CNC lasersko graviranje

Učeta, Marino

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:582228

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA S P.J.

PULA

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE

MARINO UČETA

CNC LASERSKO GRAVIRANJE

ZAVRŠNI RAD

PULA, 2017.

POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA S P.J.

PULA

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE

CNC LASERSKO GRAVIRANJE

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Elektrotehnika

Profesor (mentor): mr. sc. Radovan Jokić

Student: Marino Učeta

Indeks br:

PULA, srpanj 2017.

ZAHVALA:

Zahvaljujem se svom mentoru, mr. sc Radovanu Jokiću, koji je izdvojio svoje vrijeme kada god je bilo potrebno i sa svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogao pri izradi završnog rada.

Ujedno bih se zahvalio svojim kolegama Filipu Jurmanu, Leonu Garbacu i Amelu Šakanoviću sa kojima sam tijekom studiranja imao zadovoljstvo raditi.

Na kraju bih se zahvalio svojim roditeljima koji su mi bili velika potpora tijekom studiranja i djevojci Manueli Bilić koja je također bila velika potpora tijekom studiranja. Zahvaljujem se i gospođi Gordani Butković na potpori i motivaciji.

Izjava o samostalnosti izrade završnog rada

Izjavljujem da sam završni rad na temu „ CNC Lasersko graviranje“ samostalno izradio uz pomoć mentora mr. sc. Radovana Jokića koristeći stručnu literaturu i znanje stečeno tijekom studiranja. Završni rad je pisan po pravopisu hrvatskog jezika.

Student: Marino Učeta

Potpis:_____

Sažetak

Obrađujući temu završnog rada cnc lasersko graviranje ušli smo u šire područije definiranja načina rada te primjene lasera. U ovom radu su opisani cnc strojevi kao i njihovi djelovi i koji su prednosti i nedostatci takvih strojeva. U sklopu ovog završnog rada izrađen je model laserskog uređaja za graviranje. Opisana je izrada modela kao i način njegova funkcioniranja.

Opisana je povjest uporabe lasera i princip rada lasera. Laseri se nalaze svuda oko nas u čitačima barkodovima, dječijim igračkama, bankovnog kartičnog poslovanja pa sve do sofisticiranih obradnih cnc strojeva. Laserski uređaji za graviranje nam pružaju mogućnost izrade konkretnih potrebnih obradaka poput markiranja i označavanja proizvoda, izrezivanja zadanih obradaka, a razvili su se u visokosofisticirane uređaje kojima se razvija i grana likovne umjetnosti – umjetnička djela laserskim graviranjem

Abstract

By developing the given topic of the thesis, 'CNC Laser engraving', we broached a wider field of defining the method of work and application of lasers. This paper describes the CNC machines as well as their parts and the advantages and disadvantages of such machines. As part of this final work, a laser engraving machine model was developed. The design of the model as well as how it works is described.

The history of laser usage and the principle of laser work is described. Lasers are all around us in bar code readers, children's toys, banking card operations and sophisticated machining machines. Laser engraving devices allow us to perform certain necessary procedures such as marking and tagging of products or cutting out determined workpieces and they also transformed into highly sophisticated devices which even have an influence on visual arts – works of arts created by laser engraving.

Sadržaj

1.UVOD 2
1.1. Opis i definicija problema 2
1.2. Cilj i svrha rada 2
1.3. Metode rada 2
1.4 Struktura rada 2
2. Povjest i tehnike graviranja 3
2.1.Alati za ručno graviranje 4
2.2. CNC strojevi za graviranje 7
3.Značajke graviranja numerički upravljanim strojeva 9
4. Konstrukcija CNC stroja za graviranje 12
4.1.Kučište CNC-a 12
4.2. Pogon CNC-a 17
4.4. Laser 20
4.4.1. Princip rada lasera 22
4.4.2. Izbor lasera u odnosu na materijal 24
4.5. Postupci primjene lasera u obradi materijala 25
4.6. Upravljanje i softver 27
5. Projekt i konstrukcija modela 2D CNC stroja za graviranje 32
6.Zaključak 40
6. Literatura 41

1.UVOD

1.1. Opis i definicija problema

Lasersko graviranje je tehnika kojom se gravira pomoću lasera, kod laserskog graviranja ne troši se tinta i ne upotrebljavaju se alati koji troše površinu, već cnc stroj koji na svojoj z osi ima laser utiskuje uzorak u materijal koji postavimo na podlogu ispod lasera.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj ovog završnog rada je upoznati se sa CNC strojevima za graviranje te prikazati djelove cnc strojeva i pobliže objasniti rad takvih strojeva, i što još mogu raditi osim graviranja.

Svrha završnog rada jest prikazati smjernice i informacije koje je potrebno znati kako bi se shvatio rad CNC-a za lasersko graviranje. U završnom radu biti će prikazane prednosti i nedostatci ovakvih strojeva, te će biti prikazani koraci koji su potrebni za izradu cnc-a za lasersko graviranje.

1.3. Metode rada

Korištene metode rada vezane za ovaj završni rad su induktivna metoda, deduktivna metoda, metoda analize, metoda sinteze i opisna metoda.

1.4 Struktura rada

Struktura ovog rada je sljedeća : nakon uvoda je u drugom dijelu rada opisana povijest i tehnike graviranja. Prvo su opisane tradicionalne tehnike graviranja a potom moderni cnc-strojevi koji se danas koriste.

U trećem dijelu su detaljnije opisane značajke numeričkih upravljanih cnc strojeva. Četvrti dio opisuje glavne konstrukcijske elemente cnc-stroja s posebnim naglaskom na laser kao izvršni alat, te upravljanje i pripadajući softver.

U petom je djelu opisan projekt i konstrukcija modela cnc-stroja za dvodimenzionalno graviranje

2. Povjest i tehnike graviranja

U povijesti se graviranje koristilo kao preslikavanje reljefa na metalnim podlogama. Prvo takvo graviranje evidentirano je još 1446. godine dakle graviranje postoji više od 500 godina. U današnje vrijeme graviranje se koristi za dizajn i dekoraciju. Poznavanjem tehnike graviranja kamena omogućilo je kreativno dekoriranje i izradu umjetničkih dijelova koji će biti dugotrajni na materijalu. Graviranje je tehnika urezivanja kontura na čvrstu podlogu, uobičajeno ravnu pomoću alata raznih oblika i dimenzija. Tradicionalno graviranje pomoću raznih ručnih alata koristi se i dalje kod zlatara, staklenih gravera, oružarskih radionica, no u današnje vrijeme sve je veća potražnja za modernim tehnikama, odnosno strojevima koji bi zamijenili, te olakšali rad čovijeka. Gravirati se mogu gotovo svi materijali (drvo, čelik,granit,staklo i mnogi drugi materijali. U drugoj polovici dvadesetog stoljeća nameću se sve složeniji zahtjevi pri izradi i obradi graviranja pomoću cnc strojeva. Takav sve veći razvitak tehnologija dovodi nas do prvog suvremenog rješenja koje se javlja u SAD-u 50-ih godina, kada je napravljen alatni stroj s numeričkim upravljanjem. Uvođenje CNC strojeva podosta je izmijenilo i olakšalo proizvodnju. Obrada zahtjevnih linija, krivulja i raznih oblika, te količina strojnih operacija koja je do tada zahtijevala popriličan ljudski rad zamijenjen je strojevima. S povećanjem uporabe CNC strojeva povećala se brzina i fleksibilnost proizvodnje, broj radnika se smanjio, a potreba za visokim obrazovanjem programera i CNC operatera znatno se povećala. Na taj način troškovi proizvodnje znatno su se smanjili, upotreba tehnologije značila je jeftinija i kvalitetnija proizvodnja. Numerički upravljani strojevi omogućuju sofisticiraniji rad sa alatima i alatnim strojevima, te ima podosta sličnu konstrukciju kao i dotadašnji ručno kontrolirani alati i strojevi.

Kada govorimo o tehnikama graviranja možemo ih navesti tri a to su: ručno graviranje odnosno klesanje, graviranje ručnim strojem, graviranje numerički upravljanim strojem cnc za graviranje CNC- strojem.

Ručno graviranje je jedna od najstarijih i najcjenjenijih tehnika graviranja koja se i u današnje vrijeme često koristi. Ručno graviranje se i danas koristi i jako je cijenjeno jer ručni rad predstavlja postupak za izradu unikatnih proizvoda. Koristi se tamo gdje nije moguće osigurati pristup strojevima za graviranje ili se izrazi želja za ručnim radom. Ljudi koji

izrađuju ručne gravure nazivaju se kamenoklesari i oni su u svome poslu umjetnici. Takav posao iziskuje puno znanja, vještina, iskustva i snage.[1]

2.1.Alati za ručno graviranje

U prošlosti su ljudi koji su gravirali koristili alate od ojačanog čelika koji se nazivao burin najčešće su urezivali na bakrene ploče. Dlijeta dolaze u mnogo oblika i veličina od kojih svaki daje različite tipove linija. Burin proizvodi jedinstvenu i prepoznatljivu kvalitetu linije koja karakterizirana svojom postojanošću, odmjerenim izgledom čistim rubovima.

Za ručno graviranje koristi se i takozvani pneumatski čekić. Kod njih se kao alat isto koristi dlijeto. Razlika u običnim dlijetima i dlijetima za pneumatski čekić je što dlijeta za pneumatski čekić na stražnjem dijelu su prilagođena prihvatu pneumatskog čekića. Kod takvog graviranja ne koristi se puno ljudske energije za ostvarivanje udaraca, nego to postižemo pneumatskim čekićem. Najveći nedostatak pneumatskih čekića je potreba za stalnim dotokom komprimiranog zraka.[2]



Slika 1: Asortiman ručnog alata za gravirannje

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Graviranje (23.8.2017)

[1] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (23.8.2017)
[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Graviranje (2.9.2017.)



Slika 2: Ručno graviranje

Izvor: https://www.google.hr/search?biw=1366&bih=613&tbm (23.8.2017)

Alati koje klesari koriste su razni, međutim najosnovniji alat koji koriste je dlijeto. To je alat koji je na svom vrh naoštren pod različitim kutevima ovisno o vrsti koju koristimo. Jedan od osnovnih alata je i čekić koji je potreban za proizvodnju udaraca. Udarajući čekićem u dlijeto sila se prenosi na oštricu koja reže i udubljuje kamen. Samo iskustvo i znanje klesara može kontrolirati intenzitet udarca i navođenje alata po zadanoj konturi koje rezultira neklim reljefom ili gravurom.



Slika 3: Dlijeta

Izvor: https://www.google.hr/search?q=dlijeta+za+kamen&tbm (23.8.2017)

Materijali koji se koriste kod izrade dlijeta obično su čelici koji se mogu kaliti, s time da je dlijeto potrebno oštriti nakon određenog broja sati rada. U novije vrijeme pojavila su se dlijeta od tvrdog metala. Novija dlijeta su napravljena od čelika a vrh od tvrdog metala tvrdo je zalemljen te je sa tom kombinacijom vrijeme između dva oštrenja znatno produljeno.[3] Zbog izrazito teškog, fizički i psihički napornog rada kod ručnog graviranja došlo je potrebe izrade strojeva za graviranje. Prvi strojevi za graviranje pojavili su se 70 ih godina prošlog stoljeća. Ručni strojevi imaju pomak po x, y i z osi i po osima su pokretani ručno, samo glavno vreteno je pogonjeno pomoću elektromotora.



Slika 4: Ručni stroj za graviranje

Izvor: https://www.google.hr/search?q=ručni+stroj+za+graviranje&tbm (24.8.2017.)

Za izradu gravure koristi se šablona odnosno slova i brojevi koja se postavlja na stol. Šablona služi za vođenje alata.[4] Pomoću vodilice alat ručno vodi po šabloni i tako se ostvaruje željena gravura. Takvi se strojevi i danas često koriste. Veliki nedostatak je baza sa šablonama i puno vremena je potrebno da se sve izmjeri i posloži prije nego se počne sa radom.

[3] http://repozitorij.fsb.hr/1278/1/28_02_2011_Miho_Klaic_-_Prijenosni_stroj_za_graviranje_kamena.pdf (24.8.2017)

[4] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (24.8.2017)

2.2. CNC strojevi za graviranje

Nakon dolaska jeftinijih računalnih komponenti i sve češćom njihovom upotrebom u radu i nadzoru strojeva, razvijali su se i numerički upravljani strojevi za graviranje. Zbog velike potrebe izrade gravura i slika došlo je do napretka prijašnje tehnologije. Jedina problematika je bila ručno programiranje gravura i nemogućnost izrade slika. Razvojem CAD/CAM sustava poprilično se olakšalo programiranje i smanjilo se vrijeme potrebno za programiranje te se time moglo brže doći do željenog izgleda obrađivanih površina. Strojevi se sastoje od X, Y, Z osi koje mogu biti pokretane pomoću koračnih ili servo motora. U početku su se koristili samo koračni motori jer servo motori nisu još bili razvijeni, a u današnje vrijeme se još uvijek koriste i koračni motori tamo gdje nije potrebno ostvariti velike točnosti. Servo motori se koriste na gravirkama velike točnosti, jer mogu ostvariti manje vrijednosti pomaka (precizni pomak). Iako su numerički upravljani strojevi podosta skuplji od ostalih strojeva i ručnih strojeva za graviranje, s vremenom uvelike ušteđuju novac poslodavcu skraćivanjem vremena izrade i mogućnosti izrade slika. Baza podataka numerički upravljanim strojevima se nalazi u računalu te se jednostavno odabire gravura koju želimo dobiti i jednostavno se mogu uskladiti zadane dimenzije.[5]



Slika 5: CNC stroj za graviranje

Izvor: https://www.google.hr/search?q=cnc+stroj+za+graviranje

[5] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (24.8.2017.)

U novije vrijeme se sve više upotrebljavaju laserske graverke. Najčešće se koriste za izradu slika u jer se sa njima može brže i preciznije izraditi. Velika prednost im je što ne koriste nikakav alat nego rade laserskom zrakom. Mogu se naći u različitim izvedbama i veličinama i sa različitim brojem laserskih zraka za obradu.[6]



Slika 6: CNC stroj sa laserskom zrakom

Izvor: https://www.google.hr/search?q=Stroj+sa+laserskim+zrakama (24.8.2017)

[6] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (24.8.2017)

3.Značajke graviranja numerički upravljanim strojeva

Kada govorimo o obradi predmeta tradicionalnih strojeva i CNC strojeva mogu se postaviti određena pitanja. Je li CNC obrada bolja i ako jest, u čemu? Ima li sličnosti među tim obradama? Uspoređujući ta dva načina obrade može se zaključiti da je osnovni pristup izvedbi dijelova gotovo jednak:

-analiza crteža i ostalih dokumenata

-izbor operacije obrade

-određivanje baznih površina i izbor načina stezanja

-odabir odgovarajućih alata

-proračun optimalnog režima obrade

-izvedba programa i testiranje

-izvedba predmeta

Razlika je u predzadnjoj radnji koje na tradicionalnim strojevima nema. Pri samoj obradi pojavljuju se bitne razlike. Operater na tradicionalnom stroju pomoću jedne ili obje ruke obavlja isključivanje i uključivanje posmaka, rashladnog sredstva u biti obavlja vođenje alata. Za to je potrebno znanje i određene vještine. O stupnju vještina ovisit će i kvaliteta izvedbe i vrijeme izvedbe. Problem nastaje kada je potrebno izraditi više potpuno istovjetnih predmeta. Po prirodi čovjek ne može ponoviti sve postupke na potpuno jednak način što rezultira određenim razlikama i dimenzijama predmeta i kvaliteti površine.

U CNC upravljanju mikroprocesor vodi alat uvijek na jednak način čime su stvoreni preduvjeti da svaki izradak u seriji bude potpuno jednak. Iz ovog svega navedenog moglo bi se zaključiti da su CNC strojevi uvijek superiorniji klasičnim strojevima. Međutim postoje slučajevi kada tradicionalni strojevi imaju prednost a to je kada se izrađuje samo jedan jedinstveni predmet. Općenito možemo reći da su prednosti CNC strojeva[7]:

Prilagodljivi su zato što stroj može izrađivati veću ili manju seriju proizvoda a nakon što prestane potreba za proizvodnjom takvih proizvoda jednostavno se učita drugi program i stroj počinje izrađivati novu liniju proizvoda.

[7] Bošnjaković, M. **Numerički upravljani alatni strojevi.** Zagreb 2009.

Mogućnost izrade vrlo složenih oblika. Izrada trodimenzionalnih složenih oblika na klasičnim strojevima je vrlo skupa, a ponekad je i nemoguća. Uporabom cnc stroja omogućuje se izrada takvih zahtjevnijih oblika koje prije nije bilo ekonomično proizvoditi.

Točnost i ponovljivost. Pomoću cnc stroja moguće je proizvesti veliku količinu potpuno jednakih proizvoda odjednom ili povremeno. Razlike koje mogu nastati među proizvodima obično su zanemarive, a nastaju zbog trošenja alata i dijelova stroja.

Manja potreba za napravama. Pri uporabi klasičnih strojeva, često su potrebne specijalne naprave za pozicioniranje predmeta te šablone za vođenje alata po konturi. Izrada naprava je trošak a vrijeme do početka proizvodnje proizvoda se produžuje za vrijeme izrade naprava. Obradu na cnc stroju je najčešće moguće izvesti bez naprava, jer se alat vodi mikroprocesorom po bilo kojoj složenoj putanji.

Smanjenje vremena za izradu predmeta. Kod klasičnih strojeva na obradu otpada svega oko 20% vremena, a ostalo se troši na postavljanje, pozicioniranje alata i obratka. Kod CNC strojeva na obradu otpada čak i 80% od ukupnog vremena izrade.

Mali zahtjevi za vještinama operatera. Operateri cnc strojeva trebaju znati postaviti predmet u stroj, postaviti, izmjeriti, i izmijeniti odgovarajuće alate te se koristit odgovarajućim CNC programom. To su puno manji zahtjevi za vještinama i znanjima nego što ih treba imati operater na klasičnim strojevima.

Nedostatci cnc strojeva jesu:

Potreba programiranja CNC stroja. Programeri su visoko obrazovani pojedinci koji moraju imati specijalistička znanja iz više područja strojarstva. Osim poznavanja funkcija CNC upravljanja, programer mora imati velika znanja iz tehnologije obrade odvajanjem čestica, poznavanje svojstva materijala te poznavanje vrsta i mogućnosti pojedinih reznih i steznih alata i naprava. Zahtjevi za izradom vrlo složenih proizvoda vode ka sve većoj primjeni višeosnih CNC strojeva zbog čega su potrebna specifična znanja iz programiranja.

Visoki troškovi održavanja. CNC strojevi su vrlo složeni. Stroj mora biti redovito održavan kako bi zadržao svoje prednosti, a posebno točnost. Za održavanje su potrebna znanja iz elektronike i strojarstva. Zbog toga i ovo osoblje mora biti dobro plaćeno.[8]

[8] Bošnjaković, M , Stoić, A. **Programiranje CNC strojeva.** Slavonski Brod 2016 (30.8.2017)

Neisplativost izrade jednostavnih predmeta. Predmete jednostavne geometrije u pojedinačnoj proizvodnji ili u malim serijama često je jeftinije i brže izraditi na klasičnom stroju u traženoj kvaliteti. Za njih nije potrebno pisati program, testirati ga i tek zatim izrađivati proizvod.[9]



Slika 7: Tradicionalan stroj za obradu

Izvor: https://www.google.hr/search?q=tradicionalan+stroj+za+obradu (30.8.2017.)

Slika 8: CNC stroj za obradu



Slika 8: CNC stroj za obradu

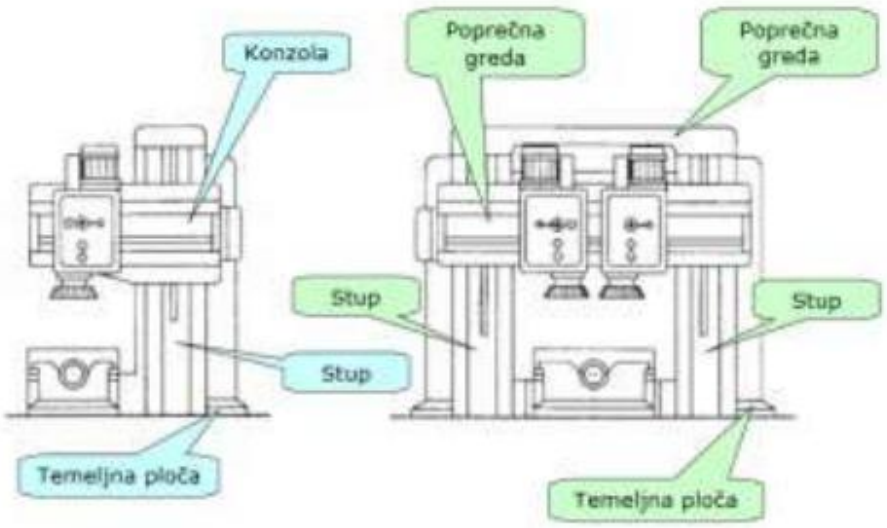
Izvor: https://www.google.hr/search?biw=1366&bih=613&tbm (30.8.2017.)

[9]Bošnjaković, M , Stoić, A. **Programiranje CNC strojeva.** Slavonski Brod 2016 (30.8.2017)

4. Konstrukcija CNC stroja za graviranje

4.1.Kučište CNC-a

Postolje je osnovni element svakog stroja koji nosi sve aktivne i pasivne komponente (vretena, vodilice i stupove). Izrađuje se u zavarenoj izvedbi, lijevanoj izvedbi ili kada na njih ne djeluju velika opterećenja mogu se izrađivati od ekstrudiranih aluminijskih profila. Kod konstruiranja postolja za odabir izvedbe u obzir se uzimaju: opterećenje, prigušenje, prijenos topline i buke. Postolja su najvažniji elementi stroja i o njima se vodi najveća briga. Oblici postolja: konzola, poprečna greda, stup, temeljna ploča.[10]



Slika 9: Oblici postolja

Izvor: https://www.google.hr/search?q=oblici+cnc+postolja (31.8.2017)

Zavarene izvedbe postolja strojeva koriste se za specijalne strojeve koji se izrađuju u jednom ili nekoliko primjeraka strojeva sa istim postoljem. Koriste se za izvedbu prototipa stroja prije serijske proizvodnje. Nakon zavarivanja postolja obavezno je žarenje konstrukcije da se uklone sva unutarnja naprezanja izazvana zavarivanjem. Prednosti izrade u zavarenoj izvedbi su te što čelik kao materijal ima veći modul elastičnosti, te je lako izraditi postolja velikih dimenzija i dodati nove detalje ili pak promijeniti oblik. Zavari na postolju sprečavaju

[10] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (31.8.2017)

prijenos vibracija kroz postolje, tzv. barijere. Kod izrade postolja postoji opasnost od distorzije pojedinih dijelova radi unosa topline. Zbog većeg modula elastičnosti nedostatak je taj što se postolja izrađuju u rešetkastoj izvedbi radi veće krutosti.



Slika 10: Zavarena izvedba postolja stroja

Izvor: https://www.google.hr/search?biw=1366&bih=662&tbm (31.8.2017)

Lijevane izvedbe postolja mogu biti izvedene iz sivog lijeva ili mineralnog lijeva. Koriste se za serijsku proizvodnju stroja. Dobro prigušuje vibracije i mogu podnijeti velika statička opterećenja. Za postolja lijevana iz sivog lijeva obavezno je žarenje ili starenje poslije lijevanja. Starenjem se smanjuje unutarnja napetost za 50% kroz godinu dana,a to je skupo i sporo. Žarenjem se unutarnja naprezanja mogu smanjiti na 5% početnih unutarnjih naprezanja. Postolja izrađena iz sivog lijeva imaju dobar omjer krutosti i mase i dobra svojstva prigušenja vibracija. Prednosti lijevanja postolja je u tome što površina presjeka postolja lako može promijeniti premještanjem metala, dok je nedostatak to što svaka promjena oblika postolja zahtjeva promjenu kalupa. Nadalje sivi lijev je jeftin materijal, ali kod iznimno velikih postolja kalup je izrazito skup[11]. Problematika je ta što se na mjestima vijčanih spojeva lijev treba popustiti te je taj postupak kompliciraniji kod većih kalupa. Kod sivog lijeva je potreba popuštanja zaostalih naprezanja. Mineralni lijev je kompozit od plastike i kamena. Koristi se za skupe visokobrzinske alatne strojeve. Manja mu je specifična masa u

[11] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (31.8.2017)

odnosu na sivi lijev i deset puta bolje prigušuje vibracije. Mineralni lijev sporije prenosi toplinu i manje se linearno isteže. Ima veći modul elastičnosti od sivog lijeva i čelika.



Slika 11: Numerički upravljan stroj sa postoljem iz sivog lijeva

Izvor: ttps://www.google.hr/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q (31.8.2017)

Izvedbe postolja i ekstrudiranih aluminijskih profila koriste se za strojeve malih dimenzija i sa malim opterećenjima postolja. Aluminijski profili se spajaju pomoću spojnih elemenata i tako tvore čvrsta postolja. Prednost takvih postolja je to što su puno lakša od ostalih i lako ih je izraditi pa se često koriste za prototipe. Ekstrudirani aluminijski profili se mogu naći u različitim dimenzijama i oblicima ovisno o proizvođaču.[12]

Vodilice su elementi postolja koji nose obratke ili vreteništa. Postoje dvije osnovne izvedbe vodilica, a to su klizne i kotrljajuće vodilice. Klizne vodilice su najstarije i najjednostavnije izvedbe vodilica. Imaju visoku krutost, dobro prigušivanje vibracije, veliku kontaktnu površinu s pokretnim dijelom i otpornost na velika opterećenja i udarna djelovanja. Vodilica je lijevana i zavarena na postolju ili je pak mehanički pričvršćena na postolje. Kotrljajuće vodilice su manje mase i rade s manjim trenjem, tako da omogućavaju brže pozicioniranje s manje utrošene energije. Kotrljajuće vodilice zauzimaju više prostora na stroju i skuplje su.

[12] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (31.8.2017)

Osnovne izvedbe vodilica za precizno linearno vođenje su: kuglični linearni ležajevi i osovine cilindričnog profila i profilne vodilice.

Kuglični linearni ležajevi i osovine cilindričnog profila najčešće se upotrebljavaju za manje CNC glodalice kod kojih nema zahtjeva velike točnosti. Veliki je izbor različitih vrsta linearnih ležajeva i imaju nižu cijenu u odnosu na profilne vodilice. Sastoje se od kugličnog linearnog ležaja u aluminijskom kućištu, koji može biti otvorenog ili zatvorenog tipa i osovine cilindričnog profila koja se učvršćuje na konstrukciju pomoću bočnih nosača linearne cilindrične osovine ili potpore za osovinu cilindričnog profila. Prednost im je dobar omjer kvalitete, cijena kompaktne dimenzije i lako održavanje. Linearni ležajevi u potpunosti zadovoljavajući potrebu kada je riječ u obradi drva i lakih metala te se najčešće koriste kod stolnih glodalica za tu primjenu.

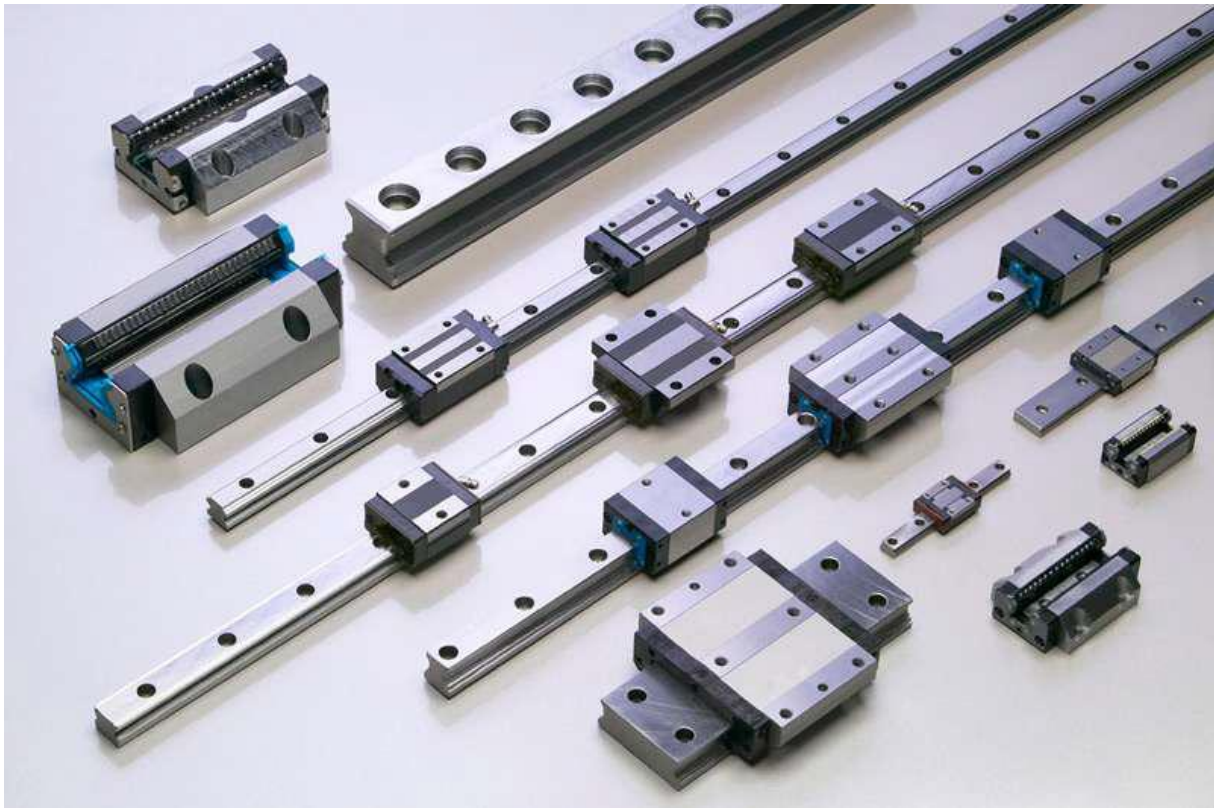


Slika 12: Kuglični linearni ležaj i osovine cilindričnog profila

Izvor: https://www.google.hr/search?q=Kuglični+linearni+ležaja (6.9.2017.)

Profilne linearne vodilice imaju nekoliko puta veću dinamičku vodljivost od sustava s kugličnim linearnim ležajevima i osovinama cilindričnog profila. Primjenjuju se za linearna profesionalno vođenje odnosno kod strojeva na koje je postavljen veći konstrukcijski zahtjev. Veliki izbor profilnih vodilica mogu se koristit u različite svrhe. Prednosti: visok stupanj ponovljivosti, preciznost, krutost, jednakomjerno i glatko gibanje, dulji životni vijek. A nedostatci su sljedeći: Relativno visoka cijena i velika masa.[13]

[13] https://www.scribd.com/doc/23035523/skripta-CNC-Blazevic (18.9.2017)



Slika 13: Profilne linearne vodilice

Izvor: https://www.google.hr/search?q=Profilne+linearne+vodilice&source (18.9.2017)



Slika 14: Prikaz presjeka linearnih vodilica

Izvor: https://www.google.hr/search?q=Profilne+linearne+vodilice&source

4.2. Pogon CNC-a

Kako bi cnc stroj mogao izvršavati svoje zadatke za pogon se koriste servo motori, koračni motori i linearni motori. Servomotor je izvršni dio sustava za dinamičko pozicioniranje i podrazumijeva se rad u zatvorenom regulacijskom krugu. Kako se temeljni zahtjevi pri pozicioniranju brzo i točno postizanje zadanog položaja i brzina, servomotor mora posjedovati svojstva kojima se ovi zahtjevi mogu što bolje ispuniti. Za izradu servomotora mogu poslužiti različite vrste motora, no neki daju bolje rezultate te se češće koriste. Servomotori u sebi sadrže pogonski motor koji može biti bilo koje vrste ali između osovine i motora i radnog mehanizma nalazi se reduktor koji pomoću posebno dimenzioniranog zupčastog prijenosa smanjuje brzinu vrtnje i povećava moment motora. Servomotori sadrže u sebi i elektromagnetsku kočnicu koja sprječava daljnje kretanje motora i uključuje se pri prestanku napajanja motora. Također u sebi mogu sadržavati krajnje sklopke koje isključuju motor u trenutku kada je radni mehanizam dosegao krajnji položaj. Vrlo često imaju i mjerni pretvornik koji elektroničkim putem pokazuje trenutačni položaj radnog mehanizma. Kao servo motori za pomoćne osi cnc strojeva koriste se elektronički upravljani AC sinkroni motori s permanentnim magnetima opremljen s digitalnim enkoderima pozicije. Imaju veliku primjenu u suvremenim regularnim elektromotornim pogonima. Izvode se s klasičnim trofaznim namotom na statoru i trajnim magnetima na rotoru[14].



Slika 15: Servo motor

Izvor: https://www.google.hr/search?q=servo+motor&tbm=isch&imgil (31.8.2017)

Koračni motori su elektromehanički pretvornici energije, koji impulsnu, odnosno koračno-električnu pobudu pretvaraju u koračni mehanički pomak. Izrađuju se u rotacijskoj i translacijskoj izvedbi, premda je rotacijska izvedba barem za danas znatno brojnija. Koračni

[14] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (31.8.2017)

motori su od posebnog interesa u robotici, procesnom upravljanju i instrumentaciji. Oni omogućavaju precizno upravljanje rotacijom, kutnim položajem, brzinom i smjerom rotiranja. Na malim koračnim brzinama rotor se zaustavlja na svakom konačnom položaju. Na srednjim brzinama nema zaustavljanja rotora na svakom koračnom položaju, ali kutna brzina oscilira ovisno o položaju. Što se koračna brzina više povećava, oscilacije kutne brzine postaju sve manje, tako da na velikim koračnim brzinama kutna brzina teži konstantnoj vrijednosti. Uz poznavanje kuta zakreta koraka, u svakom trenutku se nakon niza impulsa zna rotacija motora. Prednosti koračnih motora su velike funkcijske mogućnosti, pretvaranje digitalnih ulaza u analogno kretanje. Broj koraka kod koračnih motora jednaka je broju upravljačkih impulsa, dok je kut rotacije proporcionalan ulaznom impulsu. Konstrukcije koračnih motora su jednostavne te ne zahtijevaju održavanje. Motor ima puni moment u zastoju, što omogućuje odličan odziv na zalet, zaustavljanje i promjenu smjera. Omogućuje precizno pozicioniranje i ponovljivost. Nedostatci su ograničena mogućnost pokretanja tereta s velikim momentom inercije, te moment trenja i aktivni teret mogu povećati pogrešku. Rad je neprekidan i teško upravljiv na velikim brzinama.[15]



Slika 16: Koračni motor

Izvor: www.google.hr/search?biw=1366&bih=613&tbm (1.9.2017.)

Pravocrtni motor je moderni modul za translatorna kretanja, a slikovito rečeno može ga se predstaviti kao razvijeni asinkroni motor. Najčešće se primjenjuje za pravocrtne numerički

[15] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (1.9.2017)

upravljane alatnih strojeva koje zahtijevaju velika ubrzanja,visoke brzine posmaka, visoku točnost posmaka, visoku točnost pozicioniranja. Sastoji se od magnetske trake ili cijevi po kojoj ili u kojoj se kreće klizač. Kretanje je rezultat magnetskog polja tako da nema direktnog kontakta između kliznih površina. Dužina je praktično neograničena, dok opterećenje je ograničeno najčešće se koristi kod lakših alatnih strojeva. Pravocrtni motor nema mehaničkih dijelova za prijenos kretanja osim vodilica.



Slika 17: Linerani motor

Izvor: https://www.google.hr/search?biw=1366&bih=613&tbm (1.9.2017.)

Kod linearanih motora polja regulacije su od 3 do 10 puta veče nego kod elektromehaničkih pogona. Nema trošenja dijelova što znači duži vijek trajanja, koristi visoku točnost pozicioniranja i ponavljanja. Postiže visoke brzine posmaka do 100 m/min i ubrzanja veća od 10 m/s2 . Ima laku montažu, te se jednostavno održava.[16]

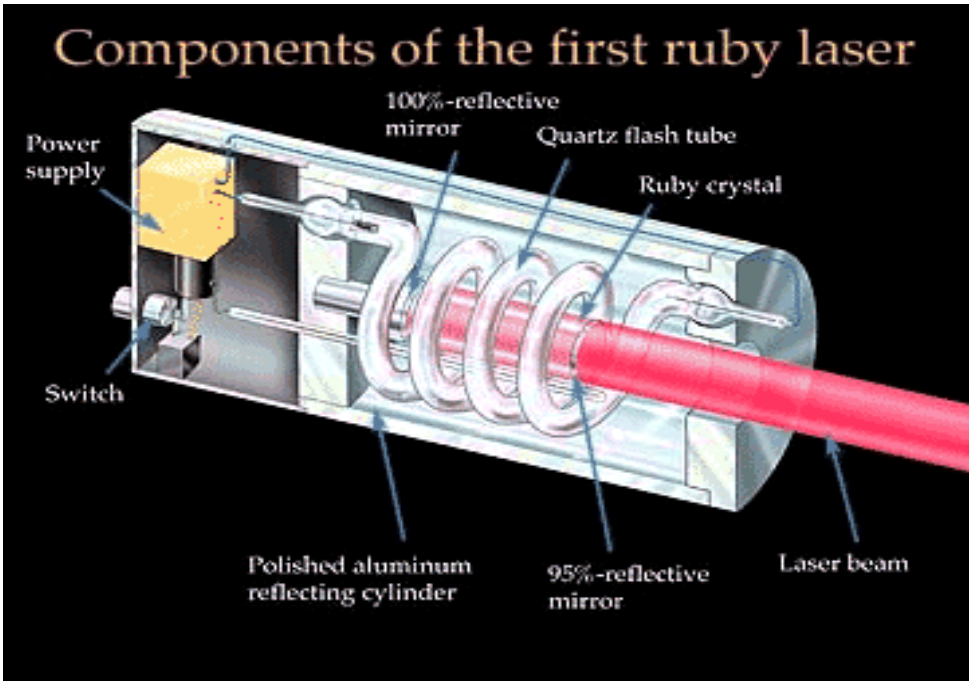
[16] https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (1.9.2017,)

4.4. Laser

Još je davne 1917. godine u svom radu «On the Quantum Theory of Radiation» Albert Einstein dao teorijski koncept i predvidio izum lasera i njegove preteče masera. Maser je uređaj koji radi na jednak način kao i laser, ali u drugom frekvencijskom području. Maser je izvor mikrovalova, dok je laser izvor elektromagnetskih valova u infracrvenom i vidljivom dijelu spektra. Pet godina nakon revolucionarne ideje Maxa Plancka da kvantnom hipotezom objasni zračenje crnog tijela (1900 god.), Einstein priopćuje tu ideju i zapravo utire put modernoj kvantnoj fizici, a kasnije i kvantnoj optici. Idejom o kvantiziranom elektromagnetskom polju (svjetlosti) odnosno o fotonima (Einstein, 1905) uspio je objasniti fotoelektrični efekt(jedan kvant svjetlosti-foton izbacuje iz metala jedan elektron). Einstein je želio objasniti zračenje apsolutno crnog tijela pomoću svoje korpuskularne teorije.1917. godine objavio je revolucionarni rad u kojem je zaista izveo zakon zračenja apsolutno crnog tijela, ali je pri tome morao uvesti u fiziku jedan posve novi pojam–stimuliranu emisiju. Townes je zajedno s Jamesom Gordonom i Herbertom Zeigerom pri kraju 1953. demonstrirao rezultate svojih istraživanja. Snop molekula amonijaka poslali su u električno polje koje je otklonilo molekule s niskom energijom. Tada su molekule s visokom energijom poslali u drugo električno polje. Izlaganje drugom električnom polju uzrokovalo je da sve molekule amonijaka s visokom energijom gotovo istovremeno padnu u osnovno stanje, emitirajući pri tome mikrovalne fotone iste frekvencije i smjera širenja. Towns je napravu nazvao maser, pojačalo mikrovalova stimuliranom emisijom zračenja (microwave amplification by stimulated emission of radiation). Kako je Townes dalje nastavljao eksperimente s maserom, bilo je sve jasnije da do stimulirane emisije može doći i na mnogo kraćim valnim duljinama kao što su infracrveno valno područjeili čak vidljiva svjetlost. Riječ laser nastala je za jednu takvu napravu, a l je skraćenica za svjetlost (light). Nastojeći razviti što potpuniju teoriju laserske akcije, Towns je potražio pomoć od svog šurjaka, Arthura Schwalowa, fizičara u Bell Laboratories, jednom od vodećih c entara za istraživanja u fizici i materijalima. Krajem 1958. godine u vodećem znanstvenom časopisu fizike, Physical Review, pojavio se je Townes-Schawlow članak pod naslovom "Infracrveni i optički maseri". Članak je inspirirao znanstvenike da pokušaju napraviti laser i u lipnju 1960. fizičar Theodore Maiman zaposlen u Aircraft Company istraživačkom laboratoriju uspio je napraviti laser koristeći sintetički rubin. Zraka emitirana laserom puno je bolje fokusirana nego zraka koju emitira bilo koji drugi izvor svjetlosti, pa su zbog toga laseri odmah privukli pozornost. U jednom eksperimentu napravljenom 1962. laserska je zraka poslana na Mjesec, udaljen skoro 400 000 kilometara, gdje je obasjavala površinu promjera svega 3 km. Zraka emitirana nekim drugim izvorom

svjetlosti na istom bi se putu toliko proširila da bi obasjavana površina Mjeseca imala promjer od 40 000 kilometara. Novinari su pišući o "svjetlosnoj fantastici" oduševljeno preuzeli novu tehnologiju, prozivali su laser glasnikom nove ere. Znanstvenici su ukazivali na ogromne potencijale u primjeni lasera u komunikacijama i ostalim područjima. U stvarnosti, rani su laseri bili daleko od očekivanja. Stvaranje inverzije naseljenosti potrebne za nastajanje laserske akcije zahtijevalo je tzv. optičke pumpe, npr. bljeskalice, tako da su umjesto kontinuiranog svjetla laseri mogli proizvoditi samo pulsevi energije. Efikasnost takvih lasera u pogledu iskorištene snage bila je jako mala. Drugu verziju lasera razvio je 1960. Ali Javan zaposlen u Bell Laboratories, a koristila je staklenu cijev napunjenu mješavinom plinova helija i neona. Ovaj je laser zahtijevao manje energije za rad i nije se pregrijavao. Međutim staklena cijev je istovremeno bila preveć masivna i lako lomljiva. Prve lasere možemo usporediti s vakuumskim cijevima koje su se nekada koristile u radio aparatima, televizijama i prvim kompjuterima. Od 1960 godine vakuumske cijevi je zamijenilo novo čudo tehnologije, zapanjujuće mali, ali izuzetno pouzdani, tranzistor. 1985. godine na engleskom Sveučilištu u Southampton, fizičar S.B. Poole otkrio je da Dodavanjem male količine elementa - erbija u staklo od kojeg se izrađuju optička vlakna moguće će je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Kratki, stakleni pramen dopiran erbijem ugrađen u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, pojačavajući na takav način optički signal bez korištenja elektronike. Pooleove kolege u Southamptonu, David Payne, P.J. Mears i Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories počeli su primjenjivati otkriće na praktična pojačala signala u optičkim vlaknima. 1991. godine istraživači iz Bell laboratorija pokazali su da potpuno optički sistemi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima. U kratkom su roku europske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlantskog i Pacifičkog oceana, te ih pustili u rad 1996. godine. Napredak u komunikacijama putem lasera je, evidentno, bio zapanjujući i brz. Jednako su impresivni, kao i sva dosadašnja dostignuća, dramatični napredci koji su se nazirali na horizontu.[17]

[17] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/L._Bistricic_-Fizika_lasera.pdf (4.9.2017)



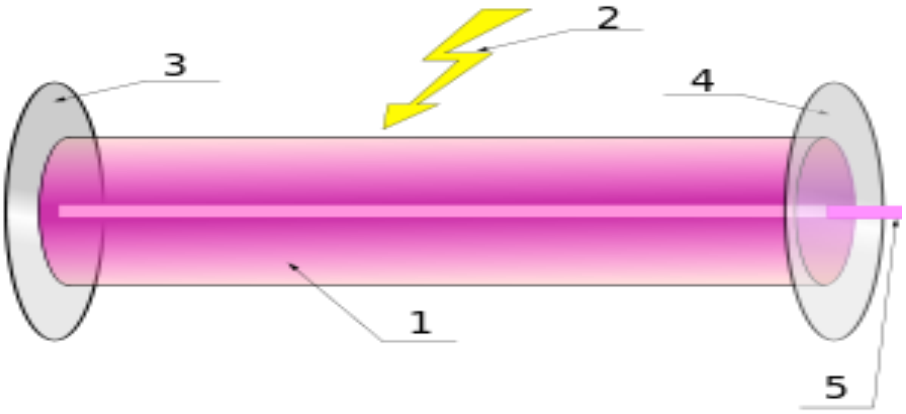
Slika 18: Theodore.H. Maiman građa prvog lasera

Izvor: https://www.google.hr/search?biw=1366&bih=662&tbm (4.9.2017)

4.4.1. Princip rada lasera

Laserska zraka se proizvodi fenomenom stimulirane emisije. Kao prvi uvjet emisije fotona je Bohorov uvjet: Laserski medij mora sadržavati energijske razine čija energija odnosno razlika energije odgovara energiji emitiranih fotona. Drugi uvjet je da većina atoma ili molekula bude u pobuđenom stanju. Moramo imati na umu da se laserskom mediju mogu događati različiti procesi interakcije elektromagnetskog zračenja i materije: najviše dolaze do izražaja apsorpcija i spontana emisija zračenja. Ako dovedemo dio atoma ili molekula laserskog medija u pobuđeno stanje, oni će emitirati fotone spontanom emisijom. Ti fotoni se dalje mogu apsorbirati sa nepobuđenim atomima ili izazvati stimuliranu emisiju na preostalim pobuđenim atomima. Laserska zraka se može proizvesti jedino ako stimulirana emisija dominira nad apsorpcijom i spontanom emisijom zračenja. To se postiže inverzijom napučenosti atoma u laserskom mediju: Broj atoma u pobuđenom stanju mora biti veći od broja atoma u osnovnom stanju.[18]

[18] https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser (4.9.2017.)



Slika 19: Građa lasera

Izvor: https://www.google.hr/search?q=prva+upotreba+lasera (4.9.2017.)

1. Laserski medij

2. Energija za pobuđivanje medija

3. 100% reflektirajuće zrcalo

4. 99% reflektirajuće zrcalo

5. Laserska zraka

Laserski medij je smješten između dva paralelna zrcala, tako da zrake svjetla koje prolaze između dva zrcala tvore stojni val. Prostor između dva zrcala se naziva laserska šupljina, rezonantna šupljina ili rezonator, po analogiji sa šupljinama koje se koriste u akustici prilikom rada sa zvučnim valovima. Fotoni koji nastaju spontanom emisijom u laserskom mediju emitiraju se u svim smjerovima, ali samo oni koji su emitirani u smjeru zrcala će se reflektirati između ta dva zrcala i biti zarobljeni u laserskoj šupljini. Ti fotoni, koji veliki broj puta prolaze kroz laserski medij, će izazvati stimuliranu emisiju, prilikom prolaska blizu atoma u metastabilnim stanjima u laserskom mediju. Stimuliranom emisijom nastaju skupine fotona koji su u istom kvantnom stanju. Takvi fotoni imaju istu valnu duljinu, smjer i usmjerenje i ponašaju se kao jedan foton. Jedno od dva zrcala se obično naprave tako da nisu 100% reflektirajuća već propuštaju određenu količinu svjetla obično je to manje od 1%, pa koherentni fotoni mogu izaći iz laserske šupljine. Kako se svi ponašaju kao jedan, izaći će ili svi u skupini ili nijedan. Na taj način laserska zraka sadrži skupine koherentnih fotona, što joj daje veliki intenzitet. Laserska zraka je jedna od rijetkih primjera manifestacije kvantne mehanike u mikroskopskim sustavima. U kvantnoj mehanici razlikuju se dvije vrste čestica

Fermi-Diracove čestice- Fermioni i Bose-Einsteinove čestice-bosoni. Fotoni se ponašaju kao bosoni. Fermioni ne mogu biti u istom kvantnom stanju, dok bosoni to mogu. Štoviše, što je više bosona u istom kvantnom stanju, veća je vjerojatnost da će im se pridružiti još njih.[19]

4.4.2. Izbor lasera u odnosu na materijal

U industrijskoj primjeni obrade materijala prevladavaju CO2 i Nd-YAG laseri a sve veću perspektivu imaju i CO, Cu i eksimerski laseri.

CO2 laseri su najefikasniji postižu efikasnost 20% i najsnažniji (Snaga od 0.5-120KW) komercijalni su laseri i prisutni najduže na tržištu. Tipične snage za industrijsku primjenu su do 20 KW. Problematična je obrada visokofrekventnih i toplinski osjetljivih materijala kao što su zlato, srebro, bakar, aluminij i njihove legure. Pogodni su za sve tehnologije obrade široke palete materijala-metala i nemetala te su stoga u najširoj primjeni.[20]

Nd-YAG laseri su zbog bolje apsorpcije zračenja kraće valne duljine pogodniji za precizniju obradu metala i visokoreflektivnih materijala. Pojavljuju se sa snagom do 15 kW i imaju manju efikasnost (do 3%). Međutim, mogućnost vođenja relativno velikih snaga na veliku udaljenost optičkim vlaknom čini ih vrlo fleksibilnim i produktivnim u industriji rezanja, zavarivanja i bušenja tankih limova - npr. rezanje i zavarivanje lima u automobilskoj industriji.

CO laseri su danas u intenzivnom razvoju naročito u Japanu i s velikom perspektivom u tehnologiji obrade materijala. Stupanj iskorištenja (efikasnost) ovih lasera je ekstremno velika (do 90%) ali se moraju hladiti do vrlo niskih temperatura (i do 100 K). Postizanje većih snaga u budućnosti te mogućnost vođenja snopa optičkim vlaknom omogućiti će njihovu veću primjenu.

Cu laseri zbog svoje valne duljine pružaju mogućnosti nove primjene u tehnologiji u mikroobradi toplinski osjetljivih materijala kao što su bakar, aluminij, mesing,titan, nehrđajući visokolegirani čelik. U odnosu na standardnu lasersku tehnologiju obrade CO2 i Nd-Yag lasera, Cu laseri izuzetno precizno režu i buše navedene materijale uz minimalne toplinske efekte.

Eksimerski laseri su naročito pogodni za vrlo precizne operacije u obradi materijala - metala, keramike i plastičnih masa. Kratka valna duljina omogućava u nekim slučajevim netoplinsko

[19] https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser (4.9.2017.)
[20] http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (5.9.2017.)

djelovanje - direktno kidanje molekulskih veza, te su operacije rezanja i bušenja vrlo precizne i kvalitetne. Zbog izvanrednih svojstava široko se primjenjuju u mikroelektronici pri izradi štampanih pločica velike gustoće pakiranja, zatim u mikrolitografiji za ekspoziciju fotorezistora pri izradi integriranih sklopova visokog stupnja integracije. Također su pogodni za toplinsku obradu zbog ravnomjernę distribucije energije po širokom profilu površine[21].

Nažalost, nije moguće ostvariti proizvoljnu i optimalnu kombinaciju parametara lasera kao što su valna duljina, vršna snaga, vrijeme trajanja i repeticija impulsa, TEM i polarizacija. Svaki tip lasera koji se pojavljuje na tržištu ima odgovarajuća ograničenja. Valna duljina lasera je glavni parametar koji ograničava neke od primjena. Npr. rezanje stakla vidljivom ili blisko-infracrvenom (Nd-YAG) svjetlosti nije moguće jer se takva svjetlost transmitira kroz staklo bez apsorpcije energije. Međutim rezanje stakla CO2 laserom je vrlo efikasan proces. Rezanje zlata zbog potpune refleksije nije moguće izvoditi CO2 laserom ali Nd-YAG laser je zadovoljavajući za navedenu primjenu. Međutim Cu laser je prirodno pogodan za obradu upravo visokoreflektivnih i toplinski osjetljivih materijala. Što je valna duljina zračenja kraća to je laser za obradu metala pogodniji - apsorpcija je veća a toplinske deformacije manje. Otuda i interes za usavršavanje, razvoj i uvođenje u proizvodne pogone lasera s kraćom valnom duljinom. Visoko reflektivni materijali različito apsorbiraju valne duljine, ali kad je jedan tip lasera za određenu primjenu pogodniji od drugog mnogo su važniji parametri kao što su vršna snaga, vrijeme trajanja impulsa i repeticija nego što je valna duljina. Tako npr. ako se tvrdi da Nd-YAG laser reže preciznije i kvalitetnije nego CO2 laser, to je istina samo ako se usporedi impulsni Nd-YAG i kontinuirani CO2 laser.[22]

4.5. Postupci primjene lasera u obradi materijala

Koriste se u širokom spektru procesa obrade materijala. Za svaki se proces parametri obrade određuju ovisno o materijalu, tipu lasera, zahtijevanoj brzini rada i drugim parametrima. Za svaki se proces mogu definirati tipične vrijednosti parametara i režimi rada. Najviše se koriste CO_2 i Nd-YAG laseri, ali se nastoji povećati korištenje CO, Cu i egzimerskih lasera.

Površinska obrada: ovdje spadaju svi procesi kao što su kaljenje, otvrđivanje, legiranje, nanošenje tankih slojeva i sl. kod kojih se laser koristi kao izvor toplinske energije u režimu koji ne dozvoljava porast temperature u dubini materijala iznad temperature taljenja. Kod nekih procesa laser izaziva metalurške promjene a da se materijal drži u čvrstom stanju, dok kod drugih

[21] http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (5.9.2017.)
[22] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1479732820-0-postupcispajanja_materijalilaseri-bauer.pdf (5.9.20117.)

intenzitet zračenja dovodi do taljenja materijala samo u površinskom sloju. Prednost postupka je selektivna obrada samo na određenim dijelovima površine, zanemariva mehanička deformacija i mogućnost rada na dijelovima složenog oblika. Osnovni parametri procesa su snaga, intenzitet i brzina pomicanja laserskog snopa. Laserski snop prelazi preko željene površine u jednom ili više prolaza, poprečno, uzdužno ili kombinirano tako da se tretirana površina ravnomjerno zagrijava. Postupak se može izvoditi kontinuiranim i impulsnim snopom.

Zavarivanje: zavarivanje je jedan od najčešće korištenih procesa laserske obrade. Mogućnosti zavarivanja laserom kreću se od zavara veličine mikrometra do zavarivanja masivnih metalnih struktura debljine do 70 mm. Prednosti zavarivanja je selektivno zagrijavanje materijala, mala zona utjecaja topline, mogućnost zavarivanja sklopova sa otežanim pristupom, velika brzina i produktivnost i često mogućnost zavarivanja raznorodnih materijala. Princip postupka - energija snopa koje se prenosi do radnog komada dijelom se reflektira a dijelom apsorbira. U procesu zavarivanja laserom gubici energije refleksijom mogu biti veliki. Refleksivnost se smanjuje kako temperatura površine materijala raste, zagrijavanjem površine apsorbira se sve više energije koja se kondukcijom vodi od površine u unutrašnjost materijala. Visoka temperatura taline povećava apsorpciju a time i unos energije laserskog snopa. Ako se u talini oblikuje uski krater po cijeloj debljini osnovnog materijala, gubici refleksijom su bitno smanjeni, energija snopa se apsorbira mnogo efikasnije. Kod ovog načina rada laserska zraka pretaljuje čitavu debljinu osnovnog materijala oblikujući otvor u materijalu oblika ključanice. Zavareni spoj nastaje uslijed sila površinske napetosti koje osiguravaju tečenje taline oko otvora, zatvarajući ga iza zrake, kako ona napreduje u smjeru zavarivanja. Primarni parametri su snaga snopa, brzina zavarivanja, položaj žarišta a sekundarni su parametri impulsa, kontrola, plazme, zaštitni plinovi, modovi snopa. Materijali koji se mogu uspješno zavariti laserom su visokolegirani nehrđajući čelici, nelegirani čelici, legure titana i legure aluminija.[23]

Rezanje: laserom možemo rezati sve vrste materijala, polimerne materijale, stakla, drva, papir, tekstil te keramičke materijale. Može se izvoditi u širokom području parametara od rezanja taljenjem do direktnog isparavanja materijala. Glavne prednosti primjene su mala širina reza i mala zona utjecaja topline, nema trošenja alata, jednostavno pridržavanje radnih komada, jer se ne primjenjuje mehanička sila, pogodnost za automatizaciju i mogućnost rezanja raznih vrsta materijala. Parametri laserskog rezanja su debljina materijala, snaga lasera, promjer sapnice, udaljenost sapnice i tlak plina. Glavni nedostatak rezanja laserom su veliki gubici energije. Efikasnost industrijskih lasera kreće se u opsegu od 5% do 15%. Utrošak energije i efikasnost lasera zavise od tipa lasera i varirat će zavisno od izlazne snage i radnih parametara. Zahtijevani

[23] http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujicic.pdf (5.9.2017.)

udio snage lasera za rezanje, dovedena toplina, zavisi od vrste materijala, debljine, korištenog procesa, i željene brzine rezanja.

Bušenje: proces sličan rezanju uz primjenu malo većih intenziteta i kraćeg vremena ozračivanja. Kao i rezanje primjenjuje se na razne materijale od metala, nemetala, abrazivnih materijala, keramike, dijamanta i organskih materijala. Tvrđi materijali buše se brzo i jednostavno kao i meki. Prednost bušenja je bušenje provrta vrlo malih promjera i mogućnost bušenja s velikim odnosom dubina/promjer provrta, velika brzina i preciznost. Izvodi se sa jednim ili više laserskih impulsa dobro centriranim i fokusiranim laserskim snopom. Kada padne na površinu materijala, laserski snop tali i isparava dio materijala ostavljajući otvor u materijalu. Nastala para stvara pritisak koji uzrokuje tečenje materijala prema izlazu provrta pri čemu se izbacuje i jedan dio rastaljenog materijala u obliku užarenih kuglica.[24]

Graviranje i markiranje su procesi u kojem laserski snop inducira promjene na površini tako da ostaje trag u vidu grafičkih simbola ili se isparava tanak sloj materijala. Osnovne prednosti su velika brzina rada, trajnost zapisa, fleksibilnost i mogućnost brze promjene karaktera simbola.

Oblikovanje materijala: cilj ove nove tehnologije je oblikovanje metala i legura laserskim snopom bez upotrebe alata za deformiranje i vanjske sile. Laserski snop djelovanjem na određeni dio površine metala izaziva lokalno zagrijavanje i glatko tečenje metala. Brzim hlađenjem nastaju trajne promjene oblika. U odnosu na klasične tehnologije laserska tehnologija je efikasna i ekonomična u slučajevima oblikovanja prototipa, tvrdih i krhkih materijala i za djelovanje s udaljenosti na elemente ugrađene u konstrukcije.[25]

4.6. Upravljanje i softver

Cnc strojevi ne mogu raditi sami već ih mora opsluživati čovjek. Postoje dva različita posla vezana uz izradbu na CNC stroju: prvi se odnosi na izradu programa, a drugi na izvršenje programa na CNC stroju. U većini tvrtki ta dva posla su razdvojena i obavlaju ih različiti djelatnici: CNC programeri i CNC operateri. CNC programer je osoba koja ima veliku odgovornost u CNC radionici. Odgovoran je za uspjeh tehnologije numeričkog upravljanja kao i za moguće probleme vezane za operacije izrade na CNC stroju. Također je odgovoran za kvalitetu izrade proizvoda. Zadaća CNC programera je izraditi kompletnu tehnološku dokumentaciju na osnovi koje će operater na CNC stroju izraditi predmet. CNC

[24]https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1479732820-0-postupcispajanja_materijalilaseri-bauer.pdf. (5.9.2017.)
[25] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1494419277-0-predavanje7.pdf (5.9.2017.)

operater je osoba koja na stroju izrađuje predmet na osnovi tehnološke dokumentacije dobivene od CNC programera. Osnovna odgovornost operatera je točnost obrade. Također je odgovoran za održavanje čistoće stroja, a često treba obavljati i jednostavnije aktivnosti održavanja na CNC stroju.[26]

Cad programska oprema, često nazivana CAD/CAM programska oprema, odnosi se na programe koji pomažu inženjerima, konstruktorima i dizajnerima u širokom spektru industrije kako bi konstruirali i proizveli fizički proizvod počevši od zgrada, mostova, cesta, zrakoplova, brodova pa sve do digitalnih kamera mobitela, majica i naravno strojeva. Sredunom 1970- ih računala su se sve više razvijala i imala veću snagu što je omogućilo više funkcija i mogućnosti za rad na njima. Tvrtke koje su u to vrijeme bile ograničene na crtače počele su ulagati u razvijanje CAD programa kako bi se smanjili troškovi i ubrzao proces izrade. Tijekom vremena cad se proširio na cijeli svijet pa su i ostale tvrtke počele ulagati u svoje CAD programe koji su postajali sve brži, jednostavniji za korištenje i dostupniji. Primjenom CAD programske opreme omogućena je povećana produktivnost inženjera obzirom na moguććnosti koje CAD programi nude. Povijest konstrukcije modela omogućava brzi pregled svojstava, uvidom u njegove značajke, omogućava vršenje promjena na samo jednom području modela bez potrebe da se iste provode na ostalim cjelinama. Parametri i ograničenja mogu se koristiti za određivanje veličine, oblika i ostalih svojstava različitih konstrukcijskih dijelova. Ostale mogućnosti, koje su sastavni dio CAD programske opreme uključuju čitav niz alata za mjerenje koncentracije naprezanja, čvrstoće, očitavanje elektro-magnetskih svojstava. Također, može se pratiti zamor materijala i naprezanje prilikom unosa topline u model.

CAD je skraćenica od engleskog pojma Computer Aided Design, što u doslovnom prijevodu znači Računalom Podržano konstruiranje, i odnosi se na upotrebu računalnih sustava u smislu pomoći prilikom projektiranja, modeliranja, provođenja simulacija, izrada tehnoloških procesa i slično. CAD program se može koristiti za izradu dvodimenzionalnih (2D) i trodimenzionalnih (3D) tehničkih crteža. Cad predstavlja puno više od crtanja linija i modela elektroničkim putem. Prednosti CAD sustava su mnoge:

-Povećanje produktivnosti omogućeno je jednostavnim crtanjem mnogokuta, elipsa višestrukih paralelnih linija i krivulja.

[26]Bošnjaković, M. **Numerički upravljani alatni strojevi.** Zagreb 2009. (7.9.2017.)

-Cad je vrlo koristan kod ponavljajuće i brze dokumentacije proizvoda u jednom području vrličina

-Mogučnost prilagođavanja programa za osobne potrebe poduzeća i na taj način stvaranje programa koji je različit od onoga koji kosriti konkurencija.

-Čvrsta tijela izrađena u CAD programu moguće je prebaciti u program konačne analize elementa, koji provjerava je li predviđena konstrukcija sposobna podnijeti zadana opterećenja.

-Uporabom CAD programa otklonjeno je vrijeme potrebno za ponovno crtanje i prepravljanje nacrta nakon što klijent odluči unijeti određene promjene na prvobitnom nacrtu

-Prije uporabe i razvoja CAD programa, inženjeri i crtači su trošili u prosjeku 30% svojeg vremena proučavajući nacrte i druge dokumente. Uređivanje nacrta i kreiranje popisa elemenata sklopa je brzo i jednostavno korištenjem CAD programa.

CAM sustavi za razliku od CAD-a služi kao pomoć prilikom konstruiranja i modeliranja proizvoda, procesa i proizvodnih pogona, CAM ili Computer Aided Manufacturing kao što i sama skaraćenica kaže, služi kao programska podrška proizvodnji, odnosno kontroli CNC strojeva koji se koriste pri obradi i proizvodnji obradaka. Tradicionalno, CAM je shvaćen kao programski alat za numeričko upravljanje (NC) u kojem se pomoću CAD sustava generiraju dvodimenzionalni ili trodimenzionalni modeli. Unatoč pomoći koju CAM programski alat nudi u procesu izrade koda iz CAD modela, potreba za znanjima koja posjeduju proizvodni inženjeri NC programeri i dalje postoji. Korištenjem podataka o geometriji modela, dobivenih iz modela i nacrta kreiranih u CAD sustavu, CAM program generira putanju alata za računalne upravljače: -Tokarilica

-Glodalica

- Obradnih Centara

-Opreme za zavarivanje

-Preša

-Lasera

Tipičan proces stvaranja programa za upravljanje CNC strojem, uključuje izradu dijelova i popis dijelova u CAD programu do krajnje razine te izradu slojeva geometrijskih značajki potrebnih za CAM obradni program. Opis dijela načinjenog u CAD programu prevodi se u prilagođeni format, kao što je DFX ili IGES koji se potom učitava u CAM program gdje se koristi za izradu putanje alata koja prati opis prethodno načinjen u CAD-u Putanja se može uređivati i kombinirati putanjama alata gdje je potrebno te na taj način stvara kompletan program za stroj na kojim se vrši obrada ili izrada nacrtanog dijela. Podaci dobiveni iz modela moraju se obraditi u potprocesoru kako bi se dobio ispis programa za upravljačku jedinicu CNC stroja na kojem će se vršiti obrada. Rezultat CAM programa je NC program koji se može ponovno učitati u CAD programu kako bi prikazao simulaciju obrade, odnosno putanje alata ili se može učitai u NC programu za modeliranje kako bi se načinio računalni model za provjeru prije proizvodnje.[27]



Slika 20: Upravljačka jedinica CNC stroja

Izvor: https://www.google.hr/search?q=Upravljačka+jedinica+cnc&tbm=isch&imgi (7.9.2017)

[27] https://www.scribd.com/doc/23035523/skripta-CNC-Blazevic (15.9.2017)

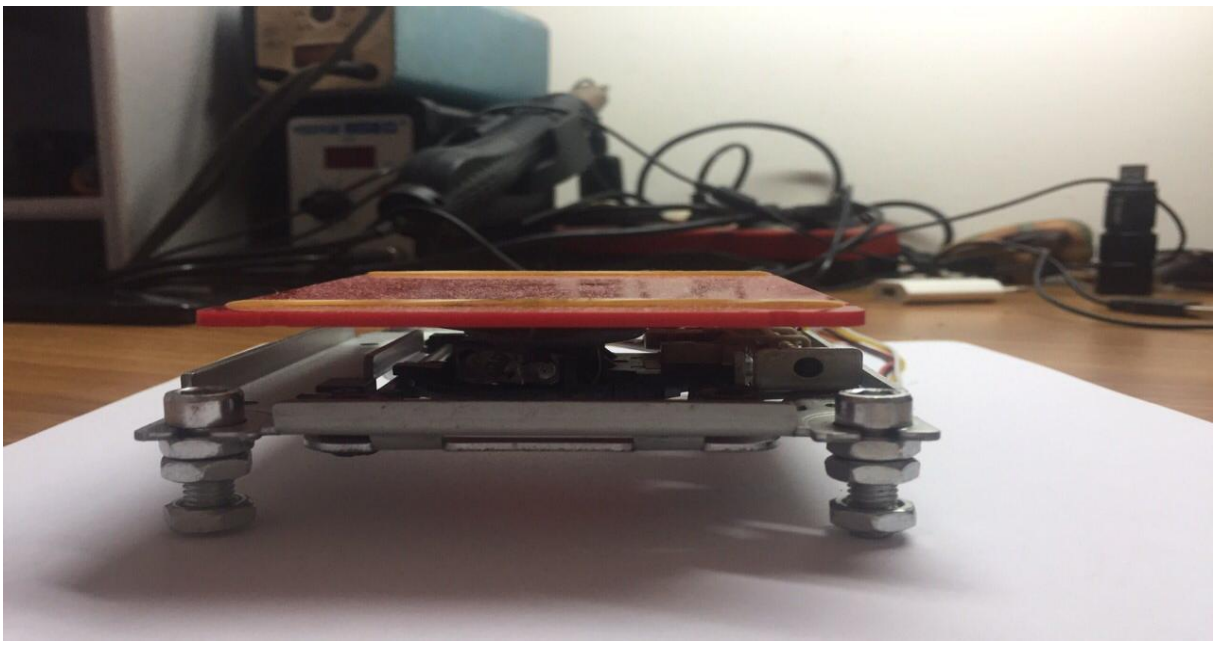
CAD podršku prilikom modeliranja i konstruiranja obradka završnog rada ustupljena je kroz Solidworks, koji je u pravilu CAD program u kojem se osim modeliranja može uz pomoć programskih proširenja, također i kreirati NC kod te se mogu odrediti operacije koje se izvode na obratku. Na kraju možemo reći kako CAM sustav omogućava programiranje na višoj razini nego ručno programiranje. CAM sustav omogućava dobivanje CNC programa bez mukotrpnog učenja G koda a isto tako olakšava programerima jer oslobađa programere potrebe za matematičkim izračunima i olakšava programiranje različitih vrsta strojeva s istim osnovnim CNC jezikom. [28]

[28] https://www.scribd.com/doc/23035523/skripta-CNC-Blazevic (18.9.2017)

5. Projekt i konstrukcija modela 2D CNC stroja za graviranje

Najraširenij postupak graviranja je graviranje pomoću lasera. Lasersko graviranje je postupak urezivanja, tj. spaljivanja teksta ili slike na za to prikladnu podlogu. Podloge za graviranje mogu biti od različitih materijala poput drveta, pleksiglasa, stakla, inoksa, aluminija i drugih. Strojevi sa laserima dijele se po snazi i radnoj površini. U industriji najčešće su korišteni strojevi velikih radnih dimenzija i velikih snaga lasera, dok je najraširenija uporaba lasera srednjih snaga. Strojevi sa laserima malih snaga implementirani su pomoću laser dioda. Takve laser diode najčešće imaju snagu od 300 mW do nekoliko desetaka vata. Za strojeve većih snaga od laser diode koriste se CO2 laseri. Takvi laseri sastavljeni su od staklene cijevi ispunjene smjesom plinova. Najčešće su to ugljični dioksid, dušik i helij. CO2 laseri imaju spektar snaga od 10 W do 400 W i zbog velikih snaga imaju mogućnost rezati materijal.

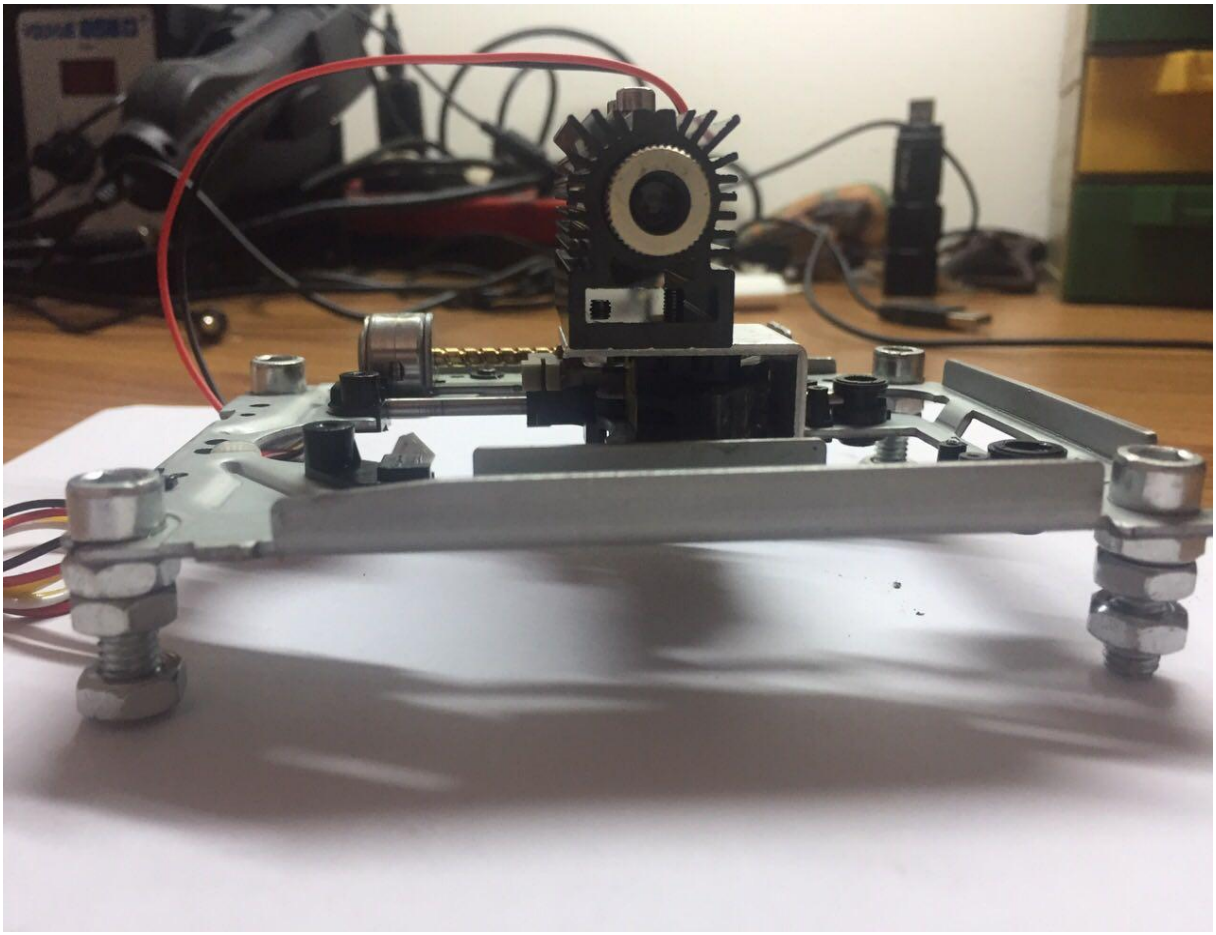
U ovom poglavlju biti će prikazan postupak izrade CNC-a za lasersko graviranje. Konstrukcija prikazanog stroja je takva da omogućava graviranje na mekšim materijalima. Pozicioniranje materijala koji se obrađuje i alata koji vrši obradu izvedeno je sa dva električna motora, gdje svaki motor vrši pomak po jednoj osi. Električno napajanje električnih motora vrši se preko elektroničkog sklopa za upravljanje. Za ovaj jednostavni CNC stroj kao elektromotori su odabrani dostupni motori iz DVD čitača.



Slika 21: Mehanizam x osi

Izvor:Autor

Kao što je i na slici vidljivo za mehanizam x osi iskorištena je unutrašnji mehanizam dvd čitača koji na sebi ima koračni elektromotor na kojem imamo četiri izvoda. Na ta četiri izvoda potrebno je zalemiti četiri žice koje će nam kasnije biti potrebne za spajanje na hardver koji regulira pomak preko elektromotora. Za izradu y osi također je upotrebljen mehanizam iz dvd čitača. Na y osi je pričvršćen laser koji mora imati svoj hladnjak radi hlađenja lasera da ne bi došlo do pregaranja lasera. Na sljedećoj slici je prikazan mehanizam y osi cnc stroja.



Slika 22: Y os CNC stroja

Izvor: Autor

Laser je uređaj za stvaranje i pojačavanje koherentnog elektromagnetskog, monokromatskog, usko usmjerenog zračenja. Laserske diode postale su gotovo najbitniji proizvod elektroničke industrije. Većina laserskih dioda male snage dolazi na tržište u kućištu tranzistorskog tipa a manji dio ima kučište drugih oblika. Standardni promjeru dioda su 9 i 5,6 mm. Dioda je u strujni krug spojena putem dva vodiča, anode i katode gdje je anoda spojena na pozitivnu stranu strujnog kruga, a katoda na negativnu stranu. Spektar valnih duljina laser dioda je od 375 nanometara do 1610 nanometara a vrijednost unutar spektra imaju različite boje:

- ultraljubičasta λ < 400 [nm]
- tamnoljubičasta 400 - 450 [nm]
- plava 450 - 500 [nm]
- zelena 500 - 570 [nm]
- žuta 570 - 590 [nm]
- narančasta 590 - 610 [nm]
- crvena 610 - 760 [nm]
- infracrvena λ > 760 [nm]

Slika 23: CNC laser



Slika 23: CNC laser

Izvor: www.aliexpress.com/wholesale?catId (15.9.2017)

Na cnc stroju se koristi laser sa gornje slike a ima diodu promjera 5.6 mmi valne duljine svijetla koje emitira 405 nm. Za takvu valnu duljinu laser emitira svjetlost plave boje. Diodu napaja konstantni napon 5V dok struja ovisi o signalu koji generira glavna jedinica stroja. Maksimalna struja koja može proteći kroz diodu je 1.8 ampera, a to je maksimalna vrijednost koja je podešena na napajanju. Tehničke karakteristike laser diode nalaze se u tablici 1:

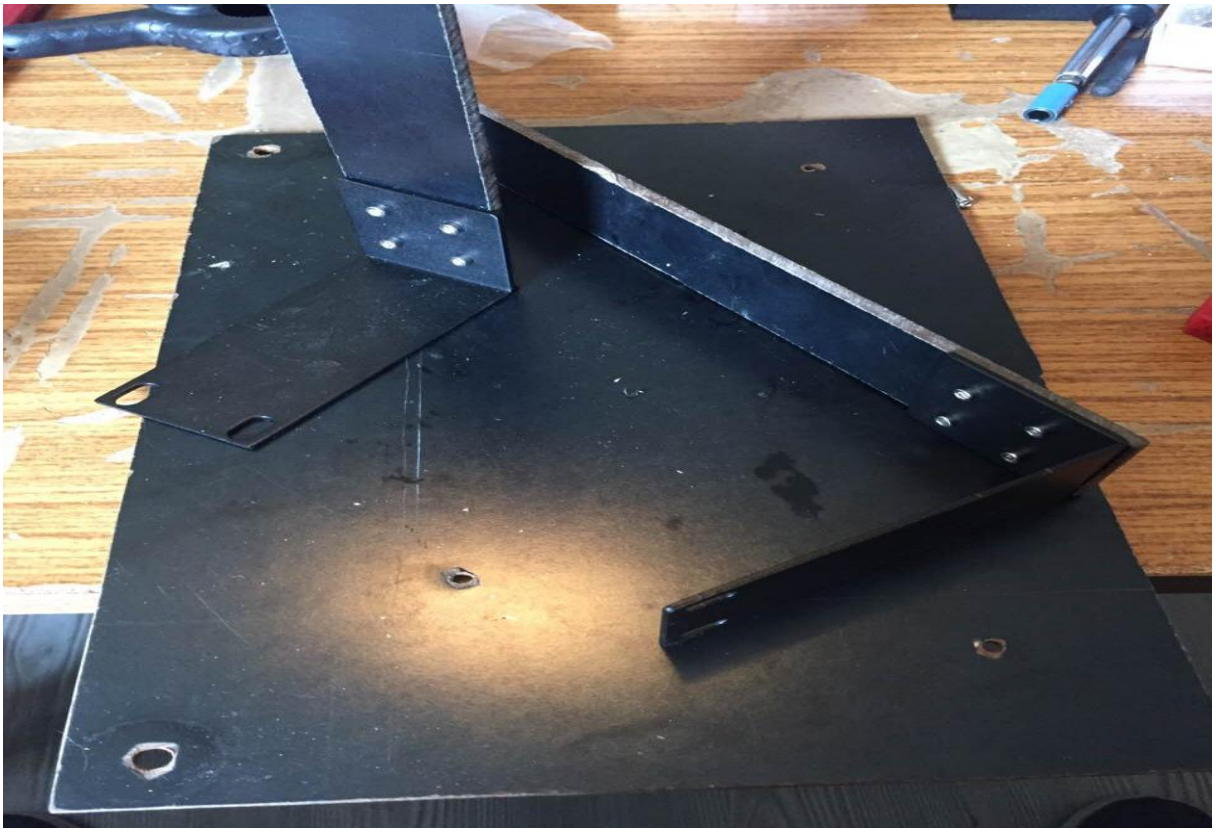
Tablica 1: Tehničke karakteristike laser diode

Napon	4.5-5V
Struja	1.8 A
Valna duljina	405 nm
Težina	17g

Izvor: Autor

Zbog protjcanja velike struje kroz laser diodu je potrebno prisilno hladiti, inače u vrlo kratkom vremenu dolazi do pregaranja. Glavni dio hlađenja je hladnjak. Na vrhu hladnjaka nalazi se leća za fokus laserske svjetlosti koja se može regulirati od 01-05 milimetara. Važno je kod uporabe lasera koristiti odgovarajuću zaštitnu opremu.

Sljedeći korak je izrada postolja na koje ćemo postaviti mehanizme te da se osmisli gdje i kojim redom će na postolju stajati mehanizam i pločica odnosno softver koji je potreban da cnc stroj funkcionira. Materijal od kojeg će biti izrađeno postolje biti će od bakelita. Dimenzije donjeg postolja je 20x30 cm, dok su dvije vertikalne ploče koje služe da se na njih pričvrsti mehanizam y osi 4x18cm.

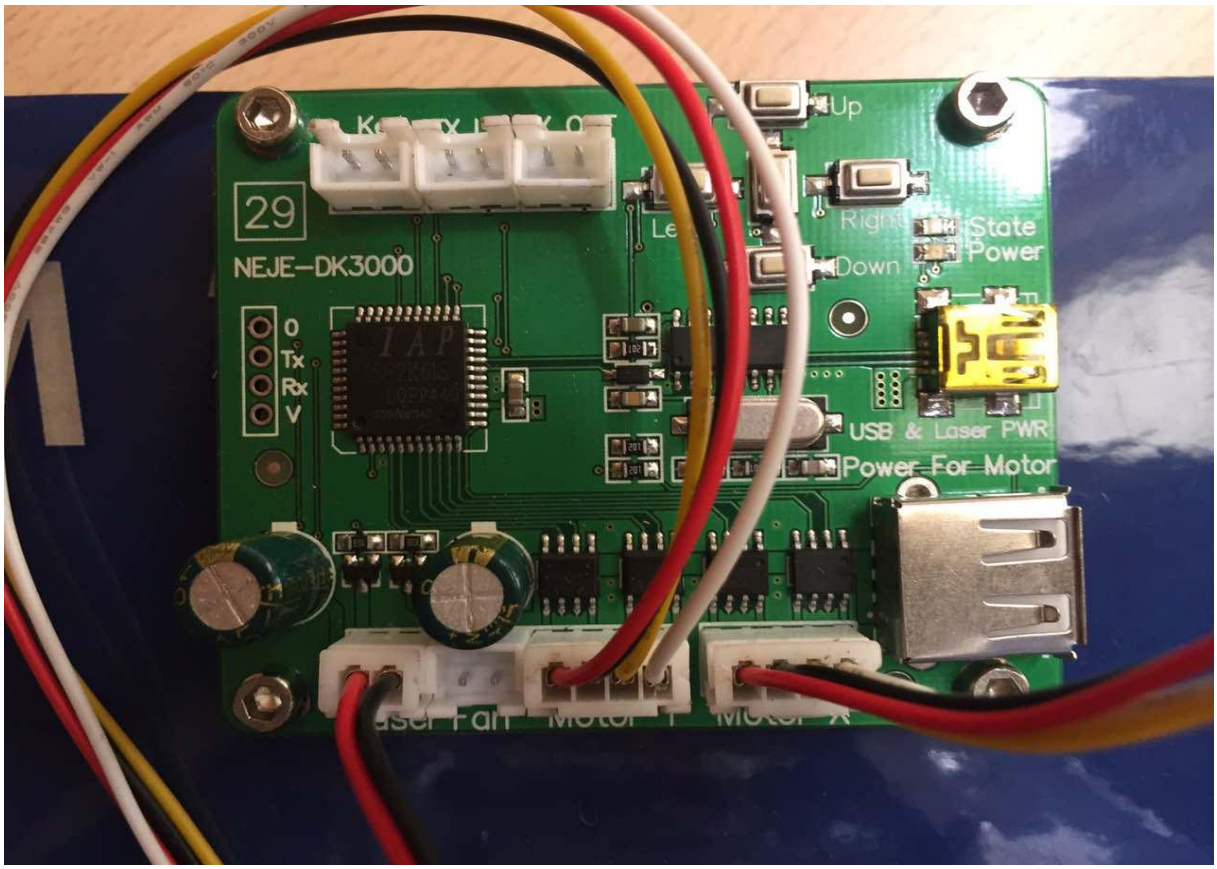


Slika 24: Postolje za CNC

Izvor: Autor

Na postolju je vidljivo kako se nalaze dva L profila, oni su nam potrebni kako bi na postolju učvrstili konstrukciju za y os.

Pločica koja se nalazi na kućištu cnc-a koja ujedno i služi za komunikaciju između laptopa i mehanizma, možemo poistovjetiti sa pločicom Arduino. Pločica se napaja putem mini usb-a priključka, 5V, te koristi još jedan priključak koji je potreban za komunikaciju softvera i cnc-a za lasersko graviranje. U sljedećoj slici biti će prikazana pločica koju kosristi cnc stroj za lasersko graviranje.



Slika 25: CNC pločica

Izvor: Autor

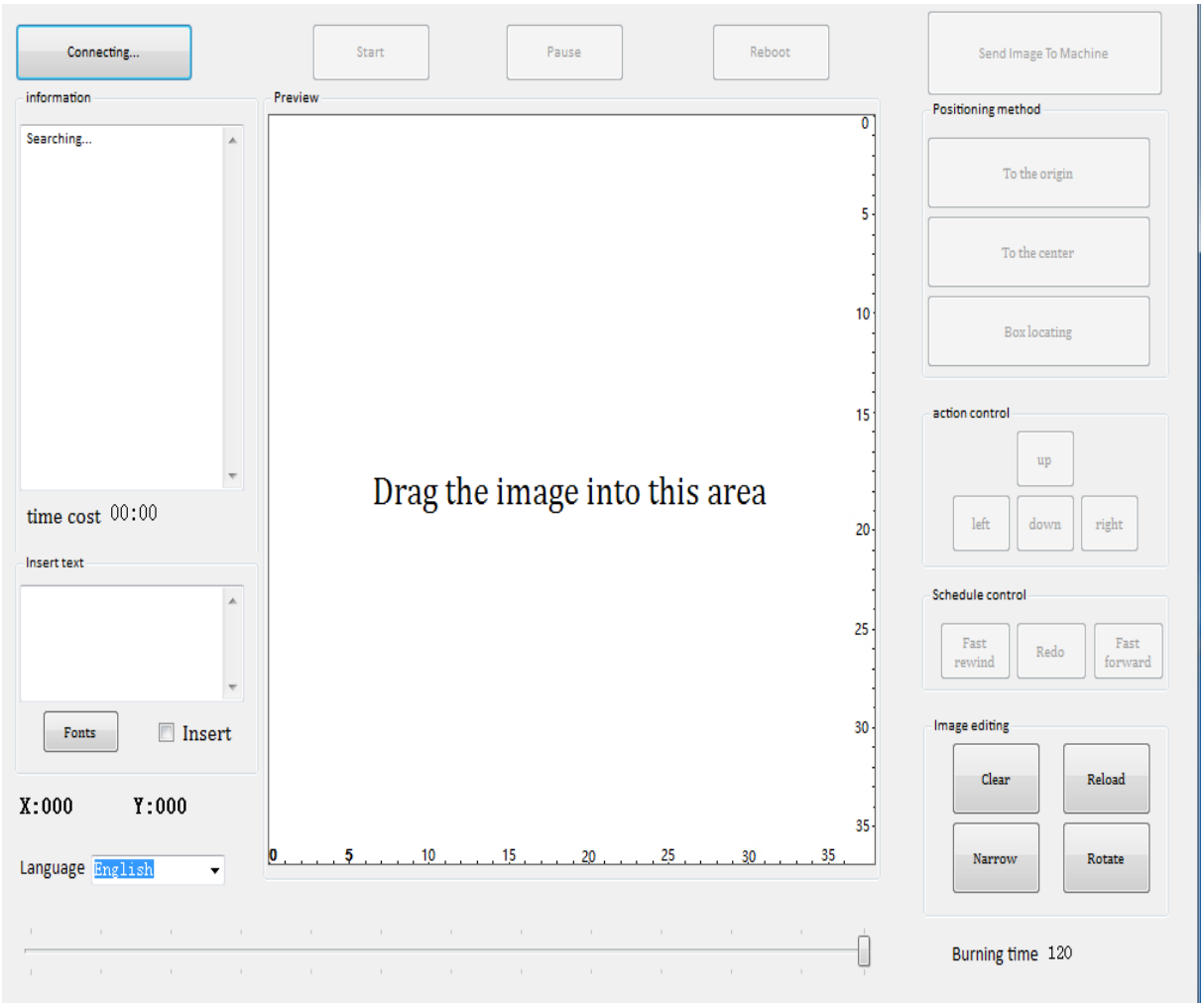
Kao što se može vidjeti na pločici sa desne strane su postavljeni izlazi za napajanje i komunikaciju sa prednje strane imamo priključke koji su potrebni za laser i elektromotore koji su potrebni da bi cnc radio. Na gornjoj strani postoje priključci za postavljanje ventilatora ili prekidača koji bi pokretao cnc bez kompjutera i gravirao bi zadnju sliku ili tekst koji je spremljen u memoriji pločice. Na pločici postoje još i tipke koje omogućavaju pomicanje x i y osi ručno.

Tablica 2: Tehničke karakteristike pločice

Radni napon	5V
Ulazni napon	7-12V
Flash memorija	256 KB

Izvor:Autor

Prilikom izrade cnc-a za lasersko graviranje odluka je bila da će se programirana pločica kupiti tako da je taj dio u projektu realiziran na način da je pločica kupljena a ostale komponente su slagane prema njoj. Na pločici se nalazi softver koji omogućava da se vrlo jednostavno i lagano može raditi na cnc-u. Sljedeća slika će prikazivati softver i u nastavku će biti objašnjene njegove opcije.



Slika 26: Softver CNC-a

Izvor: Autor

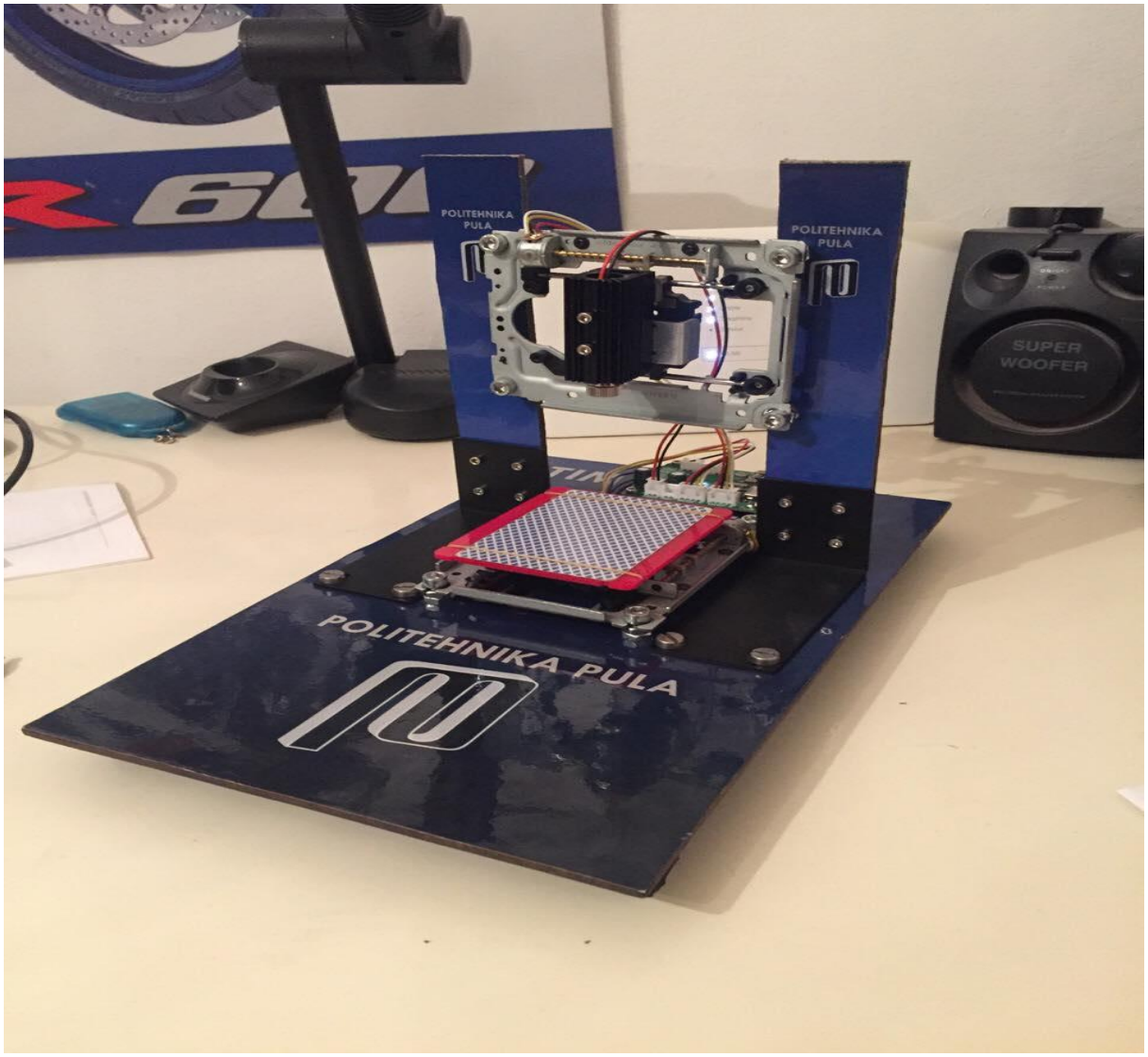
Sa lijeve strane postoji dugme koje se pritišće pri samom pokretanju stroja kako bi se stroj povezao sa softverom. Ispod njega se nalazi praznina u toj praznini stroj javlja u kojoj je fazi graviranja da li je priključen normalno ili ima kakve poteškoće pri povezivanju. Ispod te praznine nalazi se još jedna praznina koja nam omogućava pisanje teksta i promjene formata teksta kojeg želimo gravirati, jako je jednostavna jer upišemo tekst koji želimo gravirati ispod toga je dugme na kojeg pritiskom mijenjamo format u onaj koji želimo. S desne strane postoji velika praznina koja je u biti radna površina i u nju postavljamo sliku ili tekst koji želimo gravirati. Na tu površinu možemo lako ubaciti sliku koju želimo jer softver prilagođava bilo kakvu sliku koju imamo cnc stroju. Nakon što odlučimo što ćemo gravirati u gornjem desnom kutu postoji dugme koje šalje sliku na pločicu. Nakon što je slika ili tekst prebačena na pločicu na gornjem djelu softvera pritišćemo start i stroj kreće sa graviranjem, u nizu postoje tipke za pauzirati graviranje u slučaju ako nešto nije uredu ili za ponovno pokretanje graviranja zadane slike ili teksta ukoliko želimo podebljati gravuru. S desne strane postoji niz tipki koji se svode na to da dovedemo laser u centar ili da laser svojom zrakom prikaže radnu površinu. U desnom kutu softvera postoje tipke koje sa kojima sliku ili text koji smo izgravirali možemo izbrisati ponovno učitati. Na ovom cnc stroju mogu se gravirati drvo i plastika, a površina graviranja iznosi 4x4cm.

Nakon što je konstrukcija cnc-a bila gotova i komponente su bile spremne uslijedilo je sastavljanje cnc-a. Prilikom sklapanja cnc-a trebalo je pazati da su sve komponente na svom mjestu te da ih ne bi oštetili prilikom montaže. Nakon što je cnc sastavljen došao sam na ideju kako bi bilo dobro izraditi naljepnicu koja bi prekrila postolje, na kojoj bi bio ispisan logo politehnike. Na taj način sam prekrio podlogu na kojoj je cnc tokarilica postavljena te greške koje sam napravi prilikom sklapanja pošto nisam imao profesionalni alat sa kojim bih to mogao odraditi. U sljedećim koracima biti će prikazana slika cnc-a za lasersko graviranje i troškovi koje je bilo potrebno namiriti kako bi se projekt mogao privesti kraju.

Tablica 3: Tablica troškova

	Dijelovi	Cijena
1.	Laser	298kn
2.	Elektronska pločica(softver)	364kn
3.	Postolje	80kn
4.	Naljepnica Politehnika Pula	70
	Ukupno	812 Kn

Izvor: Autor



Slika 27: CNC za lasersko graviranje

Izvor:Autor

Na slici je CNC stroj za lasersko graviranje koji je izrađen kroz projekt u kolegiju Timski rad i praktikum 6 i uz pomoć mentora. Zaključak cijelog projekta bi bio kako izrada samog cnc stroja za lasersko graviranje nije nimalo lagan s obzirom da nisam posjedovao alate koji su potrebni za takvu izradu.

6.Zaključak

U ovom završnom radu opisane su metode i tehnike graviranja, te kako se kroz vrijeme napredovalo od ručnog graviranja pa sve do primjene cnc strojeva za lasersko graviranje, isto tako je izrađen model cnc stroja koji zorno prikazuje funkcioniranje cnc stroja Uvođenjem CNC strojeva u proizvodnju podosta je izmijenilo i olakšalo proizvodnju. Obrada zahtjevnijih linija, krivulja i raznih oblika koja je zahtijevala popriličan ljudski rad sada je zamijenjena CNC strojevima. S povećanjem uporabe CNC strojeva u industriji povećala se brzina i efikasnost proizvodnje, a isto tako smanjili su se troškovi proizvodnje. Ručno graviranje se i dan danas koristi tamo gdje se i zahtjeva od strane korisnika a i može se reći da je cjenjenije od laserskog graviranja. Ovim radom potvrđuje se hipoteza koja glasi da se u upoznavanje sa radom cnc stroja za lasersko graviranje, stjecanjem uvida u njegove mogućnosti znatno olakšava graviranje. Laserskim graviranjem ne troši se tinta i ne upotrebljavaju se razni alati koji troše površinu već laser utiskuje uzorak u površinu i samim time je isplativije jer nema troškova oko kupovanja novih alata.

6. Literatura

Knjige:

1. M. Bošnjaković , A. Stoić.: Programiranje CNC strojeva Slavonski Brod 2016

2. Bošnjaković, M.: Numerički upravljani alatni strojevi Zagreb 2009

3. Curić, K.: Programiranje cnc glodalica i cnc tokarilica Zagreb 2014

4.Katić, P.: Temelci alata i strojeva. Zagreb 2011

Internet:

1. https://dr.nsk.hr/islandora/object/unin%3A847/datastream/PDF/view (23.8.2017)

2.http://repozitorij.fsb.hr/1278/1/28_02_2011_Miho_Klaic__Prijenosni_stroj_za_graviranje_kamena.pdf (24.8.2017)

3. https://hr.wikipedia.org/wiki/Graviranje (2.9.2017.)

4. http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (2.9.2017)

5.http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujicic.pdf (4.9.2017)

6.http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/opticka%20vlakna_web_eskola_studenti.pdf (4.9.2017.)

7. https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser (4.9.2017.)

8. https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1494419277-0-predavanje7.(5.9.2017.)

9.http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (5.9.2017.)

10. http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (5.9.2017.)

11.https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1479732820postupcispajanja_materijalilaseri-bauer.pdf (5.9.20117.)

12. http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujicic.pdf (5.9.2017.)

13. http://mehatronnika.blogspot.hr/2012/12/cnc-masine-i-programiranje.html (10.9.2017)

14. http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (10.9.2017.)

15.http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/opticka%20vlakna_web_eskola_studenti.pdf (10.9.2017.)

16. http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf (10.9.2017)

17. https://www.scribd.com/doc/23035523/skripta-CNC-Blazevic (18.9.2017)

Popis slika:

Slika 1: Asortiman ručnog alata za graviranje.....4
Slika 2: Ručno graviranje.....5
Slika 3: Dlijeta.....5
Slika 4: Ručni stroj za graviranje.....6
Slika 5: Cnc stroj za graviranje.....7
Slika 6: Cnc stroj sa laserskom zrakom.....8
Slika 7: Tradicionalan stroj za obradu.....11
Slika 8: Cnc stroj za obradu.....11
Slika 9: Oblici postolja.....12
Slika 10: Zavarena izvedba postolja stroja.....13
Slika 11: Numerički upravljan stroj sa postoljem iz sivog lijeva.....14
Slika 12: Kuglični linearni ležaj i osovine cilindričnog profila.....15
Slika 13: Profilne linearne vodilice.....16
Slika 14:Prikaz presjeka linearnih vodilica.....16
Slika 15: Servo motor 17
Slika 16: Koračni motor.....18
Slika 17: Linerni motor.....19
Slika 18: Theodore. H. Maiman građa prvog lasera.....22
Slika 19: Građa lasera.....23
Slika 20: Upravljačka jedinica CNC stroja.....30
Slika 21:Mehanizam x osi 32
Slika 22: Y os cnc stroja.....33
Slika 23: CNC laser.....34
Slika 24: Postolje za CNC.....35
Slika 25: CNC pločica.....36
Slika 26: Softver CNC-a.....37
Slika 27: CNC za lasersko graviranje.....39

Popis tabela:

Tabela 1: Tehničke karakteristike laser diode.....35
Tabela 2: Tehničke karakteristike elektronske pločice.....37
Tabela 3: Tablica troškova.....38