nakon izrade G-kôd datoteke potrebno je otvoriti Arduino CNCPcontroller i povezati se sa strojem. Nakon uspješnog povezivanja nužno je dovesti alatnu glavu na poziciju za rad, odnosno na nultu točku na materijalu. To se može uraditi ručno prije spajanja Arduina ili se može sa sučeljem dovesti alat na poziciju iznad materijala. Zatim treba korištenjem opcije ZCAL postaviti alat te ga pomaknuti za 24.5 mm dolje i kliknuti *set origin*. To će osigurati da je alat točno na materijalu. Zatim se klikom na *otvori* odabire datoteka i pritiskom na *run* se pokreće izvođenje G-kôda. Prije rada važno je dobro stegnuti materijal te staviti zaštitu od letećih krhotina.

Slika 51. Izgled Projekta



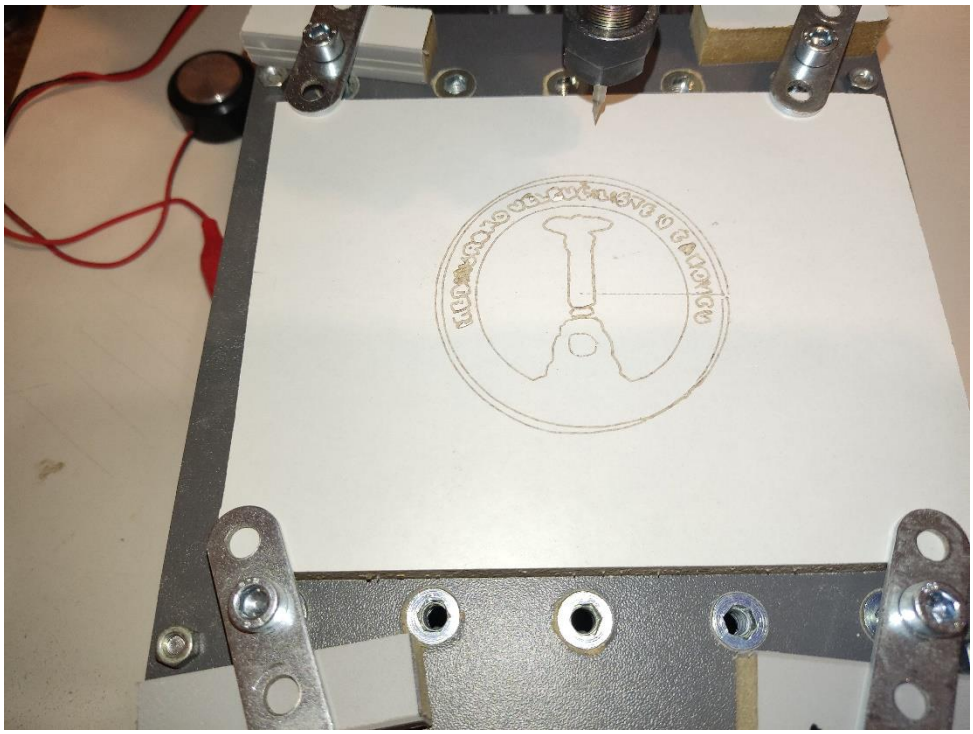
Izvor: autor

Slika 52. Rezultat prvog dizajna



Izvor: autor

Slika 53. Rezultat drugog dizajna



Izvor: autor

6. ZAKLJUČAK

Nakon same izrade utvrđeno je da treba koristiti trapezna vretena sa što manjim hodom kako bi se izbjegli neželjeni prazni hodovi zbog tolerancije u navoju. Programiranje vlastitog softvera za stroj zahtjevan je proces jer, kako bi se što kvalitetnije napravio, zahtijeva dobro poznavanje G-kôda, programiranja, hardvera, matematike, algoritama i elemenata strojarstva. S trenutnim softverom mogu se urezivati osnovni oblici, no preciznost varira te kao takav nije dobar za sve namjene. Kako bi se poboljšala preciznost, ubuduće bi trebalo zamijeniti trapezna vretena na X i Y osi tako da bi imale hod od 2 mm te bi, umjesto teleskopskih vodilica, za ladice trebalo koristiti linearne vodilice koje bi trebalo montirati što više paralelno s vretenom. Za rad s čvršćim materijalima odlično bi bilo zamijeniti konstrukciju za aluminijsku ili umjesto istosmjernog motora koristiti laser. Cijena tih poboljšanja dosegla bi cijenu gotovog CNC usmjerivača te kao takva nije prihvatljiva osim ako bi se radilo o većem radnom prostoru. Uz sama mehanička unaprjeđenja, softver bi trebalo proširiti kako bi podržao sve naredbe, potrebno je poboljšati izračune točaka na kružnici korištenjem drugih metoda i algoritama, provjeriti ispravnost ulaznog kôda, a treba i bolji protokol za USB komunikaciju, korištenje asinkronih funkcija ili dretvi kod slanja kôda te dodati više mogućnosti za upravljanje, kao i pokušati smanjiti upotrebu memorije na samom upravljaču korištenjem kôda niže razine uz efikasnije korištenje resursa. Ukupno gledano, ovaj projekt uspješno demonstrira potencijal Arduino platforme u izradi CNC mašina i potvrđuje da su „uradi sam“ rješenja praktična, pristupačna i primjenjiva u širokom spektru područja.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

Bana Josipa Jelačića 22/a, Čakovec

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, internetskih i drugih izvora) bez pravilnog citiranja. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom i nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Bruno Posavec (ime i prezime studenta) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog rada pod naslovom

3-osna mašina za graviranje bazirana na Arduino platformi

te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(vlastoručni potpis)

7. LITERATURA

CNC:

[1] Autor: Zdravko Blažević, rujan 2004. Programiranje CNC Tokarilice i glodalice, pristup 16. 6. 2024., dostupno na:

https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta_cnc_-blazevic.compressed.pdf

[2] Autori: Suk-Hwan Suh, Seong-Kyon Kang,Dae-Hyuk Chung Lan Stroud.

Theory and design of CNC Systems, pristup : 16. 6 .2024.

Dostupno na: https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=c_-3TxZlnpMC&oi=fnd&pg=PR19&dq=cnc+design&ots=P_cZ6PKKtH&sig=MZ5jp-FB8Py493V5ZY40pbrM21s&redir_esc=y#v=onepage&q=cnc%20design&f=false

[3] Autor: Graham T. Smith. CNC Machining Technology, 27.studeni 2013. pristup:16. 6. 2024.

Dostupno na: https://www.google.hr/books/edition/CNC_Machining_Technology/NcPcBwAAQBAJ?hl=hr&gbpv=1&dq=cnc+design&printsec=frontcover

[4] Carbide 3D, learn, CNC engraving. Autor nije naveden . Guide to CNC Engraving .

Pristup: 16. 6. 2024 . Dostupno na: https://carbide3d.com/learn/cnc-engraving/

DC motor:

[5] Uk.rs-online. Autor nije naveden. The Complete guide to DC motors . Pristup: 16.6 .2024.

Dostupno na:https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/dc-motors-guide

[6] Vedantu. Working of DC motor, electric motor-Principle and Application for JEE.Autor nije naveden , pristup: 17. 6. 2024. Dostupno na:

https://www.vedantu.com/jee-main/physics-working-principle-of-dc-motor

[7] Ins Tolls . Autor nije naveden: Dc Motor Theory, pristup: 17. 6. 2024. , Dostupno na:

https://instrumentationtools.com/dc-motor-theory/

[8] Magnetic innovations. Autor nije naveden: How DC motor actually works, pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://www.magneticinnovations.com/faq/dc-motor-how-it-works/

[9] ASPINA. Autor nije naveden: What is a DC motor? DC motor types how they work and how to control them, pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://eu.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/what-is/030/

Koračni motori:

[10] V.V. Athani Stepper motors fundimental, applicatons and design 2005., pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=0m8NTozFZL8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=stepper+motors&ots=MG8_KhxJBa&sig=17idCLoTzqLtJ5WfMMVtf4_uZuc&redir_esc=y#v=onepage&q=stepper%20motors&f=false

[11] ELPROCUS. Autor nije naveden: What is Hybrid Stepper Motor: Working & Its Applications, pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://www.elprocus.com/what-is-hybrid-stepper-motor-working-its-applications/

[12] LinEngineering, autor nije naveden: What is Stepper motor. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://www.linengineering.com/technology/hybrid-stepper-motors

NEMA:

[13] StepperOnline, autor nije naveden, Nema Stepper Motor Sizes. Pristup 18. 6. 2024. Dostupno na:https://www.omc-stepperonline.com/nema-stepper-motor-sizes

A4988:

[14] ALLDATASHEET. 4988 Datasheet(HTML)-Allegro MicroSystems, autor nije naveden. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338780/ALLEGRO/A4988.html

[16] How to mechatronics. Dejan Nedelkovski: How to control a stepper motor with a4988 driver and arduino, pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-stepper-motor-with-a4988-driver-and-arduino/

Vodilice:

[17] Aolisheng. Autor nije naveden: what are ball bearing drawer glides.

Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na: https://www.aolisheng.com/blogs/news/what-are-ball-bearing-drawer-glides

[20] SLS. Autor nije naveden. Linear Guide explained: Understanding Linear Motion Systems. Pristup: 16. 6. 2024., dostupno na: https://www.slsbearings.com/sg-en/blog/linear-guide-explained-understanding-linear-motion-systems

[22] THK. Autor nije naveden: Linear motion guide. Pristup: 16. 6. 2024.

Dostupno na:

https://www.thk.com/opm/jp/en/linear/thklinearguide/

[23] Industrial quick shearch – Linear rails pristup: 16. 6. 2024.

Dostupno na: https://www.iqsdirectory.com/articles/linear-slides/linear-rails.html

Trapezno vreteno:

[18] Aerobik. Autor nije naveden. Trapezno vreteno je osnovica linearnog prijenosa pomaka. Pristup: 16. 6. 2024.

Dostupno na: https://www.aerobik.ba/trapezno-vreteno-je-osnovica-linearnog-prijenosa-pomaka/

[19] WEB STRANICA. Autor nije naveden: Trapezno vreteno i linearni sustavi za strojeve. Pristup: 16. 6. 2024 .Dostupno na:https://www.web-sajt.rs/trapezno-vreteno-i-linearni-sustavi-za-strojeve/

[24] Anđelka Rađep: finomehanika. Udžbenik za strukovne škole, 2005.

Arduino:

[25] StarmoTech. Autor: Deni Ajanić: Šta je to Arduino. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://starmotech.com/sta-je-to-arduino/

[26] Sparkfun. Autor nije naveden: what is Arduino. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all

Bts7960:

[28] Handson technology. Autor nije naveden: BTS7960 High current 43A H-Bridge Motor driver. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf

[29] Ovaga. Autor: Stella Brinkley: BTS7960 Driver datasheed and circuit diagram 11. 10. 2023. Pristup 16. 6. 2024. Dostupno na:

https://www.ovaga.com/blog/transistor/bts7960-motor-driver-datasheet-and-circuit-diagram

H-most:

[30] Diligent.com. Autor: Kaityn Franz: What is H-Bridge 18.3.2023 . Dostupno na: https://digilent.com/blog/what-is-an-h-bridge/

G-Kod:

[38] G-CODE tutor. Autor nije naveden: CNC G Codes

Pristup: 16. 6. 2024 . Dostupno na: https://gcodetutor.com/cnc-machine-training/cnc-g-codes.html

Napajanje:

[40] Elektronika u praksi: Prekidačko napajanje (Switch Mode Power Supply-SMPS). Autor nije naveden. Pristup 12. 8. 2024. Dostupno na:

https://elektronikaupraksi.com/napajanje/prekidacko-napajanje-switch-mode-power-supply-smps/

[41] Analog Devices: Switch Mode Power Supply Basics. Dostupno na: https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/switch-mode-power-supply-basics.html

Boost converter:

[42] MPS: Boost convertets [Step-Up converter]. Autor nije naveden . Pristup 12. 8. 2024. Dostupno na:

https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/power-electronics/dc-dc-converters/boost-converters.net

[43] Microsoft.Learn: Desktop Guide (Windows Forms.NET). Autori nepoznati. Pristup 12. 8.2024. Dostupno na:

https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-8.0

CNC shield:

[44] Maker Store. Autor nije naveden. Pristup 13. 8. 2024. Dostupno na: https://www.makerstore.com.au/wp-content/uploads/filebase/publications/CNC-Shield-Guide-v1.0.pdf

AccelStepper:

[55] Arduino-references-Librariers: Accelstepper. Autor: Mike McCauley. Pristup: 9. 9. 2024.

Dostupno na: https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/accelstepper/

[56] Airspayce: AccelStepper. Autor: Mike McCauley. Pristup 9. 9. 2024.

Dostupno na: http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/

PWM:

[57] Arduino - Home-Learn: Basics of PWM. Autor: Timothy Hirzel. Pristup: 9. 9. 2024.

Dostupno na: https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/

UART:

[58] ROHDE&SCHWARZ: Understanding UART. Autor nije naveden. Pristup: 9. 9. 2024.

Dostupno na:

https://www.rohde-schwarz.com/us/products/test-and-measurement/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/understanding-uart_254524.html

GRBL:

[59] All3DP: GRBL Software: All you need to know. Autor: Priyank Pal. Pristup: 9. 9. 2024.

Dostupno na: https://all3dp.com/2/grbl-software-guide/

Optokapler:

[60] JAMECO: What is Optocoupler and How it Works. Autor: Megan Thung. Pristup 9. 9. 2024.

Dostupno na: https://www.jameco.com/Jameco/workshop/Howitworks/what-is-an-optocoupler-and-how-it-works.html

Fusion:

[61] Autodesk Fusion. Autor nije naveden. Pristup: 12. 9. 2024.

Dostupno na: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription

8. POPIS SLIKA