

SREDNJA LESARSKA IN GOZDARSKA ŠOLA MARIBOR

IZDELAVA NAMIZNEGA CNC REZKARJA

Raziskovalno področje: Tehnika ali tehnologija

Raziskovalna naloga

Mentor: Petra Urlep (u. d. i. l.) Avtor: Miha Golob Niko Horvat

Maribor, 2022

ZAHVALA

Zahvala gre podjetju M-VITA d. o. o., ki nam je priskrbelo potreben material in omogočilo uporabo njihovih strojev in orodij. Prav tako se zahvaljujemo mentorju za pregled naloge.

Kazalo vsebine

1 UVOD	1
2 TEORETIČNI DEL	2
2.1 Namizni CNC rezkar	2
2.2 Strojni elementi	3
2.2.1 Linearna vodila	3
2.2.2 Navojna gred	4
2.2.3 Koračni motor	5
2.3 Izdelava načrta	5
2.3.1 Podnožje	6
2.3.2 Most	7
2.3.3 Z-os	8
2.4 Programska oprema	9
2.4.1 Autodesk Fusion 360	10
2.4.2 UGS (Universal Gcode Sender)	11
2.4.3 Grbl	12
3 EMPIRIČNI DEL	13
3.1 Raziskovalna vprašanja	13
3.2 Metode raziskovalnega dela	14
4 PRAKTIČNI DEL	15
4.1 Izdelava stroja	15
4.1.1 Z-os	16
4.1.2 Podnožje	17
4.1.3 Most	19
4.1.4 Površinska obdelava	20
4.1.5 Sestavljanje	21
4.1.6 Elektrotehniške komponente	22
4.2 Nastavitev programske opreme	23
4.2.1 Nastavitve v UGS	23
4.2.2 Nastavitve v Fusion 360	23
4.3 Testiranje in analiza izdelanega stroja	25
5 REZULTATI IN OCENA RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ	27
5.1 Družbena odgovornost	29

ZAKLJUČEK	. 30
VIRI IN LITERATURA	. 31
7.1 Literatura	. 31
7.2 Slikovni viri	. 31

Kazalo slik

Slika 1: Namizni rezkar proizvajalca Stepcraft	
Slika 2: Linearna vodila	
Slika 3: Sestavni deli navojne gredi	
Slika 4: Koračni motor Nema 23	5
Slika 5: Delitev stroja na osnovne komponente	6
Slika 6: Sestavni deli podnožja	7
Slika 7: Sestavni deli mostu	
Slika 8: Sestavni deli Z-osi	9
Slika 9: Prikaz obdelave v programu Fusion 360	10
Slika 10: Uporabniški vmesnik programa UGS	11
Slika 11: Vrtanje lukenj v nosilno ploščo	16
Slika 12: Sestavljena Z-os	17
Slika 13: Rezkanje utorov v stranice podnožja	18
Slika 14: Nameščanje navojne gredi na polnila mreže	19
Slika 15: Nanos temeljnega sloja barve	20
Slika 16: Nameščanje okovja na most	21
Slika 17: Na levi motor Y-osi in na desni konektorji	22
Slika 18: Prva obdelava CNC stroja	25
Slika 19: Obdelava ornamenta korintskega stebra	26
Slika 20: Izdelan namizni CNC rezkar	

Povzetek

Izdelava manjšega računalniško vodenega rezkarja je lahko zelo zanimiv projekt. Še posebej, če že vnaprej določimo nekatere zahteve, ki se jih poskušamo držati pri načrtovanju in izdelavi takšnega stroja.

V raziskovalni nalogi smo izdelali manjši CNC rezkar, prednostno namenjen obdelavi lesa. Začeli smo z nekaj idejami, ki smo jih kasneje prenesli na načrt. Najprej predstavimo osnovne elemente stroja in opišemo načrtovanje. Ohišje smo si zamislili čim bolj enostavno, kar je vplivalo tudi na izdelavo. V nalogi nato opišemo postopke izdelave in na kratko predstavimo pripadajočo programsko opremo.

Nastali stroj je zelo uporaben in tudi natančen. Izpolnil je naša pričakovanja in služi svojemu namenu. Nekomu, ki mu je takšna izdelava v izziv, mu le-to tudi priporočamo.

Abstract

Making a small scale CNC router is a very interesting project, especially if we define certain requirements that need to be fulfilled.

In our research project we created a small woodworking CNC router. We began with simple ideas, which we later used in designing and developing our machine. First, we present some basic elements of CNC machines and how we planned our machine frame. We designed our CNC router to be simple, so we had less trouble manufacturing it. We describe the manufacturing process alongside software setup.

The machine is very accurate and useful. It exceeds our expectations for accuracy and reliability. We would gladly recommend this project to anyone willing to try it out.

1 UVOD

Skozi raziskovalno nalogo bomo predstavili načrtovanje in izdelavo namiznega CNC rezkarja. Želimo si izdelati namizni CNC rezkar za domačo uporabo po čim nižji ceni in z določenimi prostorskimi zahtevami. Želimo, da je stroj natančen, zanesljiv in prilagodljiv. Z nalogo pa želimo izdelavo predstaviti tudi drugim in jim z našimi izkušnjami ter predlogi pri tem pomagati.

V uvodnih poglavjih bomo predstavili sestavo in komponente CNC stroja, elektrotehniške komponente in nazadnje tudi programski opremo. V teoretičnem delu bomo opisali komponente in njihovo delovanje, predvsem pa bomo načrtovali ogrodje s pomočjo programa Fusion 360. V programu bomo natančno narisali stroj v 3D obliki, to nam bo v pomoč tudi pri izdelovanju stroja.

V praktičnem delu bomo na podlagi načrtov stroj tudi izdelali, ga povezali z elektrotehniškimi komponentami in ga vnesli v programsko opremo. Izdelan stroj bomo testirali in odpravljali napake ter iskali izboljšave.

Potek projekta bomo povzeli in opisali naša opažanja ter analizirali končni rezultat.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Namizni CNC rezkar

Pri namiznem CNC rezkarju gre za računalniško voden rezkar manjših dimenzij. Takšni rezkarji so navadno namenjeni »hobi« delavnicam in domačim ustvarjalcem. Stroj z vodenjem rezkarja, navadno v treh oseh, obdela obdelovanca do željenih oblik. Seveda lahko takšne stroje tudi kupimo. Na spletu zasledimo veliko različnih modelov in tipov.



Slika 1: Namizni rezkar proizvajalca Stepcraft. (Slikovni viri: Slika 1)

2.2 Strojni elementi

CNC, ki bo sicer večinsko izdelan iz lesa, pa vseeno potrebuje določeno okovje, da bodo linearni premiki gladki in predvsem natančni. Zato smo se odločili, da bomo izbrali kroglična linearna vodila in kroglična vretena za prenos iz vrtenja v linearni premik.

2.2.1 Linearna vodila

Kroglična linearna vodila, ki smo jih izbrali, imajo veliko prednost pred ostalimi, saj so zelo natančna, imajo minimalno trenje in lahko prenesejo velike obremenitve. Imajo tudi dolgo življenjsko dobo. Takšna vodila se najpogosteje uporabljajo v lesarstvu, strojništvu in na linijah v proizvodnji.

Vodila so sestavljena iz kovinske palice v obliki trapeza, po kateri se premika voziček. Med vozičkom in palico pa so kroglice, ki se po dobro podmazani poti premikajo znotraj vozička. Navadno palico pritrdimo na nepremični del, voziček pa na del, ki se bo premikal naprej in nazaj v smeri pritrjene palice.



Slika 2: Linearna vodila. (Slikovni viri: Slika 2)

2.2.2 Navojna gred

Navojne gredi (angl. *Lead screw*) so zelo pomembni sestavni del CNC-ja, saj poskrbijo, da se vrtenje koračnega motorja spremeni v linearni premik v želeno smer. To bi sicer lahko dosegli tudi z uporabo jermenov ali zobate letve.

Navojna gred je sestavljena iz navojne palice in matice. Na obeh straneh imamo nosilce z ležaji, ki poskrbijo, da ostane navojna gred na mestu. Na matico pa namestimo še nosilec, ki ga uporabimo, da povežemo matico z delom, za katerega želimo, da ga gred premika. Na eni strani pa je seveda palica povezana na motor.



Slika 3: Sestavni deli navojne gredi. (Slikovni viri: slika 3)

2.2.3 Koračni motor

Koračni motor (angl. *stepper motor*) je glavna elektrotehniška komponenta, ki poskrbi, da se električni signal spremeni v gibanje, v našem primeru vrtenje.

Koračni motor je brezkrtačni enosmerni elektromotor, ki deli polno vrtenje na število enakih korakov. Motorju je mogoče ukazati, da se premakne in zadrži v enem od teh korakov. Motorji morajo biti dovolj močni, da lahko prenesejo obremenitve pri premikanju in obdelavi materiala na CNC-ju. (»Stepper motor«, 2022)

Odločili smo se za običajen motor Nema 23 z 200 koraki pri obratu in 1,9 Nm držalne moči.



Slika 4: Koračni motor Nema 23. (Slikovni viri: Slika 4)

2.3 Izdelava načrta

Po pregledu obstoječih verzij tovrstnih CNC rezkarjev na spletu smo imeli predstavo o osnovni obliki ogrodja. (Deans, 2018) Odločili smo se za izvedbo z mostom in vertikalno postavitvijo vretena. Imeli smo tudi precej svojih idej, ki bi po našem mnenju poenostavile izdelavo in predvsem zmanjšale stroške. Z omenjenimi zadevami smo lahko začeli z modeliranjem v programu Fusion 360. Pri modeliranju smo uporabljali sistem spremenljivk, ki nam je omogočal enostavne naknadne spremembe, če bi prišlo do morebitnih težav z združljivostjo komponent ali usklajevanjem delov. Ogrodje stroja (leseni del) smo razdelili na 3 osnovne sklope in jih tudi ločeno poimenovali ter obravnavali.



Slika 5: Delitev stroja na osnovne komponente. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.3.1 Podnožje

Podnožje je spodnji del stroja, ki je edini stacionarni, in služi kot delovna miza za obdelavo. Ker smo se odločili za izvedbo z mostom, bo ta nameščen na podnožje.

Pri načrtovanju podnožja smo bili zelo natančni, saj smo bili omejeni s prostorom, kamor naj bi bil stroj nameščen. V izračune smo vključili dimenzije motorja, prostor za elektroniko, potreben presežek v dimenzijah in dolžino mostu. Na koncu smo se odločili za obodno izvedbo podnožja z vodili dolžine 800 mm, ki bodo nameščena po globini (Y-osi), dodali pa smo tudi nekaj presežka za lažjo sestavo.

Za premikanje mostu smo želeli uporabiti le en motor, ki smo ga postavili v sredino zaradi boljšega deljenja obremenitev. Posledično smo morali modificirati most, ki pa je vplival tudi na podnožje. V stranici podnožja smo narisali utore, ki so omogočali gibanje povezovalne letve mostu. Utore smo postavili pod linearna vodila, s tem dvignili točko rotacije in zmanjšali morebiten nagib mostu pri obremenitvah. Zaradi tega pa nas je zaskrbelo zmanjšanje nosilnosti stranic podnožja. Ker druge alternative, ki bi nam ustrezala, nismo našli, smo idejo z utori prilagodili tako, da smo čim bolj zmanjšali širino utora in na koncih, kjer se stranice in prečke podnožja stikajo, pustili nekaj materiala.

Nazadnje smo dorisali mehanske komponente (motor, pogonski sistem) in natančno označili luknje za izdelavo.



Slika 6: Sestavni deli podnožja. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.3.2 Most

Most je največji pomični del stroja, ki nosi celotno Z-os z vretenom. V našem primeru smo se odločili, da se bo most gibal po globini (Y-osi).

Načrtovali smo ga po sistemu dveh stranic, ki se premikata po linearnih vodilih, nameščenih na podnožju, povezani pa sta s povezovalno letvijo spodaj in zgoraj. Za spodnjo letev smo predvideli horizontalno namestitev enake širine kot stranici, medtem ko smo zgornjo umestili vertikalno na zadnji rob stranic.

Na zgornjo letev smo najprej narisali motor, nato pa še navojno gred. Za navojno gred smo hkrati natančno vrisali pozicije lukenj. Nazadnje smo morali namestiti le še vodila, za katera smo vedeli, da morajo biti podložena zaradi višinske razlike z navojno gredjo. Pregledali smo vso dokumentacijo in izračunali višinsko razliko, ki je znašala 18 mm. Za podloge smo enostavno določili dva ozka pasova furnirne plošče, ki bosta pritrjena na zgornjo letev. Vodila, nameščena na most, so bila dolžine 700 mm in so poleg svojega primarnega namena kot sistem gibanja služila tudi za samo ojačitev mostu, ki je po naših ocenah najbolj kritična točka zvijanja.

Na spodnjo letev je bil nameščen samo nosilec navojne palice. S tem je bila osnovna oblika mostu zaključena in sledil je le še sistem Z-osi.



Slika 7: Sestavni deli mostu. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.3.3 Z-os

Z-os je komponenta, ki se po mostu premika po širini (X-os) in skrbi za pomikanje vretena in odsesovalnega sistema gor in dol. V našem primeru smo se odločili za čim bolj kompaktno zasnovo, da izkoristimo čim več prostora za gibanje in omogočimo maksimalno obdelovalno površino ter višino.

Zaradi teže Z-osi z vretenom in odsesavanjem smo se odločili Z-os pritrditi na most s štirimi vozički, da ne bi prišlo do neželenih rotacij zaradi fleksibilnosti materiala in obremenitev med obdelavo.

Na nosilno ploščo smo namestili linearna vodila in nosilno ploščo motorja. Tudi v tem primeru smo morali linearna vodila (dolžine 300 mm) dvigniti za 18 mm, kar smo storili s pritrditvijo dveh pasov furnirne plošče neposredno pod vodila. Pasove smo pustili daljše kot so vodila, da bi s tem povečali stabilnost nosilne plošče in dodatno podprli nosilno ploščo motorja, ki je nameščena prečno na nosilno ploščo.

Za pomikanje vretena po Z-osi smo uporabili dva vozička, ki nosita sprednjo ploščo. Le dva vozička smo spet uporabili z namenom, da obdržimo čim več obdelovalnega območja. Na sprednjo ploščo smo pritrdili vreteno.



Slika 8: Sestavni deli Z-osi. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.4 Programska oprema

Poleg fizične izdelave stoja je zelo pomemben del tudi programska oprema, ki nam omogoča popolno delovanje stroja. Z izbranimi programi smo morali pokriti tri ključna področja:

- pripravo in programiranje Gcode,
- komunikacijo med računalnikom in strojem ter
- krmiljenje motorjev.

2.4.1 Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 je programska oprema za 3D modeliranje v oblaku (angl. *cloud-based*), ki ima velike prednosti, zaradi katerih smo ga izbrali prav za naš namen – modeliranje CNC stroja in tudi kasnejše pripravljanje programov za CNC. Program v oblaku je velika prednost, saj se večina procesov, ki jih mora program opraviti, opravi na strežnikih. To pomeni, da program ne potrebuje zmogljivega računalnika. Tudi vsi projekti so varno shranjeni v oblaku, kar je lahko velika prednost ali pa tudi slabost, saj za uporabo programa potrebujemo internetni dostop. (»What is Fusion 360?«, b. d.)

Fusion je enostaven za uporabo, vendar kljub temu dosega lastnosti profesionalnih programov, zaradi česar je tudi zelo priljubljen. Dijaki in študenti lahko za čas izobraževanja pridobijo licenco v namene učenja.

Fusion nam poleg 3D modeliranja omogoča tudi pripravo in programiranje Gcode, ki je nujno potrebna za uporabo CNC-ja. V programu torej z uporabo različnih nastavitev in orodij pripravimo pot, po kateri bo potovalo izbrano orodje (angl. *toolpath*) in tako obdelalo obdelovanca do želene oblike. Pripravljene programe lahko tudi simuliramo in tako ugotovimo ter preprečimo možne napake v obdelavi. Fusion nato s pripravljenim post-procesorjem pripravi Gcodo.



Slika 9: Prikaz obdelave v programu Fusion 360. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.4.2 UGS (Universal Gcode Sender)

Program Universal Gcode Sander je ključni element pri komuniciranju računalnika in mikrokrmilnika Arduino, ki ga uporabljamo kot krmilnik stroja. Program je zelo razširjen, saj je brezplačen in odprtokoden. Program temelji na Javi. (»Universal Gcode Sender«, b. d)

Navadno ga poimenujemo kar s kratico UGS, kar v prevodu pomeni *univerzalni pošiljatelj Gcode*. Program je preprost in prijazen za uporabo. Glavna naloga programa je, da pošilja Gcodo, ki smo jo pripravili v programu Fusion, do Arduina, na katerem je naložen GLRB, ki nato upravlja koračne motorje. Poleg tega pa UGS omogoča ročno premikanje osi za poljubno dolžino in avtomatski premik na začetno točko 0.

Da se osi na CNC-ju premaknejo v želeni dolžini, je potrebno v UGS-ju nastaviti korake motorja (angl. *Esteps*), da program ve, koliko korakov mora narediti motor, da se premakne za določeno dolžino. Navadno je enota *št. korakov/mm*.

UGS ima tudi možnost vizualizacije kode, ki jo sam postavi v koordinatni sistem in prikaže potovanje orodja, kar je lahko zelo priročno. Ko začnemo pošiljati Gcodo, imamo možnost tudi določenih nastavitev med obdelavo, na primer hitrosti pomikov.



Slika 10: Uporabniški vmesnik programa UGS. (Slikovni vir: Avtor naloge)

2.4.3 Grbl

Grbl je brezplačni in odprtokodni program za krmiljenje strojev in naprav, ki se premikajo. Program deluje na mikrokrmilniku Arduino. Grbl je zasnovan za razne vrste naprav, kjer je potrebno krmiljenje premičnih delov, navadno vodenih z uporabo koračnih motorjev. Zato je kot nalašč za domače projekte, na primer za CNC rezkarje, CNC stružnice, 3D printerje, laserske gravilnike in rezalnike.

Program je postal zelo priljubljen zaradi svoje enostavnosti in predvsem zato, ker učinkovito nadomesti zastarela paralelna vrata (angl. *parallel-port*), ki jih je težko zaslediti na novejših računalnikih. Grbl uporablja USB vhod, kar je bolj prijazno uporabniku.

Grbl naložimo na Arduino, ki nato opravlja funkcijo krmilnika CNC-ja. Na računalniku namestimo UGS, ki komunicira z Grbl-jem. Program poskrbi, da prejete električne impulze pretvori v mehansko gibanje motorjev.

3 EMPIRIČNI DEL

Temo raziskovalne naloge – izdelavo namiznega CNC rezkarja – smo si izbrali predvsem zaradi zanimanja o CNC tehnologiji in lastni izdelavi ter načrtovanju, modeliranju izdelkov z izzivi. Zanimal nas je predvsem uspeh lastnega dizajna, končni rezultati in praktična uporaba CNC-ja. Kljub temu da smo pri izdelavi imeli na voljo profesionalen CNC, ki bi izdelavo zelo poenostavil, smo se odločili, da ga pri izdelavi ne uporabimo. S tem smo želeli preizkusiti in dokazati, da je izdelava dokaj enostavna.

3.1 Raziskovalna vprašanja

Na začetku raziskovanja smo si zastavili nekaj vprašanj, ki nas bodo vodila skozi raziskavo, nas opozarjala na kaj moramo posebej paziti in nam pomagala pri končnih ugotovitvah. Zadali smo si vprašanja, ki so nas resnično zanimala. Navedena raziskovalna vprašanja predstavljajo implicitne hipoteze.

- 1. Ali je izdelava namiznega CNC rezkarja mogoča z uporabo osnovnih lesnoobdelovalnih strojev in brez CNC tehnologije?
- 2. Kako natančen je izdelan stroj?
- 3. Kakšna je uporabnost namiznega rezkarja?
- 4. Ali priporočamo izdelavo lastnega CNC rezkarja?

Pri prvem vprašanju nas zanima, ali je izdelava namiznega CNC rezkarja mogoča v mizarski delavnici, vendar brez uporabe velikega CNC centra. Ob uspelem poskusu bomo domačo izdelavo približali tudi komu, ki nima dostopa do profesionalnih lesnoobdelovalnih strojev.

Pri drugem vprašanju bomo poskušali odgovoriti na to, kako natančen je izdelan stroj glede na ugotovitve, ki jih bomo dobili po testiranju stroja. Opredelili bomo uporabnost glede na dobljeno natančnost.

Pri tretjem vprašanju bomo predstavili uporabo namiznega CNC rezkarja glede na raziskano. Poskusili bomo vključiti razne primere, dobljene iz virov in naše ideje uporabe. V tem sklopu bomo zagotovo dodali kakšno poglavje naših obdelav, dobljenih izdelkov in idej.

Pri zadnjem vprašanju bomo poskušali odgovoriti, komu in v kakšnem primeru priporočamo izdelavo CNC rezkarja, saj izdelava in lastno načrtovanje zagotovo nista vedno priporočljiva.

3.2 Metode raziskovalnega dela

Pri raziskovanju izbrane teme smo si pomagali z osnovnimi metodami raziskovanja:

- metodo dela z literaturo in viri,
- metodo obdelave podatkov in interpretacijo le-teh,
- metodo opazovanja in načrtovanja,
- metodo preizkušanja in eksperimentiranja,
- metodo opazovanja.

Ko smo se odločili za temo naloge in se o temi pogovarjali, smo v bistvu že postavili temelje metod. Dogovorili smo se, da bomo najprej poiskali različne že izdelane CNC rezkarje in jih analizirali, pregledali in ugotovili, kaj bi bilo dobro in kaj ne. Nato smo s pomočjo informacij, ki smo jih pridobili, začeli z oblikovanjem lastnega načrta, ki ustreza našim zahtevam.

Pri načrtovanju je prišlo do veliko predvidevanja in preizkušanja, na primer kam dati komponente, kam postaviti motorje. Tudi pri oblikovanju konstrukcije stroja je prišlo do predvidevanj in kasneje do preizkušanja, recimo kako debelo ploščo uporabiti in kje bo prišlo do največjih obremenitev ter šibkih točk.

Med izdelavo je prišlo do veliko preizkušanja, improvizacije in predvsem opazovanja ter merjenja. Med izdelavo smo morali biti še posebej natančni, saj v nasprotnem primeru ne bi dobili veljavnih končnih meritev in rezultatov.

Ko je bil CNC končan, je bilo prav tako veliko opazovanja in preizkušanja. Pri prvih obdelavah pa seveda ugotavljanja in eksperimentiranja z različnimi hitrostmi, orodji in materiali.

4 PRAKTIČNI DEL

4.1 Izdelava stroja

Ko smo imeli pripravljene vse načrte in so bile dostavljene vse komponente, smo lahko pričeli z izdelavo. Delavniške prostore in potrebno opremo nam je ponudilo podjetje M-VITA d. o. o., kjer smo tudi izvedli postopek izdelave.

Preden smo začeli z delom, smo si pripravili delovno okolje in pregledali vso opremo in stroje. Pripravili smo si delovno mizo, ki je bila kar se da ravna in nepoškodovana, saj je to bilo ključnega pomena za natančno sestavo komponent.

Ko je bilo vse pripravljeno, smo iz načrtov izpisali točne mere vseh lesenih komponent in naredili prižagovalno listo. Slednjo smo nato vnesli v program ARDIS (programsko opremo za optimiziranje razreza na horizontalni panelni žagi). V ARDIS smo vnesli tudi podatke o plošči, na katero je nato program samodejno razporedil vse elemente tako, da je bil izkoristek čim boljši. Ploščo smo nato razrezali po pripravljenem programu.

4.1.1 Z-os

Začeli smo z izdelavo Z-osi, saj je bila to najmanjša in najkompleksnejša komponenta. Najprej smo na predhodno pripravljeno ploščo izvrtali luknje za vozičke, ki so pritrjeni na zadnji strani nosilne plošče. Ker smo pozicije lukenj natančno določili v načrtu, smo projekcijo teh lukenj neposredno iz programa Fusion 360 natisnili na list papirja v merilu 1:1 in ga natančno zalepili na nosilno ploščo. V vrtalni stroj smo vstavili sveder Φ6 mm in po pozicijah izvrtali luknje.



Slika 11: Vrtanje lukenj v nosilno ploščo. (Slikovni vir: Avtor naloge)

V nosilno ploščo motorja smo z rezkarjem izvrtali luknjo za motor in ploščo privijačili na zgornji del nosilne plošče. Luknjo smo izvrtali na podlagi načrtov, kjer smo jo natančno določili. Pri spojitvi dveh nosilnih plošč smo se zanašali na pravokotnost mize, na katero smo začasno pritrdili elementa. Nato smo narezali dva pasova, ki sta služila kot podlogi linearnih vodil, kot smo ju predvideli v načrtu (zaradi višinske razlike med navojno gredjo in linearnimi vodili). Ta dva pasova smo enostavno pritrdili na ploščo z lepilom in lesnimi vijaki, pri katerih smo pazili, da ne bodo v napoto strojniškim vijakom, ki bodo držali vodila. Podlogi smo pustili čim daljši, da bi z njima dodatno podprli nosilno ploščo motorja in hkrati ojačali celotno nosilno ploščo.



Slika 12: Sestavljena Z-os. (Slikovni vir: Avtor naloge)

Nato smo sestavili pogonsko komponento (motor in navojna gred) in jo postavili na sredino plošče. Z distančniki različnih dimenzij, ki smo jih postavljali med pritrjena pasova in pogonsko komponento, smo natančno določili končno pozicijo le-te. Z ostro konico smo označili luknje, ki jih je bilo potrebno izvrtati. Nato smo odstranili pogonsko komponento in izvrtali luknje. Vse luknje smo še poglobili, da smo dosegli dobro naleganje vijakov.

S tem je bila izdelava Z-osi zaključena.

4.1.2 Podnožje

Pri izdelavi podnožja smo začeli z rezkanjem utorov za spodnjo letev mostu. Na pripravljene stranice smo narisali pozicijo in dimenzije utora. V ročni nadrezkar smo vpeli orodje Φ10 mm in nastavili vzdolžni prislon. S to nastavitvijo smo vrezkali utora na obeh stranicah približno do 1/3 debeline materiala. Nato smo spustili rezilo in utor

poglobili na 2/3, nazadnje pa smo izrezkali še skozi material. Ko smo imeli utora na obeh stranicah izrezkana, smo s paličnim rezkarjem malenkost zaoblili ostre robove.



Slika 13: Rezkanje utorov v stranice podnožja. (Slikovni vir: Avtor naloge)

V zadnjo prečko podnožja smo izvrtali luknjo za motor in obod podnožja sestavili. Za vezi smo uporabili lesne vijake, za primer, da ga bo potrebno kdaj razstaviti.

Sledila je izdelava mreže. Izmerili smo notranje dimenzije oboda in narezali temu primerne trakove za mrežo. Odločili smo se za mrežo 4x4, za kar smo potrebovali skupno 6 trakov. V trakove smo nato na krožni žagi vrezali spoje do polovice. Odločili smo se za tesni spoj, ker smo potrebovali čim bolj stabilno in pravokotno zasnovo. Mrežo smo nato zalepili z PVAC lepilom in jo stisnili s sponami. Med sušenjem lepila smo preverili, ali je mreža pravokotna. To smo preverili s kotnikom in primerjanjem diagonal. Ko je bilo lepilo suho, smo v štiri prostore zalepili in privijačili polnila, na katera smo predvideli pritrditev pogonskega sistema. Za dimenzije polnil smo uporabili prejšnje izračune, ki smo jih uporabili za določanje pozicij spojev. Končano mrežo smo vstavili v narobe obrnjeno podnožje, da smo lažje poravnali ravnino mreže z zgornjim robom podnožja. Slednjo smo enostavno privijačili, da bo razstavljiva, če bo to potrebno.



Slika 14: Nameščanje navojne gredi na polnila mreže. (Slikovni vir: Avtor naloge)

Nazadnje je bilo potrebno izvrtati še luknje za linearna vodila. Na podlagi načrtov smo izmerili razdaljo med vodili in spodnjim robom podnožja. Na to dimenzijo smo nato vrezali trak, ki nam je služil kot pripomoček pri natančni postavitvi vodil. Ko smo nastavili vodila, smo označili pozicije lukenj in jih izvrtali.

4.1.3 Most

Zadnja, za izdelavo velika komponenta, je bil most. Tudi za most smo imeli vnaprej narezane sestavne dele.

Najprej smo na levo stranico označili in izvrtali luknje za motor. Kot pri vseh predhodnih luknjah smo te imeli narisane že v načrtu, zato smo izmerili le centre, jih označili ter izvrtali na stranici. Na obeh stranicah smo predvsem iz estetskih razlogov odrezali sprednje zgornje kote.

Na zgornjo letev mostu smo ponovno namestili dva pasova 18 mm furnirne plošče za usklajevanje navojne gredi z linearnimi vodili. Namestili smo jih z lepilom in lesnimi vijaki, ki smo jih namestili med luknje na vodilih, ki so namenjene njihovi pritrditvi. Na trakove smo namestili vodila, ki smo jih poravnali vzporedno. S sponami smo začasno pritrdili vodila, da smo lahko izvrtali luknje za strojne vijake. Za tem smo odstranili vodila in dokončano letev privijačili med stranice. Ponovno smo bili zelo previdni, da je bila namestitev čim bolj pravokotna.

V spodnjo letev smo se pred namestitvijo odločili izrezati še dodatne zareze pri križanju s podnožjem, da bi s tem pridobili še 2 cm gibanja. Nazadnje smo izvrtali še luknje za povezavo z navojno gredjo in s tem je bil most končan.

Spodnje prečke nismo nameščali, ker bi bila namestitev mostu nemogoča po barvanju. Zato smo jo namestili v zadnji fazi sestave.

4.1.4 Površinska obdelava

Ko so bile vse komponente izdelane, smo bili pripravljeni na zadnjo fazo izdelave. Najprej smo vse komponente rahlo zbrusili z brusnim papirjem granulacije 150. Ravne površine smo zbrusili z ekscentričnim brusilnikom Mirka Deros. Težje dostopna mesta pa smo obdelali ročno. Med brušenjem smo odkrili nekaj lukenj oz. špranj, ki bi bile po barvanju zelo opazne in moteče. Te smo nato izravnali s površino s kitom. Rahlo smo pobrusili tudi vse ostre robove, razen tistih, katerih ostrost potrebujemo za sestavo ali namestitev komponent (recimo robovi na trakovih in spodnja robova stranic mostu). Po brušenju smo vse komponente spihali s stisnjenim zrakom in odstranili ves prah s površine.

Nato smo nanesli bel temeljni sloj barve. Ko se je temeljna barva posušila, smo vse površine ročno rahlo pobrusili z brusnim papirjem granulacije 320. Nazadnje smo nanesli še končni sloj. Za podnožje smo uporabili strukturno sivo barvo, za most in Z-os pa črno barvo.



Slika 15: Nanos temeljnega sloja barve. (Slikovni vir: Avtor naloge)

4.1.5 Sestavljanje

Po barvanju je bila izdelava zaključena, vse komponente pa je bilo potrebno le še sestaviti.

Najprej smo na podnožje namestili linearna vodila Y-osi. To smo storili tako, da smo podložili vodilo, da je bilo vzporedno s spodnjim robom podnožja, nato pa smo z ročnim vijačnikom zategnili vse strojne vijake z maticami in podložkami s hrbtne strani.

Na vodila X-osi smo zapeljali vozičke in jih položili na most. Vodila smo s pomočjo kotnikov poravnali vzporedno z mostom in jih pritrdili z vijačnikom, maticami in podložkami.

Nato smo namestili navojne gredi na podnožje, most in Z-os. Pri tem smo pazili na vzporednost navojne gredi z vodili. Na most smo namestili še vozičke in ga nato celotnega zapeljali na prej nameščena vodila Y-osi. Most smo nazadnje še povezali s spodnjo prečko in ga priključili na nosilec na navojni gredi.

Nazadnje smo namestili še Z-os. Ker smo imeli vozičke že nameščene na vodila Xosi, smo jih le uskladili z luknjami na Z-osi in s strojnimi vijaki namestili Z-os. Hkrati smo jo povezali tudi z gredjo.



Slika 16: Nameščanje okovja na most. (Slikovni vir: Avtor naloge)

4.1.6 Elektrotehniške komponente

Ko smo imeli izdelano celotno ogrodje stroja in nameščen most z Z-osjo, je prišel čas za namestitev elektrotehniških komponent. Začeli smo z namestitvijo motorjev, ki smo jih pritrjevali s štirimi strojnimi vijaki na že pripravljena mesta. Gred motorja smo nato še povezali z navojno gredjo s posebnim povezovalnim delom, ki omogoča nekoliko zamika.

Potrebno je bilo tudi podaljšati električne vodnike motorjev in jih speljati tako, da pri premikih stroja ne bodo v napoto. Za vodnike X in Z osi smo s 3D printerjem natisnili posebno verigo za organizacijo. Odločili smo se, da na zadnjo stranico podnožja namestimo tri konektorje, za vsak motor enega. To nam omogoča enostaven odklop in priklop mikrokrmilnika in gonilnikov od stroja.



Slika 17: Na levi motor Y-osi in na desni konektorji. (Slikovni vir: Avtor naloge)

Da motorji delujejo kot je treba, pa poskrbi kombinacija mikrokrmilnika Arduino z gonilniki za koračne motorje in napajalnika. Signali, ki gredo iz Arduina, morajo v našem primeru iti skozi gonilnike, ki poskrbijo, da lahko premikamo tudi večje in močnejše koračne motorje, kot jih imamo mi. Gonilniki pa potrebujejo za delovanje dodatno napajanje, za kar smo poskrbeli s ponovno uporabo zavrženega napajalnika za namizne računalnike. Tako smo znižali lastne stroške in pri tem še reciklirali. Vse te komponente smo namestili v star kovček za orodje in tako poskrbeli za organizacijo in ustrezno zaščito.

4.2 Nastavitev programske opreme

Za brezhibno delovanje je potrebnih veliko nastavitev znotraj programske opreme. To je predvsem zaradi lastnega načrtovanja stroja in uporabe univerzalnih programov. Če na primer kupimo namizni rezkar, je tega veliko manj, saj proizvajalec zraven stroja navadno poskrbi tudi za programsko opremo. To pa lahko ima tudi veliko prednost, saj lahko vse nastavimo po svoji želji in s tem pridobimo veliko možnosti in se ob tem tudi marsikaj naučimo. V nekaj podpoglavjih bomo poskušali predstaviti nekaj osnovnih nastavitev.

4.2.1 Nastavitve v UGS

V programu UGS gre predvsem za nastavitev št. korakov motorja na določeno dimenzijo (angl. *Esteps*). To storimo z uporabo »čarovnika za namestitev«, kjer prestavimo os stroja za določeno dimenzijo, nato pa izmerimo mero, za katero se je stroj v resnici premaknil. Dejansko mero vnesemo v program, ki sam preračuna novo nastavitev korakov. Nastavitev je odvisna tako od izbire motorjev kot tudi razmerja med obrati in premikom na navojni gredi. Naši motorji morajo po trenutnih nastavitvah narediti približno 160 korakov, da se posamezna os premakne za en milimeter. Večja natančnost se nam ne zdi smiselna, saj to že v tem primeru pomeni, da lahko premik enega milimetra razbijemo na 160 pozicij med potovanjem do naslednjega milimetra. Tudi sama konstrukcija stroja ni dovolj robustna za večjo natančnost.

4.2.2 Nastavitve v Fusion 360

Ker ima program Fusion 360 tudi možnost naprednega programiranja CNC strojev, smo ustvarili poseben profil za naš CNC. V profilu smo opredelili, da gre za 3-osni CNC stroj s premičnim mostom. Podali smo podatke o vseh oseh kot so dolžine vodil, dolžina gibanja, maksimalna hitrost premika in resolucija pomika. Ker vreteno ni povezano na krmilnik, nam ga ni bilo potrebno vnesti v profil, prav tako smo izklopili vse ponujene lastnosti kot so hlajenje in menjava orodja. Dodali smo tudi nekaj neobveznih podatkov o stroju kot so ime, model, proizvajalec in zunanje dimenzije. Z končanim profilom smo lahko programe pripravljali v istem programu, kjer smo jih načrtovali.

Fusion 360 pa ima tudi možnost simulacije. Ker smo že imeli popoln model stroja, smo vsem komponentam določili kinematiko. Kinematika se veže s pomočjo našega profila neposredno na naš model. Ker smo kot post-procesor uporabljali grbl, ki v osnovnem

zapisu nima podpore za kinematiko, smo ga modificirali. Na spletu smo našli delujoče dodatke zapisa, ki ne vplivajo na končen program. Dodatke smo kopirali na ustrezno mesto osnovnega zapisa. Modificiran post-procesor smo naložili v naš profil in s pomočjo »macine-builder-ja« povezali model s profilom. Prav tako smo določili čeljust vpetja in ničlo obdelovalne površine, kar je pomenilo, da lahko vse programe simuliramo in vidimo realne gibe našega stroja.

4.3 Testiranje in analiza izdelanega stroja

Po izdelavi, pripravi programske opreme, namestitvi elektrotehniških komponent in kalibriranju, je prišel čas za prvo testiranje novonastalega stroja. Prva obdelava je bila graviranje napisa v oplemeniteno furnirno ploščo. Prvi poizkus se je obnesel popolno.



Slika 18: Prva obdelava CNC stroja. (Slikovni vir: Avtor naloge)

Seveda na začetku nismo vedeli, kako hitri morajo biti pomiki in nastavitve obratov rezkarja, zato je bila večina prvih obdelav zelo počasna. Kasneje smo dobili občutek za to, česa je stroj zmožen in smo lahko hitrosti znatno povečali. Kar hitro smo ugotovili, da je razmerje med hitrostjo pomikov in obrati rezkarja zelo pomembna, da se stroj ne »muči« in tudi ne osmodi obdelovanca.

Že na začetku se je pojavila težava, ki smo jo pričakovali, to je pritrjevanje obdelovanca na mizo. Pri prvih poizkusih smo to reševali kar z dvostranskim lepilnim trakom. Kasneje pa smo v vlakneno ploščo izvrtali luknje in s spodnje strani namestili vgrezne matice. Vrtanje je opravil kar stroj. Navoji nam tako služijo za pritrjevanje obdelovanca s pomočjo lesenih prijemal.

Večina začetnih obdelav je bila rezkanje različnih oblik v plošče vezanega lesa, kjer je šlo navadno le za izrez oblike ali nekaj majhnih žepov. Tega postopka smo se hitro priučili, saj ni zahteven. Potrebno je le, da v programu Fusion izberemo pravilen postopek in primerne nastavitve.

Kasneje pa smo dobili priložnost prve t. i. 3D obdelave. Šlo je za primer ornamenta vrhnjega dela korintskega stebra, izdelanega iz masivnega hruškovega lesa. Po

predznanju in predvidevanju smo pripravili programe in začeli obdelavo. Prvi izdelek je uspel dobro, vendar zaradi nastavitev nismo dobili željenih podrobnosti. Druga obdelava je bila veliko boljša, dobili smo željeno obdelavo. Pri teh postopkih je prvič prišlo tudi do menjave orodja med obdelavo. Začeli smo z orodjem premera 38 mm, ki je odstranilo večje količine materiala, in nato podrobnosti obdelali z orodjem premera 6 mm. Pri tej obdelavi je prvič prišlo tudi do odstranjevanja večje količine lesa, kar je še potrdilo potrebo po zasnovanju odsesovanja.



Slika 19: Obdelava ornamenta korintskega stebra. (Slikovni vir: Avtor naloge)

Po izkušnjah, ki jih imamo sedaj po nekaj mesecih, lahko rečemo, da je stroj izpolnil vsa pričakovanja, ki smo jih imeli. Stroj ima zelo velik spekter uporabe: izrezovanje oblik, 3D obdelava, graviranje napisov, rezkanje žepov, poravnavanje in izdelava šablon. Sama uporaba pa je zelo odvisna od programske opreme, izbranih nastavitev in orodij, ki jih imamo na voljo. Seveda potrebujemo tudi dobro idejo za izdelek. Stroj, izdelan iz lesa, se nam zdi dovolj robusten za obdelavo lesa tudi z velikimi odvzemi. Stroj bi glede na tehniške lastnosti lahko obdeloval tudi mehkejše kovine, npr. aluminij, vendar tega še nismo preizkusili.

5 REZULTATI IN OCENA RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ

Osnovni cilj naloge je bil ugotoviti, ali lahko doma izdelamo namizni CNC stroj. Zanimal nas je pristop in izdelava takšnega projekta. Stroj smo načrtovali sami in ga sami tudi izdelali. Pri tem smo združili znanje veliko različnih strok in se tako tudi nekaj novega naučili. Svoje ugotovitve in razmišljanja bomo poskusili zapisati na podlagi zastavljenih vprašanj.

1. Ali je izdelava namiznega CNC rezkarja mogoča z uporabo osnovnih lesnoobdelovalnih strojev brez CNC tehnologije?

Na prvo vprašanje lahko na hitro odgovorimo pritrdilno. Sami smo izdelali stroj, ne da bi pri tem uporabili kateri drugi CNC stroj, samo z uporabo osnovnih mizarskih strojev. Prepričani smo, da tudi visoko kakovostni stroji niso pogoj za uspešno izdelavo, vendar so vsekakor dobrodošli. Naš CNC je zasnovan za izdelavo iz furnirne plošče, katere razrez lahko opravimo tudi z uporabo preproste namizne krožne žage. Ko razumemo, kako je stroj sestavljen in katere komponente potrebujemo, je tudi izdelava razmeroma enostavna.

2. Kako natančen je izdelan stroj?

Izdelan stroj je za naše namene dovolj trden in tudi natančen. Pri tem se moramo seveda zavedati, da je stroj izdelan iz lesa in je tudi primarno namenjen za obdelavo lesa in lesnih kompozitov. Ker že samo ime pove, da gre za namizni rezkar, lahko pričakujemo, da je stroj namenjen manjšim izdelkom, kjer tudi ni pomembna hitrost obdelave in velike obremenitve z velikimi odvzemi.

Stroj lahko vse tri osi premika do natančnosti 0,1 mm, kar je več kot odlično. Večkrat smo tudi izmerili dejansko mero na obdelovancu, ki je bil zmeraj znotraj 0,2 mm razpona.

3. Kakšna je uporabnost namiznega rezkarja?

Namizni CNC rezkar ima velik spekter uporabnosti. Kot smo že večkrat v nalogi zapisali, lahko rezkar: izrezuje oblike v plošče, 3D obdeluje, gravira napise, rezka

žepe, poravnava in izdeluje šablone. Seveda pa je vse odvisno od domišljije in improvizacije. Rezkar je nekaj dni delal tudi v mizarski delavnici, kjer se je takoj našlo veliko primernih obdelav za naš stroj (primer: Slika 19).

4. Ali priporočamo lastno izdelavo CNC rezkarja?

Lastna izdelava rezkarja ima velike prednosti in tudi nekaj slabosti. Sam rezkar je odvisen od zasnove in kakovosti izdelave. Če ga načrtujemo in izdelujemo sami, je to odvisno od nas. Pri izdelavi rezkarja gre za uporabo veliko različnih znanj iz različnih področij. Za izdelavo konstrukcije je potrebno znanje lesarstva, za sestavo in povezavo elektrotehniških komponent je potrebno znanje elektrotehnike. Za načrtovanje in pripravljanje programov je potrebno uporabljati veliko različnih programov. Vsakomur, ki mu je izdelava takšnega stroja izziv, to priporočamo. Lastna izdelava lahko pomeni tudi velik stroškovni prihranek. Stroške nabavnega materiala za naš stroj ocenjujemo na 600 €.

Lastne izdelave pa ne priporočamo tistim, ki imajo manj znanja na področju lesarstva ali elektrotehnike. Lastna izdelava je lahko tudi zamudna in dolgotrajna. Tudi tistim, ki bi stoj uporabljali v profesionalne namene, ne predlagamo izdelave stroja, podobnega našemu.

Vsekakor pa je lahko lastna izdelava veliko enostavnejša, če uporabimo načrte, ki jih najdemo po spletu in s tem izpustimo lastno načrtovanje.

5.1 Družbena odgovornost

Med izdelavo smo pomislili tudi na družbeno odgovornost. Že pri načrtovanju smo skušali kar se da optimizirati porabo materiala s snovanjem kompaktnih in preprostih komponent. Z izbiro lesa za osnovni material ogrodja smo se odrekli tudi, po našem mnenju nepotrebni, natančnosti in pridobili na ekološki vrednosti. Pri izdelavi komponent smo uporabljali razno programsko opremo za optimizacijo porabe materiala, kar je pripomoglo k zelo majhnim stroškom materiala in dela.

Za napajanje smo uporabili star računalniški napajalnik in tako zmanjšali stroške projekta, hkrati pa napajalniku ponovno dali namen.

Sam CNC stroj pa s svojim delovanjem pomaga pri varčevanju s časom, energijo in stroški, saj nam omogoča hitro in zanesljivo delo z majhno potrebo po energiji.

Z izdelavo naloge skušamo vplivati na sovrstnike, da bi se tudi oni odločali za izdelavo raziskovalnih nalog in tako prispevali s svojimi idejami in inovativnimi pristopi.

6 ZAKLJUČEK

Z raziskovalno nalogo smo zelo zadovoljni, saj smo dosegli željen rezultat, hkrati pa smo se veliko naučili. V načrtovanje in izdelavo smo vložili veliko znanja iz veliko različnih področij, skozi proces pa smo izvedeli veliko novega. Vso pridobljeno znanje in veščine nam bodo gotovo v pomoč v prihajajočih projektih.

S končnim rezultatom smo zadovoljni, saj smo uspeli izdelati stroj, ki zadošča našim prostorskim potrebam, hkrati pa je cenovno ugoden in dosega ustrezno natančnost. Omogočil nam je realizacijo mnogih idej in projektov, za katere do sedaj nismo imeli primernega pripomočka.

Želimo si, da bi bila naša raziskovalna naloga dobra smernica komur koli, ki bi se želel lotiti podobnega projekta in na ta način prispevati nove inovativne ideje in izboljšave.



Slika 20: Izdelan namizni CNC rezkar. (Slikovni vir: Avtor naloge)

7 VIRI IN LITERATURA

7.1 Literatura

CNC Machines. (2020). Pridobljeno s https://www.CNC.com/machine/.

Deans, M. (2018). CNC Milling Coordinate System Made Easy. Pridobljeno s https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/CNC-coordinate-system - made-easy/.

Grbl. (2021). Pridobljeno s https://github.com/grbl/grbl/wiki.

Stepper motor. (2022). Wikipedia. Pridobljeno s

https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor.

What is Fusion 360?. (b. d.). *Na autodesk.com*. Pridobljeno s

https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview.

Universal Gcode Sender. (b. d.). Pridobljeno s https://winder.github.io/ugs_website/.

7.2 Slikovni viri.

Slika 1: Namizni rezkar proizvajalca Stepcraft. Dostop:

https://geeksvalley.com/wp-content/uploads/2017/01/4.jpg

Slika 2: Linearna vodila. Dostop:

httpsm.media-amazon.comimagesI71IIdDau1oL._SX522_.jpg

Slika 3: Sestavni deli navojne gredi. Dostop:

http://sc04.alicdn.com/kf/Hf69ae10766d34da1a9440867ce93f47ds.jpg

Slika 4: Koračni motor Nema 23. Dostop:

https://ae01.alicdn.com/kf/H08ababd1cbb046b985d7e351bb619eea5/Nema-23-Stepper-Motor-1-26Nm-1-9Nm-3Nm-2-Phase-Hybrid-2-8A-4-2A.jpg_Q90.jpg_.webp

Od Slike 5 do Slike 20, je avtor slik tudi avtor raziskovalne naloge.