

# Laserski CNC

---

**Kordić, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:105017>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**STRUČNI STUDIJ**

**LASERSKI CNC**


**Završni rad**

**Student: Ivan Kordić, br. indeksa A4118**

**[ikordic@etfos.hr](mailto:ikordic@etfos.hr)**

**Mentor: Prof.dr.sc Tomislav Keser**

**Osijek, rujan 2019.**

 <b>FERIT</b> FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK	
<b>Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju</b>	
Osijek, 22.09.2019.	
Odboru za završne i diplomske ispite	
<b>Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju</b>	
Ime i prezime studenta:	Ivan Kordić
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4118, 28.09.2018.
OIB studenta:	34325036322
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Keser
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Tomislav Rudec
Naslov završnog rada:	Laserski CNC
Znanstvena grana rada:	<b>Procesno računarstvo (zn. polje računarstvo)</b>
Zadatak završnog rada	Istražiti i usporediti postojeće CNC tehnologije i sustave. Objasniti i demonstrirati lasersku tehnologiju graviranja i rezanja materijala. Izraditi demonstrativni primjer CNC stroja sa laserskom glavom za poslove jednostavnog graviranja i/ili rezanja strukturno mekih materijala poput stiropora, spužve, mekanog drveta, plastike i slično.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 1 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	22.09.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 01.10.2019.

Ime i prezime studenta:

Ivan Kordić

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4118, 28.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

0

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Laserski CNC**

izrađen pod vodstvom mentora Izv.prof.dr.sc. Tomislav Keser

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak i organizacija rada</b> .....	2
<b>2. RAČUNALNI NUMERIČKI STROJEVI SA LASERSKIM REZAČEM</b> .....	3
<b>2.1. Sustav prijenosa</b> .....	3
<b>2.1.1. Motori</b> .....	13
<b>2.2. Laseri i laserski rezači</b> .....	17
<b>2.2.2. Materijali pri laserskoj obradi</b> .....	21
<b>2.3. Laserski CNC</b> .....	24
<b>2.4. Upravljanje sustavom</b> .....	25
<b>2.4.1. Kartezijev koordinatni sustav</b> .....	25
<b>2.4.2. G-kod</b> .....	26
<b>3. REALIZACIJA SUSTAVA LASERSKOG CNC</b> .....	29
<b>3.1. Mehanički ustroj</b> .....	29
<b>3.2. Senzori i aktuatori</b> .....	32
<b>3.3. Upravljački sustav</b> .....	35
<b>3.4. Algoritam upravljanja</b> .....	37
<b>3.6. PC aplikacija za upravljanje</b> .....	40
<b>4. TESTIRANJE I REZULTATI</b> .....	43
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	47
<b>LITERATURA:</b> .....	48
<b>SAŽETAK</b> .....	49
<b>ABSTRACT</b> .....	49
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	50

## 1. UVOD

U završnom radu se rješava problem cjelokupne izgradnje laserskog CNC stroja, počevši od sastavljanja osnovne metalne konstrukcije do uklapanja, elektroničkog sklopovlja, otklanjanja kvarova na novim elektroničkim komponentama, prilagodbe temeljne programske podrške odnosno GRBL firmwarea te krajnjeg upravljanja strojem pomoću računalne aplikacije LaserGRBL.

Laserski CNC je primjenjiv za obradu različitih materijala, te nije potrebno posebno održavanje lasera kao radnog alata a istovremeno je jedan od jednostavnijih CNC strojeva za samogradnju pošto ima samo dvije upravljane osi, X os i Y os.

U završnom radu se istražuju i uspoređuju postojeće CNC tehnologije i sustavi, objašnjava i demonstrira se laserska tehnologija graviranja i rezanja materijala kao i učinak lasera za potrebe graviranja i rezanja različitih mekih materijala.

CNC (Computer Numeric Control) strojevi su računalno numerički kontrolirani strojevi, odnosno automatizirani strojevni uređaji kontrolirani precizno programiranim naredbama.

Numerička kontrola se može definirati kao operacija strojnog alata specifično kodiranih naloga usmjerena kontrolnom sustavu stroja.

Nalozima su kombinacije slova abecede i odabranih simbola. Pisani su logičkim redoslijedom i u predodređenoj formi.

Skup naloga za izvršavanje zadanog rada se naziva CNC program.

Takav program se može spremirati za buduću upotrebu i koristiti za postizanje ponovljivih i jednakih rezultata strojne obrade u svakom trenutku.

Oznaka NC označava stariju tehnologiju numerički kontroliranih strojeva, dok CNC označava noviju, kompjuteriziranu tehnologiju numeričke kontrole strojeva.

Kod NC tehnologije se koriste fiksne, logičke funkcije, koje su ugrađene i trajno spojene u kontrolnoj jedinici uređaja. Te funkcije se ne mogu mijenjati od strane programera ili operatora.

U modernom CNC sustavu se za izvršavanje logičkih funkcija koriste mikroračunala. Mikroračunala sadrže memorijske registre u kojima se sprema mnoštvo podataka koji su potrebni za upravljanje logičkim funkcijama. Programer ili operater može manipulirati logičkim funkcijama i mijenjati program na kontrolnoj jedinici s trenutačnim rezultatima. Prilagodljivost je najveća prednost CNC sustava.

Razvoj mikroelektronike i neprestano razvijanje računalnih tehnologija, uključujući njihov utjecaj na tehnologiju numeričke kontrole je uzrokovao značajne promjene za proizvodni sektor u cjelini, kao i industriju obrade metala.

Velika prednost obrade materijala CNC strojevima u usporedbi sa konvencionalnim ručnim strojevima je visoka točnost i ponovljivost izrade. Svaki program se može promijeniti po potrebi ali ako se pokazao ispravan, daljnje promjene nisu potrebne. Potrebno je vrlo malo daljnje intervencije CNC programera ili operatora nakon što su postavke napravljene. Velika točnost CNC strojeva i ponovljivost rada omogućuje visoku kvalitetu proizvedenih dijelova za čitavo vrijeme upotrebe stroja.

### **1.1.Zadatak i organizacija rada**

Zadatak završnog rada je istražiti i usporediti postojeće CNC tehnologije i sustave, detaljno ih objasniti i demonstrirati lasersku tehnologiju graviranja i rezanja materijala.

Detaljno je obrađena tehnologija laserskog CNC-a i problematika upravljanja sustavom CNC. Glavni dio rada je posvećen realizaciji sustava laserskog CNC u izradi ovoga uređaja kao praktičnog dijela Završnog rada. U glavnom dijelu se detaljno razrađuje mehanički ustroj za izradu uređaja, upravljački sustav s algoritmom upravljanja te posebno PC aplikacija za upravljanje kao osnovni elementi za izradu laserskog CNC-a.

Opisani CNC uređaj je dizajniran tako da bude prilagođen isključivo radu lasera. Kod izrade specijaliziranog uređaja je moguće postići puno veću preciznost obrade materijala, kvalitetniji prijenos sile motora i veću radnu površinu za obradu materijala.

## 2. RAČUNALNI NUMERIČKI STROJEVI SA LASERSKIM REZAČEM

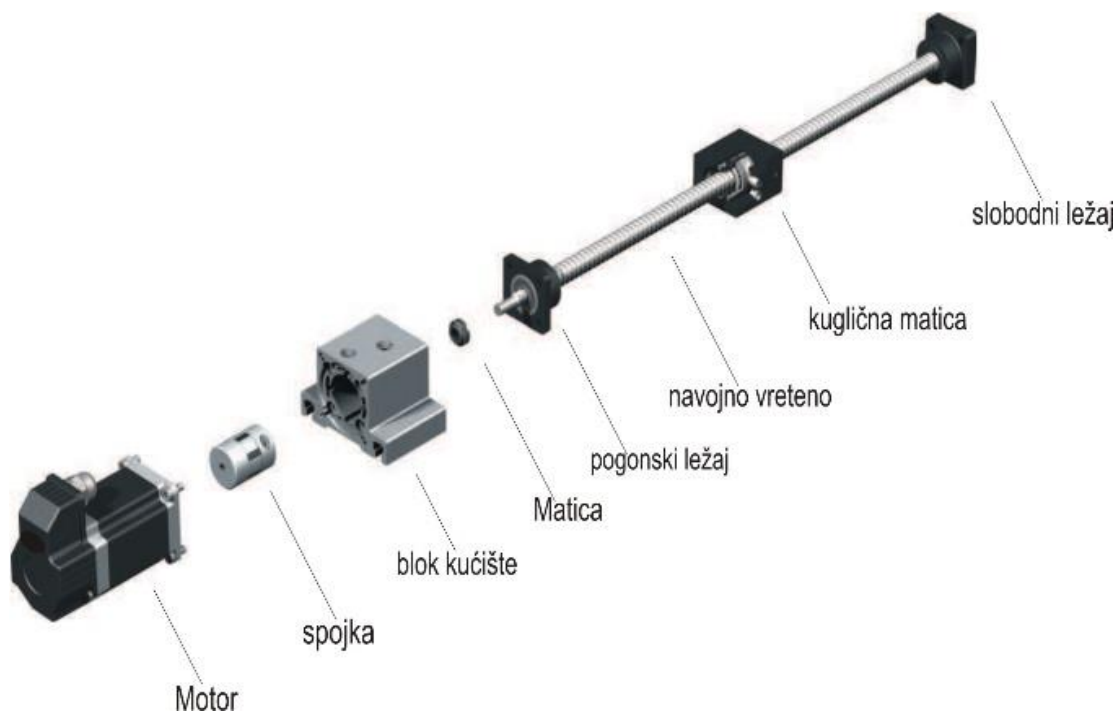
### 2.1. Sustav prijenosa

Postoji više sustava prijenosa kojima sila motora može biti primijenjena na različite diskretne pomake pri radu CNC strojeva. Najčešće upotrebljavani sustavi prijenosa su hidraulički, pneumatski, remeni, lančani, kabelni, zupčani i vijčani prijenos. Postizanje kretanja u oba smjera, kao i zadovoljavajuća rezolucija i točnost posebno su bitni kod rada CNC strojeva.

Funkcija prijenosnog sustava je prijenos zakretnog momenta motora u linearno kretanje. Najčešće se u CNC strojevima koristi prijenos zupčanicom i zupčastim remenom ili prijenos putem navojnog vretena i matice da bi kretanje bilo precizno i pravocrtno. Koriste se i hibridni sustavi u kojima su vodilica i prijenos uključeni u jednu kompaktnu cjelinu.

Navojno vreteno pretvara rotacijsko gibanje u linearni pomak.

U slučaju korištenja navojnog vretena, potreban je neposredan spoj motora i vretena pomoću spojke. Spojke su dostupne u izvedbi tvrdog ili fleksibilnog spoja. Čvrsta spojka se upotrebljava kao spoj osovine motora i osovine vretena kao jednodijelni mehanizam stezanja i prednost joj je veća tolerancija na radno opterećenje. Fleksibilna vrsta stezaljke ima zasebne spojne čahure koji se pričvršćuju na svaki kraj osovine, ali u sredini sadrži fleksibilni mehanizam.



Slika 2.1: Sklop elemenata

Izvor: <http://www.trolist.hr>, pristup ostvaren 19.6.2017.



Prednost fleksibilnih spojki je tolerancija na male nepravilnosti nastale nesavršenom montažom motora i prijenosnog vijka na konstrukciju CNC stroja. Korisne su i za vrijeme rada CNC stroja zbog tolerancija na vibracije uzrokovane linearnim pomicanjem po osima CNC stroja i omogućavaju odstupanja do nekoliko milimetara.



*Slika 2.2: Fleksibilna spojka*

*Izvor: <https://www.kupindo.com>, pristup ostvaren 19.6. 2017.*

Kod korištenja različitih navojnih šipki kao vodilica potrebno je znati kako se preračunavaju koraci motora koji rezultiraju linearnim pomakom u odnosu na hod navoja vodilice. Tablica 2.1 prikazuje točan izračun međuodnosa hoda navoja, okreta po inču i koraka po inču. Vrijednosti pomaka u inčima su preračunate u centimetre.

*Tablica 2.1: Odnos hoda navoja i pomaka*

Hod navoja	Okreti po inču	Koraci po inču
0.1	10 (25.4/cm)	20000 (50800/cm)
0.125	8 (20.3/cm)	16000 (40640/cm)
0.2	5 (12.7/cm)	10000 (25400/cm)
0.25	4 (10,6/cm)	8000 (20320/cm)
0.500	2 (5.1/cm)	4000 (10160/cm)

*Izvor: Alan Overby „CNC Machining Handbook...“ - poglavlje 3*

Kako navodi Alan Overby u knjizi „CNC Machining Handbook - Building, Programming, and Implementation“ standardna, preporučena vrijednost hoda navoja pri gradnji jednostavnih CNC

uređaja je 0.500. Iznimno, ukoliko postoji potreba za visokom razlučivost završne obrade materijala, kao kod izrade vrlo preciznog gravirnog CNC uređaja koji ne zahtjeva visoke brzine pomicanja, tada se preporuča finiji hod navoja vrijednosti 0,250 ili 0,200.

Također, moguće je upotrijebiti reduktor ili prijenosni remen s remenicama za dodatno podešavanje. Izračunavanje međuodnosa hoda navoja i pomaka u stupnjevima / inčima / milimetrima za navojna vretena se također radi na način opisan u tablici 2.1.

Bez obzira na hod navoja koji se koristi, najčešće se primjenjuju četiri osnovna načina montiranja navojnog vretena

- Fiksiranje oba kraja,
- Fiksiranje jednog kraja dok je drugi kraj podržan
- Podržana su oba kraja
- Jedan kraj je fiksiran a drugi slobodan.

Matice za navojna vretena se proizvode od različitih materijala; mogu biti od bronce ili mesinga, često i od polimernih materijala s niskim trenjem, primjerice acetala.

Navojna vretena imaju niz prednosti u usporedbi s običnim vijcima: niže trenje, preciznost, veći kapacitet opterećenja, dulji vijek trajanja i podnose veće brzine rada. Navojna vretena s kugličnim ležajevima u svojstvu matica (kuglične matice) su skuplja i koriste se u strojevima pred kojima su zahtjevniji radni zadaci. Kao što navodi Alan Overby „CNC Machining Handbook...” - svojstvo im je omjer učinkovitosti preko 90% , a običnim navojnim vretenima, bez kugličnih matica vrijednost učinkovitosti je najčešće oko 50%. Specifičnost kugličnih matica je recirkuliranje kuglica u ležaju. Svi ležajevi nisu u dodiru s ležištem navoja vretena u svakom trenutku, nego kuglice kruže i recirkuliraju tijekom cijelog radnog ciklusa. Kuglične matice trpe znatno manje udaraca u radu, budući da njihova ležajna konstrukcija uzrokuje stalnu pritisnu silu koja se primjenjuje radijalno prema unutra, osiguravajući ležište rotirajućih čeličnih kuglica u oblik navoja vijka, čime se minimalizira šteta na elementima navojnog vretena i kuglica ležaja. Većina proizvođača dostavlja grafikone i podatkovne liste o očekivanom životnom vijeku sklopa vretena i matice u odnosu na opterećenje, maksimalnu brzinu putovanja u odnosu na duljinu vijka i projektiranu kompresivnu opterećenost u odnosu na duljinu.

Korištenje zupčaste letve i zupčanika je najčešći odabir linearnih vodilica u slučaju potrebe izvedbe prijenosa na veće udaljenosti, kao što je to slučaj kod CNC strojeva velikih dimenzija. Koriste se prvenstveno zbog smanjivanja troškova jer je ovakav sustav prijenosa isplativiji od upotrebe navojnih vretena.

Postoje dva načina izvedbe montiranja zupčaste letve i zupčanika na CNC stroj.

Najčešća metoda je pričvršćivanje zupčaste letve na stacionarni dio strojnog okvira, a zupčanik se pričvršćuje za pokretni, pogonski dio stroja. Alternativna izvedba podrazumijeva učvršćivanje zupčanika na jednom mjestu i

u tom slučaju zupčanik je element vodilice koji se pomiče skupa sa radnom plohom a montiran je na kućištu pokretnog dijela stroja.



*Slika 2.3: Zupčasta letva i zupčanik*

*Izvor: <http://pkl.hr>, pristup ostvaren 20.6.2017*

Izvedba redukcijuskog prijenosa, odnosno prijenosa kojim se mijenja izlazni omjer sile prijenosa u usporedbi s ulaznim je moguć na dva načina: mehanizmom zupčanika i sustavom remena i remenica.

Reduktori prijenosa se trebaju uklapati u kućište kompaktno veličine. Veličina kućišta je obično istih dimenzija kao i veličina okvira motora za koji je namijenjen. (tj. NEMA 23 ili NEMA 34). Reduktori moraju biti stabilni i kompaktni. Mehanizam spajanja je najčešće konstruiran kao spojni vijak sa vrlo visokom tolerancijom na kapacitet opterećenja za koji je reduktor konstruiran. Cijene reduktora za potrebe CNC uređaja su vrlo različite ovisno o namjeni i zahtjevima rada. Dostupni su u širokom rasponu redukcijskih kapaciteta prijenosa, od 2: 1 do 100: 1.



*Slika 2.4: Reduktor za NEMA koračne motore*

*Izvor: <http://www.directindustry.com>, pristup ostvaren 24.6.2017.*

Remenice su moguće u različitim izvedbama i sačinjene su od različitih materijala i imaju opcionalne bočne štitnike odnosno prirubnice za pozicioniranje remena na središnjem dijelu remenice. Remeni su sačinjeni od različitih materijala, najčešće od neoprena, uretan/poliestera i uretan/kevlara, pri čemu svaki od navedenih materijala ima specifična svojstva i raspon rastezanja a dodavanjem određenog postotka primjesa se postižu optimalna potrebna svojstva.

Izračunavanje prijenosnog omjera smanjenja se vrši na sljedeći način: podijeli se broj zuba na izlaznoj remenici s brojem zuba na ulaznoj remenici. Primjerice, ako je željeni omjer smanjenja brzine vrtnje 3:1, tada bi jedna od mogućnosti bila korištenje 60-zupčaste remenice u kombinaciji s 20-zupčastom remenicom ( $60/20 = 3$ ). Također, potrebno je znati udaljenost središnje linije udaljenosti između dvaju remenica kod određivanja odgovarajuće veličine prijenosnog remena.



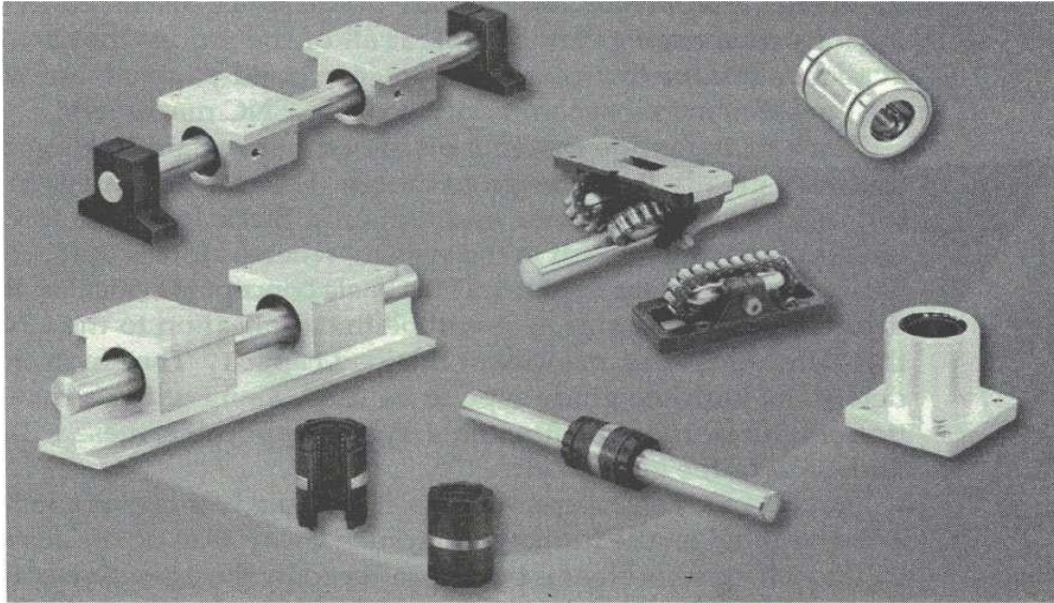
*Slika 2.5: Redukcijski prijenos zupčastim remenom i remenicama.*

*Izvor: <https://www.amazon.com>, pristup ostvaren 24.6.2017.*

Problem kod izvedbe redukcije prijenosa na navedeni način, preko remena i remenica je što se komponente u pravilu moraju izrađivati po specifičnim potrebama za određenu svrhu jer ih je teško naći u trgovinama u svim veličinama i oblicima. Postoji ograničen izbor dimenzija zupčastih remena u okruglom obliku ali remenice se mogu izraditi pomoću 3d printera, kao i kućište reduktora.

Iako je izvedivo rješenje, reduksijske uređaje pri izgradnji CNC strojeva u pravilu treba izbjegavati jer kompliciraju konstrukciju CNC stroja, i tijekom rada zahtijevaju održavanje. Smanjivanje brzine koračnih motora se lako rješava putem upravljačkog programa.

Sustav prijenosa kliznih ležajeva i osovine koristi glatku okruglu šipku kao osovinu koja služi za linearni prijenos jednog ili više blokova ležajeva. Ležajevi mogu biti otvorenog ili zatvorenog tipa. Oblik ležaja je ključni parametar prilikom izračuna kapaciteta opterećenja prilikom dizajna i sklapanja stroja. Ovakvi ležajevi zahtijevaju redovito održavanje, čišćenje i podmazivanje zbog strukture i položaja kuglica unutar ležaja.



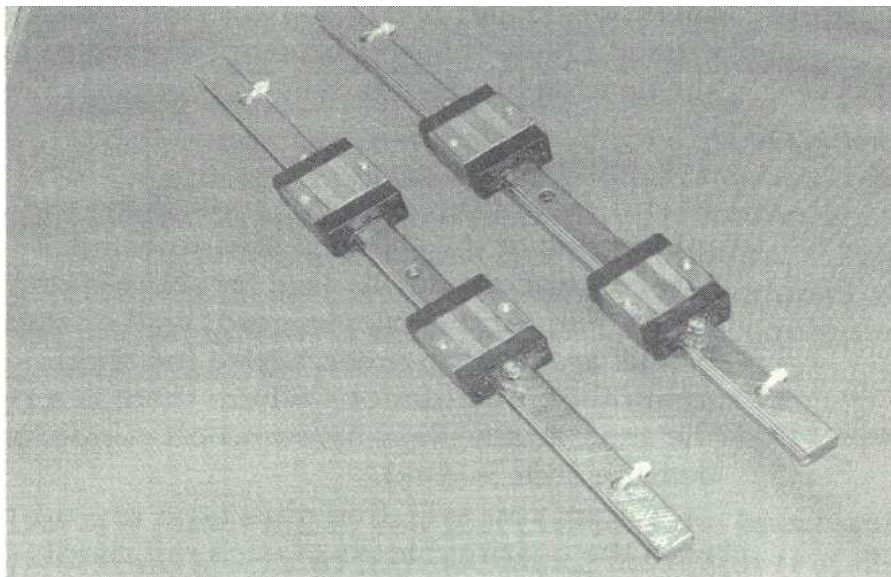
*Slika 2.6: vrste ležajeva*

*Izvor: Alan Overby „CNC Handbook.“ poglavlje 2.*

Prilikom montaže uvijek su samo krajevi osovine fiksirani, što ostavlja cijeli središnji dio osovine slobodan za kretanje. Prednost ovakvog sustava prijenosa je niska cijena i prvenstveno se koristi za linearni prijenos na kratke udaljenosti. Ležajevi se u pravilu koriste u parovima, s kućištima čvrsto pričvršćenih na konstrukciju. Na taj način se povećava ukupni kapacitet opterećenja i osigurava stabilnost.

Kao što objašnjava izvor Alan Overby „CNC Handbook...“ I vodilice sadrže profilirane utore ili žlijebove za navođenje čeličnih kuglica koje se nalaze u klizećim ležajevima ili vodilicama. I vodilica je vrlo popularan izbor kod dizajna strojeva koji zahtijevaju visoko opterećenje i/ili precizno vođenje. Ovaj sustav ima brojne prednosti, a nedostatak je relativno visoka cijena. I vodilice čine jedan od najskupljih sustava i može ga biti komplicirano ugraditi jer je potrebna visoka preciznost ugradnje. Nazivna dimenzija profila određena je njegovom širinom, mjerenom u podnožju. Uobičajene veličine koje se koriste u gradnji CNC strojeva se kreću od 15 do 35 mm. Ova vrsta vodilice je poznata po čvrstom hvatu, bez praznog hoda kod obuhvaćanja ležaja.





*Slika 2.7: I vodilica*

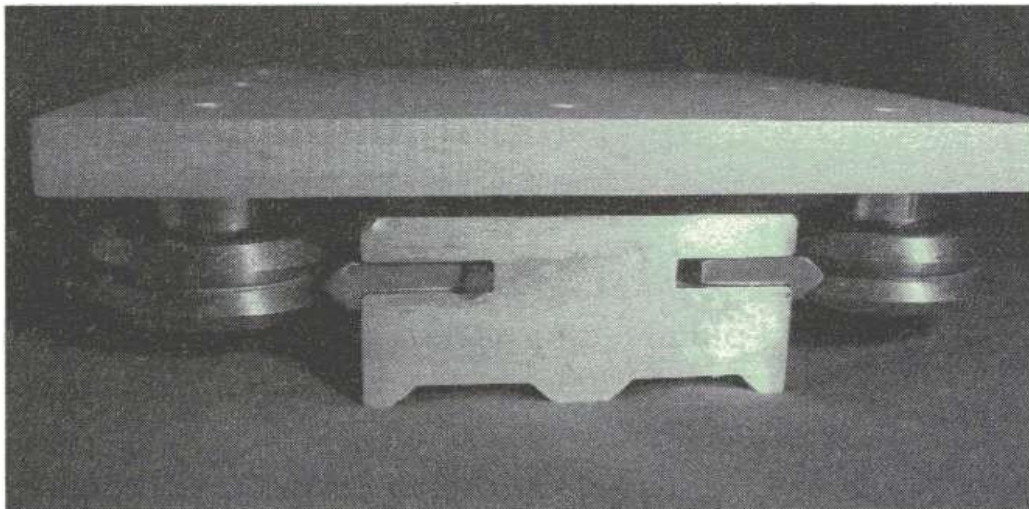
*Izvor: Alan Overby „CNC Handbook“, poglavlje 2.*

Isti izvor Alan Overby „CNC Handbook“ također navodi, Prilagodba tolerancije odstupanja hoda je parametar koji, ako se krivo postavi može uzrokovati povećano trenje, habanje materijala, zastoje i štetu na uređaju. Ovisno o duljini profila vodilice koju treba postaviti u CNC stroj, postizanje zadovoljavajućeg međudnosa točno paralelno pozicioniranih I vodilica. Tolerancija je odstupanja je vrlo mala, iznosi 0,001 do 0,002 mm. Proizvođači CNC opreme I vodilice najčešće proizvode s užlijebljenim utorima na podlogama kućišta, zbog osiguravanja paralelnih dimenzija, te da bi postigli istu bočnu visinu. Ako neki od ovih kriterija nije ispunjen, odstupanja mogu uzrokovati prijevremeno trošenje blokova ležajeva. Jedna od prednosti ovog vodiča je jednolično opterećenje bez obzira na način kako je vodilica usmjerena ili postavljena.

U knjizi Alan Overby „CNC Handbook“ se između ostalog i opisuje V vodilica. Ova izvedba sustava linearne vodilice ima vrlo jednostavan dizajn a zahtijeva minimalno ili nikakvo održavanje s dugotrajnim vijekom upotrebe. Sustav vodilice za klizanje koristi čelične ležajeve s utorima u obliku slova "V" oko vodilice čeličnog profila, dok vodilica ima savršeno prijanjajući, recipročno suprotan oblik. Kao kotače se koristi dvostruki niz kugličnih ležajeva, što im daje visoku radijalnu sposobnost prijenosa tereta u usporedbi sa razmjerno malom veličinom. Razlozi za popularnost upotrebe ovog sustava:

- Svi dijelovi su dostupni kao zasebne komponente za spajanje – profil se može jednostavno pričvrstiti na vlastitu podlogu za montiranje izravno na okvir stroja.
- Ležajevi s kotačima i čelični profil su dostupni u sklopivim jedinicama različitih duljina i veličina.
- Najniži trošak kod izbora vodilica.
- Niski zahtjevi za održavanjem.
- Najjednostavniji za instalaciju.

Kotači, odnosno ležajevi i odgovarajuća vodilica su dostupni u različitim veličinama. Iako su moguće različite izvedbe, kotači se uglavnom koriste u višestrukim spojevima, da bi vrijednosti radijalnih opterećenja bile manje zbog zbroja kotača koji se koristi. U tom slučaju, sila opterećenja se ravnomjerno raspoređuje. Ovaj pristup omogućava jednostavnu prilagodbu dizajna dodavanjem jednog ili više kotača, a kotači imaju znatno veći radijalni kapacitet tolerancije opterećenja u odnosu na bočne sile.



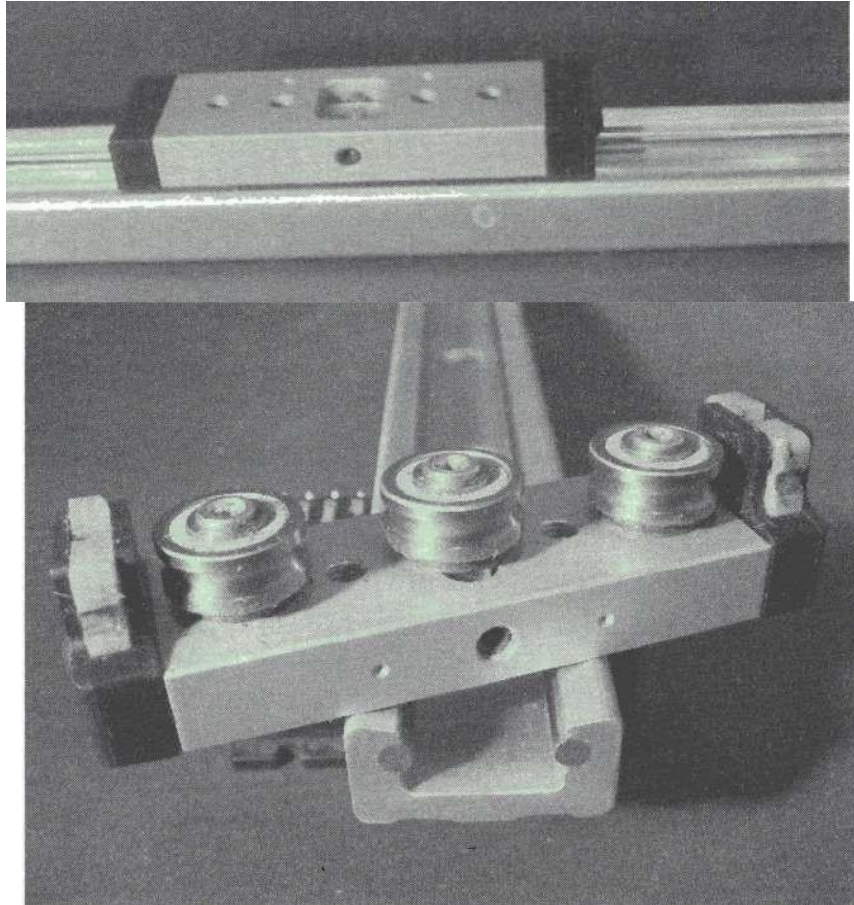
*Slika 2.8: V vodilica*

*Izvor: Alan Overby „CNC Handbook“, poglavlje 2.*

Specifičnost ovog dizajna vodilice je sposobnost samočišćenja. Samočišćenje se događa zbog rada kotača i guranja ostataka obrade materijala sa puta kotača pri čemu se minimiziraju zahtjevi za održavanjem, što produžuje životni vijek sustava.



Hibridni sustav za valjčanje vodilice i ležajeve radi na istom principu kao i tehnologija V-vodilica. Sustav je dostupan samo kao potpuno sklopljena, kompaktna i sastavljena jedinica. Dostupan je u različitim dimenzijama, veličinama i dužinama, ali komponente nisu dostupne pojedinačno.



*Slika 2.9: sustav hibridne valjčane vodilice*

*Izvor: Alan Overby „CNC Handbook“, poglavlje 2.*

Na slici 2.9 je vidljivo kako je središnji valjak pomaknut iz centra, što omogućuje optimalno zatezanje kod ugradnje vodilica za optimalan rad CNC stroja.

### 2.1.1. Motori

Postoje dvije vrste elektromotora koji se koriste u CNC strojevima: koračni motori i servo motori. Obje vrste elektromotora tijekom rada dobiju strujno napajanje i informacije za smjer rotacije iz središnjeg sustava.

Koračni motori imaju veći broj magnetskih polova (odnosno magnetskih stupova) koji su sadržani unutar namota statora. Velika količina magnetskih polova omogućava rotoru postizanje vrlo malih koraka rotacijskog gibanja. Ta sposobnost je inherentna svim motorima na bazi stupnjevanog kretanja, gdje svaki od 200 dijelova rotacije iznosi 1,8 stupnjeva. Ta vrijednost je izvedena iz 360 stupnjeva kružnice podijeljene u 200 segmenata.

Kao što navodi Alan Overby, koračni motori su dostupni u različitim veličinama i pridržavaju se standardne industrijske specifikacije poznate pod nazivom National Electric Manufacturers Association (skraćenica je NEMA). Specifične veličine motora koje se obično koriste na CNC uređajima, kao što su strojevi za tokarenje i graviranje su NEMA 17, NEMA 23, NEMA 34 i NEMA 42. Oznaka broja modela se odnosi veličinu okvira za montažu motora. Konkretno površina poleđine motora u inčima definira nazivni broj motora na slijedeći način: za NEMA 23 motor je 2,3-in<sup>2</sup> a 3,4-in<sup>2</sup> je površina poleđine NEMA 34 motora. Koračni motori su dostupni u izvedbi jednostrukog, dvostrukog ili trostrukog stoga (višeslojnog slaganja magnetskih stupova). Vrijednost zakretnog momenta ovisi o izvedbi motora.



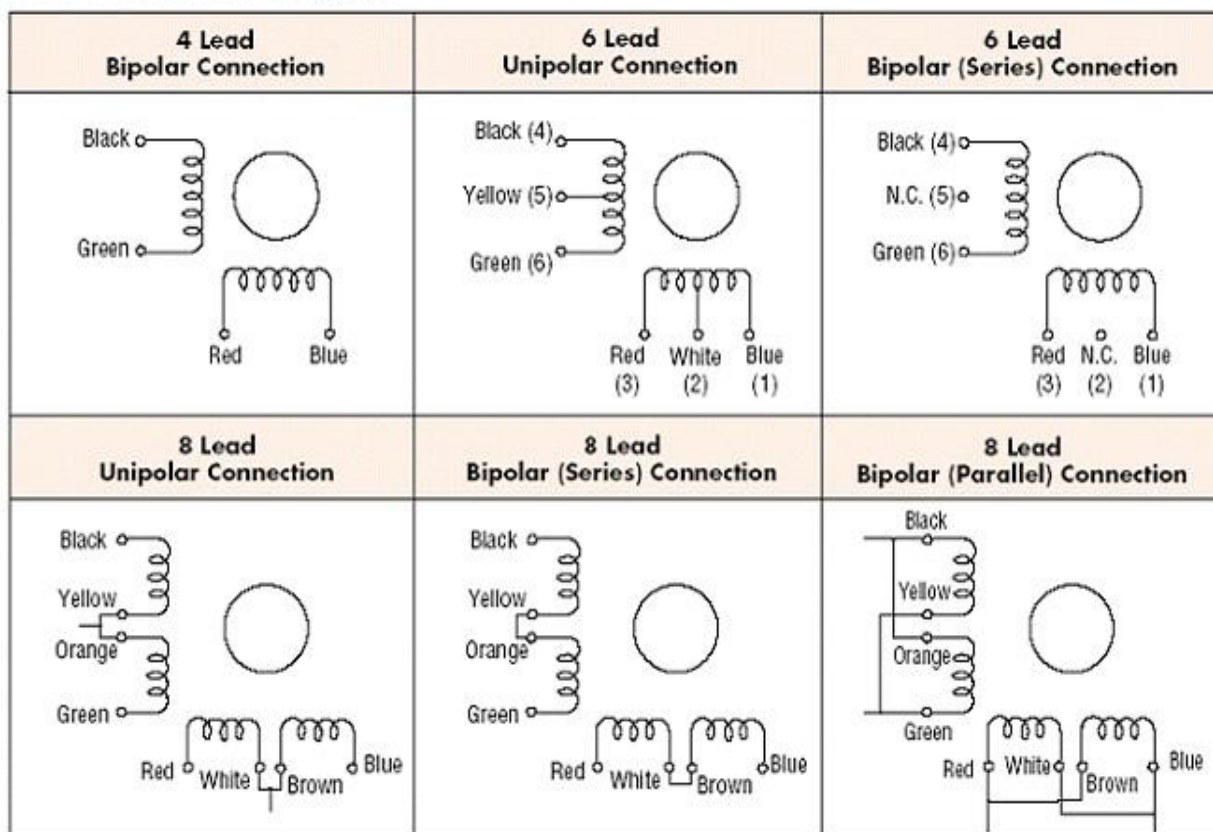
*Slika 2.11: NEMA koračni motori*

*Izvor: <https://www.linengineering.com>, pristup ostvaren 24.6.2017.*

Najčešće se koristi konfiguracija s jednostrukim ili dvostrukim stogom, budući da imaju niže vrijednosti induktiviteta i sposobne su za veće okretaje u minuti.

Postoje izvedbe koračnih motora s četiri, šest ili osam izlaznih žica, ovisno o načinu na koji su izrađeni namoti u motoru. Način ožičenja u kojem se koristi šest žica naziva se jednostruka konfiguracija ožičenja. Četiri i osam žica se koriste u bipolarnoj konfiguraciji ožičenja. U slučaju konfiguracije s osam žica, korisnik može po izboru spojiti na bipolarno paralelni ili bipolarno serijski način. Kod odabira između paralelnog i serijskog spajanja, mora se voditi računa o količini struje koju će motor koristiti za rad, kao i okretajima u minuti. Ožičenje motora u bipolarnoj seriji rezultirati će istim nazivnim zakretnim momentom, ali će takvo spajanje zahtijevati samo polovicu struje za rad i u radu se postiže polovica njegove potencijalne brzine. Velika većina koračnih motora su bipolarni, što znači da su najčešće dostupne veze za spajanje četiri žice. U slučaju upotrebljavanja motora sa šest ili osam žica, potrebno je slijediti shematski prikaz proizvođača i prespojiti ih te tako postići četiri radne žice. Unipolarni ili šest-žični motori mogu se koristiti kao bipolarni jednostavno izoliranjem dviju središnjih žica – po jednu iz svake zavojnice.

## Wire Connection Diagrams



Skica 2.1: dijagram spajanja koračnih motora po broju izlaznih žica  
 Izvor: <http://biobug.org>, pristup ostvaren 24.6.2017.

Servo motori i koračni motori mogu fizički nalikovati jedni drugima. Servo motori u odnosu na koračne motore imaju manji broj magnetskih polova u svojim namotima. Kao rezultat rada pri manjem broju polova, servo motorima su potrebni uređaji za dobivanje povratnih informacija.

Kao što navode autori „Petruzella, F. D.: Electric Motors and Control Systems“ i „Alan Overby, CNC Machining Handbook“ za tu svrhu se koristi encoder/resolver kako bi motor mogao konstantno izvršavati potrebne promjene radi postizanja točnosti položaja. To se naziva "zatvorena petlja" ili povratna veza. Bez upotrebe pozicijskih povratnih informacija ili funkcije zatvorene petlje, servo motor bi bio beskoristan za bilo koju vrstu CNC aplikacije. Većina servo motora sadrži Hall-efekt senzor, što je uređaj koji osjeti promjene elektromagnetskog polja motora tijekom rada i koristi se za pružanje informacija u povratnoj vezi sustava u odnosu na točnu fizičku lokaciju.

Servo motori imaju značajno manji rotor motora u usporedbi s koračnim motorima, manji su i imaju manju masu, moguća su brža ubrzanja i usporavanja. Time se postiže kraće vrijeme potrebno za ubrzavanje ili uspon prema brzini rezanja. Drugi razlog je mogućnost razvijanja većih brzina okretaja. Za razliku od koračnih motora, servo motori razvijaju veći zakretni moment prilikom rada na višim brzinama. Prilikom odabira servo motora, postoji mogućnost izbora vrste motora za rad na istosmjernoj ili izmjeničnoj struji. Servo motori zahtijevaju podešavanje i ugađanje oblika frekvencije strujnog signala radi pravilnog rada. Postoje dvije osnovne vrste algoritama koji se koriste za postavljanje njihovih parametara: PID (proporcionalno integralno derivacijski) i PIV (particle image velocimetry – brzometrija čestica slike). PID je algoritam koji se najčešće koristi.

#### Prednosti koračnog motora

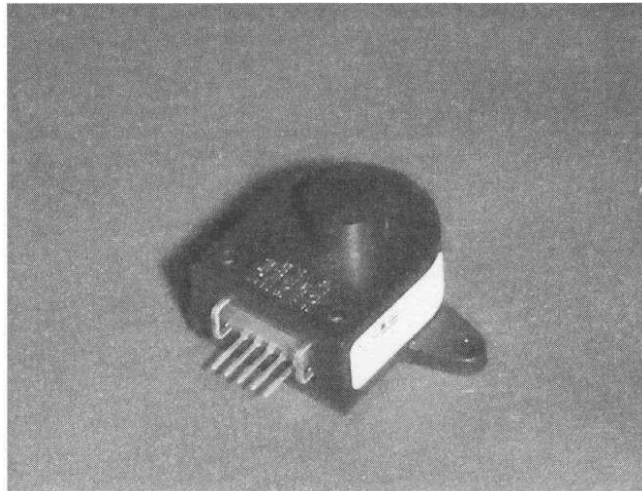
- Niži troškovi – motori su povoljniji, kao i upravljačke elektroničke komponente.
- Vrlo visoka pozicijska točnost, preciznost i pouzdanost.
- Nije potrebno fino namještanje radnih parametara – potrebno je pratiti ograničenja maksimalnih nazivnih mogućnosti motora.
- Jednostavniji sustav za razumijevanje i rad - jednostavan i lagan za postavljanje i korištenje

#### Prednosti servo motora

- Veći trošak - motori i komponente za upravljanje su znatno skuplji
- Sustav zatvorenog kruga osigurava sigurnost korisnika.
- Veća mehanička redukcija - veća brzina okretaja može premašiti potrebne brzine za određenu primjenu, ta vrijednost se ispravlja na željenu razinu upotrebom višeg redukcijskog omjera.
- Potrebno je podešavanje - potrebno testiranje, određivanje i ispravak pogrešaka za postizanje ispravnog funkcioniranja sustava
- Brži odziv i vrijeme rada - veća brzina ubravanja i usporavanja.

Enkoderi su uređaji koji optički, magnetski ili elektronički nadziru i šalju u sustav povratne informacije o stvarnom položaju svake osi sustava u gotovo stvarnom vremenu. Dobivene informacije sustav koristi za utvrđivanje je li stvarna lokacija, odgovara istoj poziciji koja je predviđena u programu G-koda.

U slučaju spajanja enkodera sa koračnim motorom, takav se sustav naziva hibridna konfiguracija.



Slika 2.12: Enkoder

Izvor: Alan Overby, *CNC Machining Handbook*, McGraw-Hill, poglavlje 4.

## 2.2. Laseri i laserski rezači

Laser je skraćenica od eng. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (pojačanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja). Lasera ima više vrsta (pulsni, plinski, poluvodički, kemijski, sa čvrstom jezgrom, sa slobodnim elektronima itd.) i koriste se za različite namjene.

Na tržištu postoji puno verzija lasera i laserskih CNC uređaja koji se mogu upotrijebiti za svrhu obrade, graviranja i rezanja materijala. Oni se razlikuju po snazi, funkcionalnosti i dizajnu kojim su predodređeni za namjenu.

Osnovna podjela laserskih CNC uređaja se može odrediti na :

„Open source“ uređaje i industrijske uređaje

Uređaje otvorenog, slobodnog i besplatnog koda razvija grupa pojedinaca za najčešće osobnu uporabu te međusobno razmjenjuju iskustva, upute i smjernice za gradnju, rad, uklanjanje grešaka

u radu i nadogradnju sustava programa ili uređaja (software ili hardware). Laseri za ovakve CNC uređaje se mogu pronaći u vrijednostima snage između 200 mW i 15 W.

Komercijalni CNC laserski uređaji su pretežno industrijski CNC strojevi s laserom kao alatom za obradu različitih materijala i dostupni su u raznim verzijama. Riječ je o uglavnom o profesionalnim alatima u kojima je ugrađen laser snage iznad 80W, ovisno o modelu i primjeni, a nerijetko reda snage i do nekoliko KW. Uz laser mogu imati dodatno hlađenje obrađenog dijela materijala pomoću plina, najčešće CO<sub>2</sub> i u pravilu su zatvorenog kućišta radne ploče zbog sigurnosti operatera, preciznosti, uklanjanja smetnji i učinkovitije regulacije radnih uvjeta i temperatura unutar stroja.

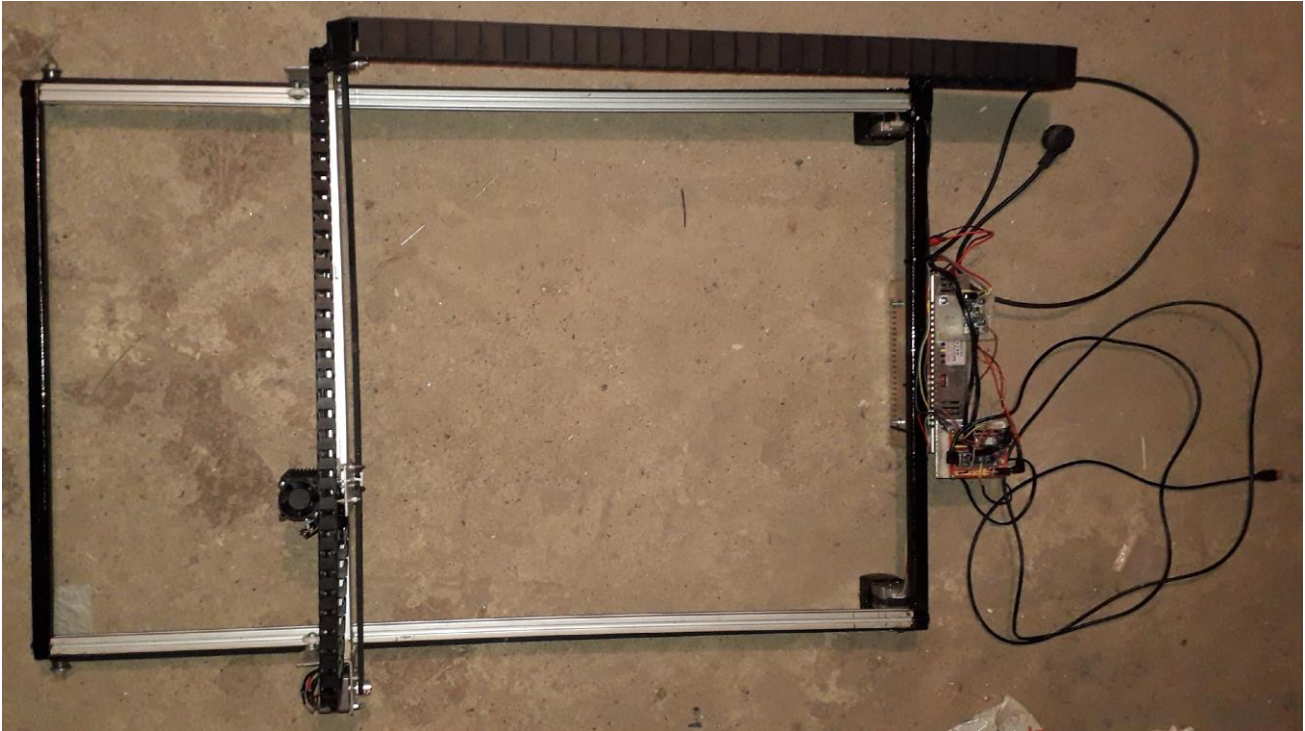
Laser kao radni alat unutar CNC-a u svrhu demonstracije i obrane završnog rada je reda snage 2500 mW, odnosno 2.5 W i vrijednosti laserske spektralne linije 445 nm.



*Slika 2.13: Laser snage 2500 mW*

*Izvor: <https://www.banggood.com>, pristup ostvaren 21.6.2017.*





*Slika 2.14: Laserski CNC*

### 2.2.1. Laserska obrada

Konvencionalno svjetlo proizvodi valove koji zrače u svim smjerovima kako bi se ispunilo i osvjetljavalo široko područje. Energetski intenzitet brzo se smanjuje dok se valovi udaljavaju od izvora. Laseri, pružaju tok kolimiranih, koherentnih svjetlosnih valova koji mu daju izvanrednu snagu i sposobnost usmjeravanja. U nedostatku disperzije svjetla laser se može lako projicirati kao zraka na relativno dugim udaljenostima, a istovremeno održava gotovo svu izlaznu snagu. Upotreba lasera za rezanje može se promatrati na isti način kao i fokusiranje sunčeve svjetlosti povećalom za proizvodnju koncentriranog izvora toplinske energije.

Izvor <http://www.ctechlaser.com.au> objašnjava kako se poprečni presjek profila laserske zrake naziva Mod (eng. Mode). Opisuje se terminom TEM (Transverse Electromagnetic Mode) i odnosi se na mogućnost fokusiranja snopa laserske zrake. Također se može opisati stupnjem oštine žarišne točke za obradu materijala. Laser se može koristiti za rezanje materijala izlaganjem intenzivnoj toplinskoj energiji razvijenoj njegovom snopom svjetlosti. Ako je ulazna vrijednost topline na materijal veća od sposobnosti materijala da reflektira, provodi ili raspršuje



dodanu energiju, to će uzrokovati naglo povećanje temperature materijala u tom trenutku. Ako je porast temperature dovoljan, ulazna toplina ulaza prouzročiti nastajanje promjena na tom dijelu materijala, odnosno isparavanje, taljenje ili paljenje materijala. Linearno kretanje intenzivne toplinske energije u odnosu na materijal rezultira rezanjem. U većini slučajeva energija neusklađenog snopa zraka visoke snage industrijskih lasera ima je neupotrebljiva za nešto više od polaganog zagrijavanja površine. Stoga se snop zraka usmjerava kroz objektiv za izoštravanje. Na taj način se omogućuje energiji da se koncentrira u točku manju od 0,25 mm, čime se stvara gustoća snage iznad milijun Watta po kvadratnom centimetru, što je snaga koja može rezultirati isparavanjem, paljenjem ili taljenjem niza materijala.

Dok je intenzivna toplina u stanju obrađivati materijal na navedeni način, kontrola te topline je vrlo bitna za određivanje kvalitete obrade materijala.

Laseri su označeni po snazi izraženoj u Wattima. Laserski snop snage 2.5 W s visokokvalitetnim je prikladan za rezanje papira, ali nije dovoljno snažan da bi proizveo dovoljno topline za obradu metalnih materijala. Veća snaga omogućuje brže brzine obrade i sposobnost rezanja debljih i zahtjevnijih materijala.

Budući da se kvalitetni rezultati dobivaju primjenom konstantne energije, stabilnost izlazne snage lasera je ključna značajka rezanja. To uključuje održavanje izlazne energije (stabilnost snage), ujednačenu kvalitetu zrake (stabilnost načina rada) i koncentraciju fiksne energije. Ako se snaga povećava ili smanjuje za više od nekoliko posto tijekom kratkotrajnog rada, kvaliteta obrade materijala značajno oscilira, što je potrebno izbjeći.

U obradi metala i keramike, nasumična pojava neujednačene kakvoće se može pripisati učincima polarizacije. Nekontrolirana ili slučajna polarizacija karakteristična je za većinu standardnih lasera za obradu materijala. Ta pojava može nepredvidljivo utjecati na stupanj apsorpcije energije zrake koja obrađuje materijal u određenom trenutku. Da bi se ispravila navedena nedosljednost, laseri mogu biti opremljeni optičkim paketima za ispravak polarizacije koji fiksiraju polarizaciju u isti smjer djelovanja rezanja ili cirkuliraju izlaz polarizacije kako bi se dobila ekvivalentna spojnica bez obzira na putovanje smjera.

Važno sredstvo upravljanja laserskog rezanja je visoka razina kontrole varijabli koje utječu na proces. Tijekom postupka laserskog rezanja, leća mora biti pravilno postavljena zbog optimalnog položaja žarišne, odnosno fokalne točke da bi se postigli najbolji rezultati rezanja. U većini slučajeva fokalna točka je postavljena na površinu ili malo ispod površine materijala. Iznad ili ispod te točke gustoća snage će se sužavati, centrirati i stabilizirati sve dok ne počne optimalno učinkovito rezati.

Pomoćni plin se dozira koaksijalno s fokusiranom zrakom kako bi zaštitio leću i pomogao u postupku uklanjanja materijala. Općenito, komprimirani zrak ili inertni plin koriste se za uklanjanje rastopljenog i isparenog materijala iz područja rezanja. Za većinu aplikacija kod rezanja metala može se upotrijebiti reaktivni plin kao pomoć egzotermnim reakcijama. Kod upotrebe kisika, poboljšani intenzitet energije (npr ubrzano izgaranje) može poboljšati brzinu rezanja za 25% - 40% u usporedbi s rezultatima dobivenim korištenjem zraka.

Osim tipa plina, važan je i sustav mlaznice kod isporuke plina. Uobičajeno, tlakovi od 3-4 bara razvijeni u mlaznici plina koriste se za rezanje tankog materijala pri velikim brzinama kako bi se spriječilo prijanjanje otpadnog spaljenog materijala na stražnji rub obrađivanog materijala. Tlak se smanjuje kada se debljina materijala povećava ili se brzine procesa usporavaju.

Mlaz stlačenog pomoćnog plina služi za:

- Pomoć pri uklanjanju materijala izbacivanjem viška materijala kroz stražnji dio obradnog materijala
- Zaštitu leće od prskanja izbačenog materijala kao i para, dima i plinova iz područja rezanja
- Pospješivanje paljenja materijala, odnosno povećavanje korisnosti rada.

Najbolji primjer kemijskog učinka pomoćnog plina je uporaba kisika za rezanje čelika, pri čemu se performanse povećavaju egzotermnom reakcijom izgaranja željeza u kisiku.

### 2.2.2. Materijali pri laserskoj obradi

Nadalje, izvor <http://www.ctechlaser.com.au> pojašnjava kako su laseri sposobni generirati visok intenzitet topline, nisu u stanju paliti i rezati sve materijale. Svaki materijal ima specifična svojstva, zbog čega neki materijali nisu prikladni za obradu laserom. Prikladnost korištenja lasera za obradu pojedinog materijala ovisi o tome koliko kvalitetno toplinska energija obrađuje pojedini materijal.

Interakcija ovisi o tri ključna svojstva materijala.

- Površinski uvjet - koliko kvalitetno materijal u početku obrade apsorbira energiju
- Svojstva toka topline - koeficijenti toplinske difuzivnosti i vodljivosti materijala
- Uvjeti za promjenu toplinske faze - količina topline potrebna za izazivanje promjena gustoće materijala, specifične topline i latentne temperature isparavanja.

Općenito, nemetalni materijali su dobri apsorberi infracrvene energije ali su uglavnom loši vodiči topline i imaju relativno niske temperature vrenja. Kod rada s nemetalima, energija fokusiranih zraka gotovo se na licu mjesta prenosi u materijal koji ubrzo isparava.

Laseri se primjenjuju u strojnim obradama mnogih vrsta plastike zbog sposobnosti rezanja složenih geometrijskih oblika, s značajnim prednostima bez dodirivanja radnog komada. Laser je intenzivan izvor topline koji brzo razgrađuje sastav polimernih materijala.

Obradom termoplasta sa relativno niskim temperaturama taljenja su uobičajeni čisti rezovi s urednim rubovima. Kontrola procesa se provodi kako bi se smanjile ili uklonile nepravilnosti, mjehurići ili prisutnost sitnih brazda na stražnjoj strani obrađenog materijala.

Pri obradi čvršćih polimera se događa ponovno samozavarivanje duž ruba rezanja. Kako bi se samozavarivanje spriječilo, potrebno je povećati intenzitet energije po jedinici vremena i tako potaknuti izgaranje materijala. Zadovoljavajući rezultati su postignuti s poliestrom i polikarbonatom, iako općenito postoji značajan sloj raspadnutog materijala uz vanjski obradni rub kod obrade fenola, poliamida i PVC-a. Posebnu pozornost je potrebna pri rezanju nekih polimera, posebno lucita i PVC-a, zbog zadržavanja i poželjnog filtriranja potencijalno opasnih ili korozivnih isparavanja koje nastaju kao posljedica paljenja.

Kompozitne materijale, odnosno nove lagane polimere ojačane vlaknima teško je obrađivati s uobičajenim alatima za rezanje. Pri obradi tih materijala je poželjno nekontaktno rezanje, prvenstveno laserska obrada. Temperatura koju laser razvija pri obradi osigurava rubove, čime se sprječava lomljenje vlakana. Za deblje kompozitne materijale, posebno materijale koji se sastoje i od ugljičnih vlakana, postoji veća opasnost toplinskog oštećenja duž reznog ruba čime se smanjuje prihvatljivost rezanja laserom. Kao i kod rezanja polimera, treba paziti na uklanjanje štetnih isparavanja.

Prirodna i sintetička guma se lako obrađuje pomoću fokusirane laserske zrake što omogućuje precizno dimenzioniranje i izradu elemenata poput gumenih brtvila.

Prednost laserskog rezanja gume je jednostavnost rukovanja bez mogućnosti istezanja ili iskrivljavanja materijala zbog utjecaja alata za rezanje. Svježije rezani uzorci gume su često ljepljivi uz rub i je potrebna pažnja u postupku rukovanja gumom neposredno poslije procesa rezanja.

Laserska obrada drveta ima niz predosti. Konkretno, omogućuje uske obradne rezove od 0,3-0,8 mm, odsutnost piljevine, mogućnost konture u svakom smjeru bez trošenja obradnog alata i bez buke. Lasersku obradu karakteriziraju "spaljeni" rubovi. Primjenjivanje lasera kao obradnog alata za druge industrijske primjene otežano je ograničenjima procesa i relativno visokim početnim ulaganjima. Budući da su praktični, industrijski laseri jače izlazne snage, ipak vrlo ograničeni na maksimalnu moguću snagu od nekoliko kilowatta, obrada laserom je ograničena i u pogledu mogućnosti rezanja drveta, maksimalno do 75 mm debljine punog drveta i 25 mm za šperploče.

Papirni proizvodi, koža i tekstil, lako se mogu rezati laserom. Mala debljina, i svojstvo lake zapaljivosti navedenih materijala smanjuje zahtjeve izlazne snage lasera na ne više od nekoliko stotina wata. Postignuti obradni rubovi su čisti i uredni.

Većina vrsta stakla je sklona toplinskom šoku i nepravilnom pucanju duž ruba obrade pa stoga nisu prikladni za lasersko rezanje.

Borosilikatnim staklima je svojstven nizak koeficijent ekspanzije i takvi materijali mogu tolerirati unos topline laserskom obradom. Trenutačna toplina laserske zrake omogućuje rezanje pojavom taljenja ili isparavanja, kao i puhanjem rastaljenog stakla iz obradne zone.

Iako gotovo svi metali imaju svojstvo visokog reflektirajnja infracrvene energije, može ih se obrađivati sa posebnim laserskim alatima. Laserski alat koji se uspješno primjenjuje za rezanje mnogih metala je CO2 laser sa 10,6 mikronskom valnom duljinom (infracrveno svjetlo visoke vrijednosti). Početna apsorpcija u materijalu se može kretati od 10% do 0,5% energije. Međutim, usredotočenost zrake za postizanje gustoće snage veće od 1 milijuna Watta po  $\text{cm}^2$  može brzo (u nekoliko mikrosekundi) pokrenuti površinsko taljenje. Apsorpcijske karakteristike većine metala u njihovim rastaljenim stanjima dramatično se povećavaju, povećavajući apsorpciju energije do čak 60% - 80%.

Uobičajeni čelici do 16 mm debljine imaju dobra svojstva za lasersko paljenje pomoću kisika. Rezni rubovi su glatki, čisti i pravilni. Utvrđeno je da prisutnost džepova fosfora i sumpora u strukturi čelika može uzrokovati izgaranje duž ruba rezanja, ali obrada čelika s niskim udjelom nečistoća i većim sadržajem ugljika rezultira boljom kvalitetom ruba.

Zbog svoje visoke toplinske vodljivosti i visoke reflektivnosti valne duljine lasera aluminij zahtijeva znatno veći intenzitet energije da bi se potaknulo lasersko rezanje u odnosu na čelik. Potreban je iznimno kvalitetni laserski uređaj koji je u stanju isporučiti barem 500 Watta snage, uz preciznu kontrolu fokusa zrake. Tijekom postupka rezanja pomoćni plin služi prvenstveno za puhanje rastaljenog materijala iz zone rezanja. To pomaže u stvaranju rubne kakvoće, međutim, rastopljeni materijal ima tendenciju teći po rubu i prijanjati na stražnji dio rezanja.

### **2.3. Laserski CNC**

Praktični projekt za izradu završnog rada je izrada laserskog CNC stroja. Dimenzije konstrukcije uređaja su 1000mm x 600 mm, što je veličina za obradu materijala za različitu upotrebu. Korišteni motori su standardni NEMA 17 bipolarni koračni motor, mikrokontroler je Arduino Nano sa proširnom elektroničkom pločicom CNC Shield V4 a kao obradni alat, korišten je laser snage 2500 mW.

Proširna pločica (expansion bord CNC shield V4) sadržava utore za postavljanje tri drivera A4988 za koračne motore. Na ovom sustavu nisu potrebna sva 3 drivera jer su pokretne samo dvije upravljane koordinatne osi za kretanje motora. U upravljačkom kodu za potrebe rada odnosno upravljanja CNC-om postoje upravljačke naredbe za X i Y os, pa izlazi za driver Z osi, koja nije u upotrebi su također deaktivirani u GRBL upravljačkom programu.

Kod same gradnje odnosno izrade uređaja, okvir se sastoji od dva aluminijska profila dimenzija 20mm x 20mm koji su bočne stranice i ujedno vodilice sa kliznim elementima u za to predviđenim utorima. Okvir se sastoji i od jednog aluminijskog profila 20mm x 40mm koji služi kao pokretna ruka i nosač lasera. Dimenzije 20x40 su idealne zbog veće širine za montiranje nosača lasera i lasera kao radnog alata za obradu, kao i zbog veće nosivosti i robusnosti pokretne ruke. Navedeni profil, (20x40) sadrži 6 preciznih utora za klizne metalne vodilice, čijom primjenom kod same

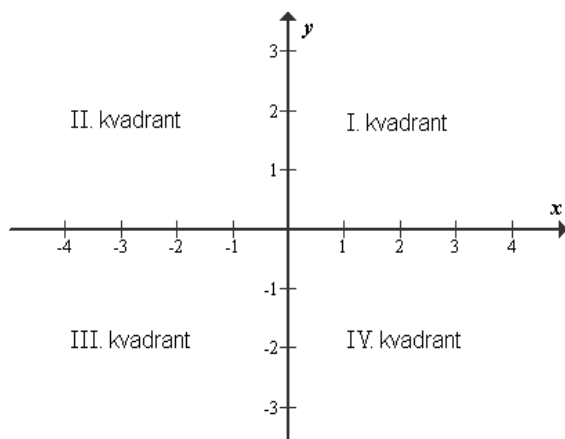
gradnje bi se povećala preciznost klizanja svojstvena čvrstom hvatu sustava prijenosa, sa što manje praznog hoda između utora vodilice i nosača lasera.

Ostali dijelovi konstrukcije se sastoje od četvrtastih željeznih cijevi 20 x 20 mm, te aluminijskih rubnika i poveznica za pokretnu ruku i vodilice.

## 2.4. Upravljanje sustavom

Pri upravljanju sustavom potrebno je koristiti koordinatni sustav za organizaciju vrijednosti parametara i oznaka. Vrijednosti koje su označene u upravljačkom programu moraju odgovarati diskretnim linearnim pomacima u radu CNC stroja.

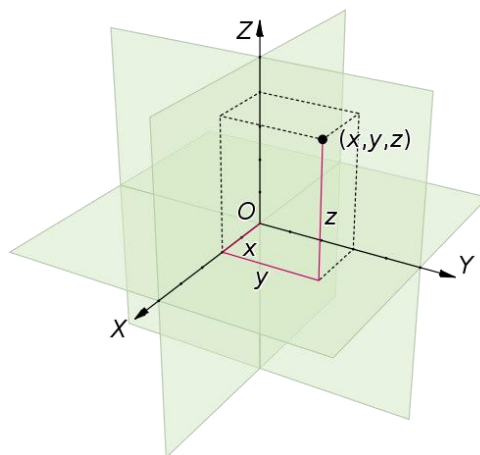
### 2.4.1. Kartezijev koordinatni sustav



Skica 2.2. Dvodimenzionalni Kartezijev koordinatni sustav

Točka ishodišta X i Y osi koje sijeku jedna drugu pod  $90^\circ$  je definirana tako da osi X i Y u toj točki imaju vrijednost 0.

Sve vrijednosti na X osi, desno od sjecišta sa Y osi imat će pozitivnu X vrijednost i sve vrijednosti na Y osi iznad sjecišta sa X osi imat će pozitivnu Y vrijednost. Isto se primjenjuje kada Kartezijev sustav prikaže u trodimenzionalnom obliku. Uobičajeno je koristiti koordinate osi u određenom rasporedu koji označava redosljed. Redosljed je X, zatim Y, i, konačno, Z.



Skica 2.3.: Trodimenzionalni Kartezijev koordinatni sustav

Izvor: <http://www.wikiwand.com>, pristup ostvaren 25.6.2017.

Upotrebom navedenog obrasca za vrijednosti X, Y i Z osi, nije potrebno označavati pojedinu os jer se u G kodu numeričke vrijednosti odnose na određenu os, i pridržavaju se zadanog rasporeda. Na primjer, način predstavljanja koordinatne točke  $X = 3$ ,  $Y = 5$  i  $Z = 1$  u G-kodu, (uz naredbe u tom redu koda ) bio bi 3,5,1.

U kvadrantima II, III i IV (Skica 2.2.) jedna od X ili Y vrijednosti najčešće ima barem jednu negativnu lokacijsku vrijednost, odnosno negativan predznak, dok su sve vrijednosti koordinata u kvadrantu I pozitivne vrijednosti. Upravo u tome leži razlog upotrebe kartezijevog sustava u CNC strojevima. U velikoj većini CNC strojeva, sa iznimkom laserskog CNC-a je potrebno gibanje u svim smjerovima po sve 3 osi. [1]

## 2.4.2. G-kod

G-kod jezik je alfa-numerički ASCII strojno-komandni jezik, odnosno skup naredbi i funkcija koje sustav upravljanog stroja interpretira u diskretne kretnje. G-kod nije vrsta programskog jezika koji zahtijeva ručno kodiranje prije korištenja. Prilikom konfiguriranja izlaza upravljačkog programa, potrebno je odabrati vrstu postprocesorske datoteke tako da upravljački program potpuno razumije dobivene specifične izlazne vrijednosti G-koda.

G-kod se smatra industrijskim standardom za jezik kontrole alatnih strojeva, ali kao takav nije potpuno standardiziran jer proizvođači ponekada dodaju naredbe specifične za svoje proizvode. Standard koji se uglavnom koristi u SAD-u je RS274D, a u Europi se najčešće koristi DIN 66025 ili ISO 6983.

Stvaranje G-koda za obavljanje određenog rada na CNC stroju se odrađuje automatski unutar softwera za upravljanje ili pomoćnih programa za obradu slike, nacрта i generiranje G-koda. Nakon što se u program unese skicu koju treba izraditi, software izračunava najbrži, najkraći i najučinkovitiji put za izvršavanje zadanog naloga. U idućem koraku software generira G-kod koji korisnik može sačuvati i ručno učitati na odvojenu jedinicu CNC stroja, ili ako je CNC stroj upravljan direktno iz programa na računalu, tada šalje nalog za učitavanje G-koda na memoriju mikrokontrolera. Datoteka koja sadrži G-kod je upravljački dokument koji nakon učitavanja u memoriju CNC stroja šalje upravljačke smjernice za obavljanje diskretnih linearnih pomaka.

Navedeni g-kod je generiran pomoću programa „LaserGRBL“, nakon učitavanja fotografije koju program prilagođava mogućnostima laserske izrade skalom crno bijele boje. Nakon uređivanja kontrasta slike, vrlo jednostavno se generira potrebni G kod.

Naveden je samo mali dio koda zbog uočavanja preglednosti i logike sintakse programskog jezika.

%

G1 X23,833 Y6,083 – aktiviranje lasera, pozicioniranje radnih točki po osi X i osi Y

M03 - pokretanje rada lasera, paljenje

G1 X23,750 Y6,083 – pisanje laserom, zatim pozicioniranje na nižu vrijednost koordinatnog sustava (lijevo) po X osi

M05 - zaustavljanje rada lasera, gašenje

G0 X23,417 Y6,167 – koordinirano linearno gibanje, pomicanje prema nižoj vrijednosti X osi i višoj vrijednosti po Y osi

M03 - pokretanje rada lasera



G1 X23,917 Y6,167 - koordinirano gibanje, pomicanje prema višoj vrijednosti koordinatnog sustava - (desno) po X osi

M05 - zaustavljanje rada lasera, gašenje

G0 X24,083 Y6,250 – linearno koordinirano gibanje

M03 - pokretanje rada lasera

G1 X23,500 Y6,250 – koordinirano gibanje

M05 - zaustavljanje rada lasera, gašenje

G0 X23,417 Y6,333 - linearno koordinirano gibanje

M03 - pokretanje rada lasera

G1 X24,000 Y6,333 – koordinirano gibanje

M05 - zaustavljanje rada lasera, gašenje

G0 X23,583 Y6,500 – linearno koordinirano gibanje

M03 - pokretanje rada lasera

G1 X68,667 Y47,750 – koordinirano gibanje

M05 - zaustavljanje rada lasera, gašenje

G0 X0.0 Y0.0 - povratak na nultu (početnu) točku koordinatnog sustava radne površine

M30 - završavanje programa

%

Promatrajući G-kod za vrijeme upravljanja rada laserom s obzirom na linearno gibanje CNC stroja po zadanim osima, može se primijetiti da laser kao radni alat dobiva naizmjenične naloge za paljenje dok se rad obavlja u jednom smjeru, i gašenje za vrijeme pozicioniranja nove početne radne točke u nizu.

Navedeni G kod je specifičan za rad laserskog CNC-a jer ne postoji naredba za pomak Z-osi koja se u većini drugih CNC strojeva koristi za upravljanje pomaka obradnog alata prilikom obrade samog materijala.

### 3. REALIZACIJA SUSTAVA LASERSKOG CNC

CNC stroj je izgrađen po uzoru se na slične, uobičajene CNC strojeve, prilagođavanjem postojećih rješenja. CNC stroj će imati samo dvije pokretne osi, X i Y jer laseru kao radnom alatu nije potrebno spuštanje i podizanje po Z – osi.

#### 3.1. Mehanički ustroj



*Slika 3.1:alumijski profili vodilice*

Na slici 3.1 su vidljivi alumijski profili, 2 komada od 1000mm dužine, 20x20 širine i 1 kom 600 mm dužine, 20x40 širine, s vanjskim otvorima od 5 mm za ugradni klizni ležaj



*Slika 3.2: plastificirani kuglični ležaj*

Slika 3,2 pokazuje plastificirani kuglični ležaj, odgovarajućih dimenzija za utore vodilica aluminijskih profila. Višestruki ležajevi na aluminijskim vodilicama osiguravaju prianjanje, stabilnost, preciznost i minimalan otpor pri kretanju po utoru, kao i rad stroja po zadanim osima.



*Slika 3.3: zupčaste remenice*

Slika 3.3 prikazuje zupčaste remenice, koriste se za prijenos zakretnog momenta koračnih motora na zupčasti remen. Vanjska i unutarnja prirubnica služe sprječavanju ispadanja remena iz ležišta a zupci ne dozvoljavaju proklizavanje u kontroliranim radnim uvjetima.



*Slika 3.4: zupčasti remen*

Slika 3.4 prikazuje zupčasti remen koji se reže na potrebnu mjeru i krajevi se učvršćuju spojnicom i vijcima na predviđeno mjesto kućišta pokretne ruke koja nosi laser ili na samu pokretnu ruku.



*Slika 3.5: kuglični ležajevi*

Na slici 3.5 su kuglični ležajevi, koriste se za pozicioniranje zupčastog remena. Nalaze se na suprotnoj strani konstrukcije CNC stroja od zupčaste remenice. Služe i kao stabilna točka s minimalnim otporom sa svrhom optimalnog zatezanja zupčastog remena.



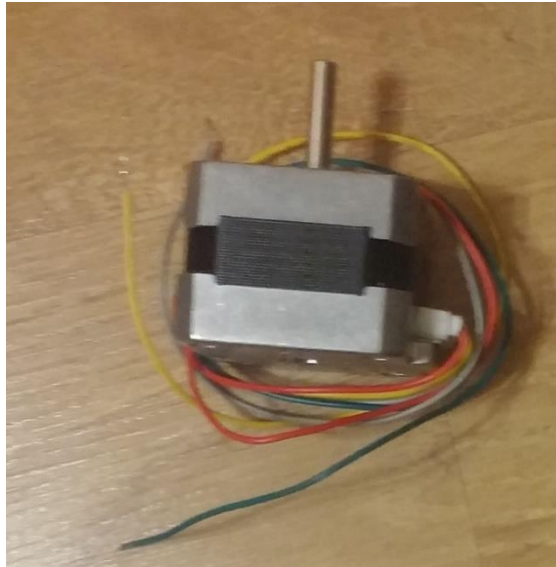
Slika 3.6.: strujno napajanje od 250 W, 12V

### 3.2. Senzori i aktuatori



Slika 3.8: krajnji prekidač

Krajnji prekidači su jedini senzori u ovakvom CNC stroju. Oni služe kao osigurači protiv nastanka štete od nepredviđenog linearnog kretanja elementa po vodilici CNC stroja uslijed preskakanja remena. Postavljaju se na rub svake osi i potrebna su 4 komada.



*Slika 3.9: NEMA 17 koračni motori*

Koračni motor se postavlja na točke s kojih je najjednostavnije prenijeti silu zakretnog momenta na osi u svrhu linearnog kretanja po vodilicama.



*Slika 3.10: Laser 2500 mW, 445 nm*

Laser je obradni alat CNC stroja snage 2500 mW. Snaga je dovoljna za obradu mekih nereflektivnih materijala poput drveta, papira, gume, pojedinih polimera i kože.

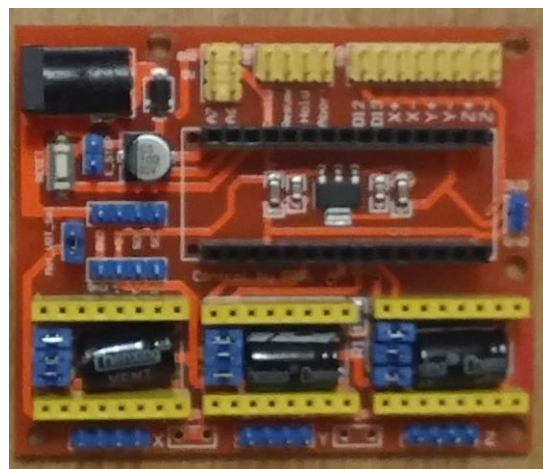


### 3.3. Upravljački sustav



*Slika 3.11: Arduino Nano*

Arduino Nano je mikroračunalo koje izvršava sve zadane naloge. Da bi mikroračunalo moglo funkcionirati u navedenom sklopu potrebni su mu dodaci (pločica i driveri) koji zajedno čine upravljačku cjelinu.



*Slika 3.12: CNC Shield V4*

CNC shield je elektronska pločica namijenjena za spajanje Arduino Nano mikroračunala, koračnih motora, lasera i strujnog napajanja.

Sadrži 3 mjesta za postavljanje drivera koračnih motora ali s obzirom da firmware određuje funkcionalnost komponenti, u upotrebi je samo X i Y os.



GRBL upravljački program je razvijen na temelju Arduino Uno mikrokontrolera i proširne pločice CNC Shield V3. Iako je GRBL zamišljen kao firmware kojeg je moguće učitati kao hex datoteku, u ovom slučaju, kod korištenja CNC shielda V4, to nije moguće.

CNC shield V4 sadrži grešku u izlazu pinova u utore za drivere X osi, na način da je zrcalno izokrenuta lijeva i desna strana izlaza pinova na X osi.

CNC shield je moguće popraviti fizičkom prepravkom pločice, ili jednostavnije, uređivanjem datoteke „cpu\_map.h“



*Slika 3.13: Driverei za koračne motore*

Driverei za koračne motore, oznake DRV8825 su novija, poboljšana verzija od uobičajenih A4988 drivera ali rade na identičnom principu i jednako se spajaju. Razlika je u većoj preciznosti kod radnih koraka. Ovi driverei omogućuju slanje naloga za preciznije kretnje, čak do 1/32 koraka.



*Slika 3.14.: Driver za laser*

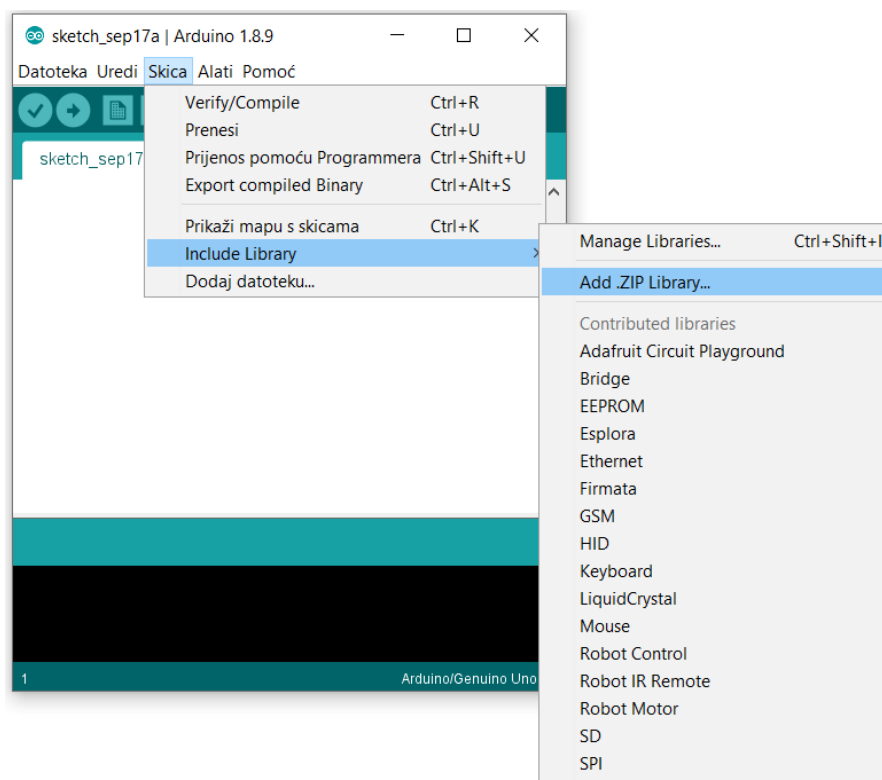
Laserski driver je uređaj koji preko izlaza sa Arduino Nano mikroračunala kontrolira rad laserskog radnog alata na CNC stroju. Sadrži ulaz za napajanje i izlaz za kontrolu lasera i rashladnog ventilatora lasera.

### 3.4. Algoritam upravljanja

GRBL je upravljački program za arduino mikrokontroler, odnosno firmware napravljen u viskooptimiziranom C programskom jeziku. Specijaliziran je za AVR Atmega 328 čipove koji su standardni dio Arduino mikrokontrolera. GRBL firmware omogućuje komunikaciju između upravljačkog programa i datoteke komandnog jezika G-kod. GRBL se može učitati u mikrokontroler kao prilagođena .hex datoteka i kao Arduino kod koji se može uređivati. Datoteka sa .hex ekstenzijom je kod GRBL algoritma posebno prilagođen određenoj tipu arhitekture CNC uređaja, i ne zahtjeva nikakvo uređivanje ali u ovom slučaju nije upotrebljiva zbog greške u dizajnu Shield V4 proširne pločice.

Prilagođavanje GRBL-a se izvršava putem uređivanja konfiguracijskih datoteka „config.h“ i „cpu\_map.h“ na slijedeći način:

Potrebno je skinuti datoteku sa razvojne web stranice <https://github.com/gnea/grbl/releases> komprimiranu mapu „grbl-1.1h.20190825.zip“ i izdvojiti ju na računalo. Zatim je potrebno dodati grbl folder (C:\Users\Admin\Downloads\grbl-1.1h.20190825\grbl-1.1h.20190825\grbl) pod libraries.



Slika 3.15.: Arduino IDE razvojno sučelje

Potrebno je preurediti postavke GRBL-a da bi bilo moguće učitati ga kao firmware na Arduino razvojnu pločicu.

Shield V4 je konstruiran za mikrokontroler Arduino Nano, a GRBL je konstruiran prvenstveno za Arduino Uno i Shield V3. Nakon učitavanja osnovne verzije GRBL firmwarea se pojavljuje greška koja onemogućava kretanje motora. Razlog greške je razlika u rasporedu izvoda razvojne pločice koji putem impulsa upravljaju kretanje motora. Greška se uklanja u datoteci „cpu\_map.h“ na način prikazan u slici 3.15.

```

36 // Define step pulse output pins. NOTE: All step bit pins must be on the same port.
37 #define STEP_DDR      DDRD
38 #define STEP_PORT    PORTD
39 #define X_STEP_BIT    5 // Uno Digital Pin 2
40 #define Y_STEP_BIT    6 // Uno Digital Pin 3
41 #define Z_STEP_BIT    7 // Uno Digital Pin 4
42 #define STEP_MASK     ((1<<X_STEP_BIT) | (1<<Y_STEP_BIT) | (1<<Z_STEP_BIT)) // All step bits
43
44 // Define step direction output pins. NOTE: All direction pins must be on the same port.
45 #define DIRECTION_DDR  DDRD
46 #define DIRECTION_PORT PORTD
47 #define X_DIRECTION_BIT 2 // Uno Digital Pin 5
48 #define Y_DIRECTION_BIT 3 // Uno Digital Pin 6
49 #define Z_DIRECTION_BIT 4 // Uno Digital Pin 7
50 #define DIRECTION_MASK ((1<<X_DIRECTION_BIT) | (1<<Y_DIRECTION_BIT) | (1<<Z_DIRECTION_BIT)) // All direction bits

```

Slika 3.16: Uređivanje datoteke cpu\_map.h

Potrebno je urediti konfiguracijsku datoteku „config.h“, u slučaju greške zbog nekonzistentnosti koda u Arduino razvojnom sučelju. Definira se dio koda koji u slučaju upotrebe i Z osi, upravlja obradni alat (spindle). Aktivacijom odnosno dekomentiranjem dijela koda se oslobađaju arduino pin na koje je moguće spojiti laser kao radni alat, kao što je prikazano u slici 3.16.

```
351
352 // By default on a 328p(Uno), Grbl combines the variable spindle PWM and the enable into one pin to help
353 // preserve I/O pins. For certain setups, these may need to be separate pins. This configure option uses
354 // the spindle direction pin(D13) as a separate spindle enable pin along with spindle speed PWM on pin D11.
355 // NOTE: This configure option only works with VARIABLE_SPINDLE enabled and a 328p processor (Uno).
356 // NOTE: Without a direction pin, M4 will not have a pin output to indicate a difference with M3.
357 // NOTE: BEWARE! The Arduino bootloader toggles the D13 pin when it powers up. If you flash Grbl with
358 // a programmer (you can use a spare Arduino as "Arduino as ISP". Search the web on how to wire this.),
359 // this D13 LED toggling should go away. We haven't tested this though. Please report how it goes!
360 #define USE_SPINDLE_DIR_AS_ENABLE_PIN // Default disabled. Uncomment to enable.
361
```

Slika 3.17: Uređivanje datoteke config.h

GRBL je kompatibilan G-kod standardima i prihvaća do 18 G-kod naredbi prije izvršenja zbog planiranja efikasnijeg i bržeg rada stroja.

Kalibracija parametara u kodu i/ili postavki GRBLa u aplikaciji se mora napraviti prije puštanja stroja u pogon jer koračni motori, ako su različiti po nazivnim karakteristikama mogu imati drukčije parametre vrijednosti broja koraka, ubrzanja, brzine. Isto tako, različiti prijenosni sustavi koji se koriste u CNC strojevima (remenice, zupčaste remenice, zupčanici ili prijenosni vijci) imaju sukladno tome različite vrijednosti prijenosa zakretnog momenta i linearnog pomaka. Potrebno je kalibrirati komponente CNC stroja u GRBL postavkama računalne upravljačke aplikacije.

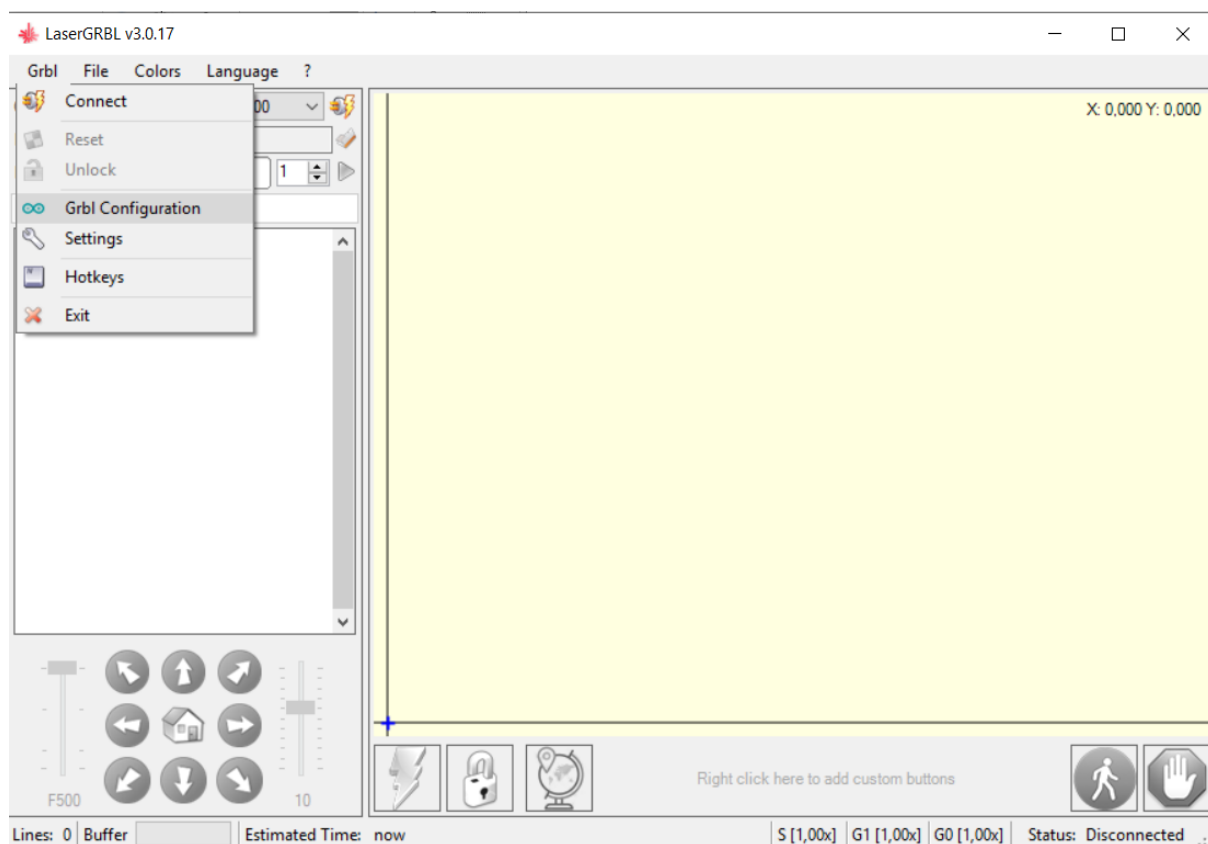
### 3.5. Kalibracija vrijednosti hoda

Prilikom pokretanja programa LaserGRBL (odnosno klikom na ikonicu Connect) se dobije mogućnost testnog pomaka stroja po X i Y osi. Prije prvog pokretanja radnog zadatka, potrebno je dodatno urediti konfiguracijske vrijednosti GRBL firmwarea.

### 3.6. PC aplikacija za upravljanje

Postoji niz jednostavnih programa otvorenog koda koji su pogodni za implementaciju u navedeni sustav. Primjer jednostavne i funkcionalne upravljačke aplikacije je specijalizirani mali program „LaserGRBL“ koji zadovoljava sve potrebe za laserski CNC.

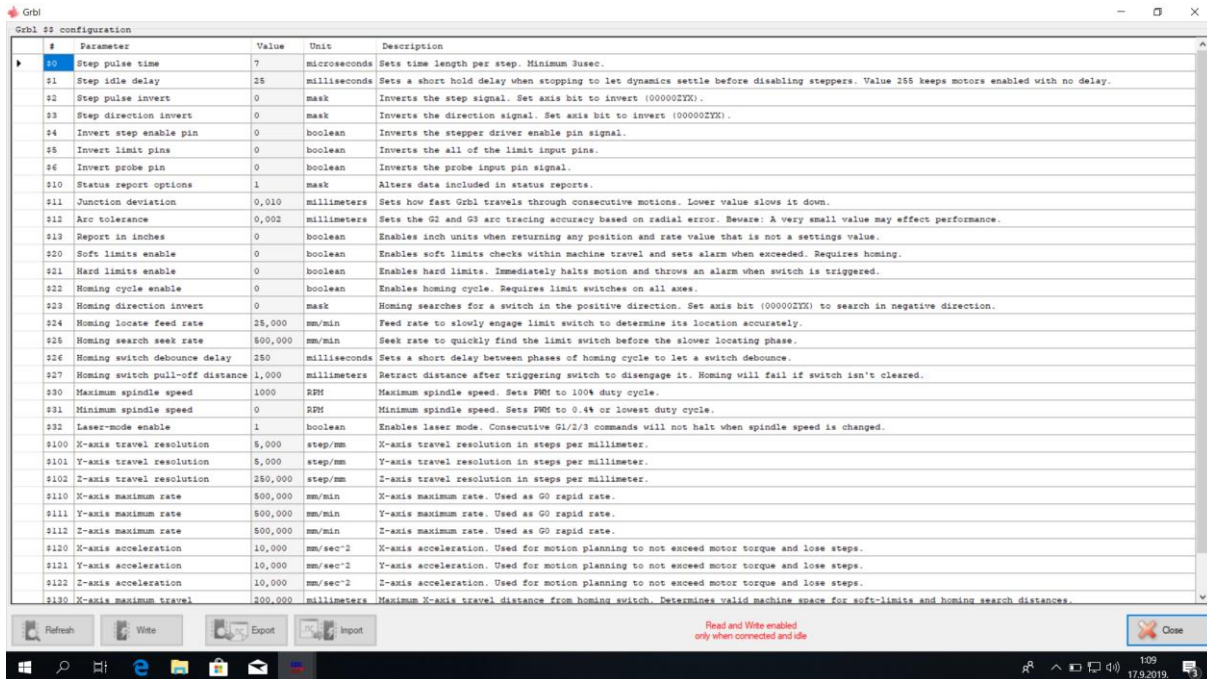
Nakon učitavanja GRBL firmwarea u arduino razvojnu pločicu, potrebno je ostvariti pravilnu, precizno kalibriranu komunikaciju G-kod strojno komandnog jezika sa strojem. To se najjednostavnije ostvaruje pomoću pc upravljačkog programa na konfiguracijskim postavkama.



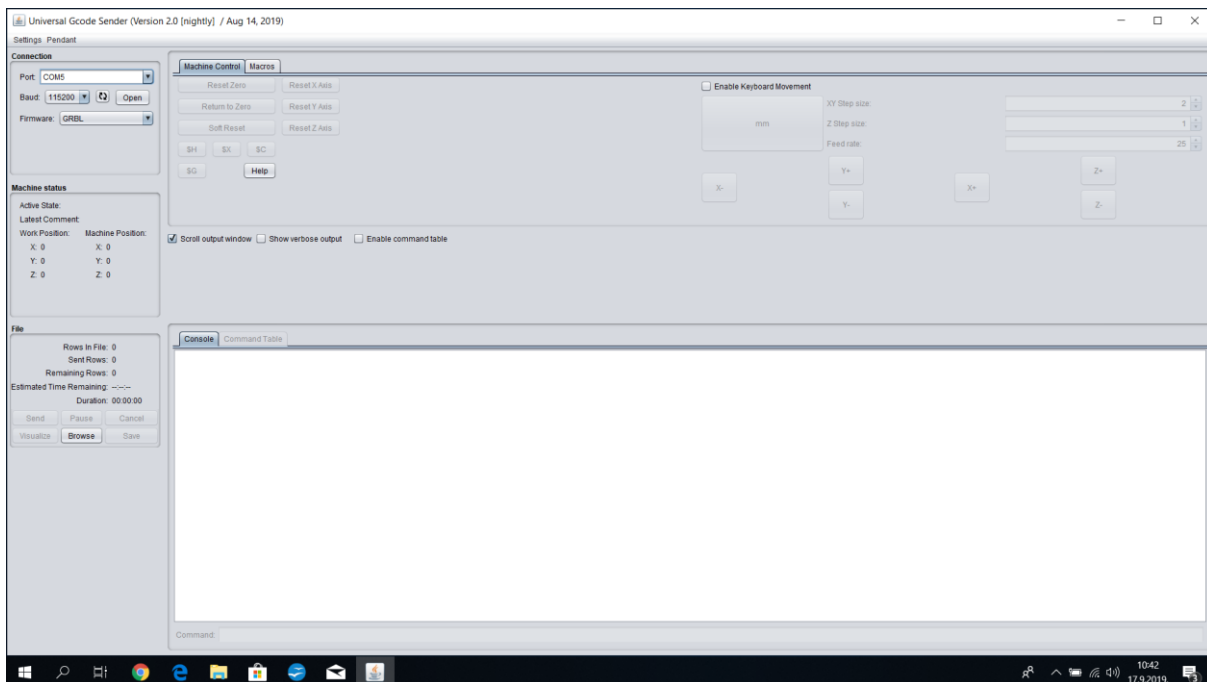
Slika 3.18: program LaserGrbl

Za postavljanje točnih vrijednosti potrebno je izmjeriti upravljani hod po osi stroja i usporediti ga sa idealnim hodom. Izmjerenu, upravljanu vrijednost hoda (primjer 180 mm) je potrebno podijeliti sa idealnom vrijednosti hoda (primjer 100 mm) i rezultat (1.8) pomnožiti sa vrijednosti na oznakama \$100 – za X os i \$101 – za Y os te rezultat unijeti kao novu, ispravnu vrijednost uz navedene oznake.

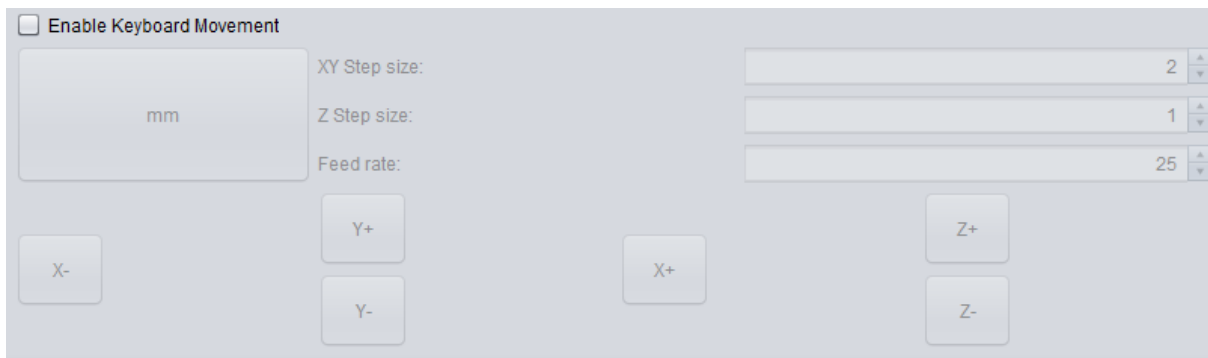
Za precizno mjerenje izmjerene vrijednosti hoda i usporedbu s idealnom vrijednosti hoda, koristi se program Universal Gcode Sender. Prilikom upisa vrijednosti u milimetrima i slanja naloga za pomak CNC stroja po X ili Y osi se može procjeniti razlika između idealnog i stvarnog, upravljanog pomaka.



Slika 3.19: Postavke Grbl firmwarea



Slika 3.20: Program Universal Gcode Sender



*Slika 3.21: precizno testiranje pomoću programa Universal Gcode Sender*

## 4. TESTIRANJE I REZULTATI

Nakon spajanja upravljačkog sklopa CNC-a preko pločice Arduino Nano na USB kabel sa računalom potrebno je pokrenuti program LaserGRBL

Prilikom pokretanja upravljačkog programa LaserGRBL potrebno je:

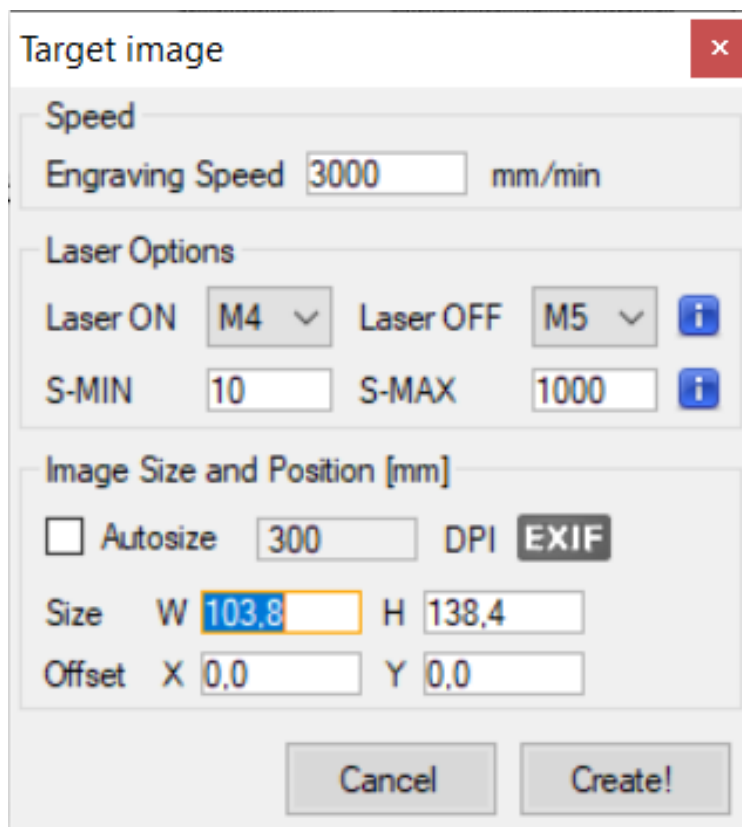
Povezati računalo i upravljački sklop tipkom Connect,.

Odabrati u padajućem izborniku USB port i „Baud“, odnosno Baudrate (broj komunikacijskih pulseva u sekundi) identične vrijednosti kao što je deklariran u GRBL config.h datoteci.

U padajućem izborniku „File“ odabrati „Open“ i odabrati sliku ili fotografiju koja će se ispisati na plohu odabranog materijala.

Postoji mogućnost odabira načina i stila ispisa, promjene kontrast slike, bistrine ispisa i drugih mogućnosti.

Samo upravljanje načina obrade različitih materijala se obavlja u izborniku nakon odabira slike, prijelazom na iduću razinu, klikom miša na tipku „next“.

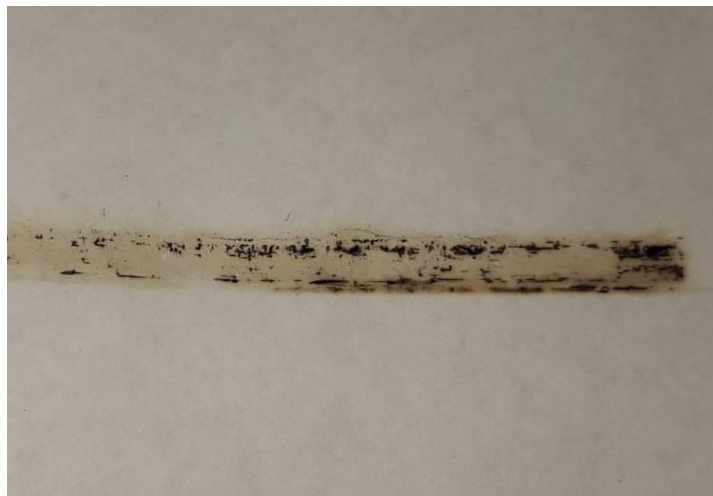


Slika 4.1 upravljanje obradom materijala



Brzina graviranja u milimetrima u minuti, označava vrijeme kroz koje laser prelazi preko materijala kojeg pali, što znači da će materijal nad kojim se laser duže vremena zadržava biti duže izložen paljenju laserskom zrakom. Svaki materijal koji se obrađuje ima određenu specifičnu brzinu za određeni učinak.

Prilikom pisanja laserom po papiru potrebna je najviša testirana brzina graviranja, 3000 milimetara u minuti, što rezultira jasnim ispisnim tragovima dobre kvalitete. Za potrebe rezanja papira laserom, potrebno je smanjiti brzinu graviranja ispod 1000 milimetara u minuti.



*Slika 4.2 Ispis na papir*

Laser pri obradi stiropora se može koristiti za plitko i duboko reljefno oblikovanje, kao i za rezanje stiropora.

Za obradu stiropora potrebna je manja brzina graviranja materijala, između 900 i 2200 milimetara u minuti, ovisno o željenom učinku, tvrdoći i debljini stiropora.

Brzina graviranja od 2200 milimetara u minuti će otopiti 2 milimetara stiropora, dok će brzina od 900 milimetara u minuti otopiti 5 milimetara stiropora.



*Slika 4.3 Ispis na stiropor*

Za obradu drveta potrebna je vrlo mala brzina graviranja, koja također ovisi tvrdoći drveta kao i željenom učinku.

Za blago graviranje drveta je potrebna brzina od 300 milimetara u minuti, dok je za izrazito graviranje potrebna brzina od 30 milimetara u minuti.

Potrebno je prilagođavati brzinu graviranja za svaku primjenu da bi se dobili željeni rezultati.



*Slika 4.4 Ispis na drvo visokom brzinom*



*Slika 4.5 Ispis na drvo niskom brzinom*

## 5. ZAKLJUČAK

Prilikom izrade laserskog CNC-a su korišteni lako nabavljivi i povoljni dijelovi. Stroj je građen na temelju postojećih, isprobanih tehničkih rješenja. Prijenos gibanja se odvija preko aluminijskih nosača koji su ujedno i vodilice za plastificirane ležajeve.

Motori korišteni za pokretanje CNC-a su također, najkorišteniji koračni motori tipa NEMA 17. Upravljanje laserom se odvija preko Arduino Nano razvojne pločice i proširne pločice za pogon motora Nano Shield V4. Preko iste proširne pločice, mikrokontroler daje signal za upravljanje rada driveru lasera. GRBL je temeljni program (firmware) koji je upisan na razvojnu pločicu Arduino Nano i upravlja koordinacijom sustava. CNC dobija naredbe kretanja u različitim smjerovima na temelju kartezijevog koordinatnog sustava. Kod koji daje smjernice, odnosno koordinate kretanja se naziva G-kod.

Računalni program koji se u ovom radu koristi za upravljanje izvršavanja krajnjeg zadatka, odnosno ispisa slike na materijal, je LaserGRBL. Također se opisuje i program Universal Gcode Sender pomoću kojega je lako upravljati strojem i kalibrirati kretanje po X osi i Y osi na željenu vrijednost.

CNC stroj sa laserom snage 2.5W kao radnim alatom može gravirati i rezati različite nereflektivne materijale umjerene tvrdoće poput drveta, raznih polimera, tkanine, kože i papira.

Laserski CNC je vrlo koristan alat za izradu i ukrašavanje različitih predmeta od raznih materijala. Posebno je koristan za precizno rezanje osjetljivih materijala kao što su polimerne folije i tkanine, koje bi bez lasera bilo vrlo teško precizno oblikovati u komplicirane oblike bez opasnosti od uništavanja istih u samom procesu oblikovanja.

Laser kao obradni alat na CNC stroju je vrlo opasan u slučaju da su osobe izložene svjetlosti lasera bez zaštitne opreme, posebno zaštitnih naočala. Zaštitne naočale za rad sa laserom moraju imati zaštitu ekvivalentnu nazivnoj valnoj duljini svjetlosti lasera. Također, dugotrajna izloženost isparavanjima i dimu paljevine različitih polimera, drveta, papira, tkanine i gume je vrlo štetna.

Laserski CNC opisan u ovom radu nije izrađen kao CNC zatvorenog tipa sa svjetlosnom zaštitom, kao ni zaštitom protiv štetnih plinova. Potreban je oprez pri rukovanju s laserskim CNCom i korištenje radne zaštite, a prostorije u kojoj se radi sa ovakvim uređajima moraju biti opremljene kvalitetnom ventilacijom.

## **LITERATURA:**

Alan Overby, CNC Machining Handbook, McGraw-Hill, 2011.

Petruzella, F. D.: Electric Motors and Control Systems, McGraw - Hill, 2010

Laser Cutting Theory, (<http://www.ctechlaser.com.au>), pristup ostvaren 12.6.2017.

[www.shapeoko.com](http://www.shapeoko.com), pristup ostvaren 25.6.2017.

<http://www.cnccookbook.com>, pristup ostvaren 25.6.2017.

## SAŽETAK

Tema ovoga Završnog rada je „Laserski CNC“. U uvodnom se dijelu rada općenito govori o numeričkim strojevima s laserskim rezačem, a posebna pozornost se posvećuje karakteristikama laserskog CNC-a. U glavnom dijelu rada, na temelju stručne literature i internetskih izvora, detaljno se razrađuje upravljanje sustavom CNC-a na primjeru Grbl algoritma upravljanja, strojno upravljačkog jezika G-kod i računalne aplikacije za upravljanje LaserGRBL. Posebna se pozornost posvećuje primjeni ovih spoznaja u poglavlju „Realizacija sustava laserskog CNC-a“, u kojem se prikazuje pristup izradi laserskog CNC kao praktičnog dijela završnog rada. U navedenom poglavlju su opisane komponente stroja. U završnom dijelu rada prikazuje se postupak izrade ali i postojeći praktični problemi i poteškoće te načini i prilagodbe koje je trebalo primijeniti kako bi se te poteškoće nadišle i kako bi se postigao konačni cilj – izrada uređaja koji može imati mnogostruku praktičnu primjenu.

## ABSTRACT

The topic of this Final Paper is „The Laser CNC“. In introductory part, computer numerical control laser machines are discussed generally. Special attention is dedicated to specific technological features of the laser CNC. In the main part of the paper, based on most recent specialized references and internet sources, the elaborates regulation of the CNC system from different points of view, especially on the example of the G-code approach. Special attention is paid to implementation of the acquired insights in the matter within the chapter titled „Realization of the laser CNC system“, in which the creation and production of the laser CNC is presented as practical part of the Final Paper.

## **ŽIVOTOPIS**

Ivan Kordić je rođen 19.07.1985. u Osijeku, osnovnu školu je završio 2000. a srednju Ekonomsku i Upravnu školu u Osijeku 2004. godine. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, stručni studij, smjer Automatika je upisao 2012/2013. a završio 2018/19. akademske godine.

**Prilozi:**

## 1) Shema izlaza i ulaza za Arduino Nano



izvor: <https://ba0sh1.com>, pristup 26.6.2017.