

ŠOLSKI CENTER NOVO MESTO

Srednja elektro-računalniška šola in tehniška gimnazija



Izdelava triosnega CNC stroja

Raziskovalno področje: tehnika ali tehnologija

Avtorji: Filip Auersperger, Nejc Turk, Tin Kleut

Mentorji: Albin Pečnik

Novo mesto, 2025

Kazalo vsebine

1.	POSVETILO	4
2.	POVZETEK.....	4
3.	ABSTRACT	4
4.	UVOD.....	5
4.1.	OPREDELITEV PROBLEMA.....	5
4.2.	NAMEN IN CILJI RAZISKAVE	6
4.3.	RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE	6
5.	TEORETIČNI DEL.....	7
5.1.	OSNOVE CNC TEHNOLOGIJE	7
5.1.1.	KAJ JE CNC IN KAKO DELUJE	7
5.1.2.	RAZLIKA MED 2D, 2.5D IN 3D OBDELAVO.....	8
5.1.3.	PREDNOSTI IN SLABOSTI SAMOSTOJNO IZDELANIH CNC STROJEV	10
5.2.	NAČRTOVANJE CNC STROJA	11
5.2.1.	DOLOČITEV SPECIFIKACIJ CNC STROJA	12
5.2.2.	IZBIRA MATERIALOV IN KOMPONENT	13
5.2.3.	PROGRAMSKA OPREMA ZA NAČRTOVANJE (CAD).....	14
5.3.	MEHANSKA SESTAVA CNC STROJA.....	15
5.3.1.	OKVIR IN KONSTRUKCIJA	15
5.3.2.	LINEARNI VODIČI IN KROGLIČNA VRETENA	16
5.3.3.	POGONSKI SISTEMI	16
5.4.	ELEKTRONIKA IN KRMILJENJE.....	17
5.4.1.	KRMILNIK CNC STROJA	17
5.4.2.	MOTORJI.....	18
5.4.3.	NAPAJANJE CNC SISTEMA	18
5.4.4.	POVEZOVANJE IN KOMUNIKACIJA Z RAČUNALNIKOM.....	19
5.4.5.	ZAŠČITA ELEKTRONIKE	19
5.5.	PROGRAMSKA OPREMA ZA CNC OBDELAVO	19
5.5.1.	CAD (Računalniško podprto oblikovanje)	20
5.5.2.	CAM (Računalniško podprta proizvodnja).....	20
5.5.3.	INTERPRETACIJA G-KODE.....	21
6.	POSTOPEK IZDELAVE CNC STROJA IN TESTIRANJE	21
6.1.	IZDELAVA 3D MODELA.....	21
6.1.1.	OGRODJE	22

6.1.2.	LINEARNI VODIČI	23
6.1.3.	Z OS IN VRETENO	24
6.1.4.	MOTORJI IN KROGLIČNA VRETENA	25
6.2.	NAKUP KOMPONENT IN MATERIALA	25
6.3.	ZAČETEK IZDELAVE CNC STROJA	27
6.3.1.	SESTAVA OGRODJE.....	27
6.3.2.	MONTAŽA LINEARNIH VODIČEV	28
6.3.3.	MONTAŽA KROGLIČNIH VREten TER POSTELJE	29
6.3.4.	IZDELAVA NOSILCA Z OSI	30
6.3.5.	MONTAŽA KORAČNIH MOTORJEV TER VRETENA.....	31
6.3.6.	IZDELAVA 3D NATISKANIH NOSILCEV KONČNIH STIKAL	33
6.4.	ELEKTRIČNA INŠTALACIJA.....	34
6.4.1.	NAPAJANJE MOTORJEV TER GONILNIKOV	34
6.4.2.	POVEZAVA GONILNIKOV IN KRMILNE PLOŠČE.....	35
6.5.	INŠTALACIJA IN KALIBRACIJA PROGRAMA MACH 3	36
6.6.	PRVI TESTNI REZ IN REZULTATI.....	38
7.	ZAKLJUČEK	41
8.	BIBLIOGRAFIJA.....	42

Kazalo slik

Slika 1:	3D model našega CNC stroja	7
Slika 2:	3D model dvo osne obdelave	8
Slika 3:	2.5D obdelava.....	9
Slika 4:	3D model 3D obdelave	9
Slika 5:	Komponente CNC stroja	11
Slika 6:	Prostor v tri osnem CNC stroju	12
Slika 7:	Fusion 360	14
Slika 8:	3D model ogrodja.....	22
Slika 9:	3D model pritrditve linearnih vodičev.....	23
Slika 10:	3D model Z osi in vretena.....	24
Slika 11:	3D model celotnega ogrodja	25
Slika 12:	Izdelano ogrodje z nosilci	27
Slika 13:	Pritrjeno linearno vodilo	28
Slika 14:	Kroglično vreteno pritrjeno na nosilcu	29
Slika 15:	Nosilec Z osi ter vretena	30
Slika 16:	Pritrjen motor na nosilcu	31
Slika 17:	Pravilno pritrjeno vreteno	32
Slika 18:	3D modeli nosilcev končnih stikal	33
Slika 19:	Komponente povezane v električni omarici	34
Slika 20:	Shema vezja motorjev in krmilnika	35

Slika 21: Dokončana električna omarica	35
Slika 22: Program Mach 3	37
Slika 23: Rezkanje na CNC stroju	39

Kazalo virov slik

Vir slike 1: Osebni arhiv	7
Vir slike 2: https://grabcad.com/library/laser-engraver-9	8
Vir slike 3: https://grabcad.com/library/cnc-router-3-axis-1	9
Vir slike 4: https://grabcad.com/library/5-axis-double-table-cnc-1	9
Vir slike 5: http://cncrouter.com.my/cnc-router-components/	11
Vir slike 6: https://unitymanufacture.com/what-are-the-axis-of-a-cnc-machine/#3-Axis_vs_5-Axis_CNC_Machines	12
Vir slike 7: Osebni arhiv	14
Vir slike 8: Osebni arhiv	22
Vir slike 9: Osebni arhiv	23
Vir slike 10: Osebni arhiv	24
Vir slike 11: Osebni arhiv	25
Vir slike 12: Osebni arhiv	27
Vir slike 13: Osebni arhiv	28
Vir slike 14: Osebni arhiv	29
Vir slike 15: Osebni arhiv	30
Vir slike 16: Osebni arhiv	31
Vir slike 17: Osebni arhiv	32
Vir slike 18: Osebni arhiv	33
Vir slike 19: Osebni arhiv	34
Vir slike 20: https://buildyourcnc.com/products/electronicsandmotors-electronic-component-breakout-mach3-usb-board	35
Vir slike 21: Osebni arhiv	35
Vir slike 22: Osebni arhiv	37
Vir slike 23: Osebni arhiv	39

Kazalo tabel

Tabela 1: Nakup komponent	26
Tabela 2: Natančnostna tabela	39
Tabela 3: Cenovna primerjava CNC strojev	40

Kazalo grafov

Graf 1: Hitrost motorja v odvisnosti od časa	37
Graf 2: Navor odvisen od obratov na minuto	37

1. POSVETILO

Raziskava je posvečena pokojnemu profesorju Miletu Božiću, ki je s svojim znanjem, strastjo do robotike in predanostjo poučevanju pomagal dijakom, da so se začeli zanimati za tehnični svet in inovacije. Za sabo je pustil globok neizbrisan pečat, ki ga v naših srcih še vedno ponosno nosimo.

Z veliko hvaležnostjo se spominjamo nasvetov, spodbud in idej, ki smo jih dobili od njega. Čeprav ga ni več med nami, njegovo znanje in vpliv še vedno živita v naših projektih in mislih.

Hvala, profesor Mile Božić.

2. POVZETEK

V naši raziskovalni nalogi smo raziskovali izdelavo triosnega (XYZ) CNC stroja, ki je natančen, cenovno ugoden in nadgradljiv. CNC stroj je računalniško podprt stroj za strojno obdelavo materialov. Gre za sistem, ki uporablja numerične metode za krmiljenje premikov orodja, pri čemer programska oprema skrbi za krmiljenje ključnih komponent. Premiki orodja so omogočeni s pomočjo servo ali koračnih motorjev. Doma izdelan CNC stroj lahko izdelamo za 50-70% ceneje v primerjavi z nakupom pri proizvajalcu.

V naši raziskavi smo izdelali CNC stroj z natančnostjo $\pm 0,2$ mm, pri čemer smo zagotovili možnosti za nadgradnjo sistema, vključno z podaljšanjem osi in dodajanjem četrte osi za prehod na 3D rezkalni CNC stroj. Med obdobjem izdelave smo se osredotočili tudi na elektroniko in programiranje, ki sta ključna za delovanje in optimizacijo stroja.

KLJUČNE BESEDE: CNC stroj, programiranje, G-koda, kalibracija

3. ABSTRACT

In our research paper, we investigated the production of a three-axis (XYZ) CNC machine that is accurate, affordable, and upgradeable. A CNC machine is a computer-aided machine for machining materials. It is a system that uses numerical methods to control tool movements, with software controlling key components. Tool movements are enabled by servo or stepper motors. A home-made CNC machine can be manufactured for 50-70% of the price compared to purchasing it from a manufacturer.

In our research, we manufactured a CNC machine with an accuracy of ± 0.2 mm, providing options for upgrading the system, including extending the axis and adding a fourth axis to transition to a 3D milling CNC machine. During the manufacturing period, we also focused on electronics and programming, which are key to the operation and optimization of the machine.

KEYWORDS: CNC machine, programming, G-code, calibration

4. UVOD

CNC (računalniško vodeno obdelovanje) ali računalniško numerično krmiljenje je večšina, ki se je razširila in uveljavila v mnogih industrijah, kot so robotika, letalstvo in celo natančno proizvodnjo. CNC obdelava se lahko uporablja tudi za avtomatizacijo obdelave materialov, kar precej povečuje splošno produktivnost. Zaradi stroškov, povezanih z uporabo in obratovanjem CNC strojev, so jih prvotno uporabljale predvsem velike industrije in podjetja. Vendar pa so sedaj, zaradi napredka v tehnologiji in upada stroškov elektronske proizvodnje, tudi manjše delavnice in posamezniki začeli uporabljati CNC stroje.

S povečanjem komercialne razpoložljivosti CNC strojev je mnogim ljudem omogočeno, da začnejo graditi lastne CNC sisteme. To omogoča večjo prilagodljivost in personalizacijo, kar precej zniža stroške začetne naložbe. Vendar pa gradnja stroja od začetka prinaša svoje posebne izzive, ki segajo od komponent, materialov, programske opreme ter testiranja, sestavljanja sistema ter kalibracija.

4.1. OPREDELITEV PROBLEMA

V sodobni industriji in domačih delavnicah se CNC stroji vse bolj uporabljajo za natančno obdelavo različnih materialov. Kljub njihovi uporabnosti pa so komercialno dostopni CNC stroji pogosto dragi in omejeni glede prilagodljivosti. Zato se pojavlja vprašanje, ali je mogoče izdelati cenovno ugoden, natančen in prilagodljiv CNC stroj, ki bi bil primeren tako za hobi kot polprofesionalno rabo. Pri tem je treba upoštevati izbiro ustreznih komponent, njihovo povezovanje in programsko opremo za nadzor stroja.

4.2. NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

Namen raziskave je načrtovati in izdelati triosni (X, Y ter Z) CNC stroj, ki bo omogočal natančno obdelavo materialov, bil cenovno ugoden in imel možnosti nadgradnje, na primer z dodatkom četrte osi. Cilji raziskave so:

- Preučiti osnovne komponente CNC stroja in njihovo delovanje.
- Izdelati delujoč CNC stroj z natančnostjo.
- Analizirati stroškovno učinkovitost izdelave v primerjavi z nakupom komercialnega stroja.
- Preizkusiti delovanje in zmogljivosti stroja.
- Raziskati možnosti nadgradnje stroja za dodatne funkcionalnosti.

4.3. RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE

Raziskovalna vprašanja:

- Ali nam bo uspelo izdelati cenovno ugoden in dovolj natančen CNC stroj za obdelavo različnih materialov?
- Katera je najboljša izbira komponent za najboljše razmerje med ceno in zmogljivostjo?
- Kako natančen in zanesljiv CNC stroj lahko izdelamo v primerjavi s komercialnimi modeli?
- Kako bi lahko v prihodnosti nadgradili in prilagodili stroj glede na različne potrebe uporabnika?

Hipoteze:

H1: Možno je izdelati CNC stroj, ki bo 50-70% cenejši od komercialnih modelov.

H2: Dokončan CNC stroj bo dosegel natančnost vsaj $\pm 0,2$ mm pri ponovljenih delih.

H3: Izbrali bomo ustrezne komponente in programsko opremo za zanesljivo uporabo CNC stroja.

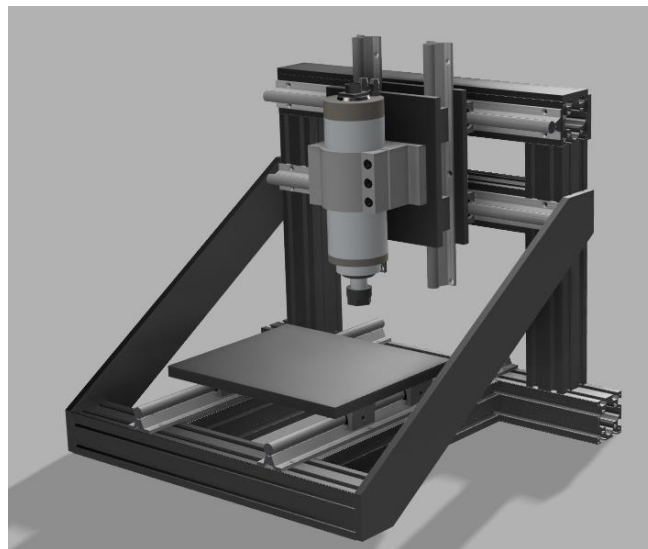
H4: Stroj bo mogoče nadgraditi, kot na primer dodajanje četrte osi kar bi omogočalo kompleksnejšo obdelavo materiala.

5. TEORETIČNI DEL

5.1. OSNOVE CNC TEHNOLOGIJE

5.1.1. KAJ JE CNC IN KAKO DELUJE

CNC (Computer Numerical Control) je tehnologija, s katero lahko vodimo obdelovalne stroje s pomočjo avtomatizacije in kode za strojno upravljanje (G-code). Namesto običajnega, ročnega upravljanja strojne opreme, ki ga operater vodi s pomočjo računalniškega vmesnika, CNC sistem prebere programske ukaze v obliki G-kode, kateri določajo natančne premike orodja v točno določenem tridimenzionalnem prostoru. CNC stroji so zasnovani za obdelavo materialov, kot so kovine, plastika, les in drugi materiali, z visoko natančnostjo, učinkovitostjo, hitrostjo, prilagodljivostjo in minimalnim odpadkom. G-koda je standardizirana in najbolj razširjena oblika programskega jezika za numerično krmiljenje, ki vsebuje ukaze za premikanje osi, nastavitve hitrosti vretena, naloge za obdelavo in druge pomembne parametre. CNC stroj nato navedene ukaze izvrši in natančno obdeluje material. Na primer, G1 ukaz pomeni premik orodja v ravni črti, G0 pa premik brez obdelave, premik na drugo točko (hitri premik).



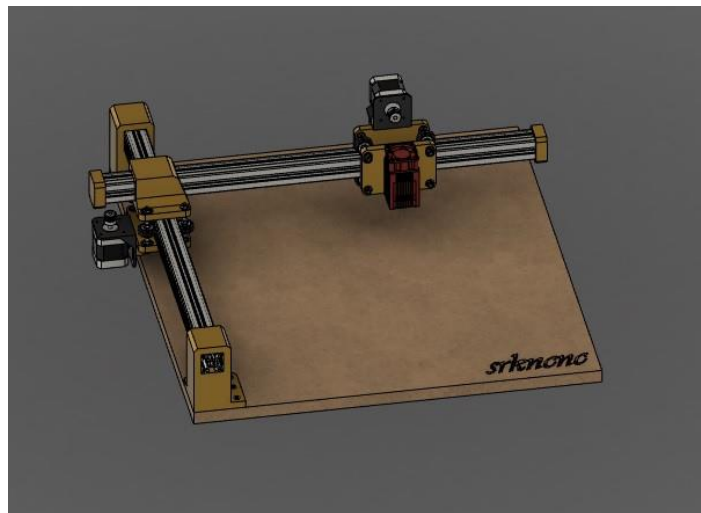
Slika 1: 3D model našega CNC stroja

Vir slike 1: Osebni arhiv

5.1.2. RAZLIKA MED 2D, 2.5D IN 3D OBDELAVO

CNC stroji omogočajo različne vrste obdelav glede na kompleksnost gibanja osi. Te obdelave so običajno razvrščene v tri kategorije:

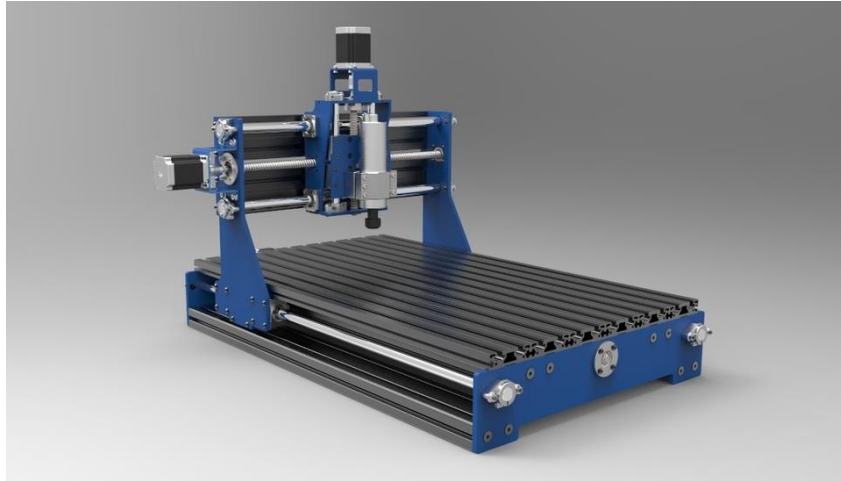
- **2D obdelava:** Pri tej vrsti obdelave se premikajo le dve osi (X in Y). Z-os je fiksna in ne vpliva na obdelavo, kar omogoča preprosto rezanje in izrezovanje oblik na enotni globini. To je najpogostejša obdelava za rezanje ploščatih materialov.



Slika 2: 3D model dvo osne obdelave

Vir slike 2: <https://grabcad.com/library/laser-engraver-9>

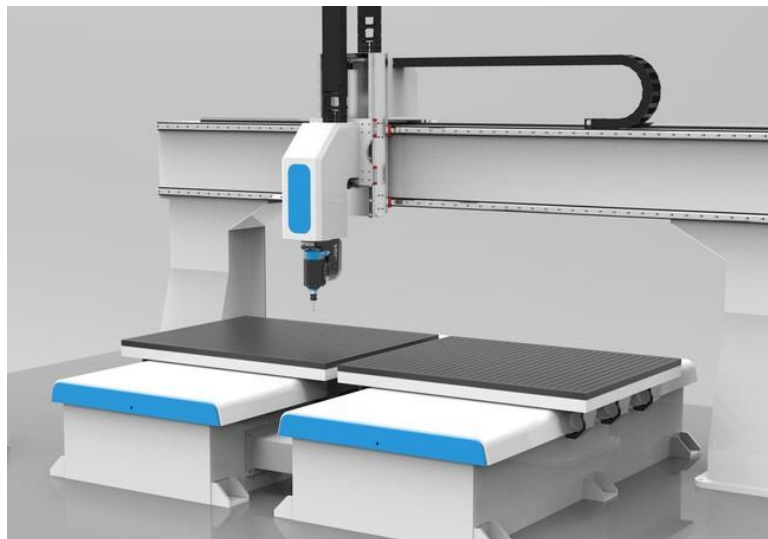
- **2.5D obdelava:** Tukaj imamo premikanje v treh smereh, vendar Z-os premika samo med različnimi globinami, vendar brez sočasnega gibanja vseh treh osi. To omogoča izdelavo stopničastih oblik ali več nivojskih obdelav, kot so reliefi ali izdelava delov z različnimi globinami.



Slika 3: 2.5D obdelava

Vir slike 3: <https://grabcad.com/library/cnc-router-3-axis-1>

- **3D obdelava:** Pri 3D obdelavi se vse tri osi premikajo sočasno, kar omogoča izdelavo kompleksnih in tridimenzionalnih oblik. To je še posebej uporabno pri prototipiranju, kiparstvu in izdelavi geometrijsko zahtevnih delov. S to vrsto obdelave je mogoče obdelovati krivulje in kompleksne geometrijske oblike z visoko natančnostjo.



Slika 4: 3D model 3D obdelave

Vir slike 4: <https://grabcad.com/library/5-axis-double-table-cnc-1>

5.1.3. PREDNOSTI IN SLABOSTI SAMOSTOJNO IZDELANIH CNC STROJEV

Samostojno izdelani CNC stroji ponujajo številne prednosti, vendar imajo tudi svoje izzive in omejitve.

Prednosti:

- **Prilagodljivost:** Samostojno izdelani CNC stroji omogočajo prilagoditev specifikacij, kot so velikost delovne površine, vrsta motorjev, natančnost in materiali, ki jih stroj lahko obdeluje.
- **Nižji stroški:** Izdelava lastnega CNC stroja je pogosto bistveno cenejša od nakupa komercialnega sistema, še posebej za uporabnike, ki so pripravljeni vložiti čas in trud v izdelavo ter kalibracijo.
- **Učenje in razvoj veščin:** Z izdelavo lastnega CNC stroja si uporabnik razširi spretnosti in znanje na področju strojništva, elektronike in programske opreme, s tem si tudi razvije dragocene tehnične veščine in pridobi izkušnje, ki jih lahko uporabi v nadaljnjih projektih.
- **Nadgradljivost:** Samostojno izdelani CNC stroj je mogoče kasneje nadgraditi z dodatnimi, kompleksnejšimi komponentami, kot so četrta os, ki omogoča zaobljen izrez na osi-Z ali laserski modul, kar omogoča širšo funkcionalnost stroja.

Slabosti:

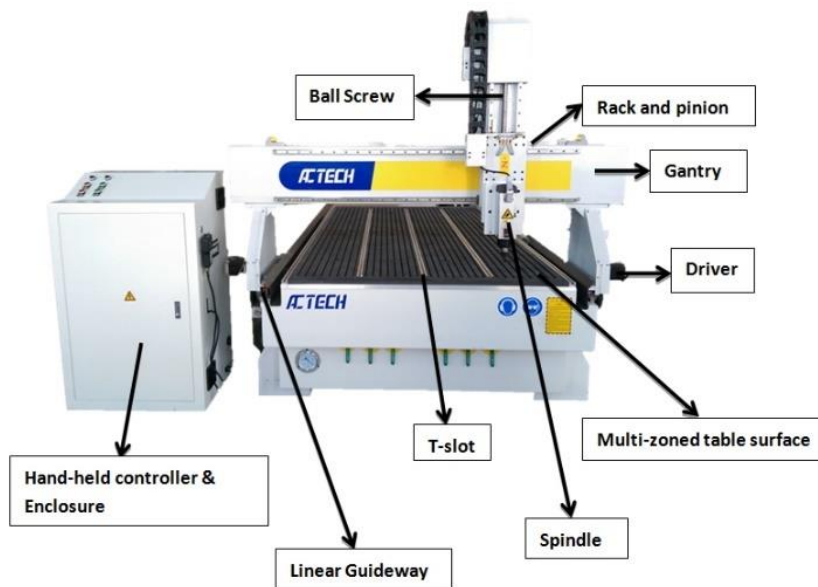
- **Težja kalibracija:** Da zagotovimo željeno natančnost in da bodo bili procesi, ki se ponavljajo vedno natančni, enaki en drugemu, je potrebna natančna kalibracija, ki je lahko izziv, zlasti za začetnike ali tiste, ki imajo manj izkušenj in omejeno izbiro orodja.
- **Težave z natančnostjo:** Zaradi težke kalibracije, lahko samostojno izdelani CNC stroji naletijo na težave pri natančnosti, še posebej pri visoko zahtevnih nalogah.
- **Časovno zahtevna izdelava:** Proces načrtovanja, sestavljanja in testiranja samostojno izdelanega CNC sistema je lahko dolgotrajen, zahteven in naporen, kar zahteva tehnično znanje.

- **Omejena podpora:** Pri samostojno izdelanih CNC strojih, pogosto ni neposredne rešitve in tehnične podpore, kar pomeni, da mora uporabnik samostojno reševati težave in napake s katerimi se bo na poti soočil.

Razumevanje teh osnovnih principov CNC tehnologije je ključno za nadaljnje raziskovanje ter izdelavo učinkovitega CNC sistema. V naslednjih poglavjih bomo podrobneje obravnavali izbiro komponent, mehansko sestavo in programsko opremo za CNC stroje.

5.2. NAČRTOVANJE CNC STROJA

Načrtovanje CNC stroja je eden najpomembnejših korakov pri celotni izdelavi, saj določa vse tehnične specifikacije in zagotavlja, da bo stroj učinkovit in primeren za obdelavo različnih materialov. Dobro načrtovan CNC stroj bo zagotovil natančnost, stabilnost in dolgotrajno delovanje. V tem poglavju bomo obravnavali ključne korake, ki so potrebni pri načrtovanju CNC stroja.



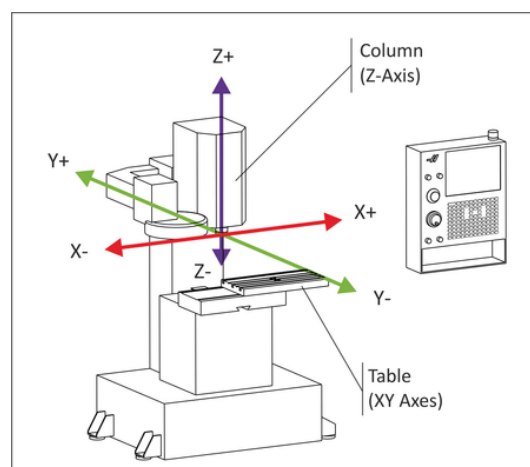
Slika 5: Komponente CNC stroja

Vir slike 5: <http://cncrouter.com.my/cnc-router-components/>

5.2.1. DOLOČITEV SPECIFIKACIJ CNC STROJA

Pred začetkom samega načrtovanja izdelave je nujno potrebno določiti osnovne specifikacije stroja, ki bodo ustrezale željam in potrebam uporabnika. Specifikacije vključujejo:

- **Velikost delovne površine:** To je ključna odločitev, saj odloča o tem, koliko prostora bo stroj imel na razpolago za obdelavo materialov. Uporabniki morajo upoštevati tipične velikosti obdelovancev, ki jih bodo obdelovali, ter morebitne omejitve glede prostora v delavnici. Na primer, manjši CNC stroji z delovno površino do 500 mm x 500 mm so primerni za domačo uporabo, medtem ko večji stroji omogočajo obdelavo večjih elementov.
- **Natančnost in ponovljivost:** Natančnost CNC stroja je ključnega pomena, saj vpliva na kakovost končnih izdelkov. Za natančne obdelave bo treba izbrati ustrezne linearne vodnike in zagotoviti minimalno zračnost na premikajočih se delih stroja. Ponovljivost omogoča, da stroj ponovi isti postopek z visoko natančnostjo, kar je ključno za serijsko proizvodnjo ali zahtevne naloge.
- **Vrsta materialov:** Vrsta materialov, ki jih boste obdelovali, bo vplivala na izbiro vretena, motorjev in drugih komponent. Na primer, za obdelavo trdnih materialov, kot je aluminij, bodo potrebni močnejši motorji in trši materiali za konstrukcijo. Medtem ko za obdelavo lesa in plastike ni potreben tako zmogljiv motor in vreten.
- **Hitrost gibanja osi:** Hitrost gibanja osi je pomembna za večjo produktivnosti. Hitrejši premiki omogočajo večjo hitrost obdelave, vendar je treba zagotoviti, da stroj ostane stabilen, zanesljiv in natančen tudi pri večjih hitrostih.



Slika 6: Prostor v tri osnem CNC stroju

Vir slike 6 https://unitymanufacture.com/what-are-the-axis-of-a-cnc-machine/#3-Axis_vs_5-Axis_CNC_Machines

5.2.2. IZBIRA MATERIALOV IN KOMPONENT

Izbira pravih materialov in komponent je ključna za dosego stabilnosti, natančnosti in dolgotrajnosti CNC stroja. Tukaj so nekateri ključni elementi, ki jih je treba upoštevati pri izbiri:

- **Okvir in konstrukcija:** Okvir CNC stroja mora biti iz trdnih in stabilnih materialov, ki preprečujejo vibracije in zagotavljajo visoko togost. Pogoste izbire vključujejo aluminijaste profile, kovinske okvirje in celo les za manjše in lažje modele. Aluminijasti okvirji so lahki in omogočajo enostavno montažo, vendar so kovinski okvirji običajno bolj trdni.
- **Linearni vodiči in kroglična vretena:** Linearni vodiči in kroglična vretena so ključni za natančne premike osi. Linearni vodiči omogočajo gladko in stabilno premikanje, medtem ko kroglična vretena zagotavljajo minimalno zračnost in povečujejo natančnost. Kroglična vretena so še posebej primerna za bolj zahtevne naloge, kjer je potrebna visoka ponovljivost in natančnost.
- **Pogonski sistem:** Za prenos gibanja z motorjev na osi so najpogosteje uporabljeni jermeni, zobniški pogoni in kroglična vretena. Jermeni so enostavni za namestitev in ugodni, medtem ko so zobniški pogoni bolj trdni in primerni za višje hitrosti. Kroglična vretena so najpreciznejša, vendar tudi dražja.
- **Motorji:** Koračni motorji (stepper motors) so pogosti v samostojno izdelanih CNC strojih, saj omogočajo natančne premike z nizkimi stroški, omogoča lažjo in cenovno izdelavo. Za večje hitrosti in večjo natančnost pa so priporočljivi, tako imenovani »servo« motorji, ki zagotavljajo večjo moč, hitrost premikov in tudi natančnost.

5.3. MEHANSKA SESTAVA CNC STROJA

Mehanska sestava CNC stroja vključuje vse fizične komponente, ki omogočajo premikanje osi, obdelavo materialov in natančnost delovanja tako kot tudi ogrodje oziroma okvir samega stroja. Kakovost mehanske sestave je ključna za doseg natančnih in ponovljivih rezultatov, zato je pri tem delu pomembno posvetiti pozornost izbiri materialov, konstrukciji in natančnosti montaže. V tem poglavju bomo obravnavali ključne sestavne dele mehanske konstrukcije samostojno izdelanega CNC stroja.

5.3.1. OKVIR IN KONSTRUKCIJA

Okvir CNC stroja je temeljna komponenta, ki določa stabilnost in trdnost sistema. Okvir mora biti zasnovan tako, da prepreči vibracije, ki bi lahko vplivale na natančnost obdelave. Za samostojno izdelane CNC stroje je običajno uporabljenih nekaj različnih materialov in konstrukcijskih tehnik:

- **Aluminijasti profili:** Aluminijasti profili so priljubljeni pri izdelavi okvirjev samostojno izdelanih CNC strojev, saj so lahki, trdni in enostavni za montažo. Omogočajo hitro sestavljanje, saj se pogosto uporabljajo z vgrajenimi montažnimi elementi (kot so T-montažni sklepi). Prav tako omogočajo enostavno prilagodljivost, če se kasneje odločite za razširitev, nadgradnjo sistema ali pa če je kakšen del potrebno zamenjati.
- **Jekleni okvirji:** Jeklo je težje od aluminija, vendar je izjemno trdno in stabilno. Uporaba jeklenega okvirja je primerna za večje CNC stroje, ki bodo obdelovali težje materiale. Jekleni okvirji omogočajo boljšo stabilnost in odpornost na deformacije elementov med obdelavo, kar je pri CNC strojih zelo pomembno.
- **Leseni okvirji:** Les je enostaven za obdelavo in je bolj primeren za manjše in cenejše CNC stroje, ki obdelujejo lažje materiale, kot so les, plastika ali lahke kovine. Leseni okvirji so navadno manj trdni in manj stabilni kot kovinski, vendar so lahko zelo učinkoviti za domače projekte, seveda pa moramo pričakovati, da je lahko natančnost slabša v primerjavi z CNC stroji, ki imajo trše okvirje.

Okvir mora biti zasnovan tako, da omogoča enostavno montažo drugih komponent, kot so linearni vodiči, motorji in vreteno, ter mora zagotoviti dovolj prostora za vse premikajoče dele stroja, to zagotovi lažjo sestavo tako kot tudi lažje vzdrževanje.

5.3.2. LINEARNI VODIČI IN KROGLIČNA VRETENA

Linearni vodiči in kroglična vretena imajo velik pomen za natančno premikanje vseh osi CNC stroja. Linearni vodiči omogočajo gladko in stabilno premikanje premikajočih se delov, medtem ko kroglična vretena zagotavljajo visoko natančnost pri premiku.

- **Linearni vodiči:** Linearni vodiči so odgovorni za natančno premikanje osi X, Y in Z. Najpogosteje so izdelani iz jekla ali aluminija in so zasnovani tako, da zmanjšajo trenje med premikajočimi deli, kar omogoča gladko gibanje, z malo trenja. Linearni vodiči so lahko v obliki železniških tirnic ali valjev, ki se gibljejo po njih.
- **Kroglična vretena:** Kroglična vretena so idealna za prenos gibanja pri CNC strojih, saj zmanjšujejo trenje in omogočajo visoko natančnost. Zasnovana so za večje obremenitve in omogočajo hitrejše premike. Kroglična vretena so idealna za zahtevnejše projekte, kjer je potreben visok standard natančnosti.

5.3.3. POGONSKI SISTEMI

Sistem pogona CNC stroja je odgovoren za prenos gibanja iz motorjev na premične osi.

Pri CNC strojih so najpogosteje uporabljene tri vrste pogonskih sistemov:

- **Jermenski pogoni:** Prednost teh je, da so nizki stroški in enostavna sestava. Jermen, ki se vrti in prenaša moč na os, tvori ta tip sistema pogona. Jermenski pogoni so primerni za CNC stroje z nizkimi in srednjimi zahtevami, lahko pa utrpijo določene izgube pri visokih hitrostih.
- **Zobniški pogoni:** S pojavom močnejših materialov so zobniški pogoni začeli nadomeščati jermenske pogone, saj so močnejši in zagotavljajo večjo natančnost pri višjih hitrostih. Zobniki imajo sposobnost zmanjšanja izgub energije in so zato primerni za večje CNC stroje, ki so zasnovani za obdelavo težkih materialov.
- **Kroglična vretena:** kroglična vretena omogočajo visoko natančnost pri prenosu gibanja in so primerna za bolj zahtevne projekte. Kroglična vretena se pogosto uporabljajo v profesionalnih CNC strojih, saj zagotavljajo minimalno trenje in visoko ponovljivost.

Za manjše CNC stroje so pogosto izbira koračni motorji (stepper motors), ki omogočajo natančne premike z nadzorom napetosti in tokov. Koračni motorji so zelo priljubljeni v samostojno izdelanih sistemih, ker so cenovno dostopni, enostavni za uporabo in omogočajo visoko natančnost pri nadzoru gibanja. Za večje in bolj zahtevne sisteme se lahko uporabijo servo motorji, ki omogočajo višje hitrosti in večjo moč.

5.4. ELEKTRONIKA IN KRMILJENJE

Elektronika in krmilni sistemi so osrednji za delovanje CNC stroja, saj omogočajo natančen nadzor gibanja osi, delovanje motorjev in komunikacijo med uporabnikom in strojem. V tem poglavju bomo obravnavali glavne komponente elektronskega sistema, ki so potrebne za delovanje CNC stroja, ter kako izbrati ustrezne elemente za optimalno delovanje.

5.4.1. KRMILNIK CNC STROJA

Krmilnik CNC stroja je možganski del sistema, ki upravlja vse premike osi in nadzira druge komponente, kot so vreteno, motorji, končna stikala in dodatki. Krmilnik prevaja G-kodo v signale, ki jih gonilniki motorjev pretvorijo v premike koračnih motorjev.

- **Arduino-zasnovani krmilniki:** Zelo priljubljeni krmilniki za samostojno izdelane CNC sisteme temeljijo na Arduino platformi s **GRBL krmilnikom**, ki omogoča obdelavo G-kode s pomočjo Arduina in majhnih gonilnikov.
- **CNC Shield in gonilniki:** CNC shield je dodatno vezje, ki se poveže na Arduino platformo, ki omogoča nadzor nad večjimi motorji. Za večjo natančnost in moč se uporablja različne vrste gonilnikov (**DRV8825** ali **A4988**), ki upravljajo korake motorjev.
- **Krmilniki za napredno uporabo:** Za bolj kompleksne sisteme, ki podpirajo več osi, višje hitrosti in napredne funkcije. To vključuje krmilnike, kot sta **TB6600** in **DM542T**, ki uporabljajo višje napetosti in tokove.

5.4.2. MOTORJI

Motorji so ključni za premikanje osi CNC stroja. Najpogosteje se uporabljajo **koračni motorji (stepper motors)**, vendar se lahko za bolj napredne aplikacije uporabljajo tudi **servo motorji**.

- **Koračni motorji (Stepper motors):** Koračni motorji so najpogosteje uporabljeni v samostojno izdelanih CNC strojih. Deluje na principu brez-krtičnih enosmernih električnih motorjev, ki se vrtijo v seriji majhnih in diskretnih kotnih korakov.
- **Servo motorji:** So rotacijski ali linearni aktuatorji, ki se uporabljajo predvsem v industrijskih CNC strojih ter omogočajo natančen nadzor kotnega ali linearnega položaja, hitrosti in pospeška v mehanskem sistemu.

5.4.3. NAPAJANJE CNC SISTEMA

CNC stroj mora imeti dovolj močno napajanje, da omogoči pravilno in stabilno delovanje vseh komponent kot so motorji, krmilniki, vreteno in drugimi komponentami.

- **Napajalnik za motorje:** Koračni motorji in servo motorji imajo ločen napajalnik, ki mora biti sposoben zagotavljati dovolj toka za nemoteno delovanje. Za večje motorje so potrebni napajalniki, ki zagotavljajo večjo moč (npr. 24V ali 48V), saj motorji pri višjih napetostih delujejo bolj učinkovito.
- **Napajanje za krmilnik:** Krmilnik in druge elektronske komponente, ki so priključene na krmilnik običajno potrebujejo napajanje pri nižji napetosti, kot je 24V, 12V ali 5V. Za končna stikala je v večini primerov uporabljena 24V napetost.
- **Napajalnik Vreteno:** Vreteno je ena najmočnejših komponent CNC stroja, zato zahteva močan napajalnik, ki dovaja konstantno napajanje pri napetostih, kot je 220V za industrijska vretena. Za samostojno izdelane CNC sisteme se pogosto uporabljajo manjša vretena, ki zahtevajo napajanje pri 110V ali 220V, odvisno od moči vretena.

5.4.4. POVEZOVANJE IN KOMUNIKACIJA Z RAČUNALNIKOM

CNC stroj mora biti obvezno povezan z računalnikom, ki omogoča generiranje G-kode in navodil na krmilnik, to povezavo pa lahko dosežemo na več načinov.

- **USB povezava:** To je ena izmed najbolj uporabljenih metod za povezovanje CNC stroja z računalnikom, saj omogoča enostaven prenos G-kode na krmilnik in delovanje samega stroja lahko nadzorujemo v realnem času.
- **Ethernet povezava:** Navadno se ta metoda, ki zelo priročna, uporablja v naprednejših krmilnikih, saj lahko CNC stroj daljinsko spremljamo in nadzorujemo prek omrežja.

5.4.5. ZAŠČITA ELEKTRONIKE

Elektronika stroja mora biti zaščitena pred preobremenitvami, napetostnimi sunki in elektromagnetnimi motnjami. Pomembno je zagotoviti ustrezno zaščito, da se prepreči poškodba elektronike .

- **Zaščita pred preobremenitvijo:** Motorji in gonilniki morajo biti zaščiteni pred prekomerno obremenitvijo, kar lahko povzroči pregrevanje. To vključuje tokovne zaščite in varovalke, ki samodejno izklopijo napajanje, če pride do težav z napetostjo ali tokom.
- **Zaščita pred elektromagnetnimi motnjami:** Za stabilno delovanje je priporočljivo uporabiti zaščito pred elektromagnetnimi motnjami (EMI), ki jih lahko povzroči električna oprema, kot so motorji ali krmilniki.

5.5. PROGRAMSKA OPREMA ZA CNC OBDELAVO

Za CNC obdelavo potrebujemo programsko opremo, ki lahko generira G-kodo, saj ta nadzoruje premike stroja ter določa operacije obdelave. Zaradi različno kompleksnih CNC strojev obstaja tudi široka izbira programske opreme, ki lahko podpira samo osnovne naloge ali pa ima možnost podpirati kompleksne 3D obdelave. Pa si pogledjmo kako pravilno izbrati programsko opremo pri samostojno izdelanih CNC strojih.

5.5.1. CAD (Računalniško podprto oblikovanje)

Računalniško podprto oblikovanje (CAD) je prvi korak v procesu CNC obdelave. Uporabnik izdelava 3D model izdelka, ki ga želi obdelati. CAD programska oprema omogoča izdelavo natančnih risb in modelov, ki jih naprej obdelujemo z CAM opremo in nato pretvorimo v G-kodo, da jo bo razumel krmilnik.

- **AutoCAD:** AutoCAD je ena najbolj znanih in pogosto uporabljenih CAD programov. Z njim izdelujemo natančne 2D in 3D modele, ki jih izvozimo v format G-kode z uporabo dodatnih programskih orodij.
- **Fusion 360:** Fusion 360 je CAD in CAM programska oprema, ki je uporabljena za profesionalne in splošne uporabnike. Ponuja širok spekter funkcionalnosti za oblikovanje, simulacijo, analiziranje in generiranje G-kode.
- **SolidWorks:** SolidWorks je napredna CAD programska oprema, za ustvarjanje zelo natančnih modelov in simulacij. Uporabljena je za bolj zahtevne projekte in industrijsko uporabo, vendar jo pogosto uporabljajo tudi splošni uporabniki.
- **FreeCAD:** FreeCAD je odprtokodna CAD programska oprema, ki ponuja različne funkcionalnosti za 3D modeliranje in omogoča enostaven izvoz v G-kodo.

5.5.2. CAM (Računalniško podprta proizvodnja)

Po tem, ko je bil model ustrezno izdelan v CAD programu, sledi obdelava v CAM programu s katerim modelu določimo surov material, orodja in poti orodja, nato nastavimo parametre obdelave, izvedemo simulacijo in generiramo G-kodo.

- **Fusion 360:** Fusion 360 ima poleg CAD tudi CAM funkcionalnost. Uporabniki lahko preidejo z oblikovanja na generiranje poti orodja in G-kodo. To je zelo priljubljena izbira za CNC sisteme, saj ponuja ogromno orodij za različne vrste obdelav (npr. rezanje, vrtanje, freziranje).
- **SolidCAM:** SolidCAM je tudi CAM program, ki je vgrajena v SolidWorks. Ponuja napredne možnosti obdelave in generiranja poti orodja za profesionalno uporabo.
- **Estlcam:** Estlcam je cenovno ugodna CAM programska oprema, primerna za cenejše CNC sisteme. Ponuja enostavno generiranje G-kode za različne vrste obdelav in podpira vse glavne vrste CNC strojev.

- **MeshCAM:** MeshCAM je preprosta CAM programska oprema, ki je posebej zasnovana za hitro generiranje G-kode. Idealna je za uporabnike začetnike saj lahko brez zapletenih nastavitev pripravimo 3D model na obdelavo.

5.5.3. INTERPRETACIJA G-KODE

G-koda je programski jezik za CNC stroje. Je ključnega pomena, saj določa različne ukaze kot so gibanje osi, hitrost vretena, hitrost pomika in druge parametre obdelave. Programa CAD in CAM omogočata ustvarjanje G-kode iz 3D modelov, vendar potrebujemo programe za interpretacijo kode.

- **GRBL:** GRBL je odprtokodni program, ki omogoča uporabo Arduina za krmiljenje CNC stroja. Ima vgrajeno obdelavo G-kode in omogoča enostavno integracijo z različnimi CAD/CAM programi.
- **Universal G-code Sender (UGS):** UGS je odprtokodni program, ki temelji na GRBL. Omogoča enostavno nalaganje G-kode iz računalnika ter jo nato pošiljanje na CNC stroj.
- **Mach 3 in Mach 4:** Mach 3 je ena izmed najbolj priljubljenih programov za interpretacijo G-kode v CNC sistemih. Podpira različne vrste CNC strojev z različnimi nastavitvami ter omogoča natančno upravljanje komponent. Medtem ko je Mach 4 novejša različica vendar je dražja, ima manjšo podporo in je manj stabilen.

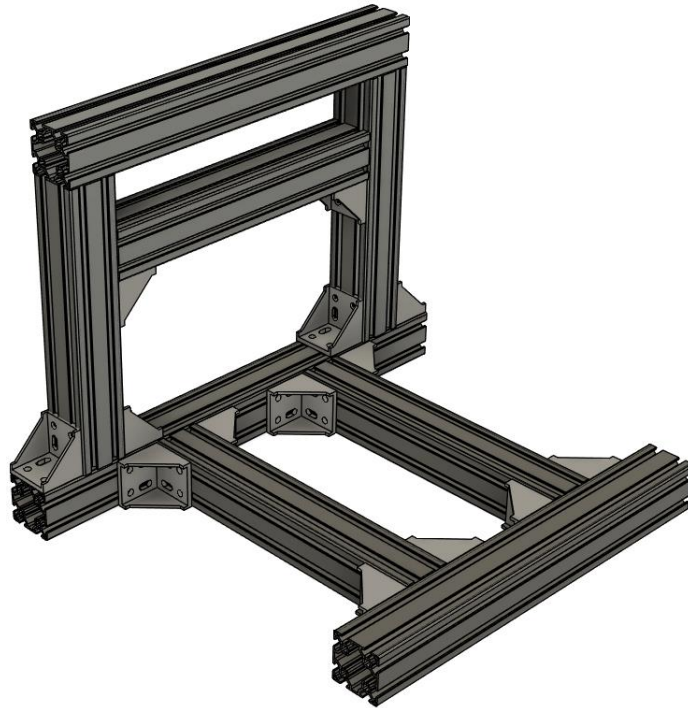
6. POSTOPEK IZDELAVE CNC STROJA IN TESTIRANJE

6.1. IZDELAVA 3D MODELA

Preden smo se lotili izdelave samega CNC stroja smo mogli izdelati 3D model z izbranimi materiali in električnimi komponentami. Za modeliranje smo si izbrali program Fusion 360 zaradi predznanja iz prejšnjih uporab in projektov. Za nas je ponujal vse kar smo potrebovali (CAD in CAM) vred z funkcijami, ki jih drugi programi ne ponujajo.

6.1.1. OGRODJE

Za ogrodje smo izbrali aluminijaste profile dimenzij 60x60, ker so enostavni za montažo ter ugodni. V programu smo sestavili celotno ogrodje iz aluminijastih profilov, ki je ustrezalo našim namenom in, da bo CNC stroj lahko nadgradljiv v prihodnosti. Za spoje med aluminijastimi profili smo uporabili aluminijaste 90 stopinjske nosilce.

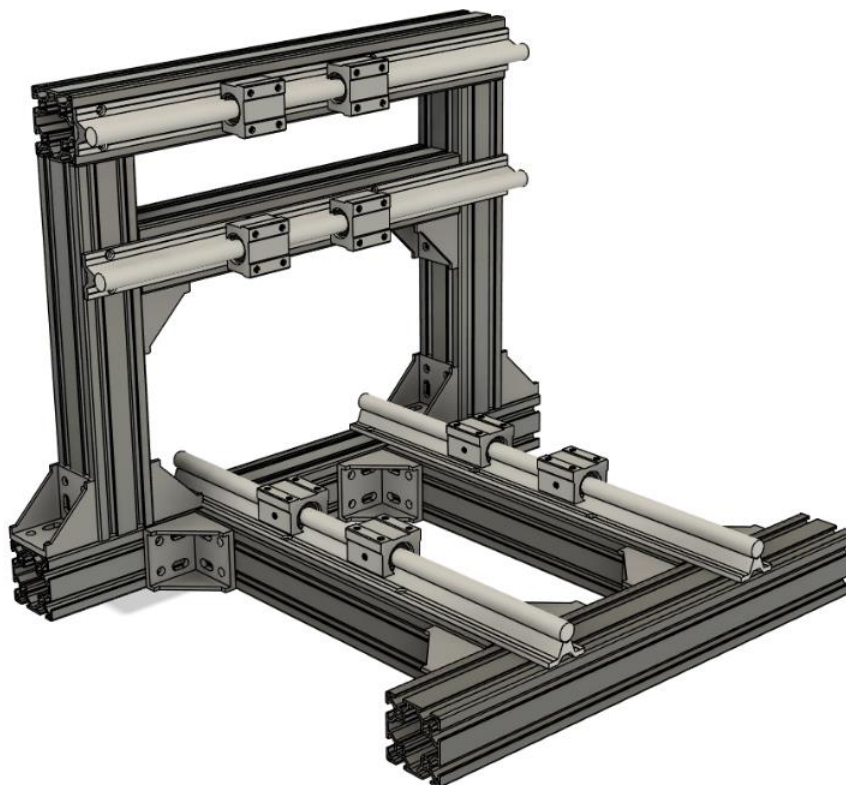


Slika 8: 3D model ogrodja

Vir slike 8: Osebni arhiv

6.1.2. LINEARNI VODIČI

Po končanem ogrodju smo dodali linearne vodiče, ki se pritrdijo na aluminijaste profile s pomočjo matice kladiva T. Na vodiče se pritrdi še kroglični ležaj z linearnim gibanjem. Na te linearne vodiče se bo privijačilo Z os na kateri bo tudi vreteno, na X osi pa miza v velikosti 300x280x10 na kateri bo pritrjen majhen primež, ki bo trdno držal material za obdelavo.

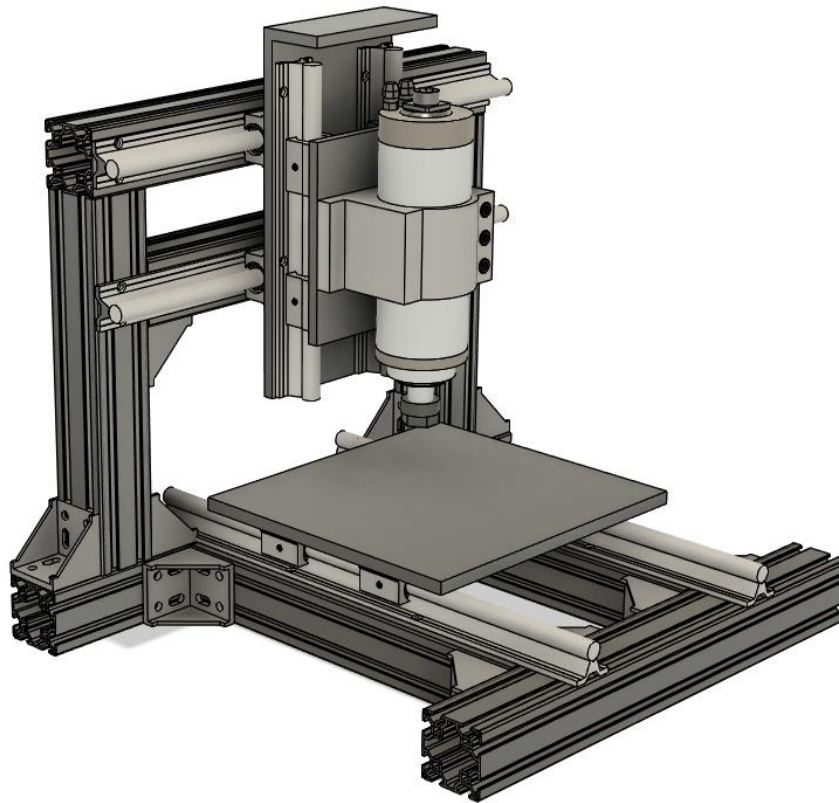


Slika 9: 3D model pritrditve linearnih vodičev

Vir slike 9: Osebni arhiv

6.1.3. Z OS IN VRETENO

Za pritrnitev Z osi smo uporabili dve dodatni plošči. Prva ploskev je pritrjena na X os preko krogličnih ležajev, na to ploskev smo dodali še dva linearna vodiča ter dva kroglična ležaja na katera se pritrji druga ploskev, ki bo držala vreteno. Ta del bo pri izdelavi zelo pomemben saj bo vsaka majhna napaka dodala nepotrebne vibracije CNC stroju.

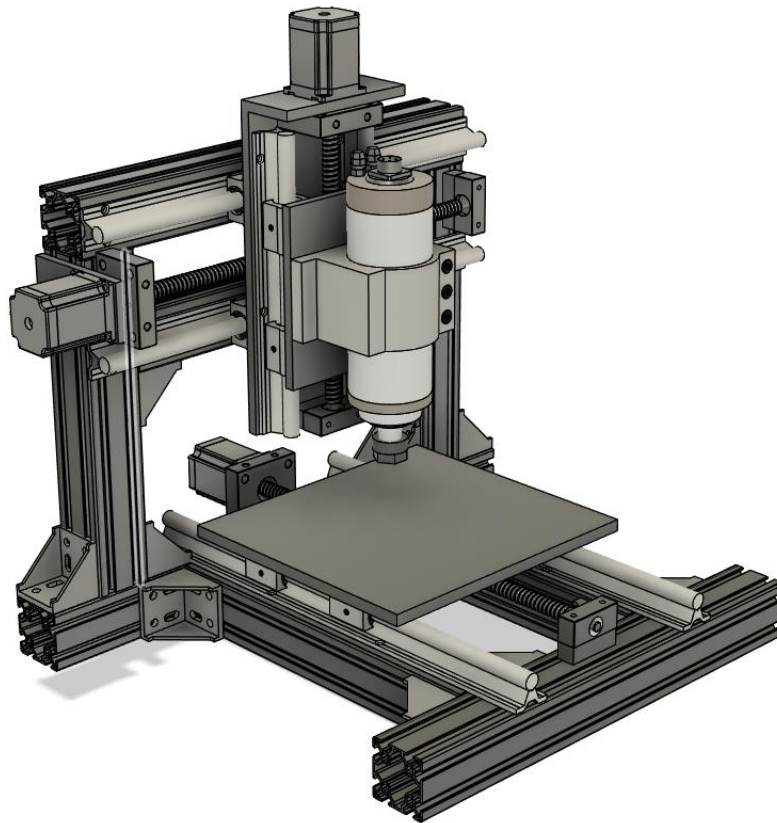


Slika 10: 3D model Z osi in vretena

Vir slike 10: Osebni arhiv

6.1.4. MOTORJI IN KROGLIČNA VRETENA

Za prenos gibanja smo dodali še kroglična vretena na vsako os (X, Y ter Z) in jih pritrdili med linearna vodila. Za vsak motor posebej je bilo potrebno izdelati podporno ploščico, ki se pritrdi na aluminijast profil z matico kladiva T.



Slika 11: 3D model celotnega ogrodja

Vir slike 11: Osebni arhiv

6.2. NAKUP KOMPONENT IN MATERIALA

Na prvi pogled se je nakup komponent zdel preprost postopek kjer ne rabiš veliko logistike, vsaj tako smo mislili. Hitro smo ugotovili, da smo se zmotili. Kot dijaki 2. oziroma 3. letnika smo se soočili s številnimi izzivi, ki jih sprva nismo pričakovali. Glavni izzivi pa so bili denarna stiska za nakup materialov, iz kje jih naročati, da bomo dobili zanesljivo opremo. Še posebej pa smo morali biti pozorni na kompatibilnost komponent. Zato smo izdelali tabelo z izbranimi komponentami in njihovimi specifikacijami.

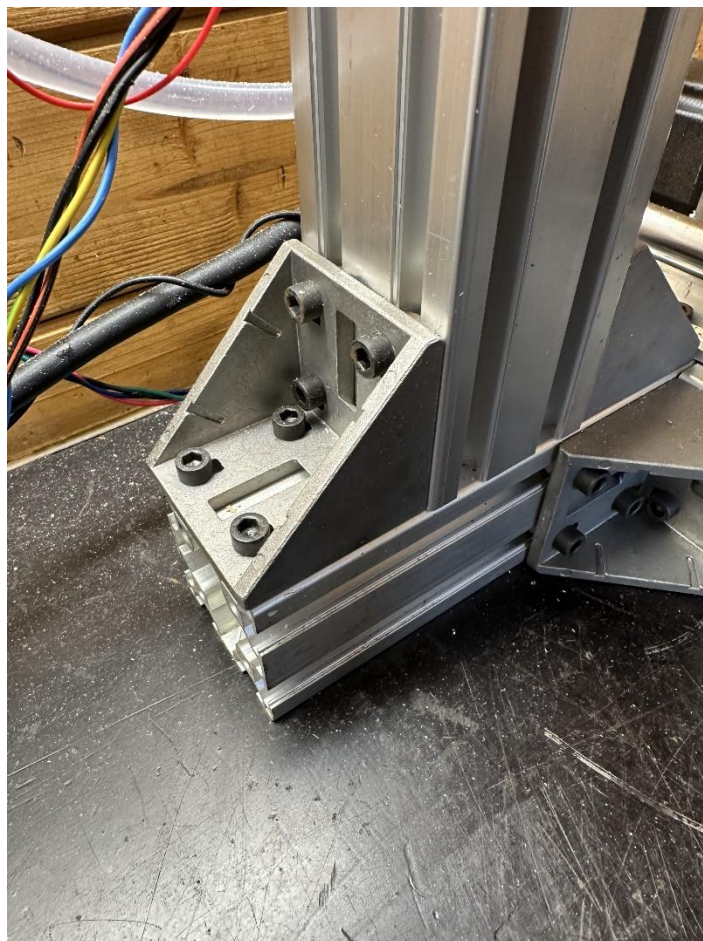
Aluminijasti profili in nosilci	Za ogrodje smo kupili aluminijaste profile dimenzij 60x60 za dovolj trdno strukturo in jih spojili z 90 stopinjskimi nosilci.
Jeklene plošče	Za pritrditev motorjev ter vretena smo izbrali jeklo saj je pri motorjih in vretenu veliko vibracij, ki jih poskušamo izničiti.
Linearni vodiči	Za vodila smo izbrali okrogla linearna vodila, ker so cenejša, lažja za inštalacijo ter imajo majhno obrabo.
Kroglična vretena	Pri prenosu gibanja smo izbrali kroglična vretena, ker zagotavljajo visoko natančnost, gladko gibanje ter daljšo življenjsko dobo.
Motorji	Pri izbiri motorjev je velika izbira. Nema 23 koračni motor je za naš CNC stroj dovolj močan, natančen in je dovolj ugoden.
Motorni gonilniki	Za gonilnike smo si izbrali tri iste gonilnike DM542T zaradi velike funkcionalnosti ter kompatibilnosti z Nema 23 motorji.
Vreteno in držalo	Za naš CNC stroj smo si izbrali 2,2 kW vreteno (220V, 400Hz), ki bo primerno za rezkanje lesa, plastike in aluminija.
VFD (Spremenljivi frekvenčni pogon)	Da lahko uporabimo vreteno potrebujemo VFD z pravo frekvenco zato smo izbrali VEVOR 2,2 kW frekvenčni pogon, da se ujema z vretenom.
Končna stikala	Pri končnih stikalih smo se odločili za poceni stikala saj bodo zadoščala za naš CNC stroj.
CNC krmilnik	Za krmilnik smo izbirali Mach 3 ploščo, z veliko funkcionalnostjo in možnostmi za priključke. Omogoča nam tudi uporabo Mach 3 programa za upravljanje CNC stroja.
Napajalniki	Za dovolj moči smo izbrali 48V napajalnik z 25A, ki bo poganjal vreteno in tri motorje. Za stikala in napajanje krmilnika smo dodali še 20V napajalnik, ki bo omogočal uporabo senzorjev in stikal.
Električna omarica	Za naš CNC smo mogli izbrati tudi električno omarico v katero moramo namestiti in povezati vse komponente, ki ne spadajo na ogrodje (dva napajalnika, gonilniki, krmilnik ter VFD).
Primež	Za pritrditev materiala za rezkanje je potreben primež, ki smo ga imeli že v delavnici vendar smo dokupili še enega manjšega za manjše modele.
ER collet	Za stabilno vrtenje svedra v vretenu ter brez nihanja potrebujemo dobre collete zato smo kupili več različnih diametrov (4mm,6mm,8mm).

Tabela 1: Nakup komponent

6.3. ZAČETEK IZDELAVE CNC STROJA

6.3.1. SESTAVA OGRODJE

Pri izdelavi ogrodja CNC stroja moramo biti pozorni na stabilnost in trdnost, da zagotovimo točnost in dolgotrajnost stroja. Z izdelavo CNC stroja smo pričeli, ko smo prejeli vse potrebne materiale za ogrodje (matice kladiva T, aluminijasti profili, vijaki, 90 stopinjski nosilci). Aluminijaste profile smo postavili v željeno obliko in jih natančno poravnali z pripomočki (kotnik, pravilno pravokotni predmeti). V vsak kot smo postavili en 90 stopinjski nosilec pod katerega smo v aluminijaste profile vstavili matice kladiva T in jih privijačili z dovolj navora.



Slika 12: Izdelano ogrodje z nosilci

Vir slike 12: Osebni arhiv

6.3.2. MONTAŽA LINEARNIH VODIČEV

Naslednji korak je montaža linearnih vodičev na vse tri osi (X, Y in Z). Ta korak je zelo pomemben saj vsaka napaka pripelje do odstopanj kar bo povzročilo manjšo natančnost. Pri montaži smo za minimalne tolerance uporabili digitalno pomično merilo. Za premik osi potrebujemo dve vodili, ki smo jih postavili na aluminijast profil in jih poravnali. V aluminijast profil nato vstavimo matico kladiwa T in jih privijamo z ustreznim navorom. Po namestitvi smo preverili tolerance in popravili napake.



Slika 13: Pritrjeno linearno vodilo

Vir slike 13: Osebni arhiv

6.3.3. MONTAŽA KROGLIČNIH VRETEN TER POSTELJE

Montaža krogličnih vreten je naslednji korak pri izdelavi našega CNC stroja. Za pritrditev vreten na osi smo potrebovali 90 stopinjska nosila na katere smo jih privijačili. Pomembna je tudi smer v katero smo jih obrnili, saj moramo upoštevati na kateri strani bodo motorji. Prvo smo očitali sredino aluminijastega profila na katerega smo položili 90 stopinjski nosilec in ga privijačili z maticami kladivi T. Na nosilce smo položili vretena in s kotniki preverili pravokotnost. Ko so bili dovolj natančno postavljeni smo jih privijačili. Ko imamo pritrjena linearna vodila ter kroglična vretena lahko dodamo še posteljo iz aluminija, ki jo privijačimo na kroglična vodila in kroglično vreteno.



Slika 14: Kroglično vreteno pritrjeno na nosilcu

Vir slike 14: Osebni arhiv

6.3.4. IZDELAVA NOSILCA Z OSI

Za premik X osi in Z osi moramo to združiti skupaj saj se Z os pritrdi na X os. Prvo smo mogli v tri jeklene plošči zvrtni vse potrebne luknje za pritrnitev linearnih vodil, krogličnega vretena, motorja ter za držalo vretena. Po vrtnanju smo pravokotno palično privarili ploščo za motor in ploščo za na X os skupaj. Na X osno ploščo smo pritrtili obe linearni vodili nato pa še kroglično vreteno in oboje privijačili v jeklo. Zadnji korak je privijačenje plošče na kroglična vodila ter kroglično vreteno. Na ploščo Z osi smo privijačili še nosilec za vreteno.

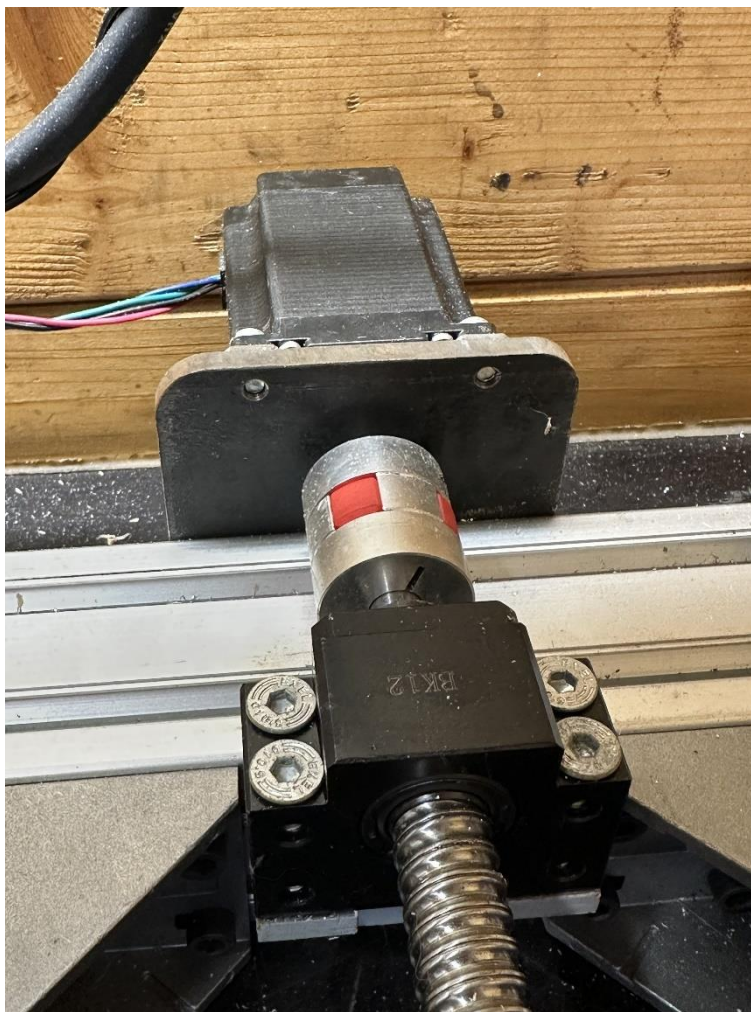


Slika 15: Nosilec Z osi ter vretena

Vir slike 15: Osebni arhiv

6.3.5. MONTAŽA KORAČNIH MOTORJEV TER VRETENA

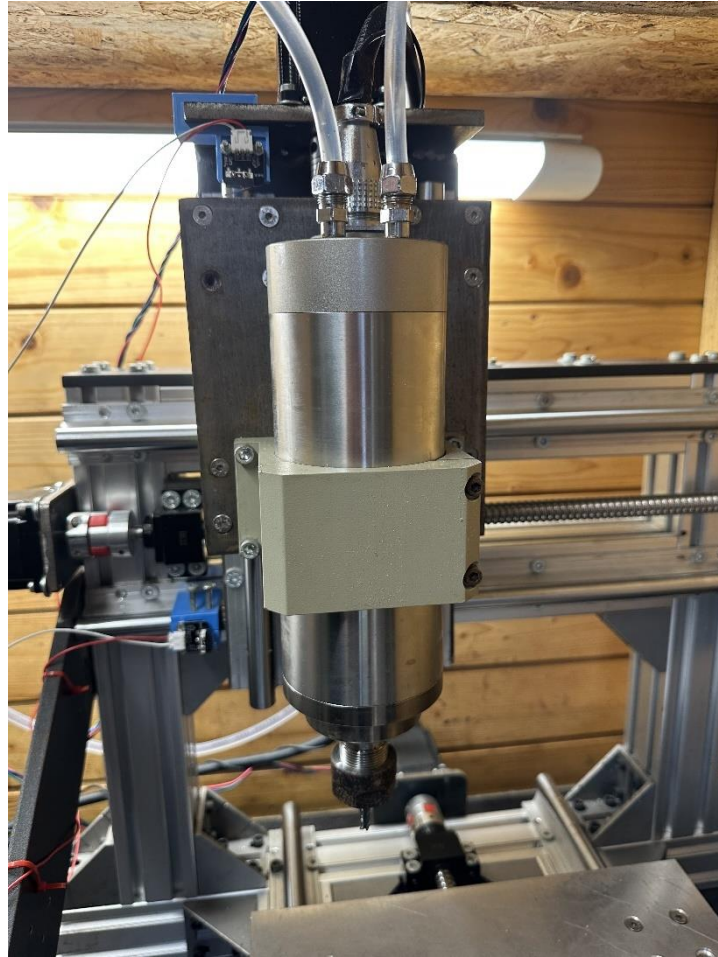
Zaradi pravilne ter natančne postavitve motorjev smo potrebovali izrezati dodatne nosilce iz jekla, ki smo jih nato privijačili na aluminijaste profile z maticami kladiva T razen na Z osi kjer ni bilo potrebe po dodatnem nosilcu. Motorje smo nato privijačili na nosilce in jih povezali z krogličnimi vreteni z fleksibilnimi čeljustnimi in spiralnimi spojki.



Slika 16: Pritrjen motor na nosilcu

Vir slike 16: Osebni arhiv

Po pritrjenih motorjih sledi inštalacija vretena. Vstavili smo ga v pritrjeni nosilec in ga pozicionirali tako, da smo vreteno postavili čim višje, da ga nosilec stisne čim nižje za minimalno količino vibracij.

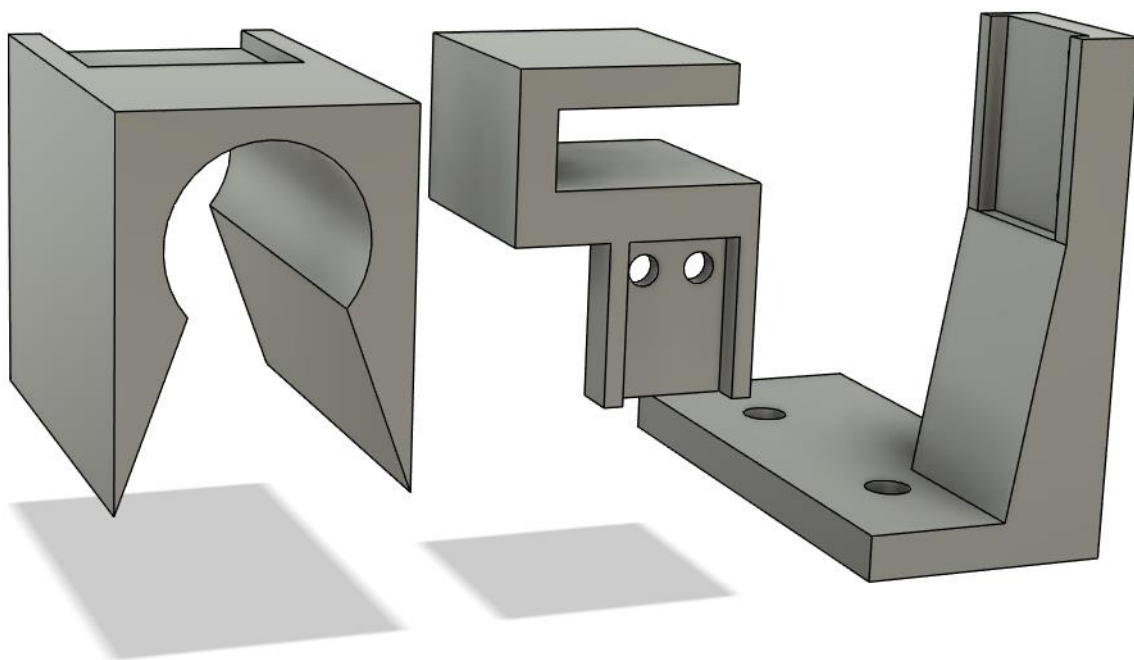


Slika 17: Pravilno pritrjeno vreteno

Vir slike 17: Osebni arhiv

6.3.6. IZDELAVA 3D NATISKANIH NOSILCEV KONČNIH STIKAL

Ugotovili smo, da končnih stikal ne bomo mogli pritrditi brez ustreznih dodatkov zato smo se odločili, da jih bomo prvo ustvarili v programu Fusion 360 in nato 3D natisnili. Za vsako os je bil potreben drugačen 3D model.



Slika 18: 3D modeli nosilcev končnih stikal

Vir slike 18: Osebni arhiv

Po končanem tiskanju smo jim vrezali navoje z vijaki in jih pritrdili na CNC stroj, da vidimo če se dobro držijo ogrodja saj so pri 3D tiskanju tudi odstopanja vendar se je vse dobro ujemalo.

6.4. ELEKTRIČNA INŠTALACIJA

6.4.1. NAPAJANJE MOTORJEV TER GONILNIKOV

Za pogon vseh komponent smo potrebovali dva različna napajalnika, enega 24V in drugega 48V, obadva potrebujeta izmenično 220V 50Hz. V majhnem spojniku smo razdelili glavni vodnik, ki pride iz vtičnice na dve trojici vodnikov, ki jih bomo privijačili v oba napajalnika. Nato smo zaporedno zvezali še VFD na isti vodnik, ki se privijači na 48V napajalnik. Povezati smo morali vse tri vodnike znotraj gumijaste zaščite (fazni, nevtralni in ozemljitveni vodniki). V električno omarico smo zložili vse komponente in z kemičnim pisalom označili vse točke kjer bo potrebno vrtati luknje za pritrnitev komponent. Po uspešnem vrtnanju smo preverili natančnost in nato privijačili vse komponente na svoja mesta ter pričeli z napeljavo. Vsak izmed treh gonilnikov potrebuje od 24V do 48V. Na naš 48V napajalnika smo privijačili tri pare vodnikov (fazo ter nevtral), za vsak gonilnik en par. Na vsak gonilnik smo po napajanju dodali še štiri vodnike (A+, A-, B+ in B-) za dovajanje napetosti motorjem (navitju). Vodniki, ki so prihajali iz motorjev so bili malo prekratki zato smo jih podaljšali z novimi vodniki, ki smo jih spajkali skupaj. Na koncu vodnikov smo jih olupili ter jim stisnili vodnike v aluminijaste ovitke. Te štiri vodnike smo po pravilih privijačili na gonilnik in to ponovili še dvakrat.

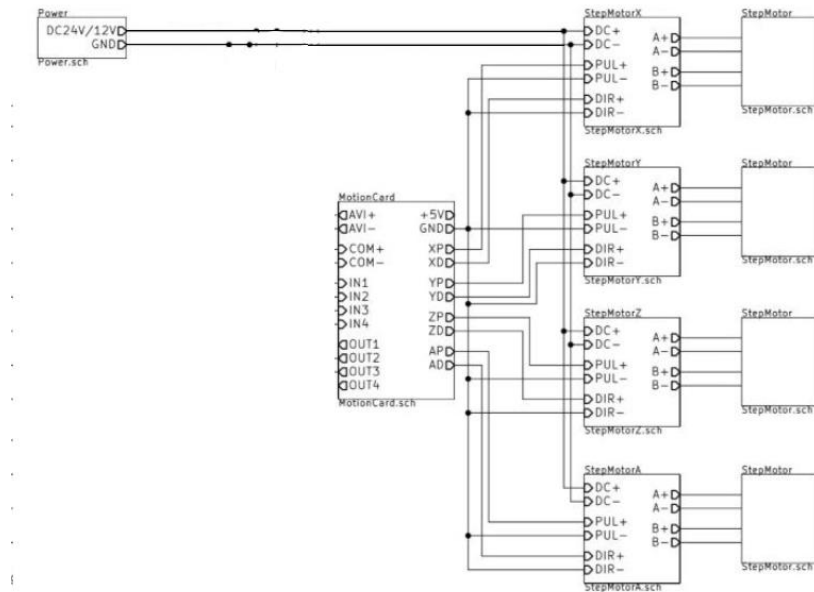


Slika 19: Komponente povezane v električni omarici

Vir slike 19: Osebni arhiv

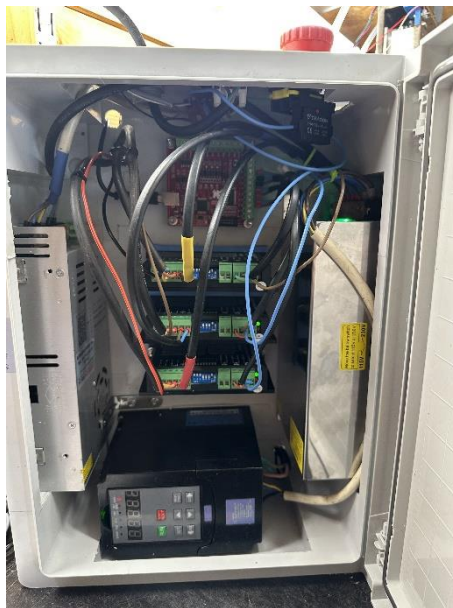
6.4.2. POVEZAVA GONILNIKOV IN KRMILNE PLOŠČE

Pri povezavi gonilnikov in krmilne plošče smo rabili še trikrat po štiri vodnike. Na gonilniku so povezave DIR+, DIR-, PUL+ ter PUL-, ki se jih poveže na krmilno ploščo na prava mesta. Vse nevtralne vodnike smo povezali v enega glavnega, ki smo ga privijali v GND na krmilni plošči kot prikazuje slika.



Slika 20: Shema vezja motorjev in krmilnika

Vir slike 20: <https://buildyourcnc.com/products/electronicsandmotors-electronic-component-breakout-mach3-usb-board>



Slika 21: Dokončana električna omarica

Vir slike 21: Osebni arhiv

6.5. INŠTALACIJA IN KALIBRACIJA PROGRAMA MACH 3

Na prenosni računalnik smo naložili program Mach 3 iz njihove uradne spletne strani (<https://www.machsupport.com/software/mach3/>). Po končani inštalaciji smo dodali konfiguraciono dodateko za USB različico Mach 3 krmilnika, nato odpremo program in naredimo nov profil za naš CNC stroj.

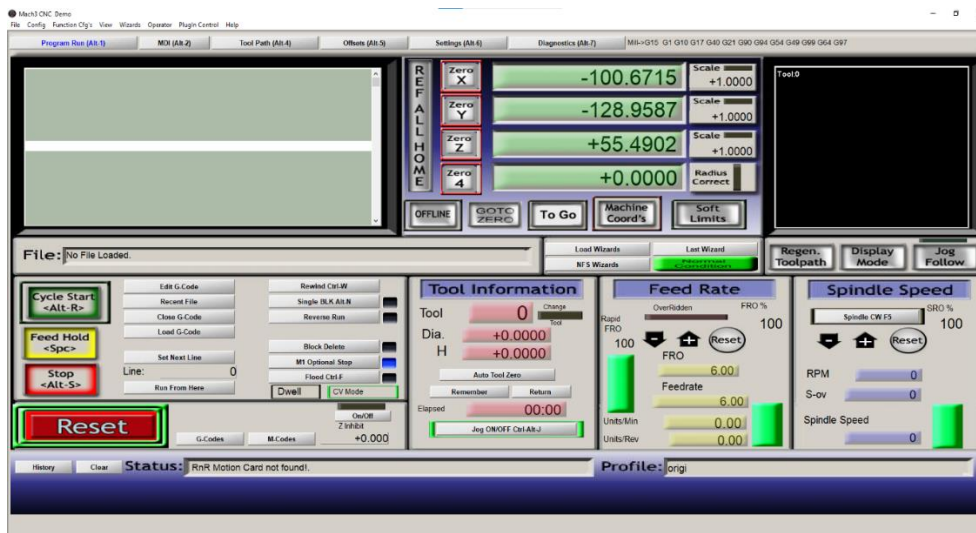
Ob vsakem zagonu programa je treba najprej pritisniti gumb Reset, ki ponastavi krmilni sistem. Prvi korak pri nastavitvah je bila izbira metričnih enot, pri čemer smo določili uporabo milimetrov za kalibracijo in nastavitve vseh parametrov. Nato smo v zavihku Ports & Pins pod razdelkom Motor Outputs omogočili delovanje motorjev osi X, Y in Z. Pri motorju osi X smo izklopili možnost Dir LowActive, da smo zagotovili pravilno smer vrtenja, saj parameter Dir določa smer gibanja motorja (direction).

Ko so bili motorji omogočeni, smo v zavihku Input Signals aktivirali vhodne signale za referenčne položaje osi (X Home, Y Home, Z Home), vhod za tipko (Probe) in varnostno stikalo za takojšnjo zaustavitev sistema (Emergency Stop ali EStop). Vsaki funkciji smo dodelili ustrezna vrata (Port) in priključke (Pin), referenčnim stikalom (Home switches) pa smo omogočili nastavitve Active Low, da pravilno zaznavajo mejne položaje.

Za učinkovito in natančno delovanje motorjev jih je treba kalibrirati v nastavitvah Motor Tuning and Setup kjer smo nastavili Steps per mm tako, da uporabimo formulo:

$$\text{Steps per} = \frac{\text{koraki na obrat} \times \text{mikro koraki}}{\text{razmerje vretena (če obstaja)} \times \text{premik na obrat(mm)}}$$

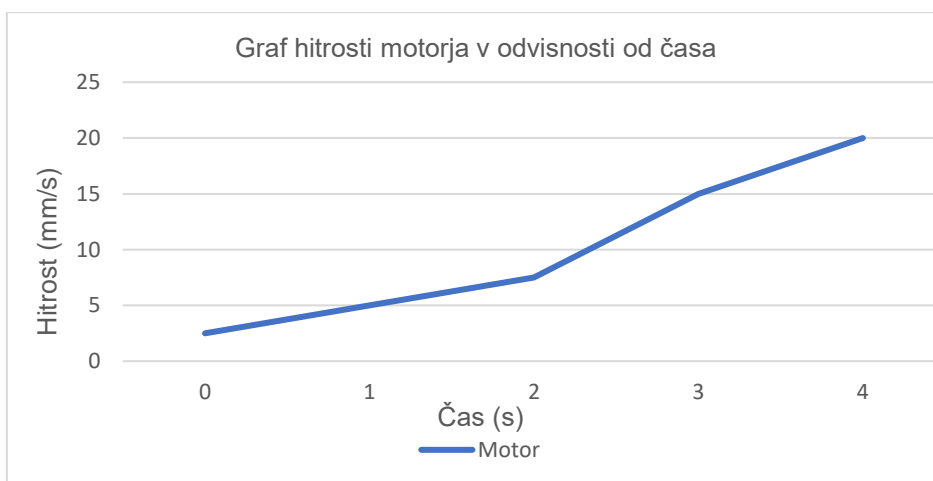
Pri Velocity (hitrost) smo upoštevali, da so motorji napajani z 48V kar pomeni, da bo hitrost okrog 1000-3000 mm/min vendar smo se za varnost odločili z hitrostjo 1300 mm/min. Za Acceleration (pospešek) smo se odločili z 300 mm/s². Za varno uporabo CNC stroja moramo določiti tudi omejitve, da se osi ne zaletijo v ogrodje. Pod zavihkom Motor Home/Soft Limits smo v parametre Soft Max in Soft Min (maksimalna ter minimalna razdalja) notri vnesli maksimalno razdaljo, ki so lahko prepotuje ter minimalno. Speed pa smo nastavili na 50% za hitro postavitev osi na Home pozicijo.



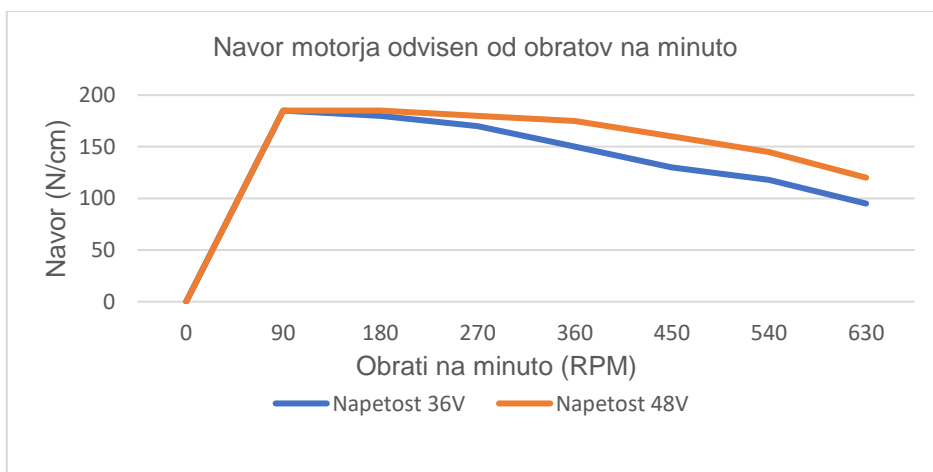
Slika 22: Program Mach 3

Vir slike 22: Osebni arhiv

To sta grafa hitrosti motorja v odvisnosti od časa ter navor odvisen od obratov na minuto.



Graf 1: Hitrost motorja v odvisnosti od časa



Graf 2: Navor odvisen od obratov na minuto

6.6. PRVI TESTNI REZ IN REZULTATI

Po kalibraciji CNC stroja smo izvedli prvi testni rez, da bi preverili natančnost in kakovost obdelave. Za preizkus smo uporabili les, in izvedli več rezkalnih operacij, kot so Adaptive Clearing ter 2D Pockets.

Postopek testiranja:

1. Najprej smo pripravili enostaven testni model v CAD/CAM programski opremi in ga prenesli v Mach3.
2. Nato smo v vreteno vstavili sveder z diametrom 6mm za rezkanje ter ga dovolj močno zategnili.
3. CNC stroj smo postavili na določeno točko na materialu, ki smo jo določili v CAM programu in v Mach 3 programu nastavili X, Y in Z koordinate na 0 in regenerirali pot orodja.
4. Naslednji korak je vklopiti vodno pumpo za hlajenje vretena in nastaviti VFD na določeno frekvenco ter jo zagnati hkrati z programom v Mach 3.
5. Med tem, ko CNC stroj odstranjuje material ga mi sproti sesamo, da se ne bo poznalo na natančnosti izdelka na koncu.
6. Po koncu programa smo opravili meritve natančnosti končnega izdelka.

Rezultati testiranja:

Rezultati prvega reza so pokazali, da je stroj dosegel natančnost $\pm 0,2$ mm, kar ustreza našim pričakovanjem. Robovi obdelanega materiala so bili rahlo hrapavi, kar smo kasneje optimizirali s prilagoditvijo parametrov rezkanja. Z doseženo natančnostjo smo potrdili, da je konstrukcija stabilna in da so linearna vodila ter kroglična vretena pravilno nastavljena.

Za meritve natančnosti smo uporabili kljunasto merilo s katerim smo nato naredili tabelo natančnosti.

Testna naloga	Pričakovane dimenzije (mm)	Dejanske dimenzije (mm)	Odstopanje (mm)
Krog premera 10 mm	10	9,9	-0,1
Krog premera 30 mm	30	29,8	-0,2
Krog premera 50 mm	50	49,6	-0,4
Kvadrat 10x10 mm	10	9,9	-0,1
Kvadrat 30x30 mm	30	29,9	-0,1
Kvadrat 50x50 mm	50	49,7	-0,3

Tabela 2: Natančnostna tabela



Slika 23: Rezkanje na CNC stroju

Vir slike 23: Osebni arhiv

Pri izračunu stroška našega CNC stroja smo upoštevali le stroške **materiala in komponent**. Čas, ki smo ga vložili v načrtovanje, izdelavo, testiranje in optimizacijo, namerno nismo prišteli v stroške izdelave, saj gre za raziskovalni projekt, ki smo ga izdelali iz osebnega interesa, ne pa kot plačano delo.

Zavedamo se, da so komercialni CNC stroji bistveno dražji ravno zaradi dodatnih stroškov, kot so:

- delo strokovnjakov in inženirjev,
- industrijska izdelava in montaža,
- testiranje, garancija in podpora,
- poslovni stroški podjetja in končni dobiček.

V našem primeru bi bilo nerealno primerjati lastno delo s tržno ceno inženirskih storitev. Namen te raziskovalne naloge je bil prikazati, koliko bi bil strošek izdelave CNC stroja, če si ga posameznik izdelava sam, z lastnim znanjem in prostovoljno vloženim časom.

CNC stroj	Cena	Prihranek v primerjavi z našim CNC strojem
Naš CNC stroj	800€	/
CNC Router Machine 4030-Evo Ultra 2	2500€	1700€
Shapeoko 4	2500€	1700€
X-Carve 1000mm	2800€	2000€
CNC Router 3018	1100€	300€

Tabela 3: Cenovna primerjava CNC strojev

Vsak CNC stroj v tej tabeli ima vsak CNC stroj vključene stroške načrtovanja, izdelave, testiranja ter poslovne stroške. Naš CNC stroj je cenejši od komercialnih storitev vendar smo vključili samo ceno materiala in komponent.

7. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo uspešno načrtovali, izdelali in testirali triosni CNC stroj. Glavni cilj je bil razviti cenovno ugodno in natančen stroj, ki bo bil primerna za hobi in polprofesionalno uporabo. Skozi postopek smo se soočili z različnimi tehničnimi izzivi, vendar smo jih uspeli rešiti s premišljenim izborom komponent in različnimi tehnikami.

Rezultati testiranja so pokazali, da naš CNC stroj dosega natančnost $\pm 0,2$ mm, kar potrjuje našo hipotezo, da lahko doma izdelan CNC doseže primerljivo natančnost s komercialnimi modeli nižjega cenovnega razreda. Prav tako smo ugotovili, da so materialni stroški izdelave 50–70 % nižji od nakupa komercialnega CNC stroja, s čimer smo potrdili drugo hipotezo o stroškovni učinkovitosti. Pri tem smo upoštevali zgolj stroške komponent in materiala, ne pa vrednosti lastnega dela, saj gre za raziskovalni projekt, ki smo ga izvedli prostovoljno.

Pri izboru komponent smo uspeli najti dobro razmerje med ceno in zmogljivostjo. Kroglična vretena in linearni vodiči so zagotovili visoko natančnost in ponovljivost gibanja, medtem ko je kombinacija koračnih motorjev in gonilnikov omogočila stabilno delovanje brez izgube korakov. Prav tako se je izkazalo, da je naš stroj prilagodljiv za morebitne nadgradnje, kot je dodajanje četrte osi, kar potrjuje še eno od naših hipotez.

Kljub uspešni izvedbi projekta smo opazili nekaj izzivov. Kalibracija stroja je bila zahtevnejša, kot smo pričakovali, in zahteva natančno nastavitve programske opreme. Prav tako bi lahko z izboljšavami pri vpetju vretena zmanjšali vibracije in izboljšali kakovost površinske obdelave.

V prihodnosti bi lahko sistem nadgradili z močnejšimi motorji in dodatnimi senzorji za samodejno umerjanje, prav tako bi bilo smiselno raziskati možnost uporabe servo motorjev za še večjo natančnost. Projekt nam je omogočil poglobljeno razumevanje CNC tehnologije in pridobitev praktičnih izkušenj pri izdelavi kompleksnega mehatroničnega sistema.

8. BIBLIOGRAFIJA

CNC Router Components. (2025). *Pregled komponent CNC strojev*. Dostopno na: <http://cncrouter.com.my/cnc-router-components/> (Dostopano: 14. marec 2025)

Lutman Studio (2021). *Zgodovina in prednosti CNC tehnologije*. Dostopno na: <https://www.lutman.si/zgodovina-in-prednosti-cnc-tehnologije> (Dostopano: 14. marec 2025).

Zintilon (2023). *Osnove CNC obdelave | Vodnik po vrstah in uporabi*. Dostopno na: <https://www.zintilon.com/sl/blog/cnc-machine-guide/> (Dostopano: 14. marec 2025).

Zintilon (2023). *Trajnostna CNC obdelava | Okolju prijazna tehnologija*. Dostopno na: <https://www.zintilon.com/sl/blog/going-green-with-cnc-machining/> (Dostopano: 14. marec 2025).

Want.net (2023). *12 bistvenih komponent CNC stroja, ki bi jih moral poznati vsak začetnik*. Dostopno na: <https://www.want.net/sl/12-essential-components-of-a-cnc-machine-every-beginner-should-know/> (Dostopano: 14. marec 2025).

Team MFG (2023). *Obdelava CNC: Prednosti in slabosti*. Dostopno na: <https://www.team-mfg.com/sl/advantages-and-disadvantages-of-cnc-machining> (Dostopano: 14. marec 2025).

Team MFG (2023). *Glavne vrste CNC strojev*. Dostopno na: <https://www.team-mfg.com/sl/the-main-types-of-cnc-machines.html> (Dostopano: 14. marec 2025).

E-letopis (2024). *Osnove CNC struženja: zanimivosti in nasveti*. Dostopno na: <https://www.e-letopis.si/osnove-cnc-struzenja> (Dostopano: 14. marec 2025).

Vsxn-je.si (2024). *CNC stroji – naprava, ki ostaja*. Dostopno na: <https://www.vszn-je.si/cnc-stroji/> (Dostopano: 14. marec 2025).

Oria.si (2024). *Uporaba CNC strojev pri obdelavi kovin*. Dostopno na: <https://www.oria.si/uporaba-cnc-strojev-pri-obdelavi-kovin> (Dostopano: 14. marec 2025).

Learn Your CNC (2021). *What Is the Difference Between 2D, 2.5D, and 3D Contouring?* Dostopno na: <https://www.learnyourcnc.com/blog/what-is-the-difference-between-2d-25d-and-3d-cnc-contouring> (Dostopano: 14. marec 2025).

3ERP (2024). *What is a CNC Lathe: Definition, Technology, Types & Specifications*. Dostopno na:

<https://www.3erp.com/blog/cnc-lathe/> (Dostopano: 14. marec 2025).

MachSupport (2025). *MachSupport - Home*. Dostopno na: <https://www.machsupport.com/>

(Dostopano: 14. marec 2025).

BuildYourCNC (2025). *Mach3 USB Breakout Board*. Dostopno na:

<https://buildyourcnc.com/products/electronicsandmotors-electronic-component-breakout-mach3-usb-board> (Dostopano: 14. marec 2025).

TITANS of CNC Academy (2025). *CAD/CAM Tutorials*. Dostopno na:

<https://academy.titansofcnc.com/category/cad-cam-tutorials> (Dostopano: 14. marec 2025).

Instructables (2017). *Building a CNC Router*. Dostopno na: <https://www.instructables.com/Building-a-CNC-router/>

(Dostopano: 14. marec 2025).

STYLECNC (2025). *How to Build a CNC Machine from Scratch? - DIY Guide*. Dostopno na:

<https://www.stylecnc.com/blog/how-to-build-cnc-machine.html> (Dostopano: 14. marec 2025).

Maker Store PTY LTD (2024). *DIY CNC Machines and Components*. Dostopno na:

<https://www.makerstore.com.au/blog/diy-cnc-machines-and-components/> (Dostopano: 14. marec 2025).

Instructables (2015). *Intro to 3D Modeling*. Dostopno na: <https://www.instructables.com/Intro-to-3D-Modeling/>

(Dostopano: 14. marec 2025).

Balažič, R. (2024). *Programiranje CNC-strojev: Učbenik*. Ljubljana: Avrora AS d.o.o.