

Primjena laserskog rezača za izradu komponenata mehatroničkih uređaja

Remenarić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Technical College in Bjelovar / Visoka tehnička škola u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:002707>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**Primjena laserskog rezača za izradu komponenata
mehatroničkih uređaja**

Završni rad br. 09/MEH/2017

Ivan Remenarić

Bjelovar, rujan 2017.

VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**Primjena laserskog rezača za izradu komponenata
mehatroničkih uređaja**

Završni rad br. 09/MEH/2017

Ivan Remenarić

Bjelovar, rujan 2017.



Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Remenarić Ivan** Datum: 23.05.2017.

Matični broj:000768

JMBAG: 0314007251

Kolegij: **PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM**

Naslov rada (tema): **Primjena laserskog rezača za izradu komponenata mehatroničkih uređaja**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za završni rad:

1. mr.sc. Stjepan Golubić, predsjednik
2. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., mentor
3. Božidar Hršak, mag.ing.mech., član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 09/MEH/2017

U radu je potrebno:

Navesti i opisati vrste lasera koji se koriste za potrebe rezanja i graviranja.

Opisati i testirati karakteristike laserskog stroja G.Weike LG5030S.

Za različite vrste nemetalnih materijala parametrirati stroj i testirati ga kod aplikacija rezanja i graviranja.

Opisati dobivanje datoteka koje su potrebne za programiranje laserskih strojeva, koristeći pri tome 2D i 3D CAD programske alate.

Za jedan kompleksniji mehatronički uređaj potrebno je izraditi 3D CAD model, 2D krojne liste, te izraditi i sastaviti uređaj, koristeći laserski stroj.

Zadatak uručen: 23.05.2017.

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**



Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru Tomislavu Pavlicu, mag. ing. mech. na svim korisnim savjetima i pomoći pri izradi završnog rada.

Isto tako zahvaljujem se mojoj djevojci Gabrieli, obitelji i prijateljima na podršci tijekom školovanja.

Sadržaj

Sadržaj.....	5
1. Uvod.....	1
1.1. Početno postavljanje laserskog stroja G. Weike LG5030S	3
2. Laserska tehnologija.....	7
2.1. CO ₂ laser.....	8
2.1.1. Konstrukcija.....	9
2.1.2. Primjena	11
2.2. Nd:YAG laser	12
2.2.1. Tehnologija	12
2.2.2. Primjena	13
3. Upotreba programskog alata LaserCut 5.3.....	14
3.1. Univerzalna inačica	14
3.1.1. File	15
3.1.2. Edit.....	16
3.1.3. Drawing.....	17
3.1.4. Tools	21
3.1.5. Lasersko procesiranje.....	23
4. Laserska obrada.....	28
4.1. Korisničko sučelje	28
4.1.1. Programski preglednik	29
4.1.2. Kontrolna ploča.....	30
4.1.3. Sučelje za izvoz datoteke u memoriju stroja.....	35
4.2. Rezanje laserom.....	36
4.3. Graviranje laserom	39
4.4 Postavke stroja.....	41
4.4.1. Sučelje za postavke stroja	41
4.4.2. Sučelje za postavke kontrolera.....	42
4.4.3. Sučelje za postavke radnog stola	43
4.4.4. Sučelje za postavke rezanja	46
4.4.5. Sučelje za postavke graviranja.....	48
5. Kontrolna jedinica PAD03	50

5.1. Kontrolni zaslon	51
5.1.1. Pomicanje obradne glave pomoću tipki smjera	52
6. Datoteke za programiranje laserskog stroja	54
6.1. Didaktička robotska ruka.....	54
6.2. 3D CAD model.....	55
6.3. 2D obrada i izrada.....	62
6.4. Rotacijska os laserskog stroja.....	70
7. Zaključak.....	73
8. Literatura	74
8. Literatura	74
9. Popis oznaka.....	76
10. Sažetak	77
11. Abstract	78
12. Pravitak	82

Popis slika

Slika 1.1. Laserski stroj G: Weike LG5030S	2
Slika 1.2. Hladnjak CW 3000 <i>Industrial Chiller</i>	3
Slika 1.3. Spajanje hladnjaka i laserskog stroja	4
Slika 1.4. Kompresor za upuhivanje zraka	4
Slika 1.5. Ispuh laserskog stroja	5
Slika 1.6. Provjera laserske cijevi	5
Slika 1.7. Probna uključivanja laserske zrake i centriranje	6
Slika 1.8. Podešavanje visine radnog stola	6
Slika 3.1. Prozor programa za univerzalno korištenje	14
Slika 3.2. Alatna traka	15
Slika 3.3. Tvornički parametri laserskog stroja	16
Slika 3.4. Unos teksta na sliku	17
Slika 3.5. Prozor za raspored teksta	18
Slika 3.6. Raspored teksta ako je odabrano „No“	18
Slika 3.7. Raspored teksta ako je odabrao „Yes“	18
Slika 3.8. Postavke za <i>Array Copy</i>	19
Slika 3.9. Prozor za precizan unos kuta rotacije	19
Slika 3.10. Rotacija pomicanjem miša	19
Slika 3.11. Opcije za skaliranje	20
Slika 3.12. Uređivanje čvorova	20
Slika 3.13. Dijaloški okvir provjere greške kod čvorova	21
Slika 3.14. Odabir razine izgladivanja	21
Slika 3.15. Parametri pomaka	21
Slika 3.16. Definiranje putanje laserske zrake	22
Slika 3.17. Ručni odabir početne točke i smjera rezanja	23
Slika 3.18. Opcije ulaza u rez i izlaza	23
Slika 3.19. Rezultat odabranih parametara	24
Slika 3.20. Odabir ishodišta	24
Slika 3.21. Dijaloški okvir alata za umnažanje	24
Slika 3.22. Dijaloški okvir proračuna	25
Slika 3.23. Rezultat optimiziranog umnažanja	26

Slika 3.24. Podešavanje brzine simulacije	26
Slika 3.25. Dijaloški okvir sa predviđenim izračunima	27
Slika 4.1. Korisničko sučelje u tri dijela	28
Slika 4.2. Procesni parametri obradnih programa	29
Slika 4.3. Kontrolna ploča	30
Slika 4.4. Sučelje za testiranje	31
Slika 4.5. Dodatne procesne funkcije	31
Slika 4.6. Vektor koji obuhvaća sve objekte [17]	32
Slika 4.7. Definiranje zajedničkih točki [17]	32
Slika 4.8. Parametri za rezanje s pomakom	33
Slika 4.9. Rezni vektor nakon potvrde novih parametara [17]	33
Slika 4.10. Dijaloški okvir postavki za pomicanje Z-osi radnog stola	34
Slika 4.11. Izvoz datoteke u kontroler	35
Slika 4.12. Odabir načina obrade	36
Slika 4.13. Unos parametara reza	36
Slika 4.14. Napredne postavke rezanja	37
Slika 4.15. Odabir načina obrade	39
Slika 4.16. Unos parametara graviranja	39
Slika 4.17. Napredne postavke graviranja	40
Slika 4.18. <i>Fill Circle</i> postavka [17]	40
Slika 4.19. Postavke stroja	41
Slika 4.20. Postavke kontrolera	42
Slika 4.21. Postavke radnog stola	43
Slika 4.22. Izračun pomaka	43
Slika 4.23. Postavke parametara „ <i>Feeding</i> “	45
Slika 4.24. Postavke rezanja	46
Slika 4.25. Obrada krugova malih promjera	47
Slika 4.26. Parametri krugova malih promjera	47
Slika 4.27. Postavke graviranja	48
Slika 4.28. Dodatni parametri za graviranje.....	48
Slika 5.1. Upravljačko sučelje PAD03 tipkovnica i LCD zaslon	50
Slika 5.2. Sadržaj kontrolnog ekrana	51
Slika 5.3. Glavni izbornik	52
Slika 5.4. „ <i>Cut contour</i> “ parametri	52

Slika 5.5. „Jog Set“ parametar	53
Slika 6.1. Lijevo prototipovi didaktičke robotske ruke, desno model u završnom radu[19]	54
Slika 6.2. Hvataljka pogonjena malim servo motorom, sisaljka pogonjena vakuumskom pumpom i hvataljka postavljena vertikalno[19]	55
Slika 6.3. 3D model didaktičke robotske ruke u programskom alatu SolidWorks	55
Slika 6.4. Onesposobljavanje veza u podsklopovima	56
Slika 6.5. Omogućavanje rastavljanja podsklopova na dijelove	56
Slika 6.6. Kreiranje novog „Sketch-a“	57
Slika 6.7. Pravokutnik 460x270mm	57
Slika 6.8. Povezivanje plavo označene površine dijela i „Top Plane“-a	58
Slika 6.9. Aktivacija „Sketch“-a u kojem je izrađen pravokutnik	59
Slika 6.10. Funkcija „Convert Entities“	59
Slika 6.11. Krajnji rezultat preslikavanja rubova dijelova, prva stranica	60
Slika 6.12. Krajnji rezultat preslikavanja rubova dijelova, druga stranica	60
Slika 6.13. Priprema za AutoCAD	61
Slika 6.14. Naredba „PEDIT“	62
Slika 6.15. Funkcija „polyline“	63
Slika 6.16. 2D krojne liste	63
Slika 6.17. „Top View“ pogled 3D modela postolja	64
Slika 6.18. Potvrda trenutnog pogleda kao pogleda za izvoz „View to Export“	64
Slika 6.19. Dijaloški okvir za pretpregled .dxf datoteke u nastanku	65
Slika 6.20. Otvaranje datoteke u programu za upravljanje laserskim strojem	65
Slika 6.21. Rezultat graviranja	66
Slika 6.22. Krojna lista dijelova prva stranica	67
Slika 6.23. Krojna lista dijelova druga stranica	67
Slika 6.24. Dijelovi robotske ruke izrezani laserom	68
Slika 6.25. Pogled s boka na didaktičku robotsku ruku	69
Slika 6.25. Pogled na didaktičku robotsku ruku sa suprotne strane	69
Slika 6.26. Radni stol u donjoj mrtvoj točki	70
Slika 6.27. Pogon četvrte osi	70
Slika 6.28. Priprema objekta za graviranje	71
Slika 6.29. Prilagodba u softveru	71
Slika 6.30. Slanje konfiguracijske i obradne datoteke	72
Slika 11.1. Dijelovi izrezani i spremni za sastavljanje didaktičke robotske ruke	82

Popis tablica

Tablica 2.1. Kombinacije izotopa atoma ugljika i kisika [9]	10
Tablica 6.1. Preporučene postavke snage, brzine i posmaka [19]	68
Tablica 12.1. Popis korištenih ležajeva, vijaka i podložaka	83

1. Uvod

Kroz kolegij Proizvodnja podržana računalom uče se suvremene metode proizvodnje korištenjem CAD – CAM – CNC sustava u vidu postprocesiranja programiranih obrada. Mogućnosti programskog CAD/CAM alata SolidWorks/SolidCAM koriste se za potrebe strojnog bušenja, glodanja, tokarenja, obradu limova i pločastih materijala na CNC raskrajačima, laserskim i plazma rezačima, probijačicama, prešama i robotima.

Laser se koristi kao tehnologija rezanja ili graviranja materijala. Primjenu nalazi u industriji, školama, malim poduzećima i kod hobista. Računalom direktno kontrolirana izlazna snaga lasera izaziva da se materijal topi, izgara, isparava ili ga otpuhuje mlaz zraka pod pritiskom. Rezanje laserom ostavlja visoko kvalitetne rubove reza, a uz pločasti materijal mogu se rezati profili i cijevi [1].

Laserski stroj G. Weike LG5030S kupljen je za potrebe stručnih studija na Visokoj tehničkoj školi u Bjelovaru. Stroj je korišten za realizaciju ideje didaktičke robotske ruke prvotno projektirane u programskom alatu SolidWorks, uz dodatne obrade u programima AutoCAD i CorelDraw, izrađen od pločastog materijala, konkretno šperploče. Cilj završnog rada je opisati i testirati karakteristike laserskog stroja. Prvo poglavlje opisuje lasere koji se koriste za potrebe rezanja i graviranja. Drugo poglavlje usredotočeno je na karakteristike laserskog stroja G. Weike LG5030S. Treće i četvrto poglavlje objedinjuju korištenje upravljačkog programa lasera i lasersku obradu. Dobivanje datoteka koje su potrebne za programiranje laserskih strojeva, koristeći pri tome 2D i 3D CAD programske alate opisano je u petom poglavlju. Šesto poglavlje odnosi se na izradu 3D CAD modela i 2D krojnih lista za kompleksniji mehatronički uređaj, odnosno, didaktičku robotsku ruku.

Karakteristike laserskog stroja:

- laser 60W CO₂
- radna površina 500×300 mm
- ipsisni sustav
- kompresor
- MPC6565 kontrolna kartica
- crveni laser za pozicioniranje
- *microstep* pogon
- upravljački program LaserCut 5.3
- hladnjak CW3000
- dodatak za rotacijsko graviranje

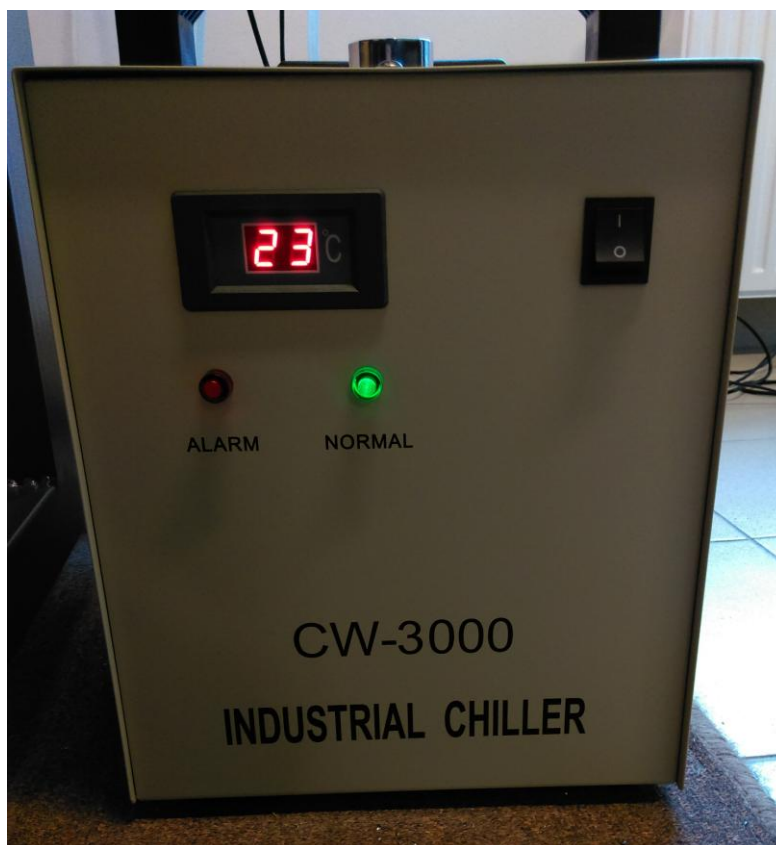


Slika 1.1. Laserski stroj G. Weike LG5030S

1.1. Početno postavljanje laserskog stroja G. Weike LG5030S

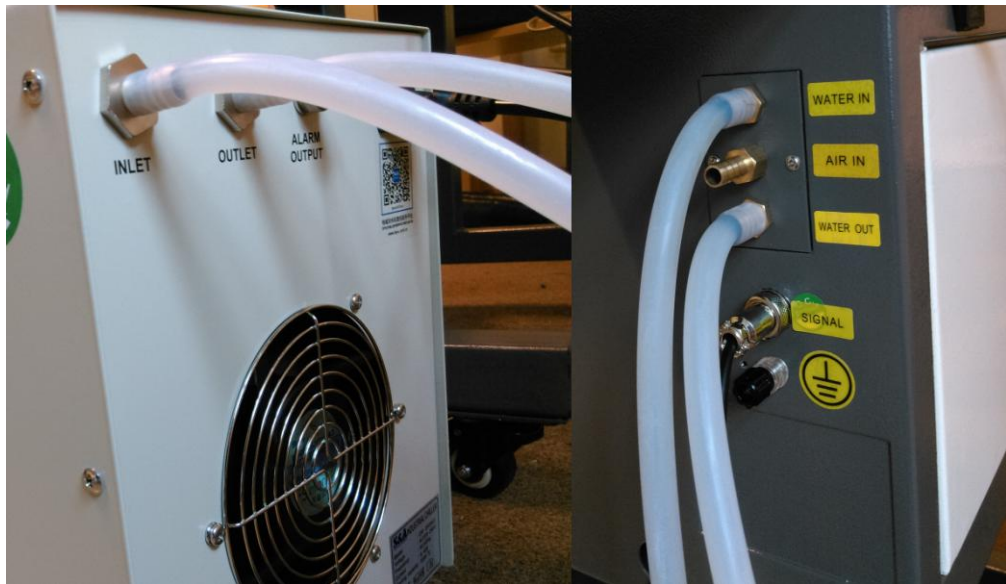
Prije prvog korištenja laserskog stroja podrazumijeva se početno postavljanje prema uputama proizvođača. Uređaji koji dolaze u konfiguraciji sa laserskim strojem održavaju radnu temperaturu i cirkulaciju zraka zbog plinova koji nastaju radom lasera.

Hladnjak *CW-3000 Industrial Chiller* (slika 1.2.) održava radnu temperatura laserskog stroja i prikazuje ju na 7-segmentnom zaslonu. Zelena indikatorska žaruljica označava razinu normalne radne temperature, dok crvena žaruljica obavještava da je radna temperatura prekoračena i korištenje laserskog stroja se prekida dok se temperatura ne stabilizira:



Slika 1.2. Hladnjak CW 3000 *Industrial Chiller*

Hladnjak je potrebno povezati sa dvije cjevčice sa laserskim strojem na priključcima „*Water In*“ i „*Water Out*“ koje služe za cirkulaciju rashladnog sredstva (slika 1.3.).



Slika 1.3. Spajanje hladnjaka i laserskog stroja

Na priključak „*Air In*“ se spaja kompresor kao što je vidljivo na slici 1.4. Njegova namjena je upuhivanje zraka unutar radnog prostora, budući da isis izvlači plinove koji nastaju radom lasera.



Slika 1.4. Kompresor za upuhivanje zraka

Sa strojem dolazi puhalo pogonjeno elektromotorom na koje se sa jedne strane spaja laserski stroj a sa druge strane se plinovi odvođe u okoliš van prostorije u kojoj se vrši korištenje (slika 1.5.).



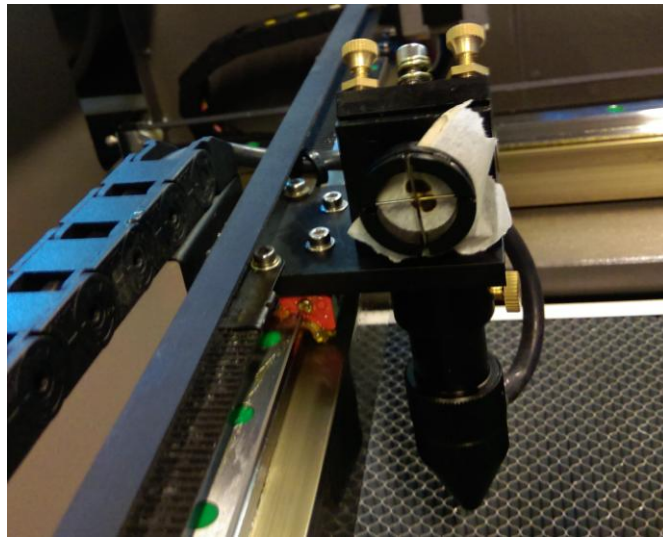
Slika 1.5. Ispuh laserskog stroja

Prije prvog uključivanja laserske zrake potrebno je provjeriti stanje i položaj laserske cijevi, odnosno izvora laserske zrake. Dovoljno je koristiti libelu da utvrdimo da će putanja laserske zrake biti dobro usmjerena (slika 1.6.).



Slika 1.6. Provjera laserske cijevi

Daljnje provjeravanje izvršava se tako da se na lasersku glavu doda posebni dio namjenjen testiranju fokusa laserske zrake (okrugli plastični dio sa dvije žice okomito postavljene) i jedan komad papira koji će ispaljivanje laserske zrake oštetiti, kako bi smo provjerili putanju usmjerene laserske zrake. Na slici 1.7. je vidljivo da je fokus laserske zrake van centra i da je nakon nekoliko probnih uključivanja fokus centriran.



Slika 1.7. Probna uključivanja laserske zrake i centriranje

Za kraj podešavanja, radni stol se može pomicati gore i dolje, odnosno po z – osi. Svrha toga je podešavanje visine za različite debljine materijala i to je vidljivo na slici 1.8.



Slika 1.8. Podešavanje visine radnog stola

2. Laserska tehnologija

Laser (eng. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – pojačavanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja), izvor i pojačalo vrlo usmjerenog snopa koherentnog svjetla, danas i u širem smislu koherentnog elektromagnetskog (infracrvenog, vidljivog i ultraljubičastog) zračenja.

Princip rada lasera osniva se na stimuliranoj emisiji zračenja koju je teorijski predočio Albert Einstein 1917. Konstrukcija i praktična primjena došla je pedesetih godina 20. st. A. L. Schalow i Ch. H. Townes (1958) razrađuju primjenu lasera u infracrvenom i optičkom području, na temelju čega T. H. Maiman (1960) uspijeva stimulirati emisiju svjetlosti u rubinu. Rubinski laser je radio impulsno. A. Javan, W. R. Bennett i D. R. Herriot (1961.) kontinuirano stimuliraju emisiju svjetlosti u smjesi helija i neona. Tada je utemeljena razdioba prema dvjema bitnim karakteristikama: agregatnom stanju sredstva u kojemu se pobuđuje stimulirana emisija i načinu rada, impulsnom ili kontinuiranom.

Stimuliranje emisije zračenja u poluvodičkom sredstvu predložio je P. Aigrain (1959), a poluvodički laser razradili su R. N. Hall, M. J. Nathan i T. M. Quist (1962). Nekoliko godina kasnije uspjela je stimulacija emisije zračenja u tekućinama u pokušajima koje je načinio D. L. Stockman (1964). P. P. Sorokin i J. R. Lankard (1966) su načinili laser s tekućinom koja je bila otopina organske tvari. Zbog toga se laser s tekućim aktivnim sredstvom naziva i laser s bojilom. Promjenom koncentracije otopine ili promjenom reflektivnosti zrcala rezonatora F. P. Schafer (1966) mijenja valnu duljinu u području 60 nm. Nadalje su konstruirani tekućinski laseri s vrlo kratkim impulsima i kontinuirani laseri.

Snage laserskog snopa prvih lasera bile su vrlo malene, reda veličine nekoliko milivata (mW). Kasnije konstruirani laseri, posebno plinski, daju znatno veću snagu. Današnji laseri u impulsnom radu dosežu snagu reda veličine nekoliko teravata (TW). Takvi snažni laseri su omogućili široku praktičnu primjenu [2].

2.1. CO₂ laser

CO₂ laser je među prvim plinskim laserima. Izumio ga je Chandra Kumar Naranbhai Patel (1964), izvršni direktor odjela za istraživanje na Bell Telephone Laboratories Inc. u New Jersey-u. Ovakav tip lasera ima najveću konstantnu izlaznu snagu od svih ponuđenih tipova na tržištu. Zraka koju laser proizvodi nalazi se u infracrvenom spektru valne duljine od 9.4 μm – 10.6 μm [4].

CO₂ radi na principu električog pražnjenja u plinu, uslijed protoka električne struje koja dovodi do ionizacije plina. Plin u staklenoj cijevi sastoji se od 10 – 20% ugljikovog dioksida (CO₂), 10 – 20% dušika (N₂), malog postotka vodika (H₂), ksenona (Xe) i ostatak mješavine čini helij (He). Inverzija populacije atoma iz većine na nižem energetsom nivou u većinu na višem energetsom nivou je postignuta sudarima elektrona koji pobuđuju dušik na molekularno vibracijsko kretanje [5]. Takvo kretanje opisuje kretanje atoma unutar molekule u periodičnom ciklusu, dok sama molekula ima rotacijsko ili translacijsko gibanje [6]. Dušik je homonuklearna molekula, ne gubi energiju emisijom fotona kada prelazi iz višeg energetsog nivoa na niži, stoga je njegovo stanje metastabilno i relativno dugotrajno. Energija oslobođena iz sudara molekula dušika i ugljikovog dioksida uzrokuje vibracijsku pobudu ugljikovog dioksida, koja vodi do željene inverzije populacije neophodne za funkciju lasera. Molekule dušika ostaju u nižem pobuđenom stanju. Prelazak u stanju kada im je energija gotovo jednaka nuli događa se zbog sudara sa hladnim atomima helija. Dolazi do povišenja temperature atoma helija, koje treba hladiti da mogu uzrokovati inverziju populacije u molekulama ugljikovog dioksida. U zatvorenom tipu lasera to se dogodi kada atomi helija udare u kućište cijevi. U protočnim laserima, kontinuiran protok CO₂ i dušika je pobuđen plazmenim pražnjenjem i mješavina zraka visoke temperature se izvlači pumpom [7].

Energetske razine molekularne vibracije i rotacije su podjednake, stoga fotoni emitirani zbog prelaska iz višeg u niže energetske stanje ili obrnuto sadrže malo energije i veću valnu duljinu od spektra vidljivog svjetla i spektra bliskog infracrvenom svjetlu. Spektar valne duljine od 9 – 12 μm je koristan jer se 80% atmosferskih zbijanja odvija u tom spektru i mnogi prirodni i sintetički materijali imaju povoljnu karakteristiku apsorpcije na tim vrijednostima.

2.1.1. Konstrukcija

Budući da zraka CO₂ lasera spada u infracrveni spektar, posebni materijali su nužni za konstrukciju. Zrcala su posebrenjena, dok su leće i ostale ostakljene površine izrađene od germanija (Ge) i cink selenida (ZnSe). U slučajevima izvedbe za veće snage preferiraju se pozlaćena zrcala i cink selenid za ostalo. U maloj količini se koriste leće od dijamanta zbog svoje visoke cijene. Zbog visoke toplinske provodljivosti i tvrdoće izrazito su korisne za primjenu kod izvedbi za veću snagu i u prljavoj okolini. Optički elementi izrađeni od dijamanta ne gube svojstva čak i kada bi ih obrađivali mlazom abraziva, odnosno pjeskarili. Prvotni optički elementi su bili izrađeni od natrij-klorida (NaCl, kuhinjska sol) ili kalijevog klorida (KCl, kalijeva sol). Takvi materijali su bili vrlo povoljni, ali su degradirali s vremenom zbog izloženosti vlazi u zraku.

Najosnovniji CO₂ laser sastoji se od reflektora na jednom kraju i izlaznog spreznika na izlazu cijevi, koji izdvaja dio spektra svjetla iz laserske zrake. Moguće je izvesti da laser ima kontinuiranu valnu duljinu (eng. *Contionus Wave*) sa snagom između reda milivata (mW) i nekoliko stotina kilovata (kW). Snagu reda gigavata (GW) moguće je dobiti koristeći „*Q – switch*“ kojim se snaga u jednom impulsu može naglo povećati prema potrebi. „*Q – switch*“ je atenuator koji prigušuje signal bez izobličenja njegovog valnog oblika. Prigušivač koji je postavljen u optički rezonator lasera sprečava da se vraća svjetlost koja napušta mješavinu plina, iz koje je i nastala. Time je faktor kvalitete (eng. *quality factor, Q – factor*) optičkog rezonatora smanjen. Namjena prigušivača je da se uključi i isključi za potrebe načina rada.

Jedan od elemenata za ugađanje je prizma. Prizma se pokazala nepraktičnom jer većina optičkih medija koji odašilju u srednjem infracrvenom spektru apsorbiraju ili rasprše dio svjetlosti, stoga je difrakcijska rešetka bolji izbor. Najfinije ugađanje postiže se sa Fabry-Perotovim etalomom. U praksi, zajedno sa izotopskom supstitucijom, to znači da se kontinuirana kombinacija frekvencija različitih za 1 cm⁻¹ (30 GHz) može koristiti u rasponu od 880 do 1090 cm⁻¹. Takvi laser primarnu upotrebu imaju za istraživanja.

Jedan aspekt valne duljine zrake dobiva se uslijed određenih izotopa ugljikovog dioksida. Različite kombinacije izotopa mogu proizvesti spektar valne duljine od 8.98 – 10.2 μm pa proizvođači moraju pridati pažnju pri izboru plina za svoje proizvode. Tablica 2.1. ilustrira spektar koji se može dobiti od devet mogućih kombinacija izotopa [8].

Tablica 2.1. Kombinacije izotopa atoma ugljika i kisika [9]

izotopi atoma ugljika	izotopi prvog atoma kisika	izotopi drugog atoma kisika	valna duljina (μm)
^{14}C	^{16}O	^{16}O	9.8 – 10.2
^{13}C	^{16}O	^{16}O	9.5 – 9.8
^{12}C	^{16}O	^{16}O	9.1 – 9.3
^{12}C	^{16}O	^{18}O	9.0 – 9.2
^{13}C	^{16}O	^{18}O	9.5 – 9.8
^{12}C	^{17}O	^{17}O	9.0 – 9.3
^{12}C	^{18}O	^{18}O	9.0 – 9.2
^{13}C	^{18}O	^{18}O	9.4 – 9.8
^{14}C	^{18}O	^{18}O	9.9 – 10.2

2.1.2. Primjena

Zbog upotrebljive visoke izlazne snage i razumne cijene u industriji se CO₂ laseri koriste za rezanje i zavarivanje, dok se oni manje snage koriste samo za zavarivanje. U medicini su prihvatljiviji za tretmane mekog tkiva jer voda od koje se ono najviše sastoji dobro apsorbira frekvenciju svjetlosti koju ovakvi laseri proizvode. Primjenu nalazi u isparavanju kože kako bi se koža aktivirala za proizvodnju kolagena, uklanjanje kvržica, ciste na glasnicama, a istražuje se metoda kojom bi se tkivo vezalo laserom kao što se radi šavovima. CO₂ uspješno može zamjeniti skalpel u uvjetima gdje bi mehanička trauma previše oštetila tkivo, a prednosti su manje krvarenja, kraće trajanje operacije, manji rizik od infekcije i manje otekline nakon operacije. Najkorišteniji spoj plastike poli (metil metakrilat C₅H₉O₂) apsorbira infracrveno svjetlo u spektru od 2.8 – 25 μm pa se vrlo često CO₂ laser koristi za precizno obrađivanje elemenata za mikrofluide gdje je rezove potrebno uzvoditi na razini nekoliko mikrometara. Vojska je našla primjenu u *LIDAR* tehnici za određivanje udaljenosti. Koristi se u spektroskopiji i procesu obogaćivanja uranijuma (eng. *Separation of Isotopes by Laser Excitation*). Za vrijeme Hladnog rata CO₂ laseri snage reda nekoliko megavata su u orbiti Zemlje onesposobljavali satelite [10].

2.2. Nd:YAG laser

Nd:YAG laser ima krutu jezgru koju čine štapići itrij-aluminijevog granata (YAG), dopiranog atomima neodimija ($\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). Primjesa, trostruko ionizirani ioni neodimija (Nd^{+3}), zamjenjuje mali dio (1%) iona itrija u kristalnoj strukturi itrij-aluminijevog granata. Ion neodimija omogućuje lasersku aktivnost u kristalu. Laser je prvi put demonstriran na Bell Telephone Laboratories Inc. 1962. godine [11].

2.2.1. Tehnologija

Nd:YAG laseri za izvor energije koriste žarulju koja radi na principu električnog luka i proizvodi vrlo intenzivnu, nekoherentnu bijelu svjetlost na vrlo kratko vrijeme. Koristi se i laserska dioda (LD) koja funkcionira slično kao LED dioda. Ovakav laser emitira infracrvenu svjetlost, većinom valne duljine 1064 nm, ali koriste se i prijelazi na 940, 1120, 1320 i 1440 nm. Kontinuirani i impulsni način rada može obavljati jedan laser. Kada radi u impulsnom načinu rada, laser koristi optičku sklopku koja se aktivira kada se dogodi najveća inverzija populacije u ionima neodimija i propusti svjetlost. Moguće je postići snagu od 250 megavata u trajanju od 10 – 25 ns. Zbog apsorpcije zračenja na valnim duljinama 730 – 760 nm i 790 – 820 nm, za pobudu se mora koristiti kriptonska bljeskalica, iako ksenonska koja se koristi kod ostalih lasera daje više svjetla. Količina primjese ovisi koji će se materijal obrađivati. Za kontinuirani način rada, primjesa je znatno manja nego za pulsni način rada. Štapići sa manje primjese su gotovo bijele boje, dok su štapići sa više primjese rozi ili ljubičasti [12].

2.2.2. Primjena

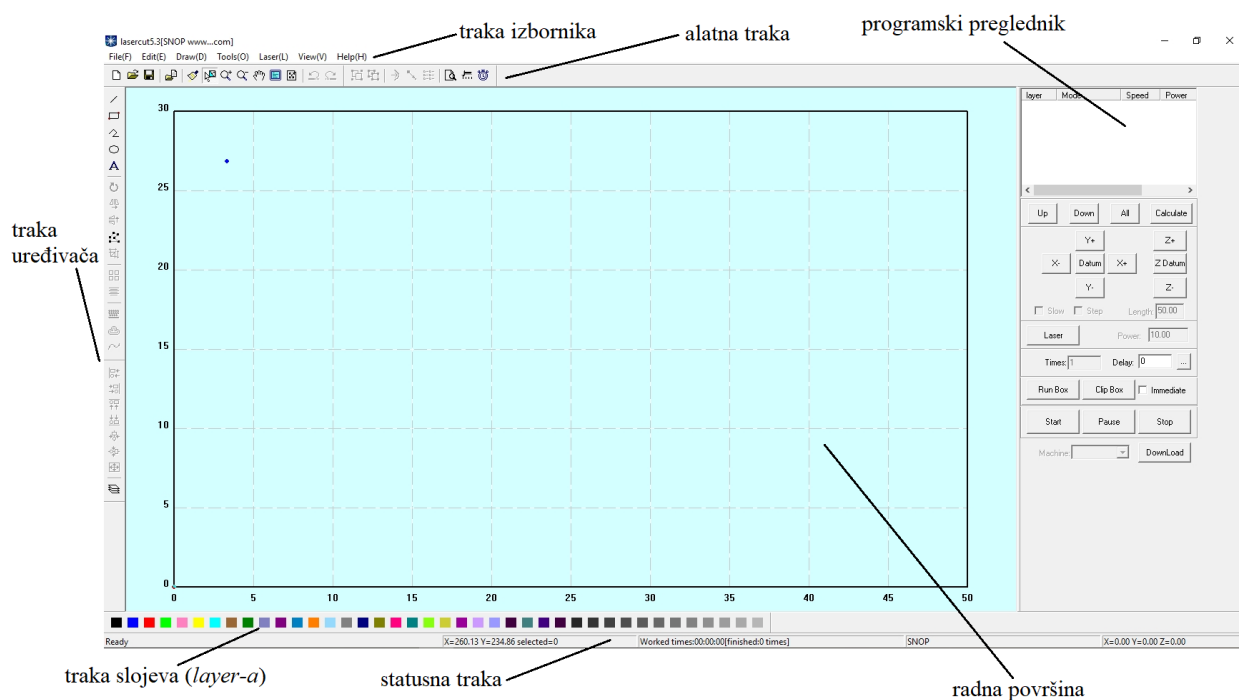
Nd:YAG laseri su korisni u oftalmologiji za uklanjanje očne leće na kojoj se razvila katarakta i sličnih očnih bolesti. Laseri koji emitiraju zraku valne duljine 1064 nm su u širokoj upotrebi za termoterapiju i uklanjanje benignih ili malignih lezija na unutarnjim organima. Također su efikasni i za tretiranje raka kože. Koriste se i za kozmetičke tretmane uklanjanja dlačica i tretiranje manjih vaskularnih deformacija. Primjenu nalaze kod histeroskopije, u podijatriji i stomatologiji [13].

Koriste se za graviranje i označavanje raznovrsnih metala i plastika te poboljšavanja svojstava metala kod zamora i tretiranja pukotina koje se razvijaju zbog korozije. Uobičajeno se tada radi o energijama od 10 – 40 džula i impulsima u trajanju 10 – 30 ns kako bi se generirale snage reda gigavata na površini na koju je fokusirana zraka promjera nekoliko milimetara. Proces ne zagrijava i ne dodaje materijal. Pri rezanju i zavarivanju čelika snage se kreću od 1 – 5 kW. U prozirnim materijalima kao što su staklo i poli (metil metakrilat) Nd:YAG laser može vršiti obilježavanje ispod površine, koje je vidljivo ali neopipljivo. Kada se koristi za bušenje, radi u impulsnom načinu rada koji je široko primjenjen kod izrade turbina i rupica za rashlađivanje. LENS (eng. *Laser Engineered Net Shaping*) je nekonvencionalna prototipna metoda kojom se uz veliku snagu lasera i metalni prah stvara predmet direktno iz CAD modela. Laserska zraka otapa metalni prah koji se dovodi u njen fokus. Radni stol se pomiče po x i y – osima, a glava vertikalno kako bi se sloj po sloj izradio predmet. Metalni prah se dovodi samom gravitacijom ili ga izbacuje plin pod pritiskom. Inertni plin se koristi da štiti otopljeni metal od atmosferskih utjecaja. Proces je sličan 3D printanju [14].

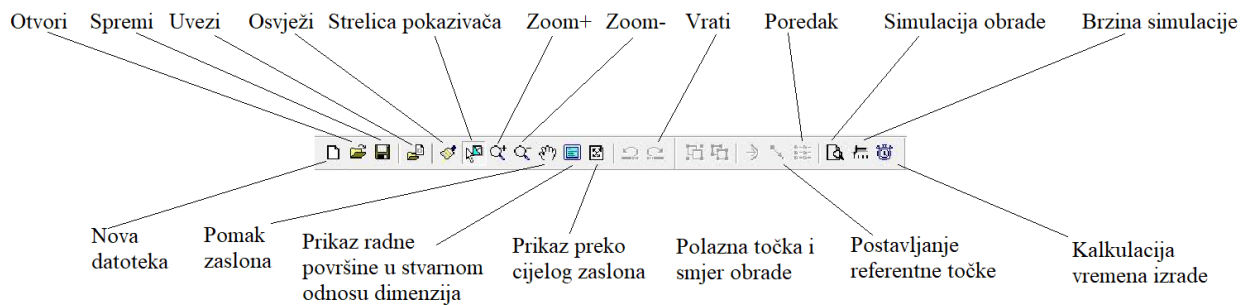
3. Upotreba programskog alata LaserCut 5.3

3.1. Univerzalna inačica

Nakon pokretanja datoteke *LaserCut 5.3.exe* pojavi se prozor kao na slici 3.1., unutar kojega je alatna traka (slika 3.2.).




Slika 3.1. Prozor programa za univerzalno korištenje




Slika 3.2. Alatna traka

U sljedećim poglavljima će biti opisane i slikama ikona popraćene sve funkcije koje sadržava alatna traka univerzalne inačice programskog alata LaserCut 5.3.


3.1.1. File

New –  kreira novu datoteku

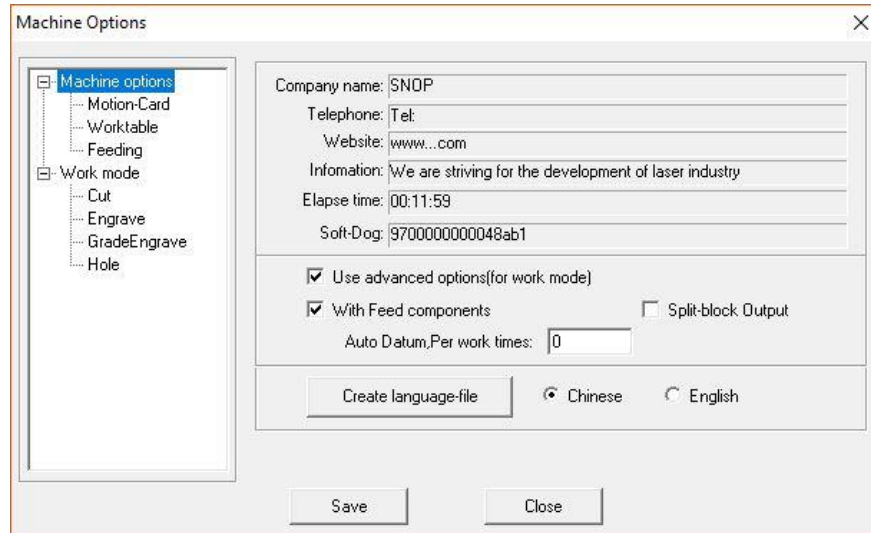
Open –  otvaranje postojeće *.ecp datoteke

Save –  spremanje datoteke

Save As – spremanje trenutke datoteke pod drugačijim nazivom ili formatom


Input –  uvoz datoteke u jednom od podržanih formata: *.PLT, *.AI, *.DXF, *.DST, *.BMP, itd.


Machine Set – sadržava tvornički postavljene parametre, bilo kakvo mijenjanje istih može uzrokovati nepravilan rad laserskog stroja. Podešavanje od strane korisnika nije potrebno, ali u suprotnom je potrebno postupati u skladu sa uputama proizvođača (slika 3.3.).




Slika 3.3. Tvornički parametri laserskog stroja

3.1.2. Edit

Undo –  (Ctrl+Z), vraća stanje prije zadnje promjene


Recovery –  (Ctrl+R), poništava *Undo*


Refresh –  ažurira prikaz na zaslonu

Copy – (Ctrl+C) kopiranje

Cut – (Ctrl+X) izrezivanje

Paste – (Ctrl+V) stvara objekt identičan prethodno kopiranom ili izrezanom


Pick –  (Shift+J) odabir slike za obradu ili dijela slike, odabrano se može pomaknuti, obrisati ili promijeniti *layer*


Zoom In –  zumiranje slike klikom na tipku ili klikom i povlačenjem miša

Zoom Out –  smanjivanje slike klikom na tipku


Pan –  translacija prikaza


Worktable Range –  (Shift+F4) prikaz koordinatnog sustava u radnoj veličini


Data Range –  (F4) prikaz raspona podataka za obradu


Data Centralization –  (Ctrl+Y) postavlja odabranu sliku u središte koordinatnog sustava


3.1.3. Drawing


Line –  odabirom alata, držanjem lijeve tipke miša i povlačenjem po radnoj površini crtamo ravnu crtu, a držanjem tipke Ctrl povlačimo crtu paralelnu sa horizontalnom osi

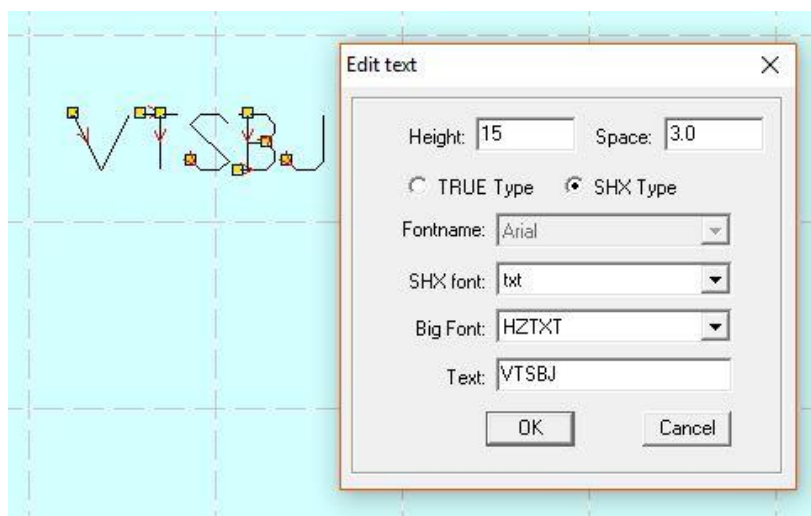
Rectangle –  odabirom alata, držanjem lijeve tipke miša i povlačenjem po radnoj površini crtamo pravokutnik, a držanjem tipke Ctrl crtamo kvadrat

Multipoint Line –  odabirom alata, držanjem lijeve tipke miša i povlačenjem po radnoj površini crtamo izlomljenu liniju, pritiskom na tipku „C“ završavamo liniju i počinjemo novu, linije su automatski spojene

Ellipse –  odabirom alata, držanjem lijeve tipke miša i povlačenjem po radnoj površini crtamo elipsu, a držanjem tipke Ctrl pravilan krug

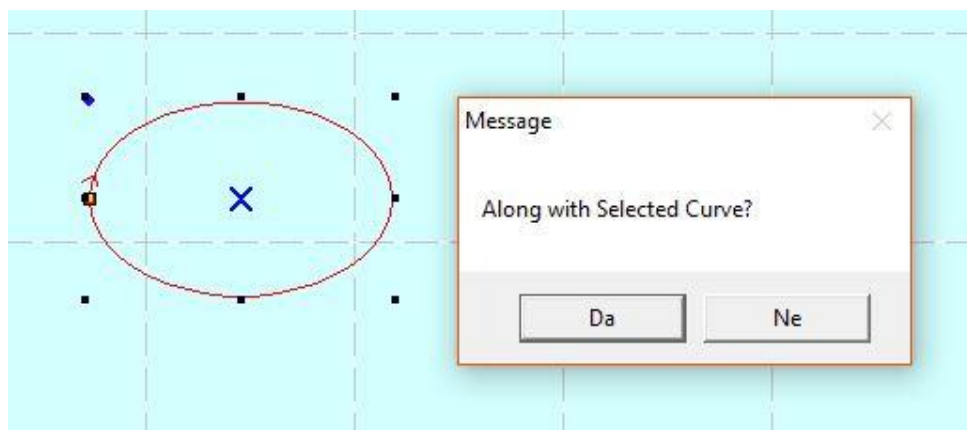
Bezier Curve –  klikom na tipku i povlačenjem miša crtamo Bezierovu krivulju

Text –  odabirom alata, držanjem lijeve tipke miša i povlačenjem po radnoj površini stvaramo okvir za unos teksta (slika 3.4.)

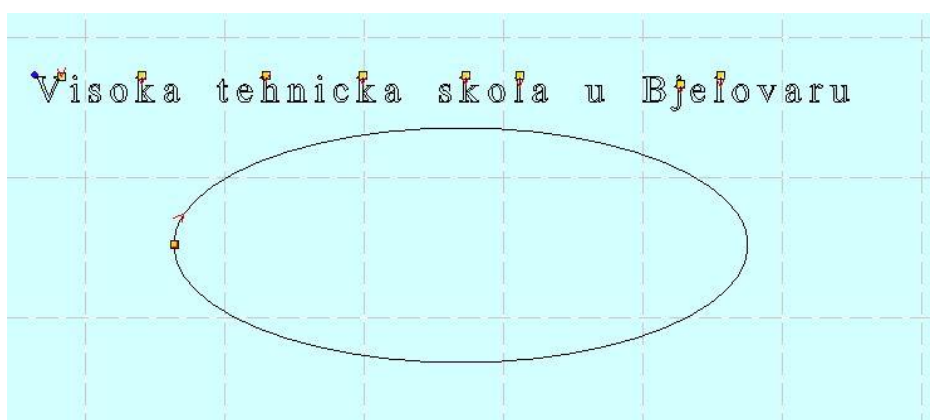


Slika 3.4. Unos teksta na sliku

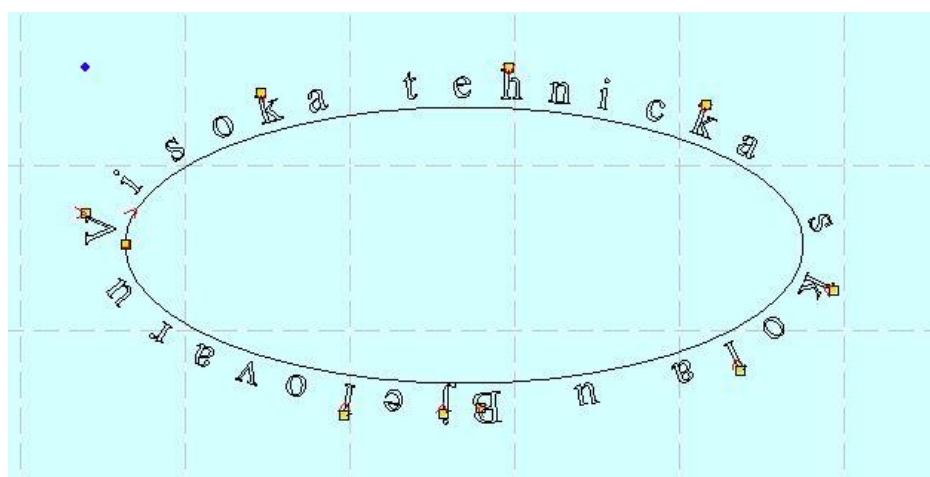
Prethodnim odabirom objekta i klikom na tipku *Text* pojavljuje se dijaloški okvir (slika 3.5.) koji nudi opciju da tekst prati krivulju ili ne. Slika 3.6. i slika 3.7. prikazuje rezultate korištenja obje opcije.



Slika 3.5. Prozor za raspored teksta

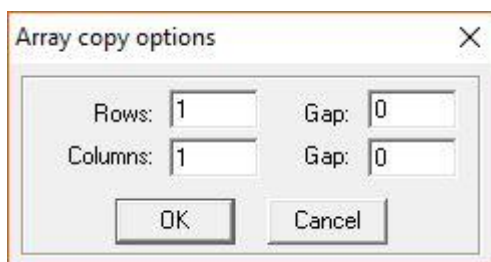


Slika 3.6. Raspored teksta ako je odabrano „No“



Slika 3.7. Raspored teksta ako je odabrao „Yes“

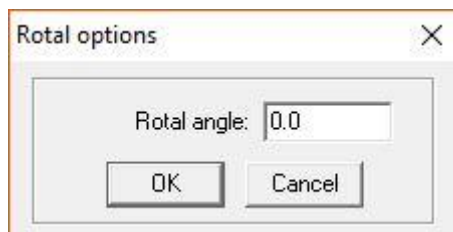
Copy (Array Copy) – prvo alatom „*Select*“ odabrati krivulju za umnažanje a onda kliknuti na „*Copy*“, pojavljuje se dijaloški okvir (slika 3.8.)



Slika 3.8. Postavke za *Array Copy*

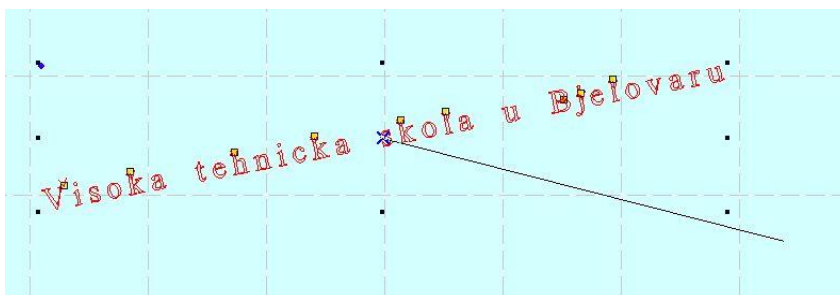
U polja „*Row*“ i „*Columns*“ se upisuje željeni broj, a u polja „*Gap*“ željeni razmak.

Rotal – prvo treba odabrati objekt sa „*Select*“ i onda alat „*Rotal*“, na zaslonu će se pojaviti dijaloški okvir (slika 3.9.)



Slika 3.9. Prozor za precizan unos kuta rotacije

Klikom na „*Cancel*“ moguće je rotirati objekt pomicanjem miša (slika 3.10.).

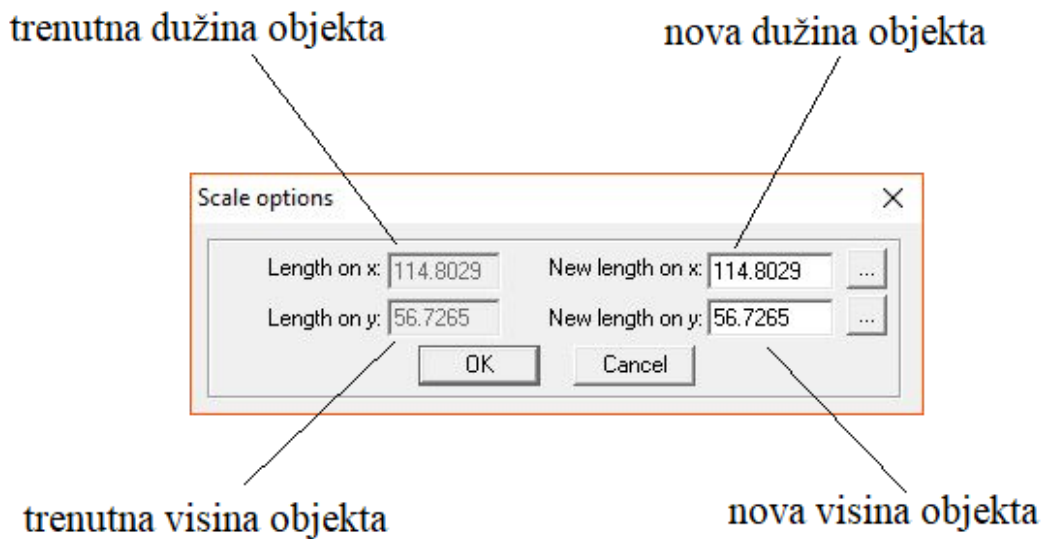


Slika 3.10. Rotacija pomicanjem miša


Vertical Mirror – prvo treba odabrati objekt sa „*Select*“ i onda alat „*Vertical Mirror*“


Horizontal Mirror – prvo treba odabrati objekt sa „*Select*“ i onda alat „*Horizontal Mirror*“


Scale – kombinacijom alata „Select“ i „Zoom In“ otvara se dijaloški okvir (slika 3.11.)

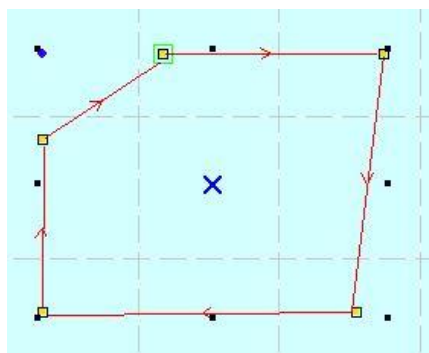


Slika 3.11. Opcije za skaliranje


Unošenjem duljine objekta po X i Y–osi mijenja se veličina, a unosom jedne nove veličine i klikom na tipku  veličina se mijenja u omjeru.

Align – alat za poravnanje ima sedam pozicija na alatnoj traci 

Node Edit –  odabirom alata čvorovi će se automatski prikazati u obliku kvadratića (slika 3.12.), koje je moguće povući u željenom smjeru, a postavljanjem kursora miša na dio objekta kursor će postati križić i onda je moguće dio objekta pomaknuti. Dvostruki klik kreira novi čvor, a za brisanje čvora potrebno je pritisnuti „Delete“ na tipkovnici.



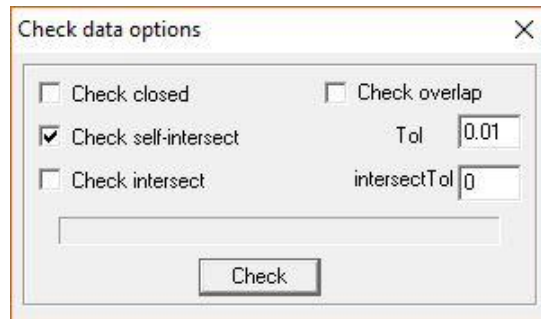
Slika 3.12. Uređivanje čvorova

Group –  alat koji odabrane objekte stavlja u jednu grupu


Ungroup – alat koji poništava grupiranje

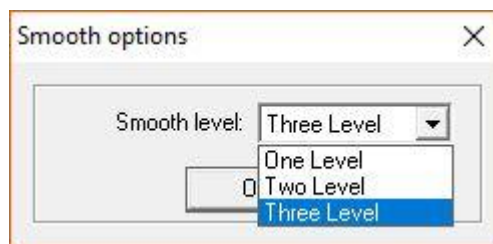
3.1.4. Tools

Check Data – alat provjerava preklapanja, nemogućnost graviranja, dupli rez (slika 3.13.)




Slika 3.13. Dijaloški okvir provjere greške kod čvorova

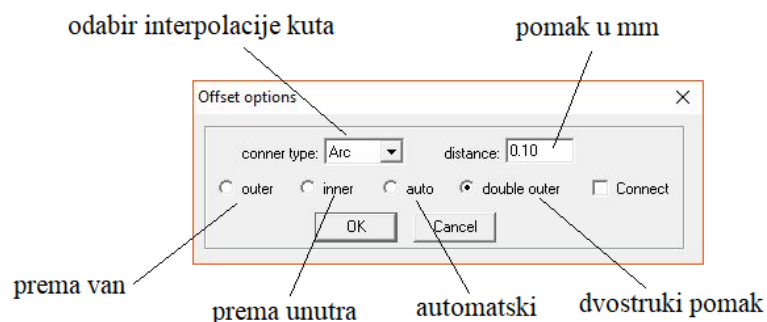
Smooth Curve –  izgladivanje krivulje u svrhu stabilnijeg i bržeg rezanja, nedostatak je proširivanje objekta (slika 3.14.)



Slika 3.14. Odabir razine izgladivanja

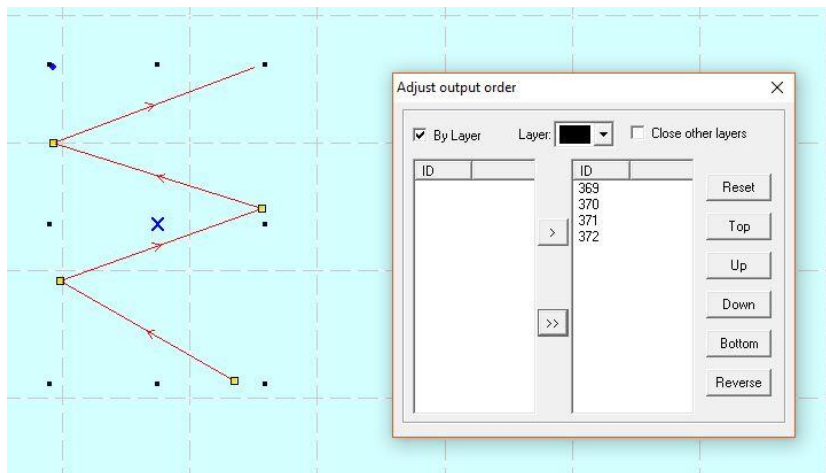
Unite Lines – spaja više linija u jednu

Generate parallel lines – prvo odabrati objekt sa „Select“ i klikom na tipku  pojavljuje se dijaloški okvir sa parametrima (slika 3.15.)




Slika 3.15. Parametri pomaka


Output Order – korisnik može odabrati putanju laserske zrake prilikom obrade, npr. originalna putanja, optimizirana putanja itd. ili detaljnije definirati koristeći ovaj alat (slika 3.16.)

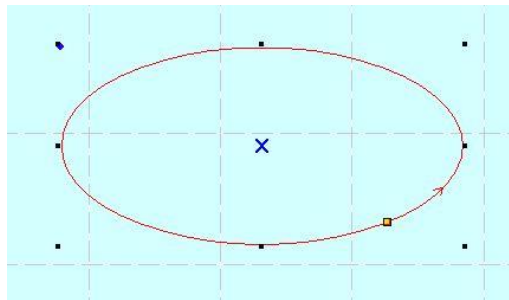


Slika 3.16. Definiranje putanje laserske zrake

Potrebno je kliknuti tipku „Reset“, odabrati bilo koji liniju, zatim kliknuti  da se ID broj koji predstavlja liniju pomakne na listu desno. Redoslijed na listi desno predstavlja putanju.

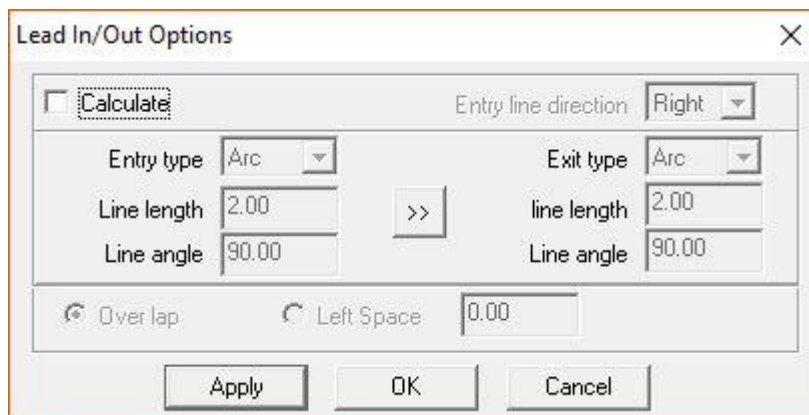
3.1.5. Lasersko procesiranje

Define First Cut –  program definira smjer i početnu točku reza (obično točka spajanja dvaju linija), ako treba nešto mjenjati, odabere se objekt, alat, kursor miša poprima oblik križića kad se postavi na liniju objekta, klikom se definira početna točka reza, a tipkom „F“ na tipkovnici smjer (slika 3.17.)



Slika 3.17. Ručni odabir početne točke i smjera rezanja

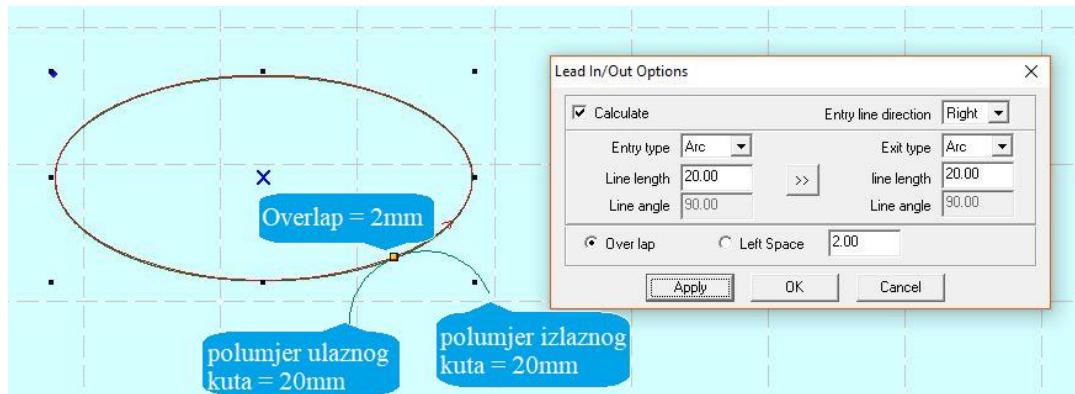
Pritiskom razmaknice na tipkovnici otvara se dijaloški okvir (slika 3.18.)




Slika 3.18. Opcije ulaza u rez i izlaza

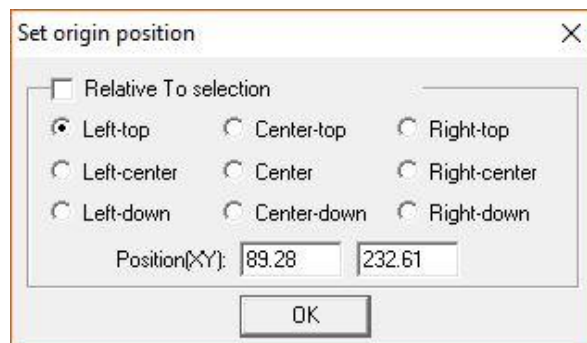
- *Calculate* – definira parametre
- *Type of Lead-in/out Line* – tip putanje ulaza/izlaza
- *Length of Lead-in/out Line* – duljine putanje ulaza/izlaza
- *Angle of Lead-in/out Line* – kut putanje ulaza/izlaza
- *Entry Line Direction* – u padajućem izborniku odaberemo smjer

- *Overlap/Left Space* – zatvara ili ostavlja prazninu među putanjama ulaza/izlaza (slika 3.19.)




Slika 3.19. Rezultat odabranih parametara

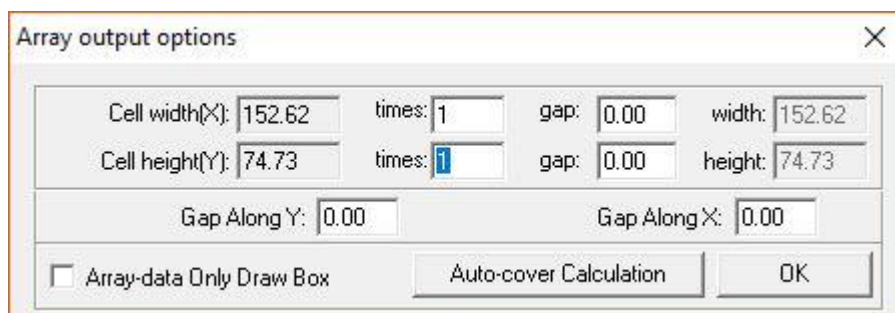
Set Origin –  odabir točke ishodišta laserske glave i točke u koju se vraća nakon izvršene radnje (slika 3.20.)



Slika 3.20. Odabir ishodišta

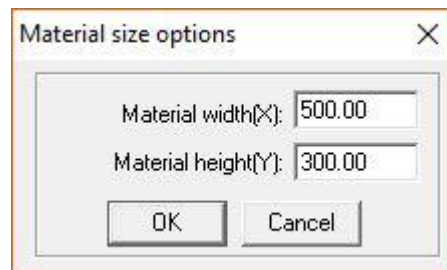
Pokazivač miša poprima oblik kruga i klikom na radnu površinu je moguće odrediti točku ili preciznije unosom x, y koordinata.

Array Process Parameter -  alat za umnažanje (slika 3.21.)



Slika 3.21. Dijaloški okvir alata za umnažanje

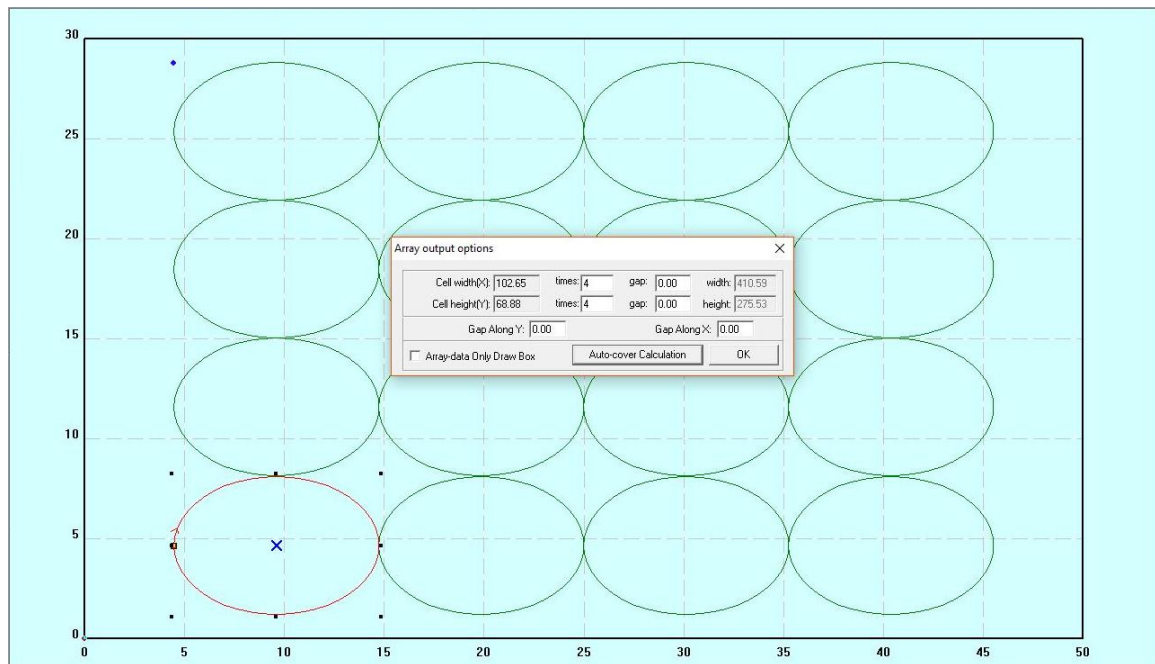
- *Cell width (X)* – originalna širina
- *Cell height (Y)* – originalna visina
- *Number* – broj redova i stupaca
- *Gap* – razmak među redovima i stupcima
- *Total Width* – širina uzorka nakon umnažanja
- *Total Height* – visina uzorka nakon umnažanja
- *Gap Along Y* – duljina dislokacije među susjednim stupcima
- *Gap Along X* – duljina dislokacije među susjednim redovima
- *Auto-Cover Calculation* – proračun programa koliko je potrebno redova i stupaca da se prekrije cijela radna površina, pojavljuje se dijaloški okvir (slika 3.22.)



Slika 3.22. Dijaloški okvir proračuna

- *Material Height* – duljina materijala za procesiranje
- *Material Width* – širina materijala za procesiranje


Ovi parametri materijala za obradu omogućavaju programu da proračuna brojke potrebne da se materijal što potpunije iskoristi (slika 3.23.).




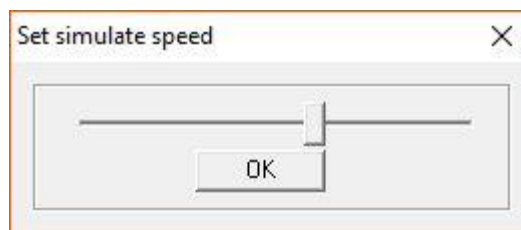
Slika 3.23. Rezultat optimiziranog umnažanja

Calculate Process Path – ponovni proračun sa promjenjenim paramterima


Clear Process Log – brisanje zapisa u statusnoj traci

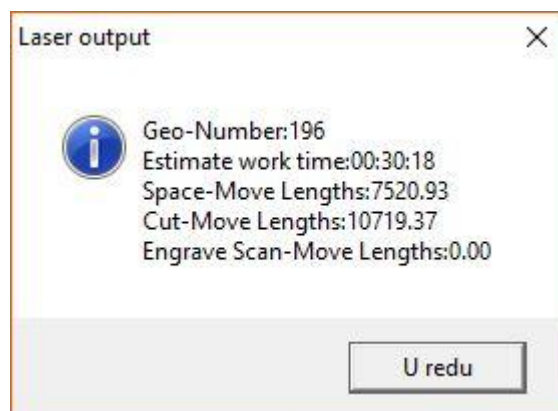
Simulate Process Output -  simulacija umnažanja koju pokrećemo nakon postavljanaj željenih parametara

Set Simulate Speed –  postavljanje brzine simulacije kako bi se olakšalo promatranje (slika 3.24.)



Slika 3.24. Podešavanje brzine simulacije

Simulate Operating Time -  predviđanje trajanja radnje i dodatne informacije (slika 3.25.)



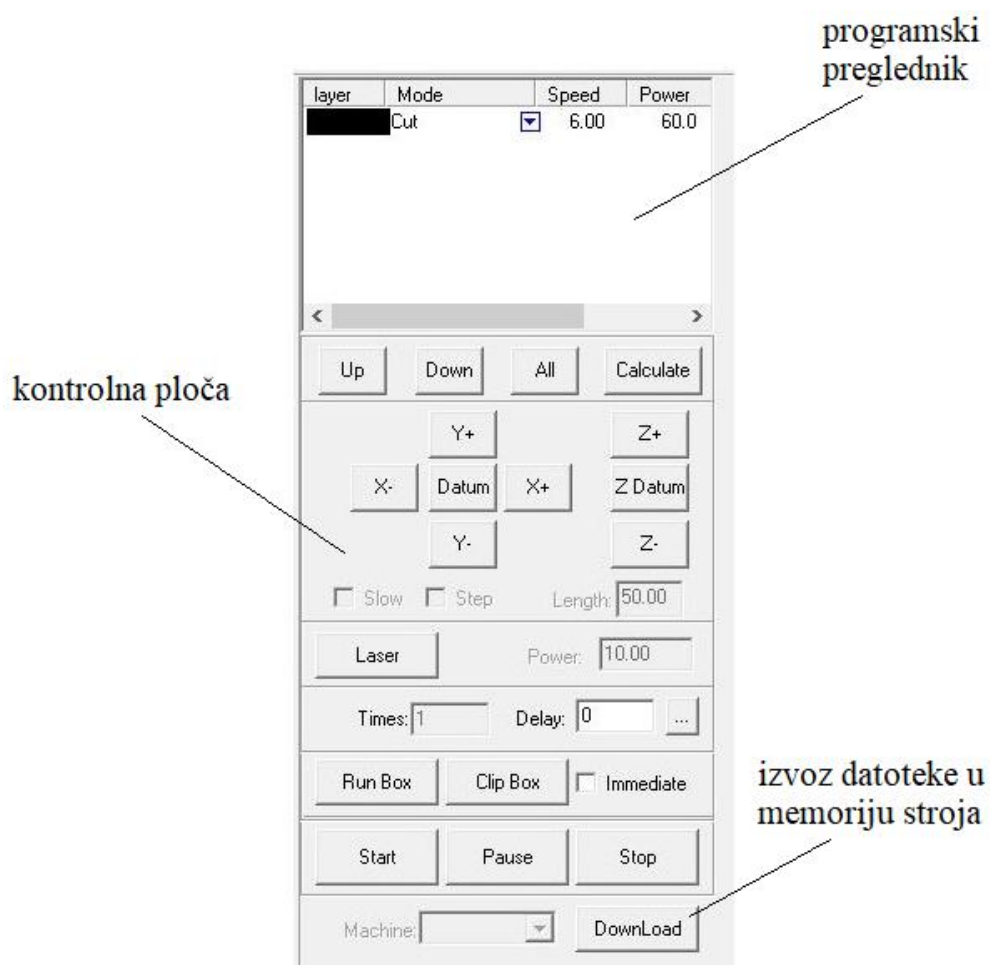
Slika 3.25. Dijaloški okvir sa predviđenim izračunima

4. Laserska obrada

4.1. Korisničko sučelje

Sučelje je podijeljeno na tri dijela (slika 4.1.):

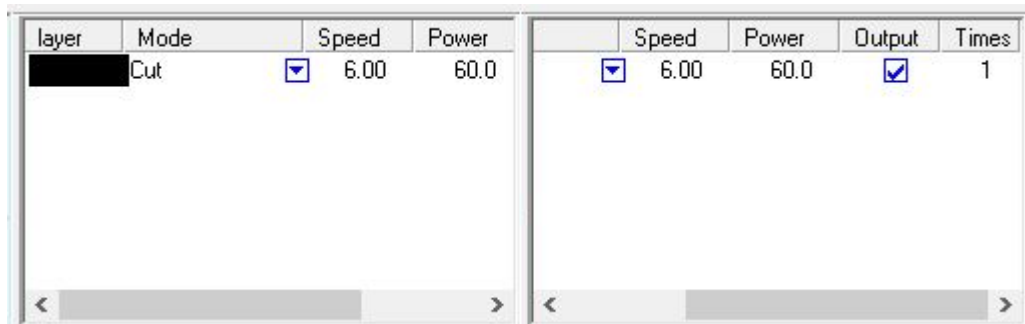
1. Programski preglednik za upravljanje slojevima „Layer“
2. Kontrolna ploča
3. Sučelje za izvoz datoteke u memoriju stroja



Slika 4.1. Korisničko sučelje u tri dijela

4.1.1. Programski preglednik

Obradni programi u programskom pregledniku su prikazani po slojevima („*Layer*“). Svaki „*Layer*“ ima svoje zadane procesne parametre za graviranje i rezanje kao što je vidljivo na slici 4.2.



layer	Mode	Speed	Power
	Cut	6.00	60.0

Speed	Power	Output	Times
6.00	60.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1

Slika 4.2. Procesni parametri obradnih programa

Layer – dvostruki klik na boju otvara dijaloški okvir za unos procesnih parametara za odabrani način obrade, izvršava se odozgo prema dolje

Mode – klikom na strelicu na padajućem izborniku odabiremo graviranje ili rezanje

Speed – brzina posmaka laserske glave

Power – snaga lasera u postocima

Output – klikom se postavlja ili uklanja kvačica, postavljena kvačica predstavlja odradu sloja, objekt koji pripada deaktiviranom sloju utječe na položaj referentne točke

Times – broj izvršavanja

Up – pomicanje sloja prema gore

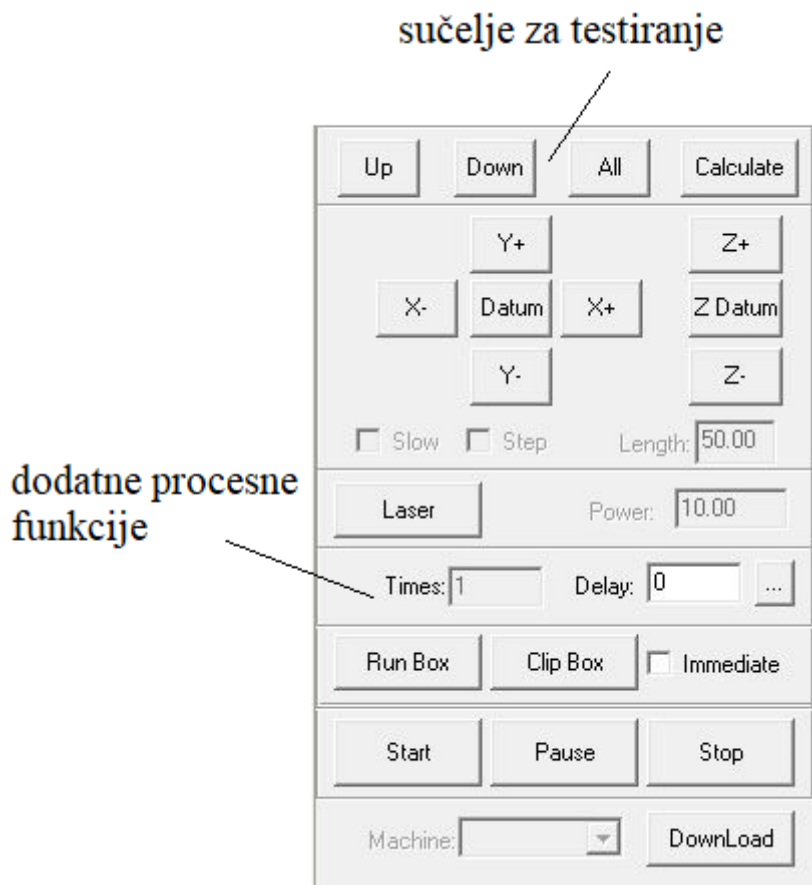
Down – pomicanje sloja prema dolje

All – odabirom jednog od slojeva u programskom pregledniku i klikom na tipku  ostali slojevi poprimaju iste parametre

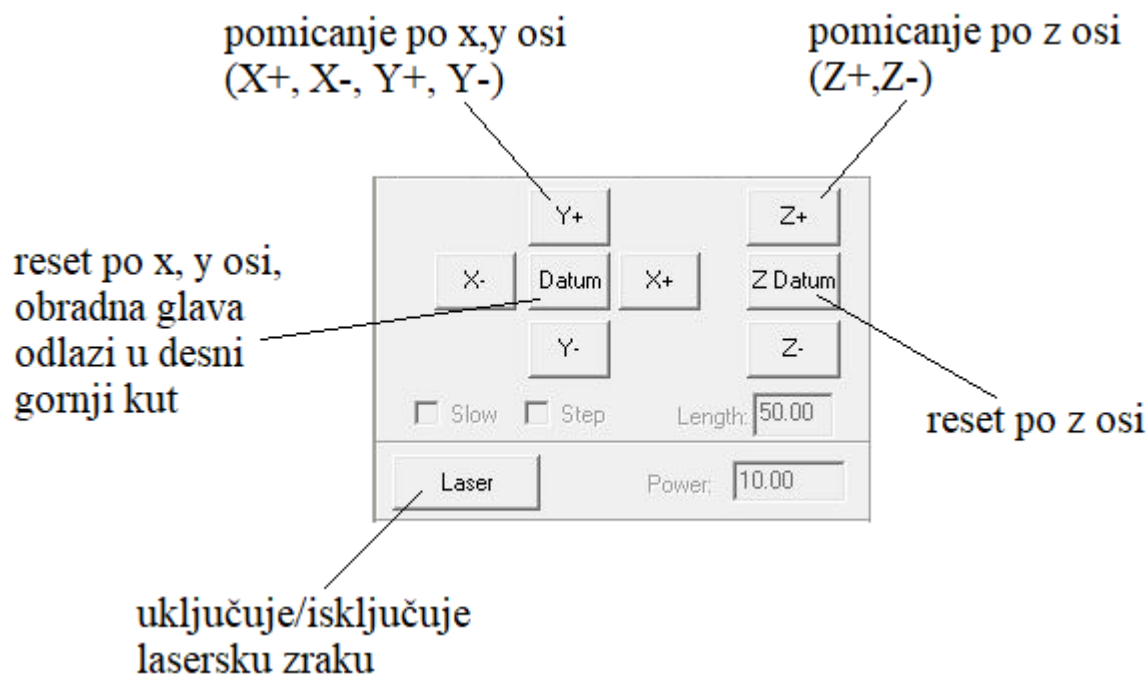
Calculate – nakon promjene parametara pohranjuje nove postavke

4.1.2. Kontrolna ploča

Kontrolna ploča sadržava sučelje za testiranje i dodatne procesne funkcije (slika 4.3.) te sučelje za testiranje (slika 4.4.).



Slika 4.3. Kontrolna ploča



Slika 4.4. Sučelje za testiranje

Kliknuti na tipku „Datum“ potrebno je samo jedanput odmah nakon paljenja stroja, ako nije postavljeno automatsko resetiranje. Ukoliko se nakon uključivanja stroja ili pokretanja softvera ne izvrši resetiranje, mogući su udari laserske glave u gabarite. Za aktivne limite Z-osi prema minus smjeru, Z-os mora biti resetirana nakon paljenja stroja ili ponovnog pokretanja softvera.

Dodatne procesne funkcije *Times* i *Delay* omogućavaju ponavljanje obradnog procesa u ciklusima sa pauzom što se koristi za poboljšanje učinkovitosti kod izmjene materijala (slika 4.5.).

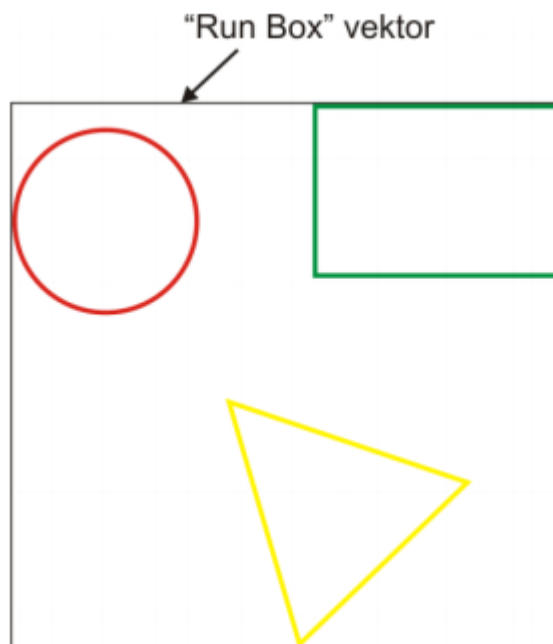


Slika 4.5. Dodatne procesne funkcije

Times – broj ponavljanja obradnog procesa (unos na kontrolnoj jedinici PAD03)

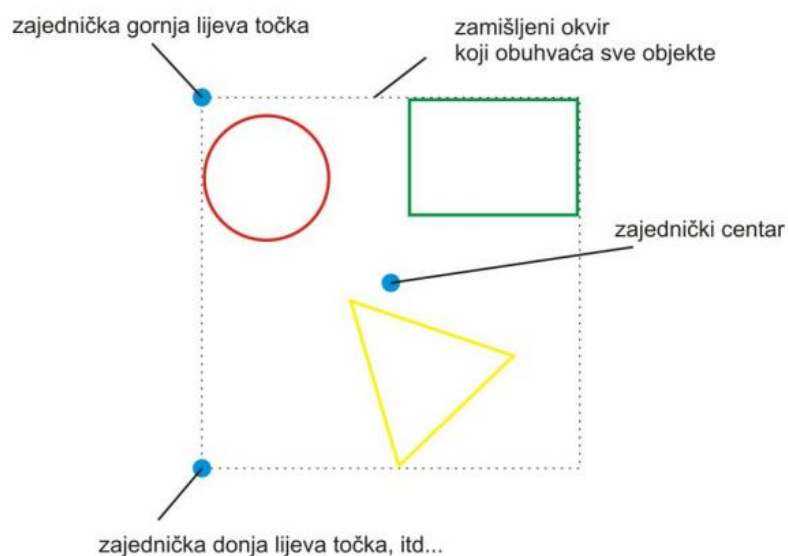
Delay – pauza između ponavljanja (u sekundama)

Run Box – laserska glava putuje po vektoru koji obuhvaća sve objekte na radnoj površini kako bi se provjerila pozicija objekata u odnosu na sirovinu, jesu li svi objekti unutar gabarita sirovine (slika 4.6.)


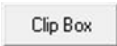


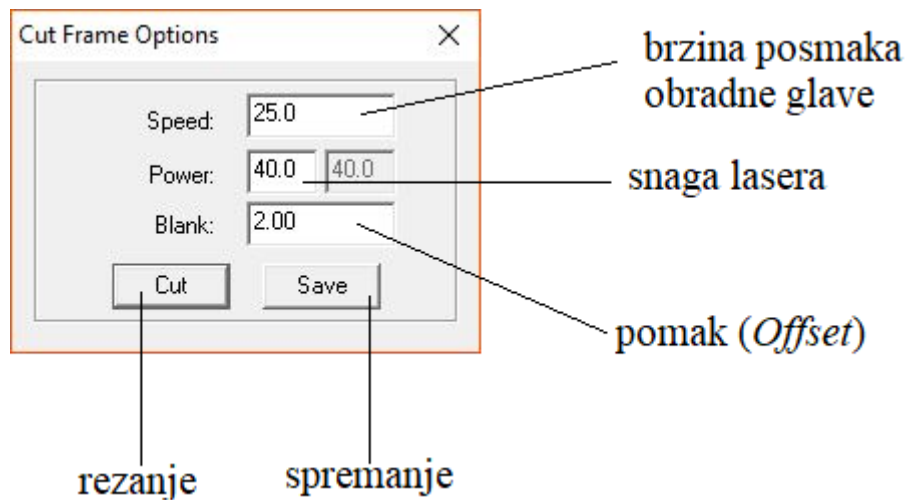
Slika 4.6. Vektor koji obuhvaća sve objekte [17]

Clip Box – funkcija za izrezivanje vektora pomaknutog („*Offset*“) od vanjskog ruba vektora koji obuhvaća sve objekte, ukoliko na radnoj površini ima više objekata pomak se vrši na osnovu srednje vrijednosti (slika 4.7.)



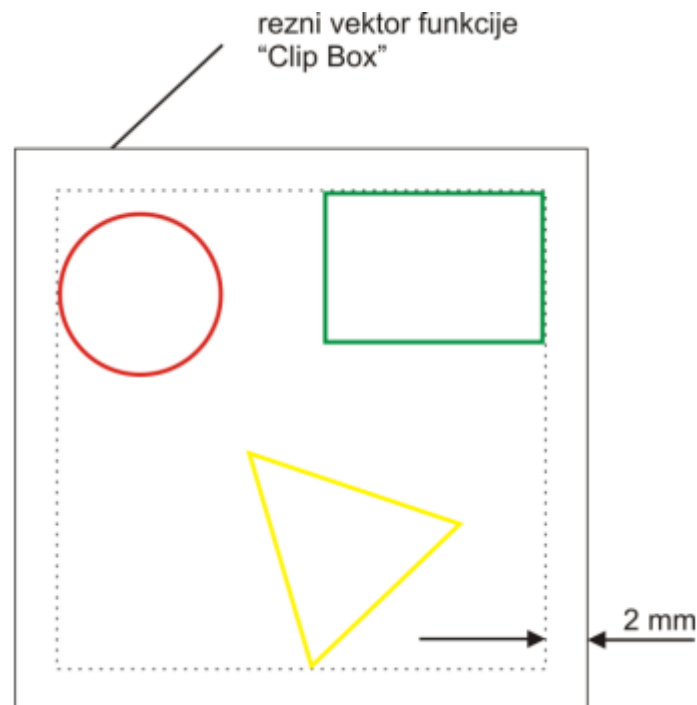
Slika 4.7. Definiranje zajedničkih točki [17]

Plave točke na slici 4.7. označavaju lokaciju glave, koja je ovisna od postavke alata *Set Origin Point* . Klikom na tipku  otvara se dijaloški okvir (slika 4.8.).



Slika 4.8. Parametri za rezanje s pomakom


Blank – unosi se vrijednost pomaka u milimetrima, potrebno je kliknuti *Save* i zatim *Download* kako bi se datoteka prenijela u stroj, čime se ujedno osvježava pretpregled operacije (slika 4.9.)

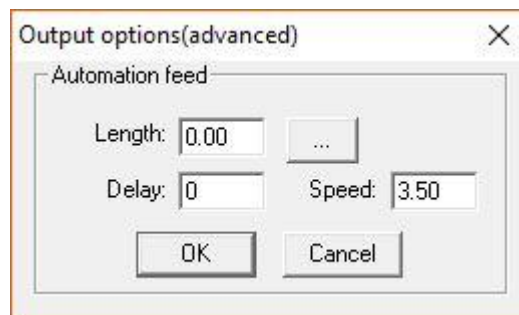


Slika 4.9. Reznii vektor nakon potvrde novih parametara [17]

Immediate – ako je polje označeno kvačicom, početna točka određena je lokacijom obradne glave. Koordinate objekta na radnoj površini u softveru se ne podudaraju sa lokacijom obrade na radnom stolu. Pomoću alata *Set Origin Point* određujemo orijentaciju objekta u odnosu na obradnu glavu lasera.

U suprotnom, početna točka je referentna točka stroja (gornji desni kut) i koordinate objekta na radnoj površini u softveru se podudaraju sa koordinatama obratka na radnom stolu stroja.

Klikom na tipku  otvaraju se postavke za automatsko pomicanje Z-osi radnog stola nakon završetka ciklusa obrade (slika 4.10.). Koristi se kod izmjene sirovine.




Slika 4.10. Dijaloški okvir postavki za pomicanje Z-osi radnog stola

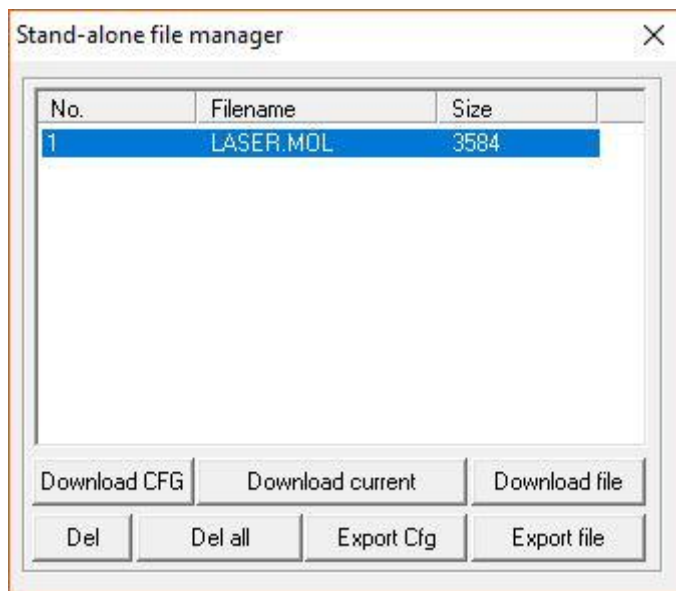
Length – pomak radnog stola u milimetrima

Speed – brzina posmaka

Delay – pauza nakon završetka ciklusa obrade u sekundama

4.1.3. Sučelje za izvoz datoteke u memoriju stroja

Klikom na tipku  pojavljuje se dijaloški okvir (slika 4.11.).



Slika 4.11. Izvoz datoteke u kontroler

Download CFG – izvoz konfiguracijske datoteke. Prilikom mijenjanja parametara u softveru, da bi se nove postavke ažurirale, potrebno je izvesti novu konfiguracijsku datoteku. Kontroler zvučnim signalom potvrđuje uspješan izvoz (prvi kraći, drugi duži)

Download Current – izvoz trenutne konfiguracijske datoteke, kontroler zamjenjuje postojeću

Download File – izvoz ranije pripremljene konfiguracijske datoteke

Del – brisanje odabrane datoteke

Del all – brisanje kompletne memorije

Export CFG – izvoz konfiguracijske datoteke u formatu *.mol. Datoteku je moguće uvesti preko USB sučelja stroja. Nakon uvoza, postavke nove datoteke se potvrđuju sa tipkom „OK“ na tipkovnici PAD03.

Export file – izvoz obradne datoteke *.mol

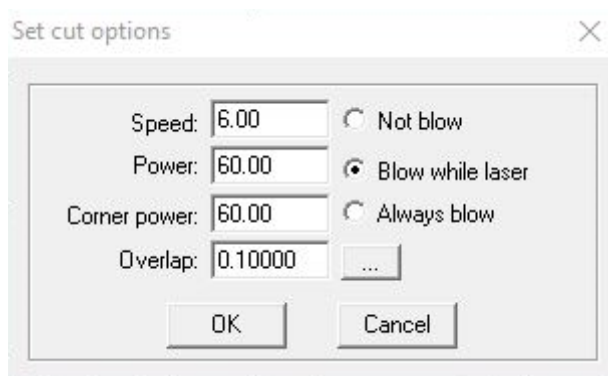
4.2. Rezanje laserom

Nakon ucrtavanja vektora na radnu površinu u softveru, odaberemo boju „*Layer-a*“. Prilikom odabira vektora kliknemo na željenu boju na traci slojeva. U padajućem izborniku „*Mode*“ odabiremo način obrade, odnosno „*Cut*“ (slika 4.12.).



Slika 4.12. Odabir načina obrade

Dvostrukim klikom na boju ispod parametra „*Layer*“ otvara se dijaloški okvir za unos parametara obrade (slika 4.13.).



Slika 4.13. Unos parametara reza


Speed – brzina posmaka obradne glave lasera

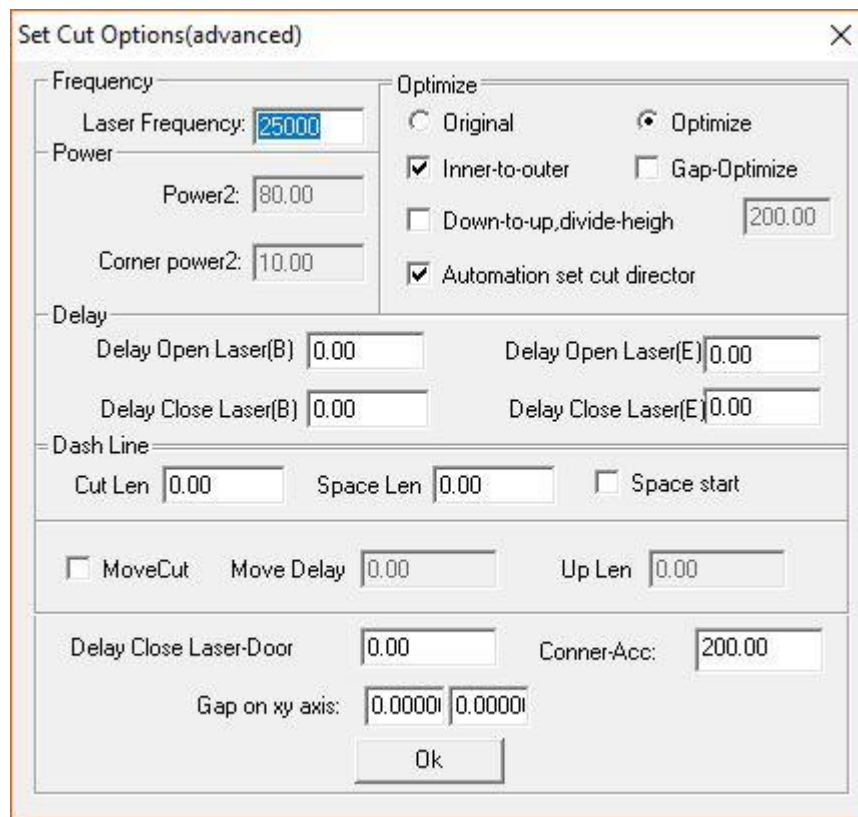
Power – snaga laserske zrake u postotcima (%)

Corner Power – snaga laserske zrake u kutevima objekta (gdje je najniža)

Overlap – služi za kompenzaciju mehaničkih grešaka stroja (prazni hod)

Not blow, *blow while laser*, *Always blow* – odnosi se na kontrolu puhanja kompresora kroz obradnu glavu

Klikom na tipku  u dijaloškom okviru na slici 4.14. otvaraju se napredne postavke rezanja.



Slika 4.14. Napredne postavke rezanja

Laser Frequency – kontrola PWM signala za laser

Power2, Corner power2 – snaga lasera i snaga u kutu sirovine za drugu lasersku cijev

Optimize – optimizacija putanje rezanja

1. *Original* – putanja laserske glave pri rezanju odgovara izvornom objektu ili slijedi parametre postavljene u „*Output order*“
2. *Optimize* – prilagođena putanja reza, opcija *Inner-to-outer* izrezuje prvo unutarnje objekte a zatim vanjske
3. *Automation set cut director* – automatsko određivanje smjera rezanja

Delay: Delay Open Laser (B) – odgoda prije uključivanja lasera

Delay Close Laser (B) – odgoda prije isključivanja lasera

Delay Open Laser (E) – odgoda nakon uključivanja lasera

Delay Close Laser (E) – odgoda nakon isključivanja lasera

Dash Line – pretvaranje pune linije u isprekidanu

Cut Len – dužina punog segmenta isprekidane linije

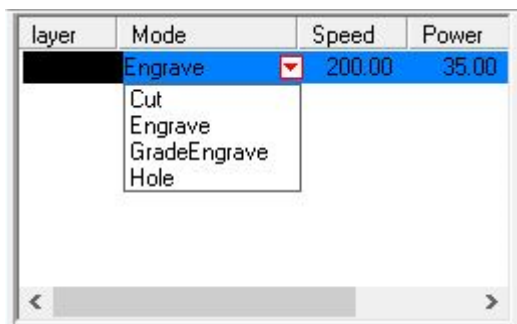
Space Len – dužina praznog segmenta isprekidane linije

Space Start – označeno kvačicom će rezultirati prvim praznim segmentom

Corner-Acc – ubrzanje posmaka glave u kutu

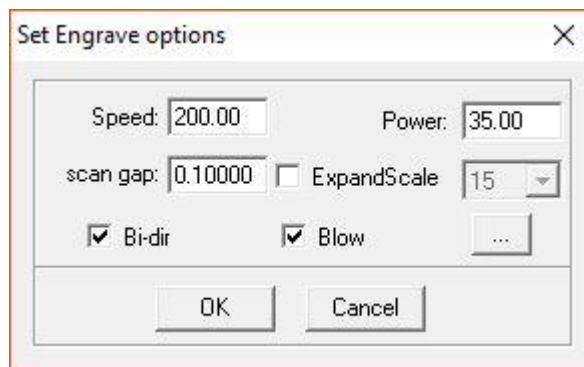
4.3. Graviranje laserom

Nakon ucrtavanja ili uvoženja vektora na radnu površinu u softveru, odaberemo boju „*Layer-a*“. Prilikom odabira vektora kliknemo na željenu boju na traci slojeva. U padajućem izborniku „*Mode*“ odabiremo način obrade, odnosno „*Engrave*“ (slika 4.15.).



Slika 4.15. Odabir načina obrade

Dvostrukim klikom na boju ispod parametra „*Layer*“ otvara se dijaloški okvir za unos parametara obrade (slika 4.16.).



Slika 4.16. Unos parametara graviranja


Speed – brzina graviranja od 0-1000 jedinica po x-osi

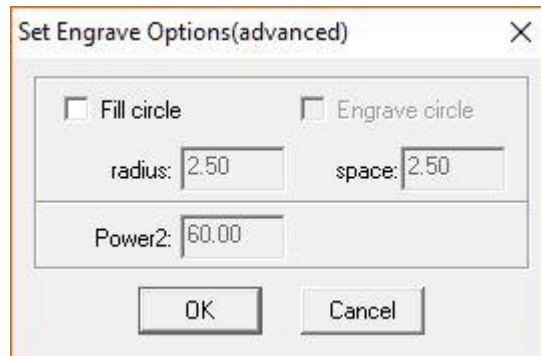
Power – snaga laserske zrake

Scan Gap – posmak po y-osi po svakoj liniji za graviranje na x-osi

Bi-dir – laserska zraka ostaje uključena prilikom posmaka po x-osi i u negativnom i u pozitivnom smjeru, ne preporučuje se kod graviranja sa zahtjevima visoke preciznosti jer prepolovljava efikasnost

Blow - odnosi se na kontrolu puhanja kompresora kroz obradnu glavu

Klikom na tipku  u dijaloškom okviru na slici 4.17. otvaraju se napredne postavke graviranja (slika 4.17).



Slika 4.17. Napredne postavke graviranja

Fill Circle – ispunjava gravirani objekt krugovima (slika 4.18.)



Slika 4.18. „*Fill Circle*“ postavka [17]

Radius – promjer kruga

Space – prostor između krugova

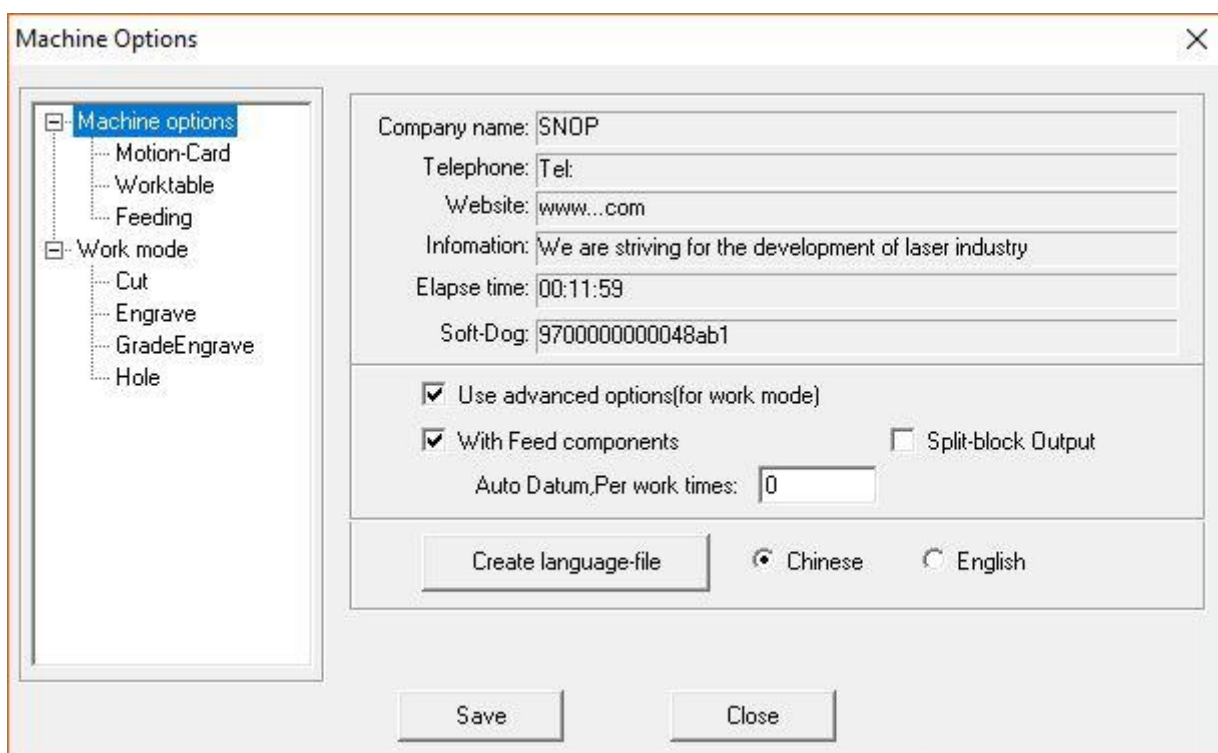
Power2 – snaga dodatne laserske cijevi ako je ugrađena

4.4 Postavke stroja

Parametri u postavkama stroja su naprednog karaktera, bilo kakvo mijenjanje istih može uzrokovati nepravilan rad laserskog stroja. Podešavanje od strane korisnika nije potrebno, ali u suprotnom potrebno je postupati u skladu sa uputama proizvođača.

4.4.1. Sučelje za postavke stroja

Sučelje se otvara tako da se na traci izbornika klikne na *File* → *Machine Options* (slika 4.19.).



Slika 4.19. Postavke stroja

Elapse Time – vrijeme rada lasera

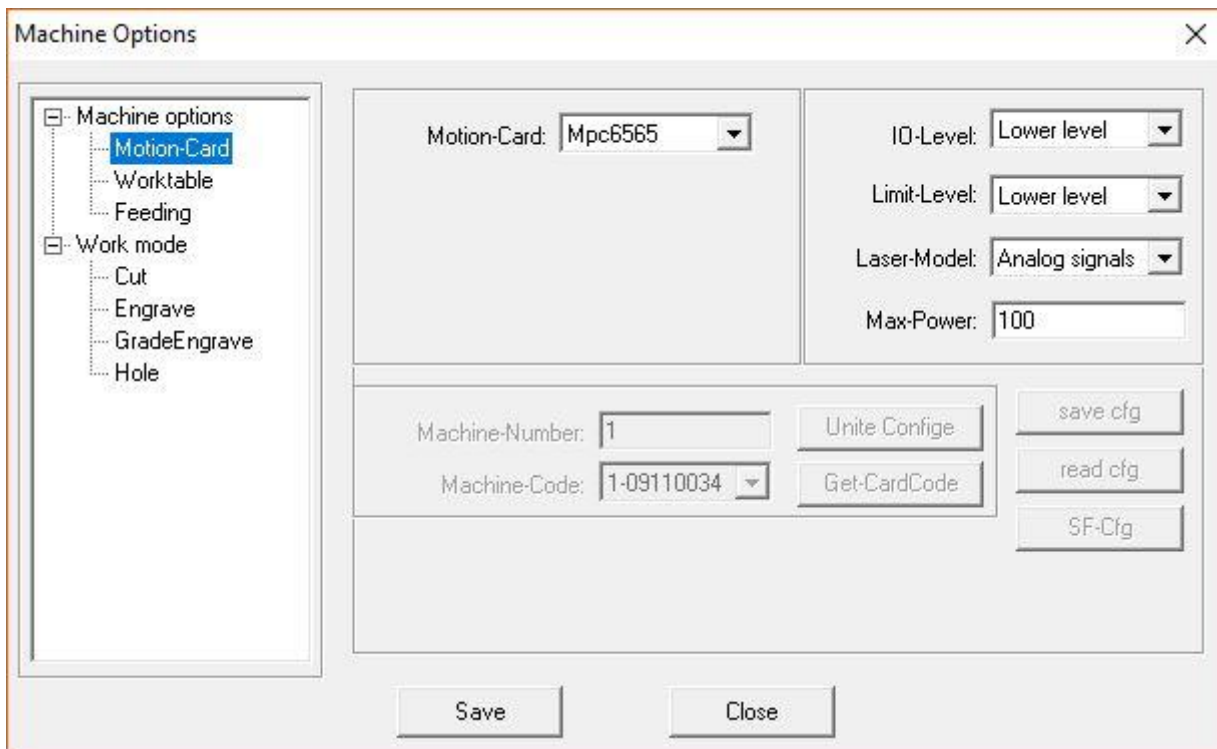
Use advanced options (for work mode) – omogućavanje unosa naprednih postavki

With Feed components – polje treba biti označeno kvačicom ako je stroj opremljen automatskim punjenjem materijala

Auto Datum, Per work times – broj ciklusa nakon kojeg se stroj automatski resetira

4.4.2. Sučelje za postavke kontrolera

U lijevom izborniku dijaloškog okvira „*Machine Options*“ odaberemo „*Motion-Card*“ (slika 4.20.).



Slika 4.20. Postavke kontrolera

Motion-Card – tip kontrolera

Machine-Number – broj stroja kod upravljanja sa više strojeva sa jednog računala

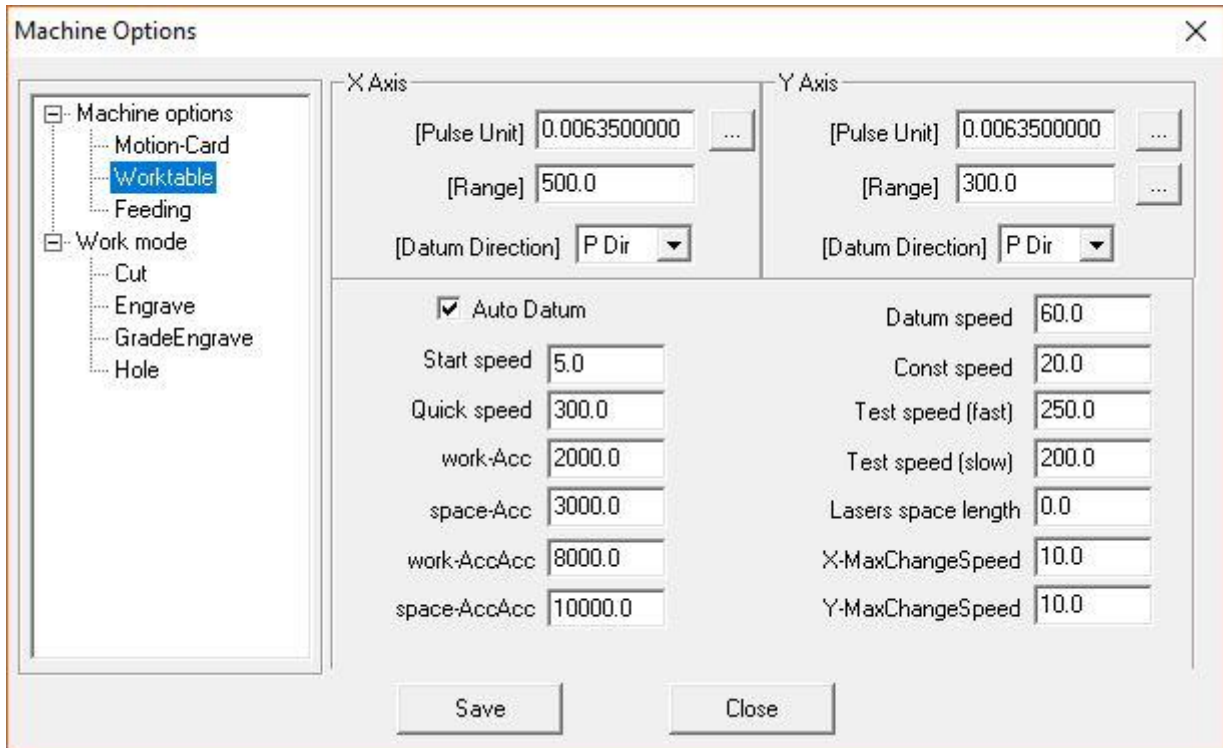
Machine-Code – broj kontrolera

Laser-Model – način napajanja laserske cijevi

Max-Power – maksimalna snaga lasera


4.4.3. Sučelje za postavke radnog stola

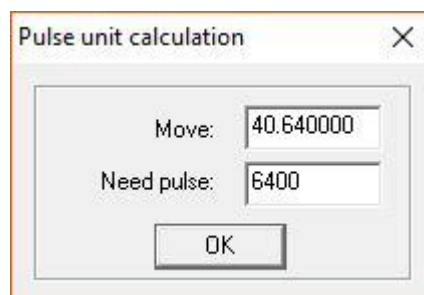
U lijevom izborniku dijaloškog okvira „*Machine Options*“ odaberemo „*Worktable*“ (slika 4.21.).



Slika 4.21. Postavke radnog stola

Pulse unit – parametar određuje dužinu pomaka glave kad kontroler pošalje jedan impuls

Klikom na tipku  u dijaloškom okviru na slici 4.21. otvaraju se postavke izračuna za „*Pulse unit*“.



Slika 4.22. Izračun pomaka

Move – dužina u milimetrima koju prijeđe obradna glava lasera kada osovina motora napravi puni krug

Need pulse – broj impulsa potreban da osovina motora napravi jedan puni krug

Range – maksimalna dužina kretanja obradne glave lasera

Datum Direction – smjer resetiranja koji može biti pozitivan (P Dir) ili negativan (N Dir). Pozitivan smjer za x-os je udesno, a za y-os prema gore. Ovaj parametar mora biti kompatibilan sa položajem graničnih prekidača, koji se nalaze u gornjem desnom kutu i ne smije se mijenjati.

Auto Datum – automatsko resetiranje pri svakom pokretanju softvera, preporučena postavka

Ukoliko se ne koristi automatsko resetiranje i resetiranje se ne obavi ručno, brzina kretanja obradne glave pomoću tipki smjera na PAD03 tipkovnici ili ikona smjera na kontrolnoj ploči u softveru, bit će smanjena kako bi se izbjeglo oštećenje prouzrokovano udaranjem obradne glave u gabarite stroja.

Datum speed – brzina kretanja obradne glave prilikom resetiranja

Start speed – početna brzina posmaka po osima, prevelika brzina može prouzročiti trešnju

Const speed - maksimalna brzina koja je ujedno i konstantna brzina pri radu

Quick speed – maksimalna brzina kretanja obradne glave kada je laser isključen

Work-Acc – iznos ubrzanja od nule do maksimalne brzine kod graviranja

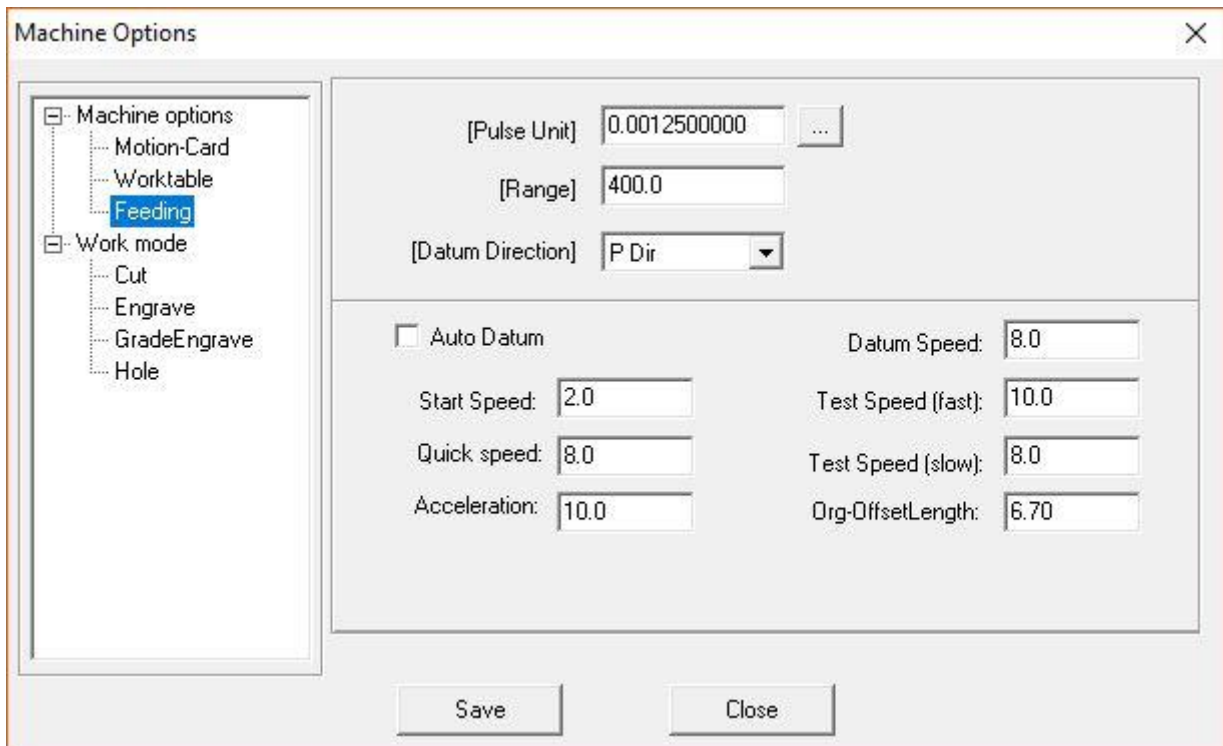
Test speed (fast) – brzina kretanja obradne glave pri upravljanju PAD03 tipkovnicom ili tipkama za smjer kretanja na kontrolnoj ploči u softveru, ako „*Auto Datum*“ parametar je označen kvačicom

Test speed (slow) – brzina kretanja obradne glave pri upravljanju PAD03 tipkovicom ili tipkama za smjer kretanja na kontrolnoj ploči u softveru, ako „*Auto Datum*“ parametar nije označen kvačicom

Maximum jump speed of X-Axis – maksimalna brzina kretanja po x-osi koja podržava glatku (smooth) promjenu smjera, što je niža vrijednost parametra bolja je kvaliteta izrade ali je efikasnost smanjena

Maximum jump speed of Y-Axis – maksimalna brzina kretanja po y-osi koja podržava glatku (smooth) promjenu smjera, što je niža vrijednost parametra bolja je kvaliteta izrade ali je efikasnost smanjena

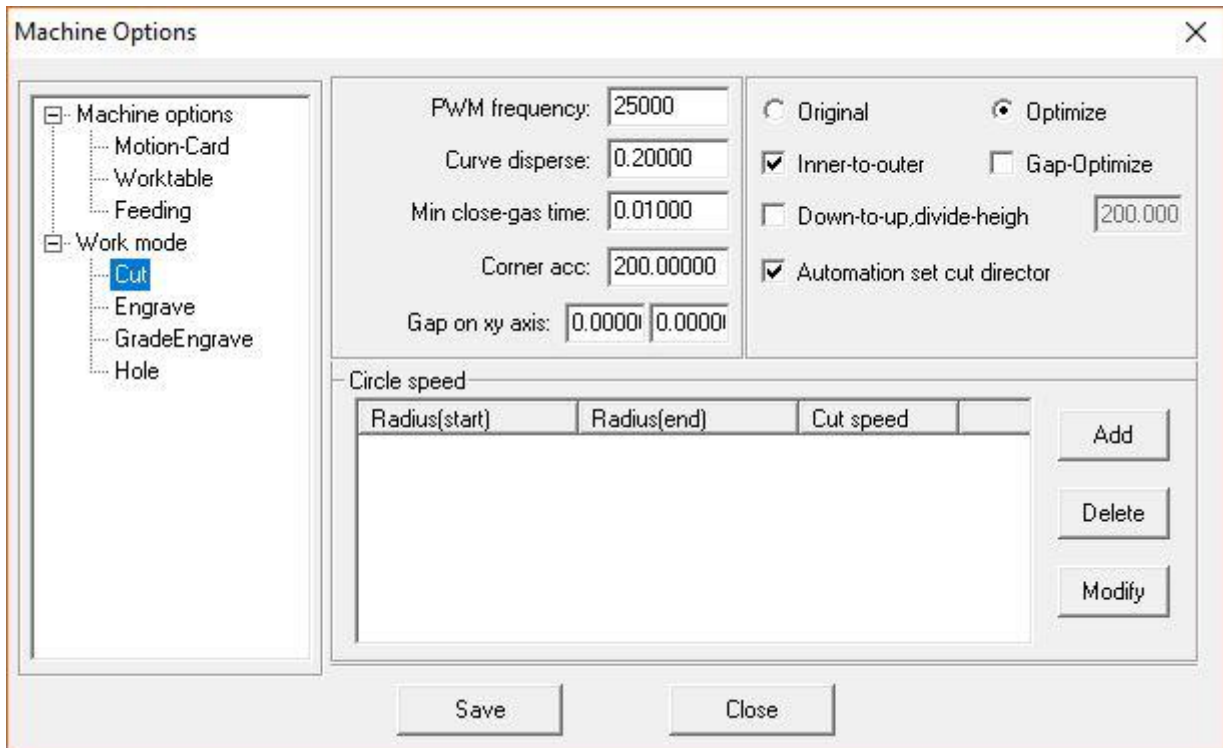
Kada u lijevom izborniku odaberemo „Feeding“ pojavi se jedan novi parametar (slika 4.23.): *Org-OffsetLength* – udaljenost za koju se z-os vrati nakon kontakta sa graničnim prekidačem.



Slika 4.23. Postavke parametara „Feeding“

4.4.4. Sučelje za postavke rezanja

U lijevom izborniku dijaloškog okvira „*Machine Options*“ odaberemo „*Cut*“ (slika 4.24.).



Slika 4.24. Postavke rezanja

PWM frequency – frekvencija PWM signala, može se podesiti između 200Hz – 200KHz

Curve disperse – što je manja vrijednost parametra donosi veću preciznost, ali duži izračun operacije, moguće je mijenjati vrijednost ovisno o materijalu i tako optimizirati proces

Min close-gas time – minimalno vrijeme zatvaranja plina

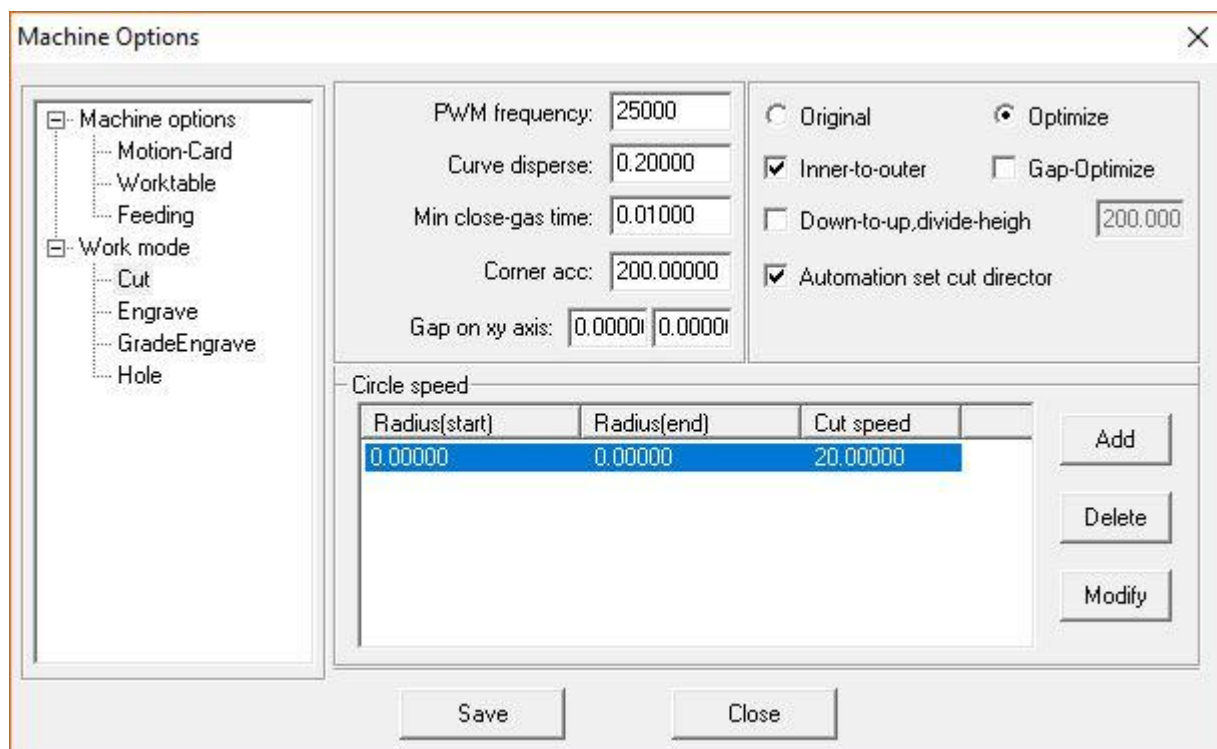
Corner acc – ubrzanje laserske glave kod izlaska iz kuta sirovine

Gap on xy axis – kompenzacija mehaničke greške kod konstantne brzine rezanja

Overlap length (for close) – kompenzacija mehaničke greške praznog hoda kod izrezivanja zatvorenih vektora ili krugova, prazni hod uzrokuje da zatvoreni vektor ili krug kod izrade nije u potpunosti zatvoren, veća vrijednost parametra produžava vrijeme izračuna

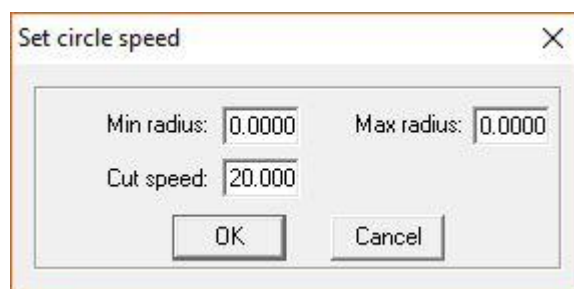
Circle speed – izrezivanje krugova malih promjera velikom brzinom, uvelike poboljšava kvalitetu izratka

Klikom na „Add“ pojavljuje se nova linija (slika 4.25.).



Slika 4.25. Obrada krugova malih promjera

Klikom na „Modify“ pojavljuje se dijaloški okvir za postavke alata „Circle Speed“(slika 4.26.).



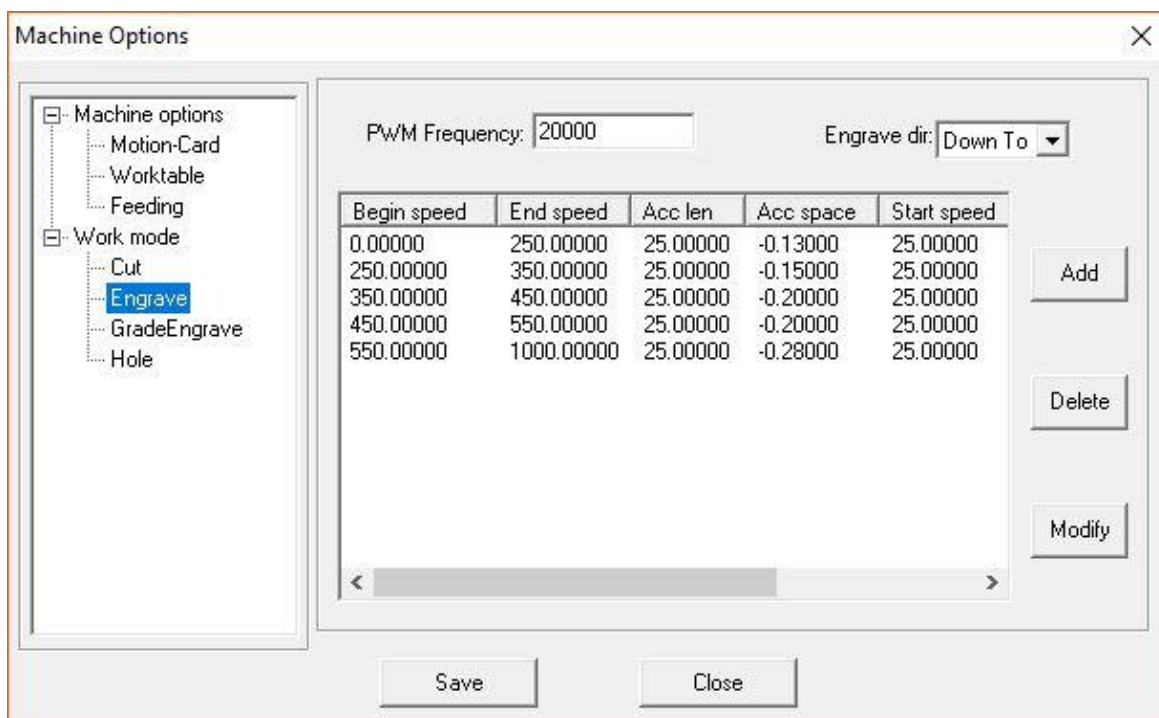
Slika 4.26. Parametri krugova malih promjera

Min radius, *Max radius* – raspon promjera na radnoj površini na koje će utjecati postavka brzine
Cut speed – brzina posmaka obradne glave laser

Moguće je grupirati različite promjere i dodijeliti im drugačije brzine. Preporučeni su svi promjeri manji od 5mm.

4.4.5. Sučelje za postavke graviranja

U lijevom izborniku dijaloškog okvira „*Machine Options*“ odaberemo „*Engrave*“ (slika 4.27.).

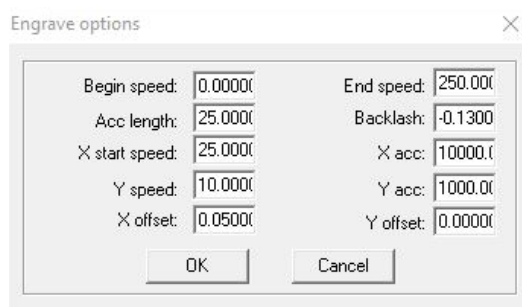


Slika 4.27. Postavke graviranja

PWM frequency – frekvencija PWM signala, može se podesiti između 200Hz – 200KHz

Engrave dir – smjer graviranja; odozdo prema gore „*Down To Up*“ ili odozgo prema dolje „*Up To Down*“

Kada odaberemo liniju u pregledniku parametara i kliknemo „*Modify*“ dobijemo sljedeći dijaloški okvir (slika 4.28.).



Slika 4.28. Dodatni parametri za graviranje

Begin speed, End speed – raspon brzina na koje će utjecati parametri

Acc length – duljina ubrzanja u milimetrima od nulte vrijednosti do zadane brzine rezanja

X start speed – početna brzina po x-osi, prevelika vrijednost parametra smanjuje preciznost

Y speed – maksimalna brzina po y-osi

X offset, Y offset – odnosi se samo na servo motore, kompenzira pomak između graviranja i rezanja

Backlash – kompenzacija mehaničke greške praznog hoda, linija koja odstupa od okomice se kompenzira unosom pozitivnog ili negativnog broja

X acc, Y acc – ubrzanje od početne do zadane brzine kod graviranja

5. Kontrolna jedinica PAD03

Upravljačko sučelje na kontrolnoj jedinici PAD03 predstavljeno je na slici 5.1.



Slika 5.1. Upravljačko sučelje PAD03 tipkovnica i LCD zaslon

Datum – reset obradne glave, pomiče se u referentnu točku stroja (gornji desni kut)

Laser – aktivacija lasera

Stop – zaustavljanje obradnog ciklusa

Test – obradna glava lasera će proći putanju po vektoru koji obuhvaća sve objekte na radnoj površini, bez uključivanja laserske zrake, koristi se za proveru pozicije objekata u odnosu na sirovinu iz čega se, između ostalog, može utvrditi jesu li svi objekti unutar gabarita sirovine

Start/Pause – pokreće i zaustavlja obradni ciklus, ponovni pritisak nakon pokretanja pauzira ciklus u jednoj tački u kojoj sledećim pritiskom nastavlja ciklus obrade

Esc – izlaz iz trenutnog prozora

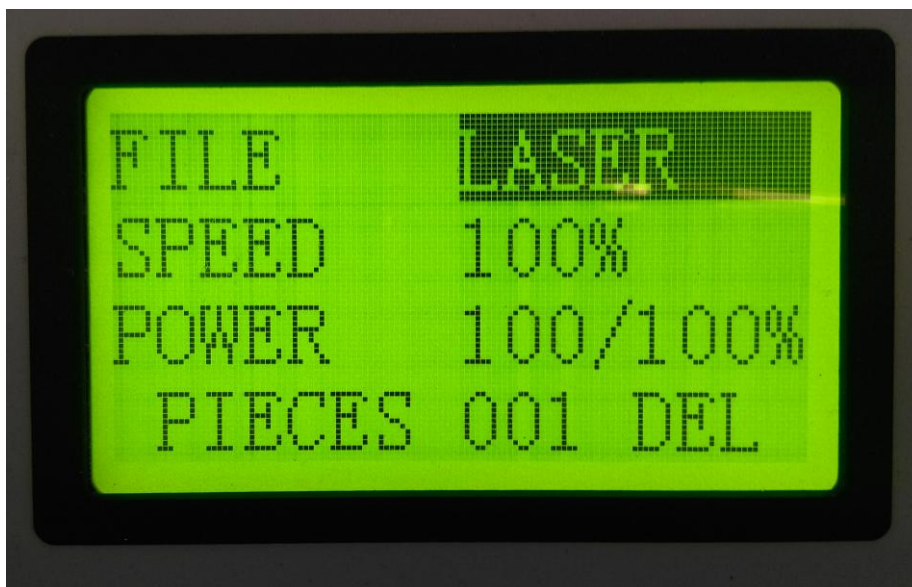
Menu – ulazak u izbornik

Enter -  potvrda unosa

Z – aktivacija kontrole z-osi

5.1. Kontrolni zaslon

Nakon uključivanja stroja na zaslonu se pojavljuje „*System Starting Please Wait!*“. Nakon uspostave komunikacije između kontrolne jedinice i kontrolera pojavljuje se sljedeći sadržaj (slika 5.2.).



Slika 5.2. Sadržaj kontrolnog ekrana

File – ime trenutne datoteke za obradu

Speed – iznos brzine u postotcima u odnosu na maksimalnu zadanu brzinu

Power – snaga lasera u postotcima, prvi dio se odnosi na snagu u sporom načinu rada, a drugi u brzom

Pieces – broj komada za obradu

Kada je naziv datoteke zatamnjen kao na slici 5.2, strelice smjera možemo koristiti za kretanje po sadržaju zaslona. Tipke smjera za lijevo/desno pomiču kursor kroz izbornik, a strelice gore/dolje mijenjaju veličinu parametra. Samo pritiskom na „*Enter*“ se sprema promjena.

5.1.1. Pomicanje obradne glave pomoću tipki smjera

Pritiskom tipke „Esc“ kursor nestaje a strelice smjera kontroliraju kretanje obradne glave (slika 5.1.). Dužina kretanja je ovisna o postavkama u „Jog Set“ izborniku.

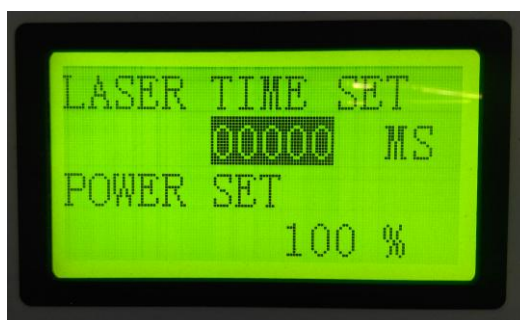
Pritiskom na tipku „Menu“ otvara se glavni izbornik (slika 5.3.).



Slika 5.3. Glavni izbornik

Cut Contour – bez uključivanja laserske zrake, obradna glava prođe putanjom koja obuhvaća sve objekte na radnoj površini, služi za provjeru jesu li svi objekti unutar gabarita sirovine (slika 5.4.)

Laser Set – kontrolira način rada lasera kod pritiska na tipku „Laser“



Slika 5.4. „Cut contour“ parametri

Laser Time Set – kada je parametar jednak nuli, kod pritiska na tipku „*Laser*“, laser će biti aktivan dok je tipka pritisnuta. Ako parametar ima neku vrijednost (u milisekundama), zraka ostaje uključena shodno vremenu izraženom u toj vrijednosti.

Jog Set – postavlja upravljanje obradne glave koristeći tipke smjera na kontrolnoj jedinici i otvara sučelje (slika 5.5.)



Slika 5.5. „*Jog Set*“ parametar

Distance Set - kada je parametar jednak nuli, kod pritiska na tipke smjera, obradna glava se kreće dok držimo tipku pritisnutu. Ako parametar ima neku vrijednost (u milimetrima), obradna glava prelazi zadanu udaljenost.

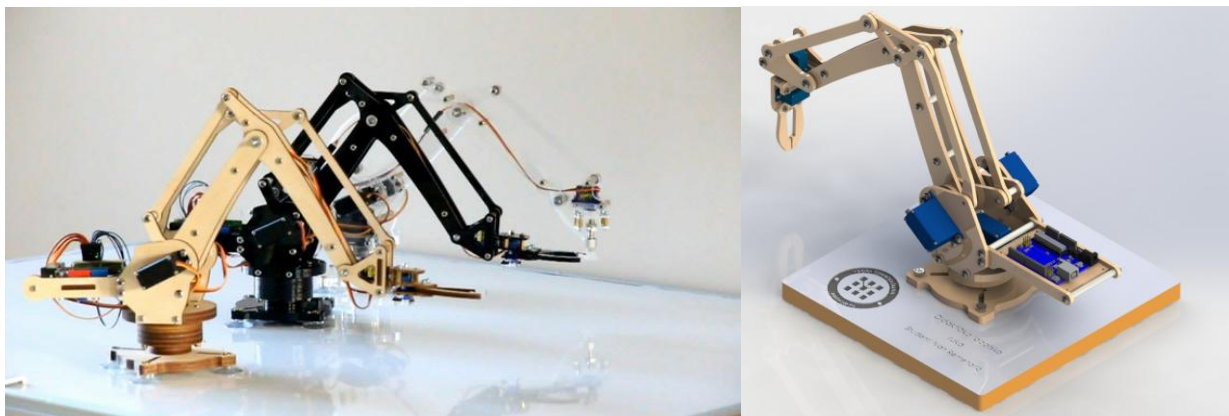
Za pomicanje radnog stola (po z-osi) koristimo tipku „*Z*“. Pritiskom na tipku se pojavljuje sadržaj „*Z-AXIS OPERATE*“ i tada možemo koristiti tipke smjera gore dolje.

6. Datoteke za programiranje laserskog stroja

Tip datoteke koji ćemo koristiti za laserski stroj je u formatu *.dxf. Datoteke ovakvog formata moguće je uvesti u programski alat LaserCut 5.3. Postupak kako dobiti navedene datoteke će biti opisan u sljedećim poglavljima.

6.1. Didaktička robotska ruka

Didaktička robotska ruka ima 4 stupnja slobode i njezina glavna karakteristika je paralelni mehanizam. Pokretana je standardnim servo motorima i kontrolirana Arduino mikrokontrolerom. Takve robotske ruke imaju težište u bazi svoje konstrukcije pa su izrazito stabilne, a i odziv same ruke je vrlo brz i pri samom vrhu u svijetu robotske tehnologije (slika 6.1.). Robotska ruka je poslužila za primjer primjene laserskog stroja.



Slika 6.1. Lijevo prototipovi didaktičke robotske ruke, desno model u završnom radu [19]

Laserski stroj G.Weike LG5030S na Visokoj tehničkoj školi u Bjelovaru korišten u izradi ovog projekta. Didaktička robotska ruka izrezana je iz šperploče topole debljine 4mm. Šperploča je materijal koji je dostupan i lako nabaviti u željenim dimenzijama. Laser precizno i brzo reže šperploču debljine 4mm, a proces je ujedno i jednostavan.

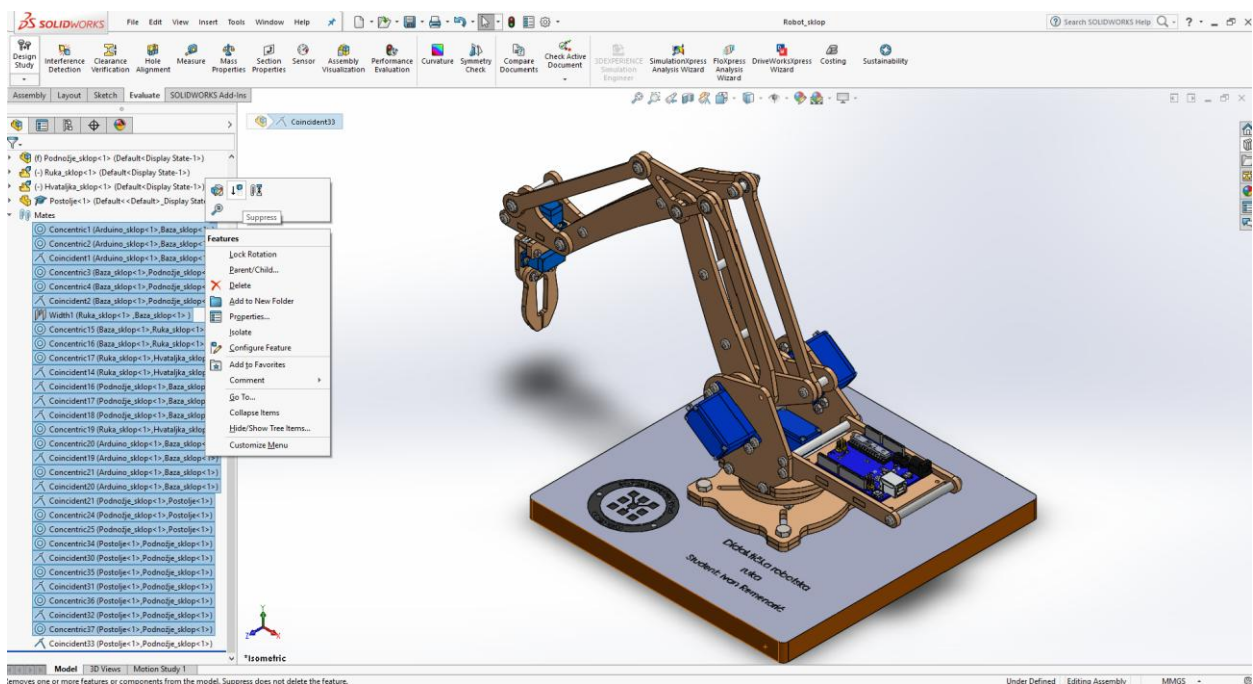
Predviđeno je da se alat koji je priključen na ruku može mijenjati ovisno o potrebi koja se ukaže, a mogućnosti ovise o idejama korisnika (slika 6.2.). Sve ovo je u svrhu učenja o robotici i programiranju.



Slika 6.2. Hvataljka pogonjena malim servo motorom, sisaljka pogonjena vakuumskom pumpom i hvataljka postavljena vertikalno [19]

6.2. 3D CAD model

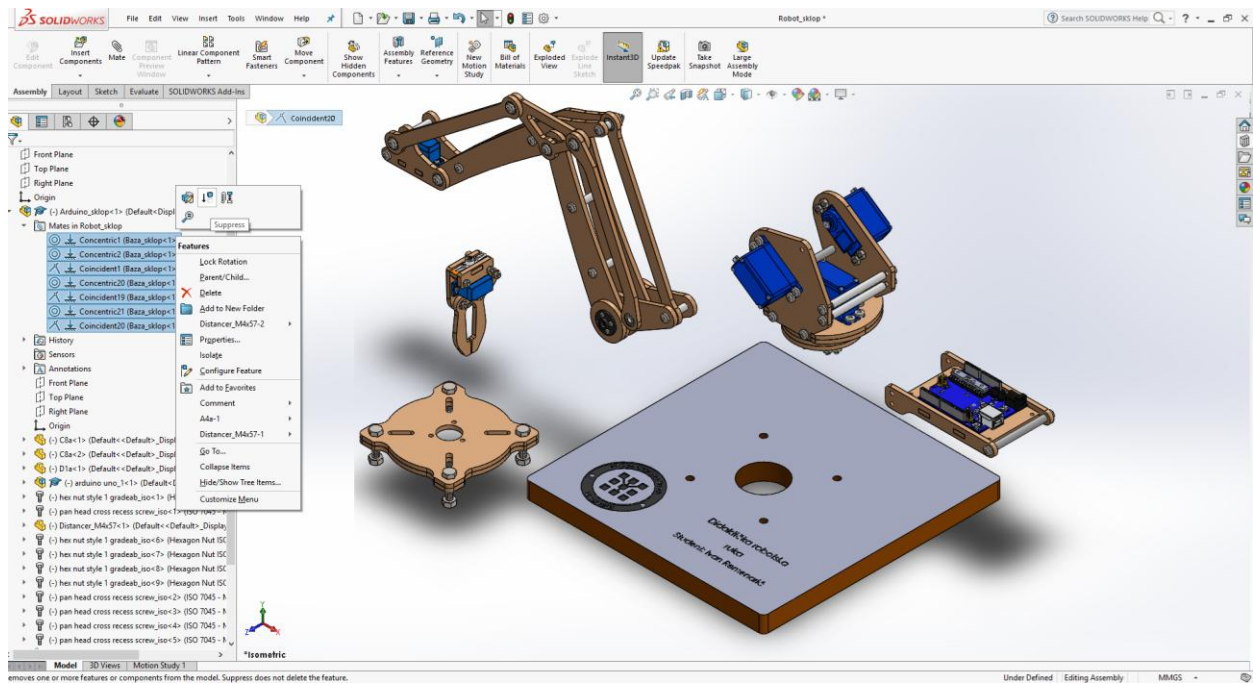
Datoteke potrebne za programiranje laserskog stroja dobivaju se koristeći 2D i 3D CAD programske alate AutoCAD i SolidWorks. Model u sklopu (*eng. Assembly*) u programskom alatu SolidWorks možemo vidjeti na slici 6.3.



Slika 6.3. 3D model didaktičke robotske ruke u programskom alatu SolidWorks

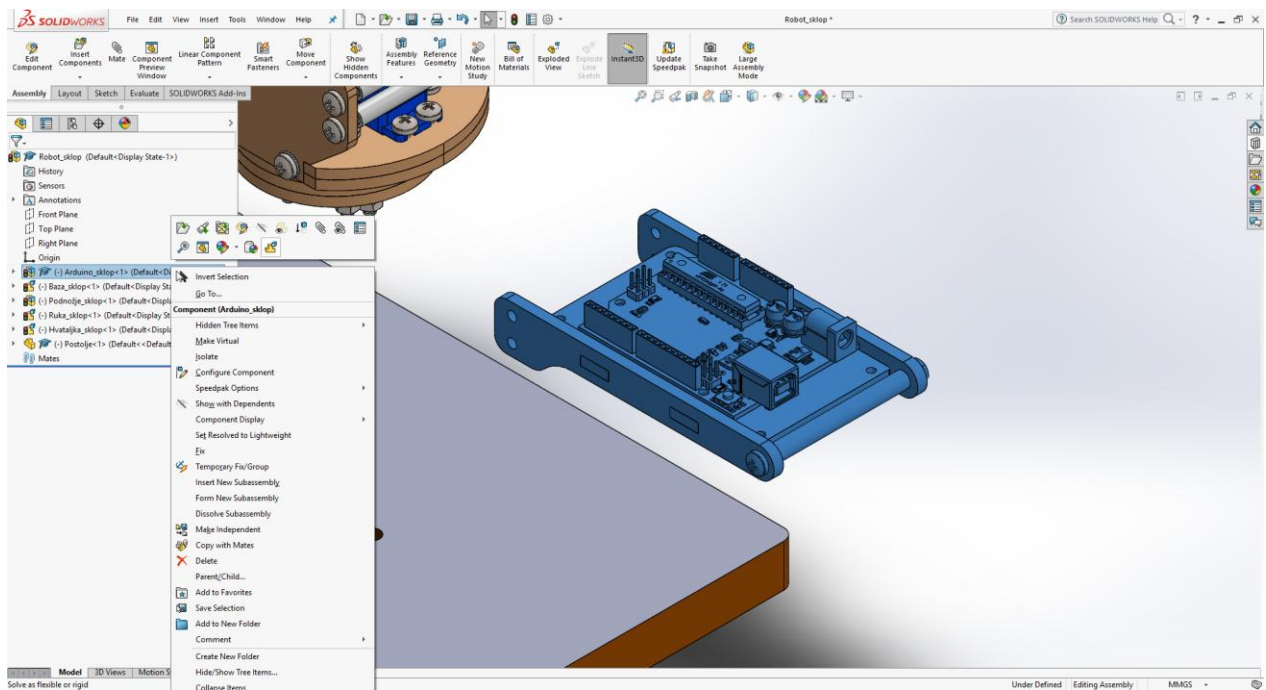
3D model robota sklopljen je koristeći funkciju „*Mate*“. Za dobivanje 2D krojne liste potrebno je sve veze „*Mates*“ privremeno onesposobiti. Klikom na prvu vezu u izborniku lijevo i klikom na zadnju vezu pritom držeći na tipkovnici tipku „*Shift*“ odaberemo sve veze i nakon klika desnom tipkom miša u padajućem izborniku odaberemo opciju „*Suppress*“.

Isto tako je potrebno u podsklopovima Arduino, Baza, Podnožje, Ruka i Hvataljka onesposobiti sve veze (slika 6.4.).



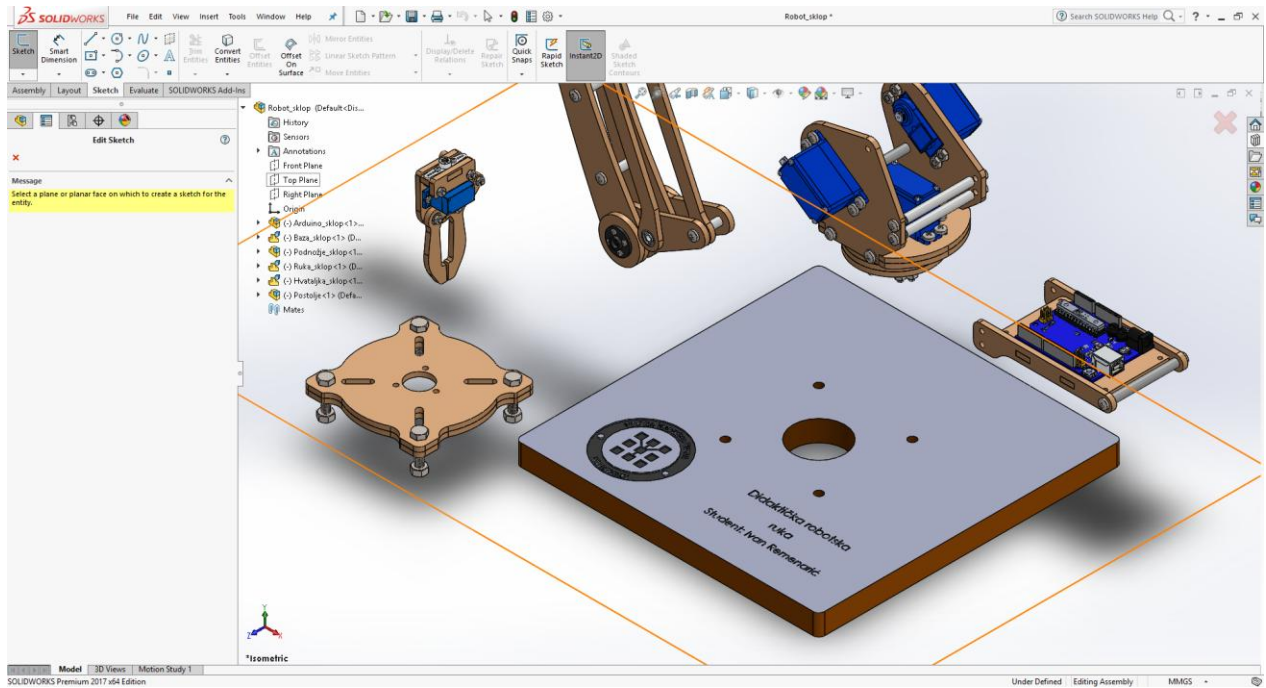
Slika 6.4. Oslobađanje veza u podsklopovima

Potom je potrebno kliknuti desnom tipkom miša na svaki podsklop u lijevom izborniku i odabrati „*Make Assembly Flexible*“ (slika 6.5.).

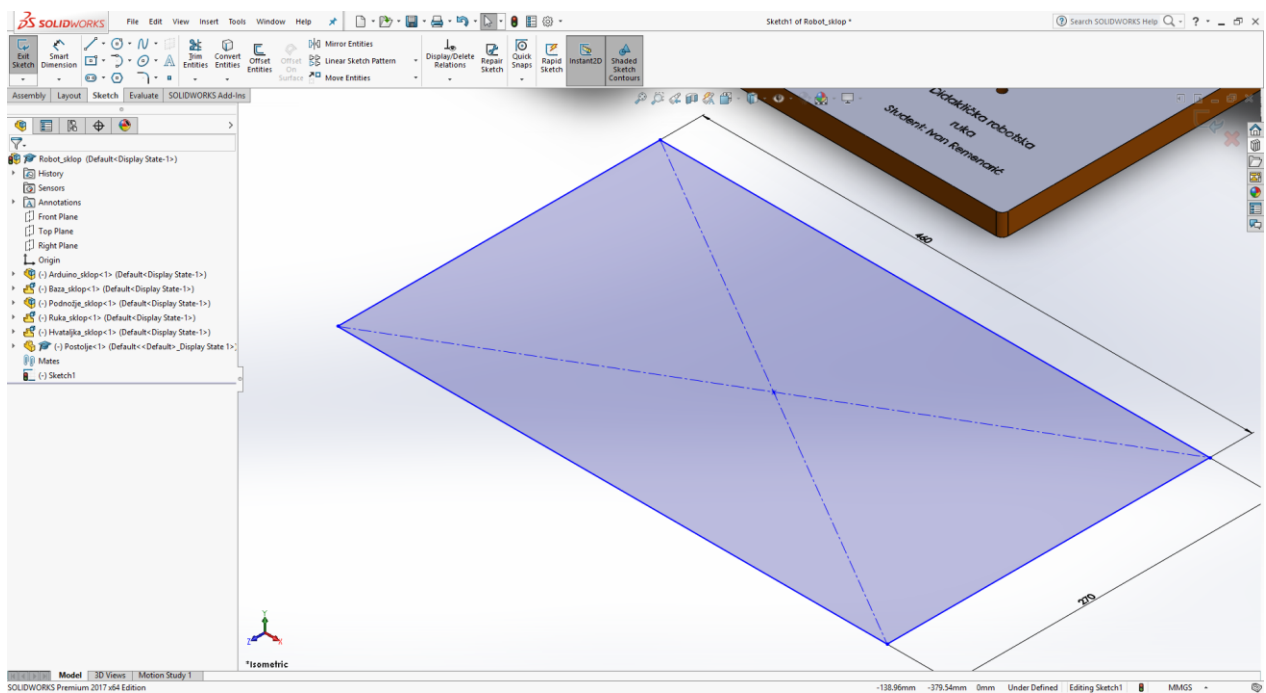


Slika 6.5. Omogućavanje rastavljanja podsklopova na dijelove

Novi „Sketch“ se postavlja na „Top Plane“ (slika 6.6) gdje treba nacrtati pravokutnik „Center Rectangle“ (slika 6.7.) koji će poslužiti za virtualno raspoređivanje dijelova po radnoj površini.

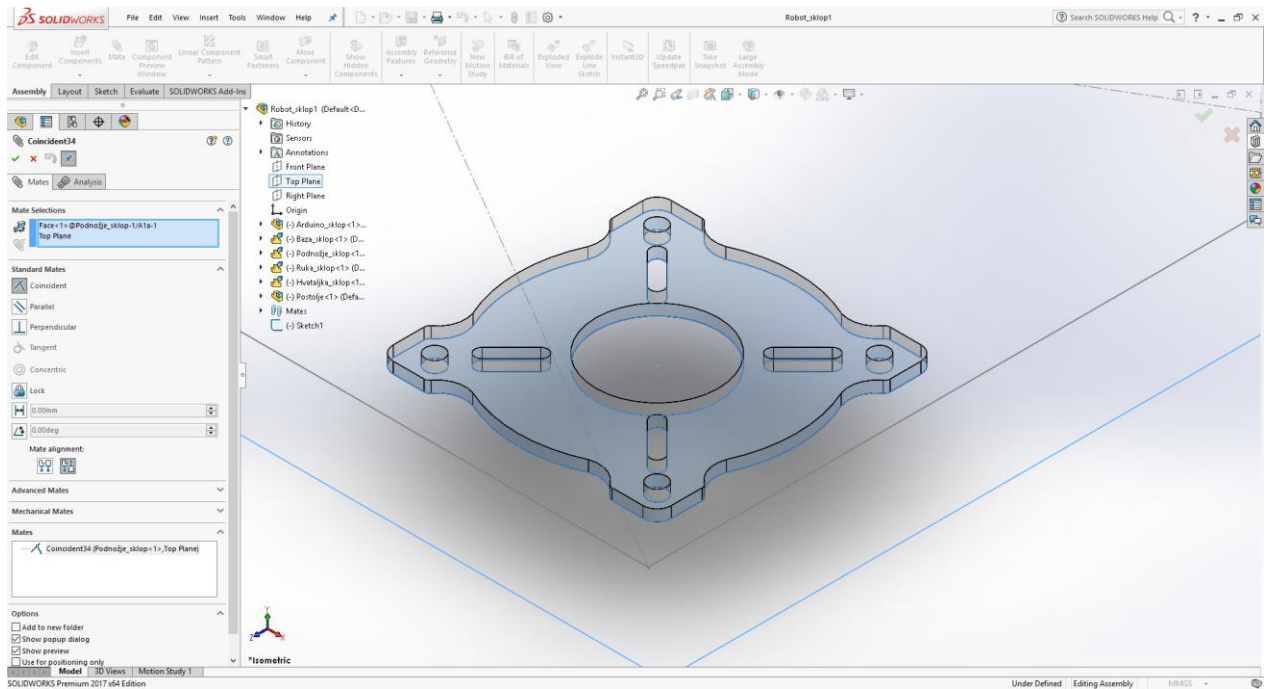


Slika 6.6. Kreiranje novog „Sketch-a“



Slika 6.7. Pravokutnik 460x270mm

Zatim redom ide rastavljanje podsklopova na dijelove i raspodjela istih dijelova po pravokutniku, držeći lijevu tipku miša i povlačeći dio unutar pravokutnika. Prvo jedan dio iz podnožja robotske ruke treba horizontalno poravnati sa pravokutnikom koristeći opciju „Mate“ na alatnoj traci tako da označimo jednu cijelu stranu dijela i u izborniku odaberemo „Top Plane“ (slika 6.8).

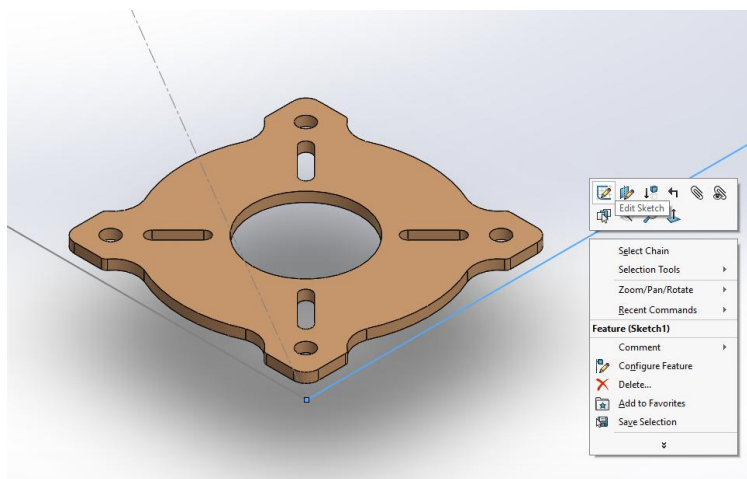


Slika 6.8. Povezivanje plavo označene površine dijela i „Top Plane“-a

Kada su svi djelovi poravnati sa pravokutnikom na „Top Plane“, dovoljno ih je pomicati držeći lijevu tipku miša i rasporediti ravnomjerno po površini.

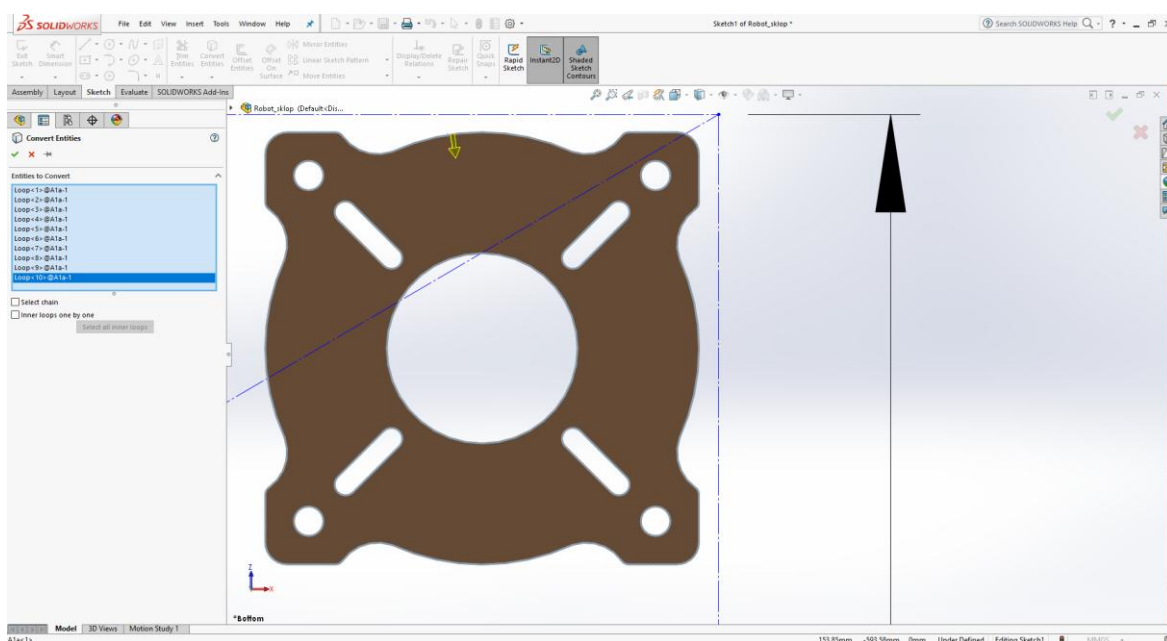
Funkcijom „Convert Entites“ rubove dijela možemo konvertirati u nove crteže. Ovdje će poslužiti za presliku svih dijelova robotske ruke koja će kasnije poslužiti kao datoteka za laserski rezač.

Klikom desne tipke miša na jednu od linija pravokutnika otvara se izbornik u kojem odaberemo „Edit Sketch“ (slika 6.9.).



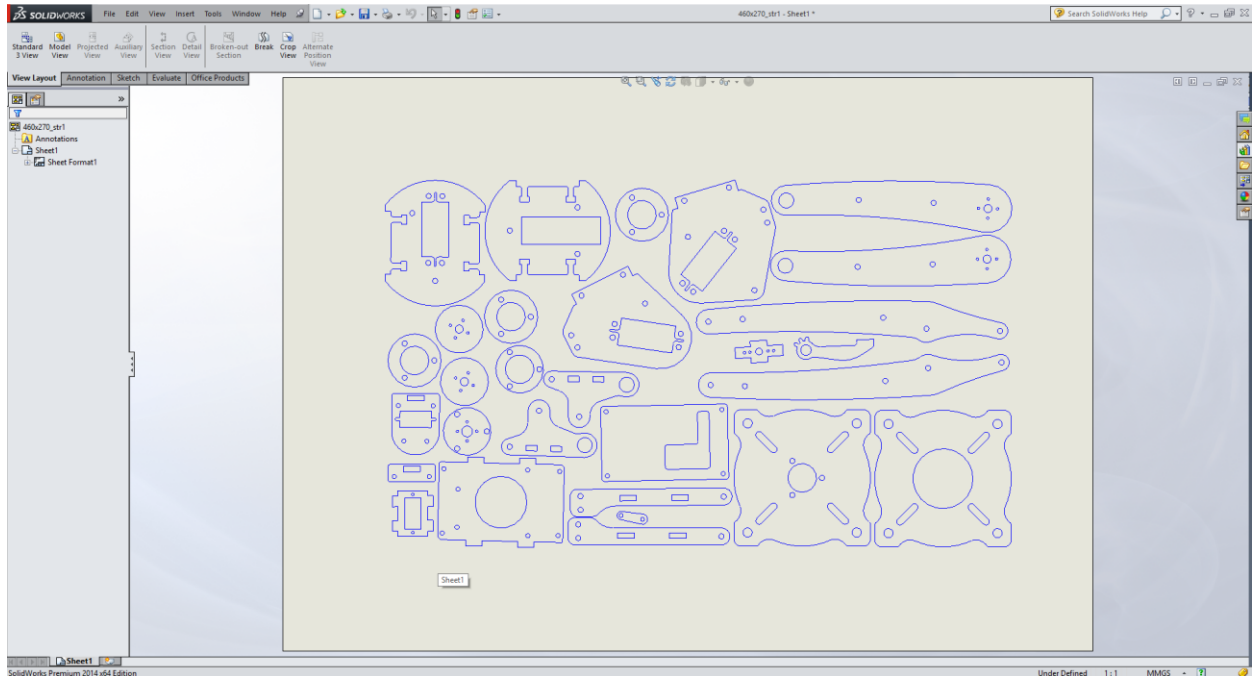
Slika 6.9. Aktivacija „Sketch“-a u kojem je izrađen pravokutnik

Držeći tipku „Ctrl“ na tipkovnici odabiremo sve linije koje čine pravokutnik i u izborniku „Line Properties“ stavimo kvačicu pod opciju „For construction“. „Sketch“ koji sadrži pravokutnik mora biti aktivan. Pod „View Orientation“ odaberemo „Bottom“(Ctrl+6). Na alatnoj traci pod „Sketch“ odaberemo opciju „Convert Entities“. Sa lijeve strane se otvara izbornik i zatim kliknemo na donju stranu dijela na koju smo namjestili pogleda te se ista izlista pod „Entities to Convert“. Klikom na tipku „Select all inner loop“ odaberemo sve konture unutar gabarita dijela. Za odabir vanjskog ruba kliknemo desnom tipkom miša na rub dijela, u padajućem izborniku odaberemo „Select Loop“ i na žutu strelicu klikamo dok nam cijeli rub dijela ne poplavi (slika 6.10.).

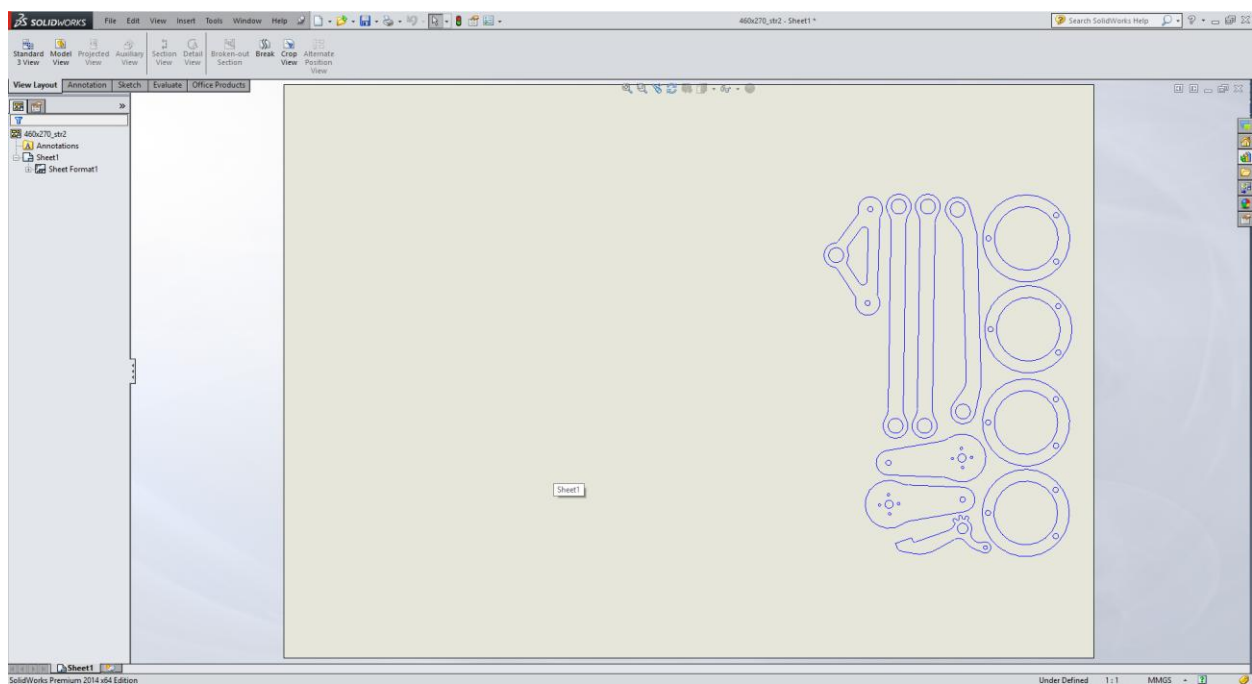


Slika 6.10. Funkcija „Convert Entities“

Za svaki od dijelova je potrebno ponoviti postupak. Cilj je rasporediti preslike po pravokutniku za konstrukciju kao da radimo raspodjelu po sirovini na radnom stolu laserskog stroja (slika 6.11 i slika 6.12.).

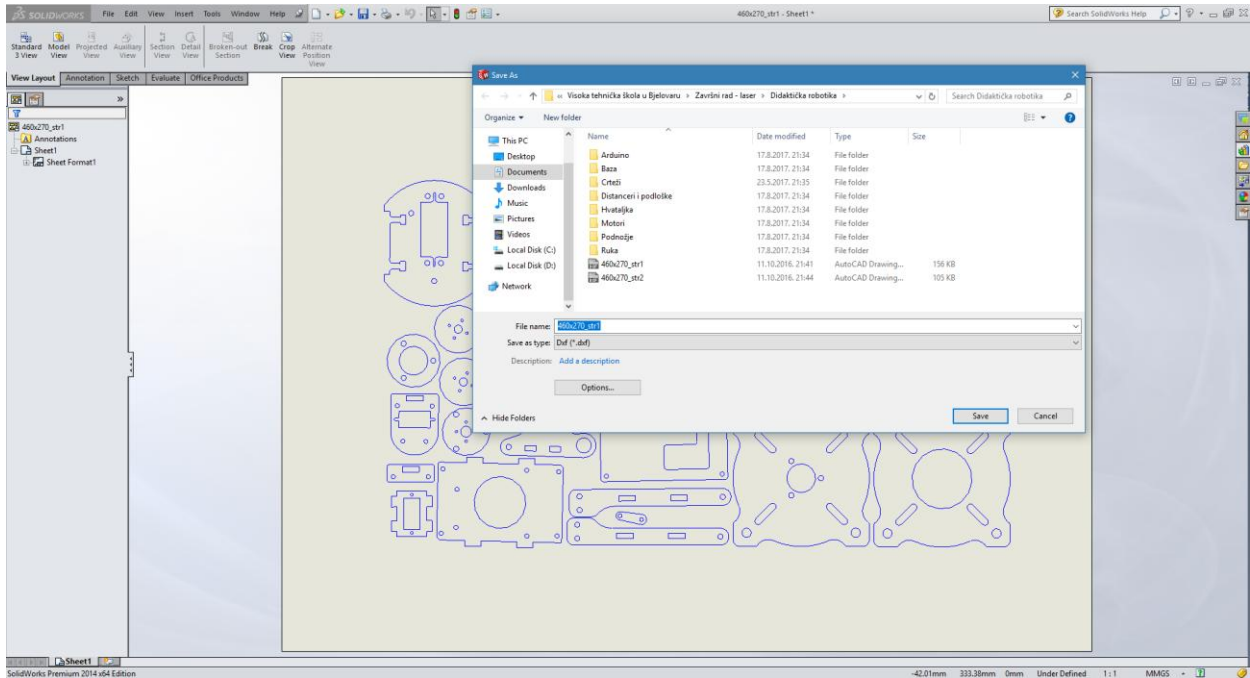


Slika 6.11. Krajnji rezultat preslikavanja rubova dijelova, prva stranica



Slika 6.12. Krajnji rezultat preslikavanja rubova dijelova, druga stranica

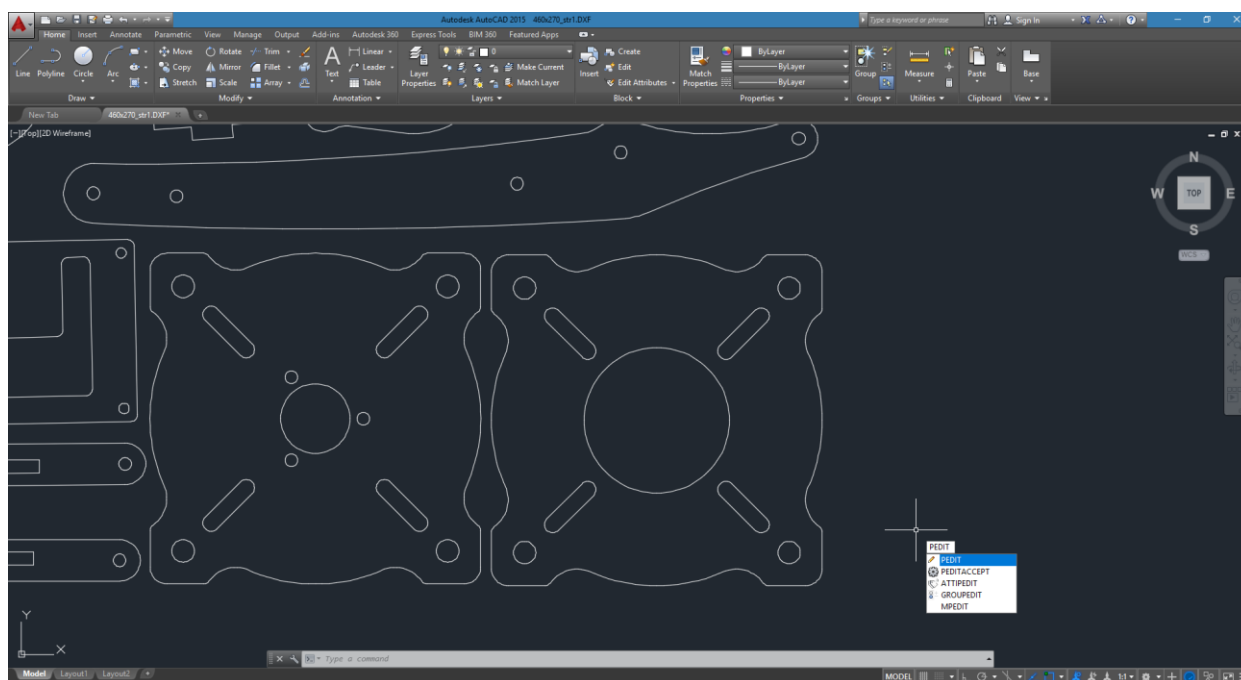
Datoteke na slikama su u standardom formatu *.slddrw za datoteke crteža u programskom alatu SolidWorks. Potrebno ih je spremiti u formatu *.dxf za programski alat AutoCAD, radi daljnje dorade (slika 6.13.).



Slika 6.13. Priprema za AutoCAD

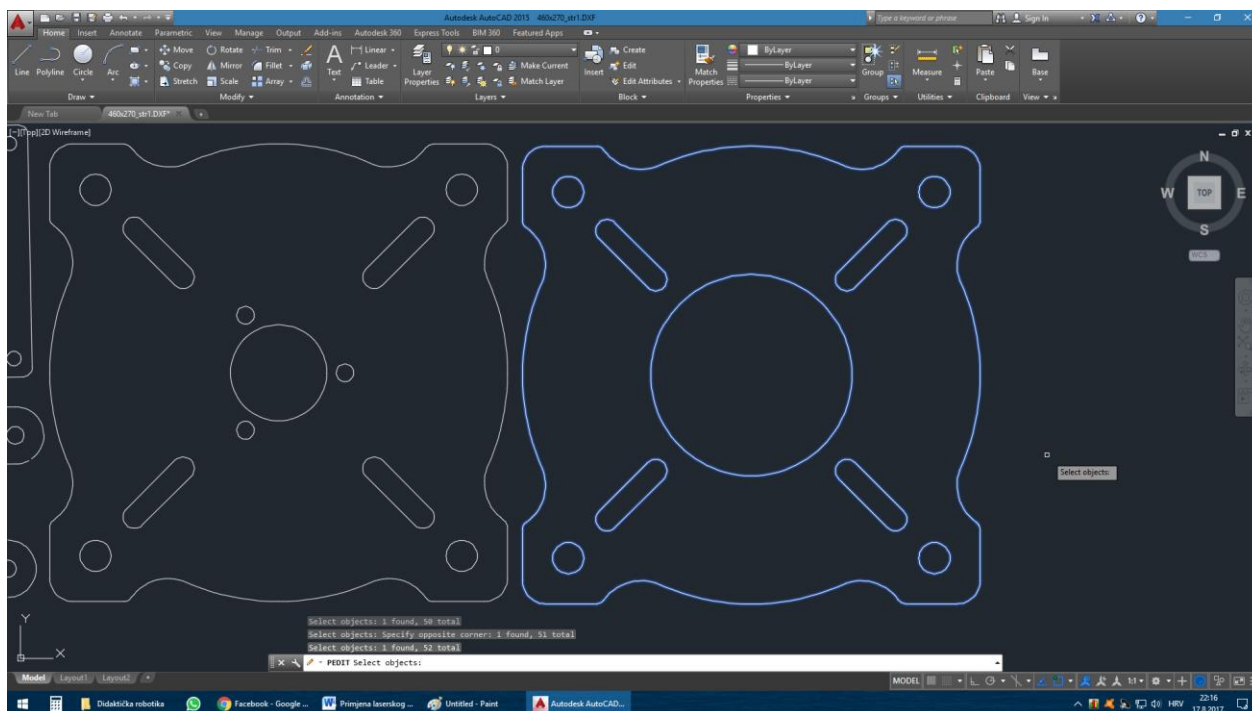
6.3. 2D obrada i izrada

U procesu rezanja se javlja problem kod putanje laserske glave. Ako u AutoCAD-u sve linije nisu obrađene funkcijom „*polyline*“, putanja se samoinicijativno prekida i nastavlja po drugoj liniji. Kako bi smo to izbjegli, tipkovnicom unesemo naredbu „*PEDIT*“ i stisnemo tipku „*Enter*“ na tipkovnici (slika 6.14.).



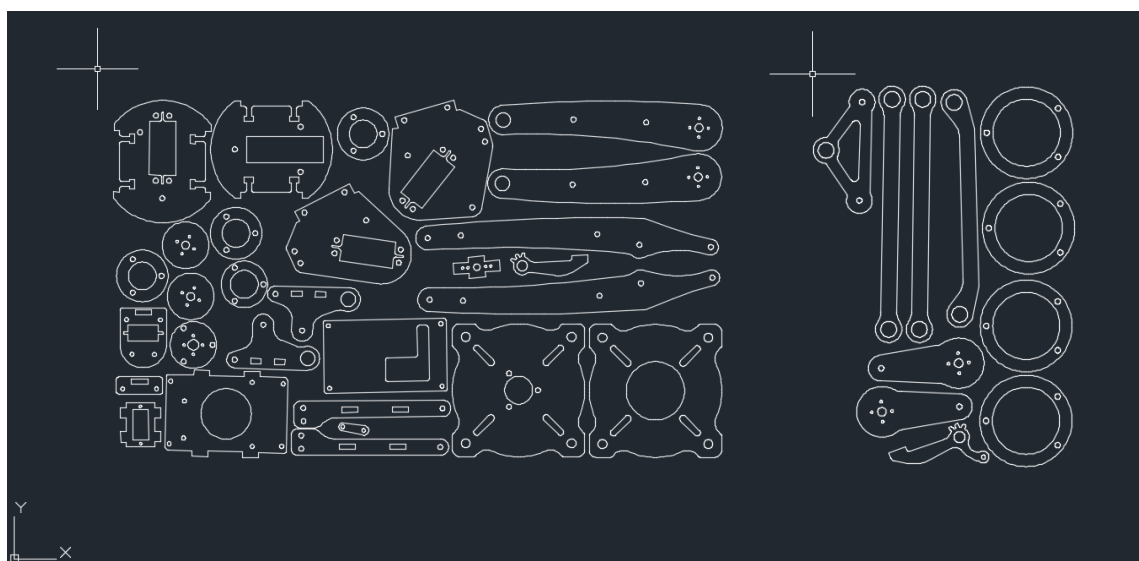
Slika 6.14. Naredba „*PEDIT*“

Program sugerira da se odabere jedna linija. Nakon odabiranja linije javlja se padajući izbornik na kojem treba odabrati opciju „*Join*“. Zatim samo klikanjem treba odabrati sve linije koje nisu kružnice na jednom od dijelova. Time se osigurava da putanja laserske glave bude izvršena do kraja po svakom dijelu. Postupak se primjenjuje na sve linije, odnosno dijelove u datoteci (slika 6.15.). Tako obrađene datoteke spremne su za otvaranje u programskom alatu LaserCut 5.3.



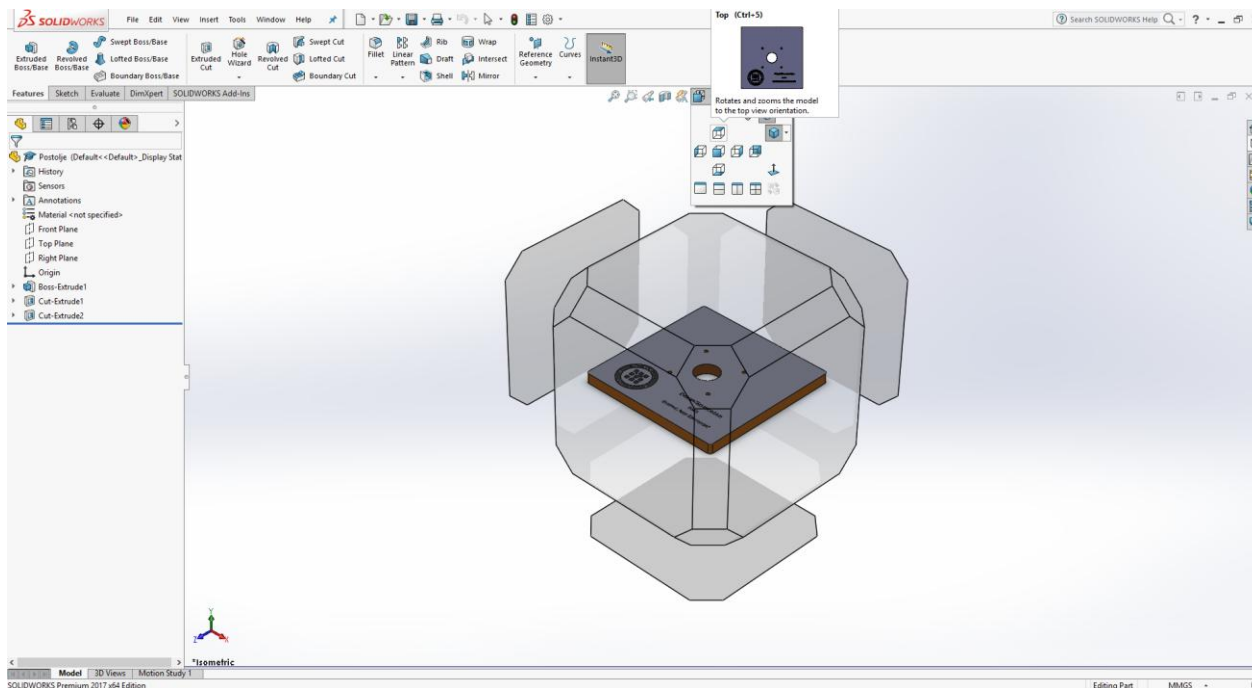
Slika 6.15. Funkcija „polyline“

Dobivene datoteke predstavljaju 2D krojne liste (slika 6.16).



Slika 6.16. 2D krojne liste

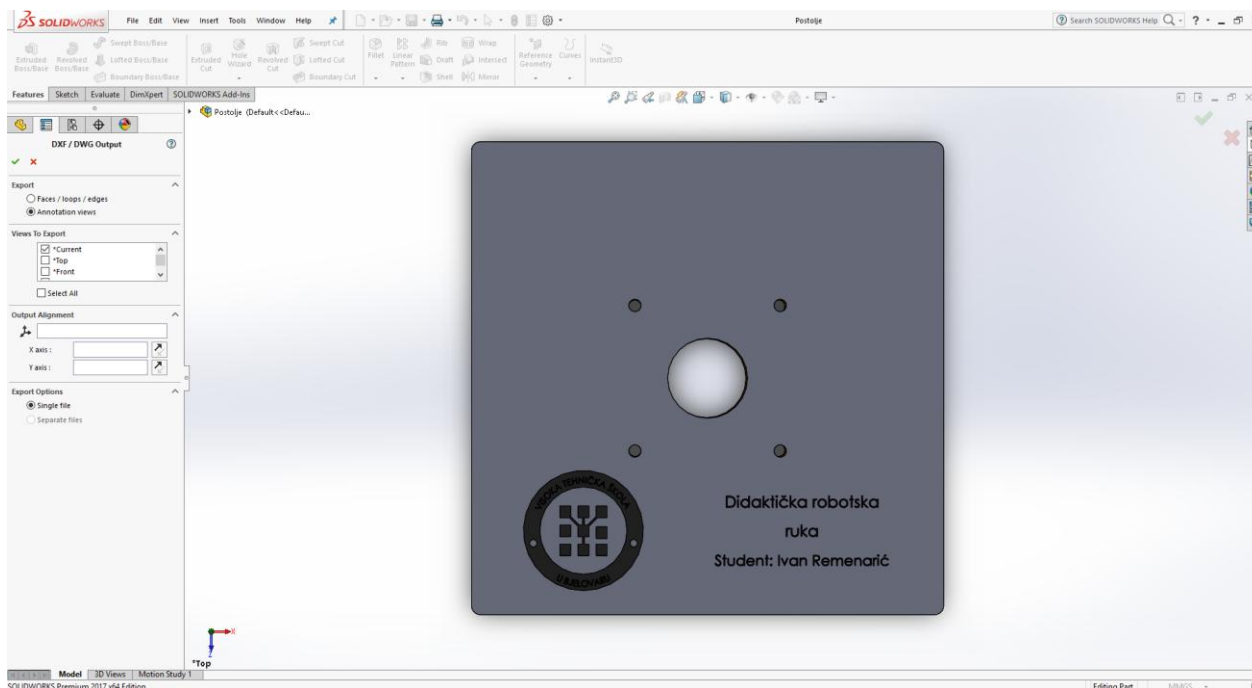
Izuzetak od ovakvog postupka dobivanja krojnih listi je postolja od lesonita debljine 13mm koje nije pogodno za rezanje laserom. Postoji još jedna metoda dobivanja krojne liste koja je efikasnija u slučaju ovog postolja. Prvo je potrebno u programskom alatu SolidWorks otvoriti gotovi 3D model postolja i odabrati odgovarajući pogled 3D modela, odnosno „*Top View*“ (slika 6.17.).



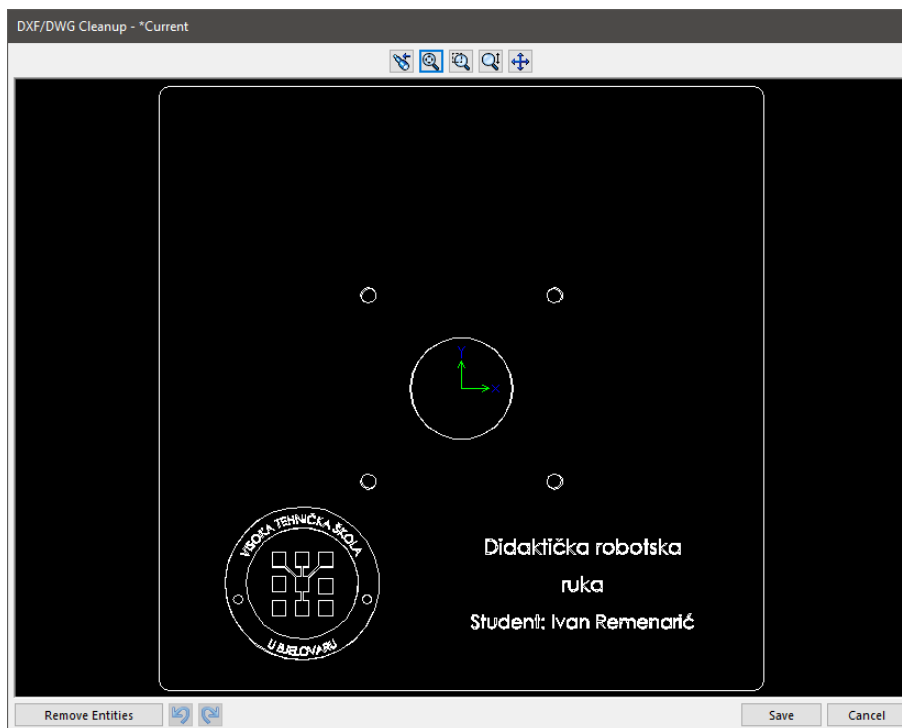
Slika 6.17. „Top View“ pogled 3D modela postolja

Klikom na alatnoj traci na „Save as“ odaberemo tip datoteke pod koji spremamo kao .dxf.

Pojavljuju se sljedeći parametri u SolidWorks-u (slika 6.18. i 6.19.).

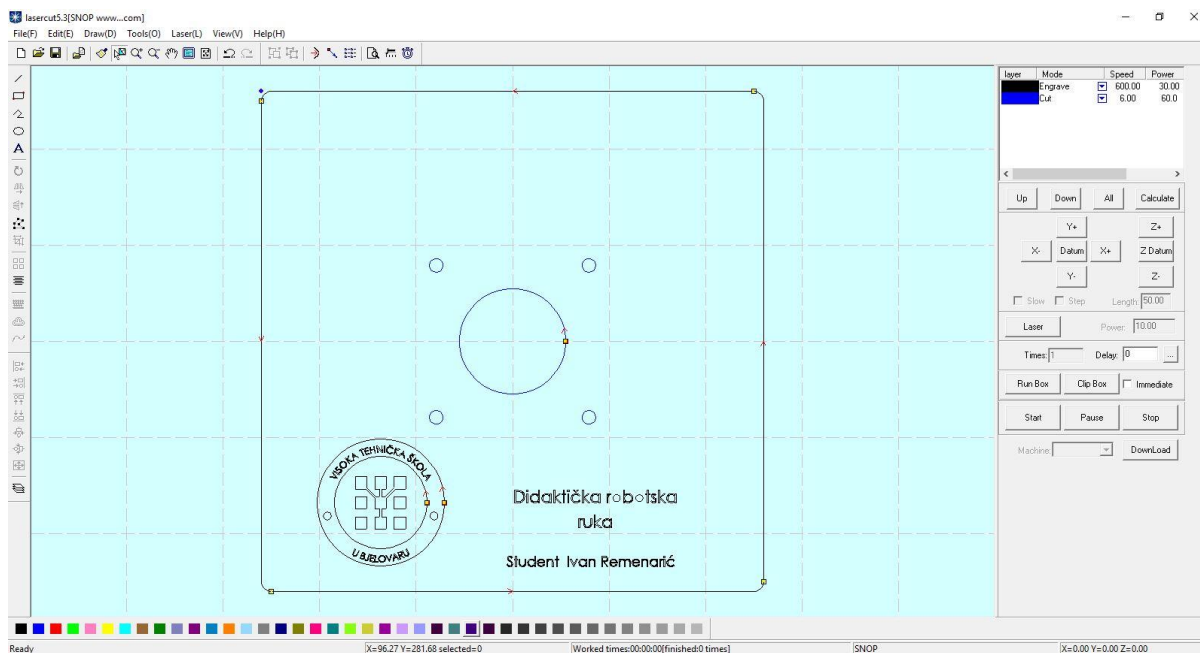


Slika 6.18. Potvrda trenutnog pogleda kao pogleda za izvoz „View to Export“



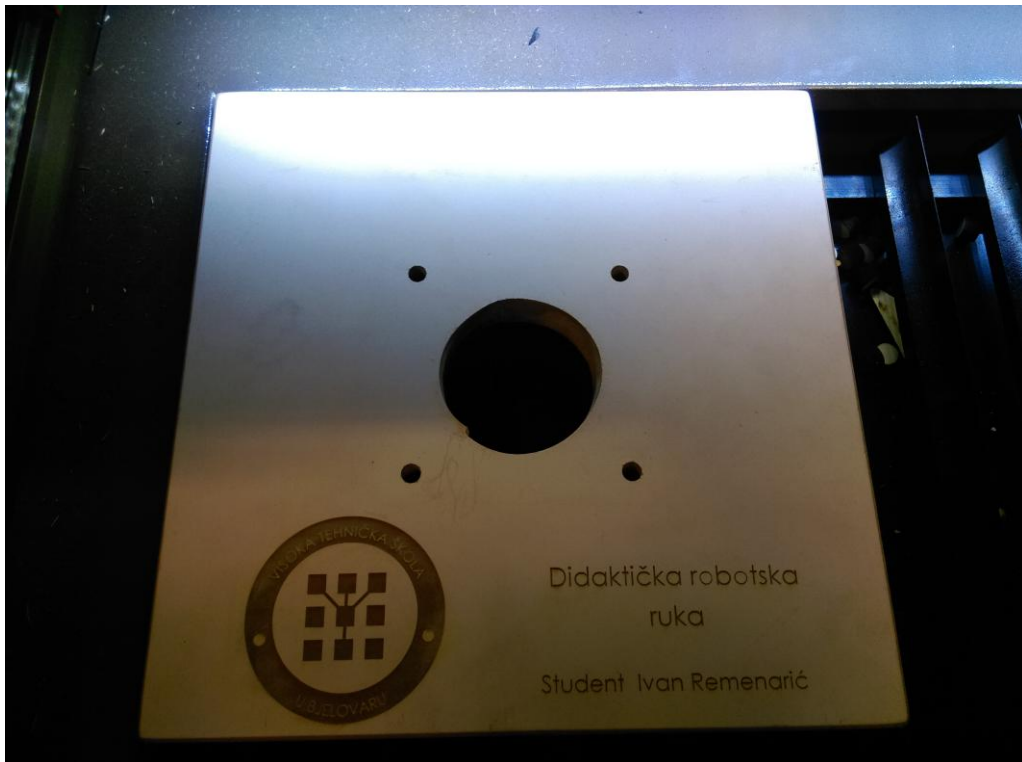
Slika 6.19. Dijaloški okvir za pretpregled .dxf datoteke u nastanku

Ovu datoteku se zatim može iskoristiti u programu LaserCut 5.3 sa funkcijom „Import“ (slika 6.20.).



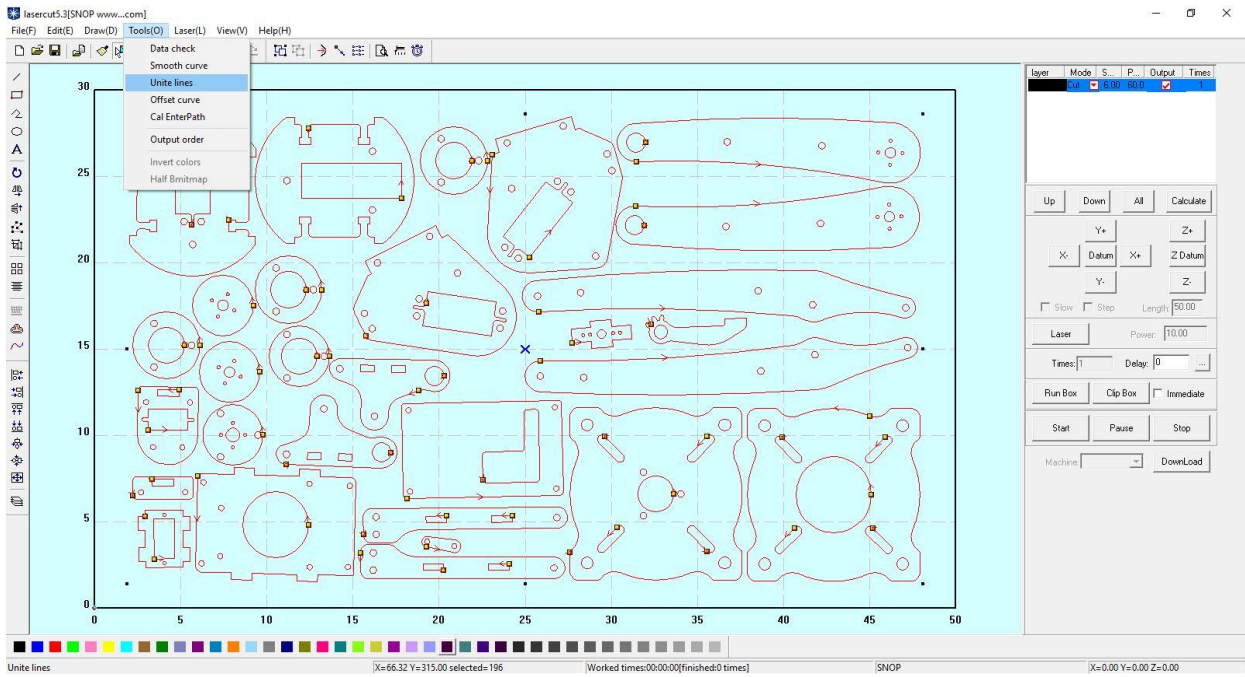
Slika 6.20. Otvaranje datoteke u programu za upravljanje laserskim strojem

Kako su rupa u sredini i četiri rupe za vijke oko nje izrađene prethodno bušenjem i ubodnom pilom, iste su označene drugačijim „Layer“ – om u plavoj boji, te je maknuta kvačica ispred parametra „Output“ kako se ne bi izvršila operacija rezanja. Sve predviđeno za graviranje je unutar „Layer“ – a crne boje i gravirano je brzinom 600, a snagom 60% ukupne snage laserske zrake (slika 6.21.).

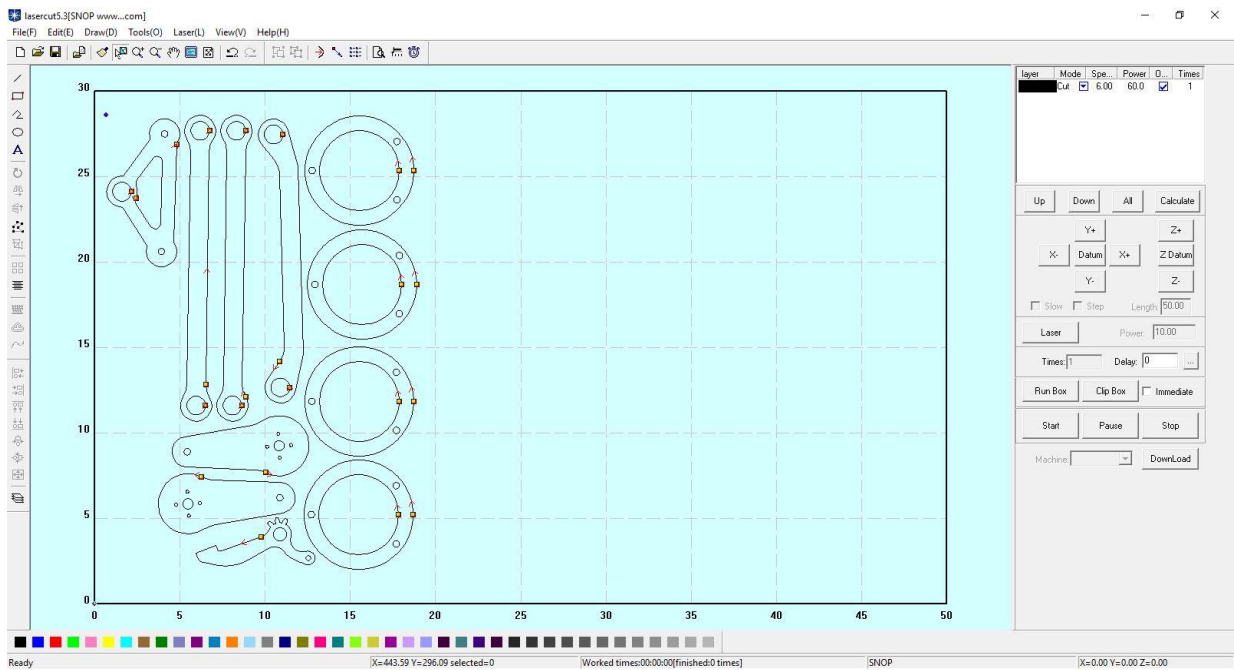


Slika 6.21. Rezultat graviranja

2D krojne liste na isti način se uvoze u LaserCut 5.3. Klikom na „Tools“ na alatnoj traci i klikom na „Unite Lines“ zatvaraju se sve konture da ih laserski stroj prepozna kao cjeline te ne prekida izrezivanje dok ne izreže svaki dio posebno, gledano iz perspektive korisnika (slika 6.22. i 6.23.). Iako su navedene krojne liste obrađene u AutoCAD-u korištenje opcije „Unite Lines“ je korak koji može popraviti eventualno nastale promjene prilikom otvaranja u LaserCut 5.3.



Slika 6.22. Krojna lista dijelova prva stranica



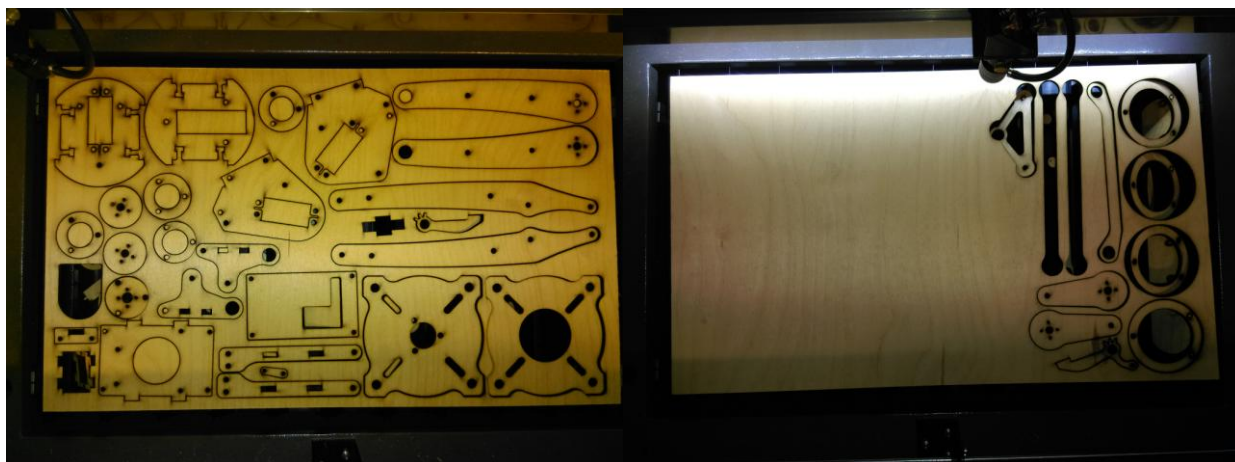
Slika 6.23. Krojna lista dijelova druga stranica

Za laserski stroj LG5030S su preporučene postavke snage, brzine i posmaka vidljive u tablici 6.1. Radnjama rezanja i graviranja se može pristupiti i iskustvenim vrijednostima ako je rezultat zadovoljavajuć.

Tablica 6.1. Preporučene postavke snage, brzine i posmaka [20]

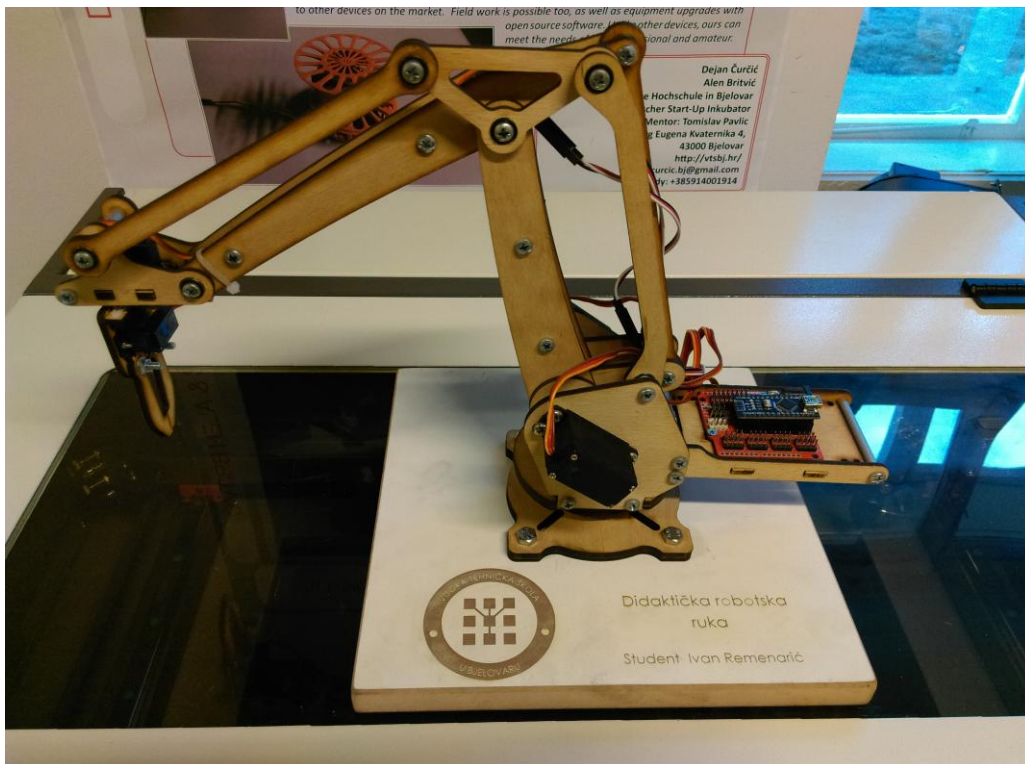
Vrsta materijala	Snaga [%]		Brzina [mm/s]		Scan gap [mm]	Zrak *
	graviranje	rezanje				
Staklo	70		600		0.060	Uklj.
Materijal za graviranje (LPLY)	12	18	400	10	0.030	Isklj.
	15		450		0.050	
	20		600		0.050	
Pleksiglas 4 mm	50	40	600	10	0.080	Uklj.
Koža	25,27,40	40, 60	600	10, 15	0.050	Isklj.
Šperploča bukva 3 mm	30	70	600	12	0.100	Uklj.
Šperploča topola 4 mm	35	60	600	20	0.100	Uklj.
Lipa 6,5 mm	40,5	60	600	10	0.100	Uklj.
Drvena penkala	20,25,30		600		0.030	Uklj.
Pečati	50	40	400	10	0.040	Uklj.
Spužva 10 mm (za privjeske)	10	20	600	20	0.100	Uklj.
Papir		7		60<		

Rezanje je izvršeno brzinom 6 mm/s sa 60% snage laserske zrake u jednom prolazu te je trajalo 27 minuta. (slika 6.24.).

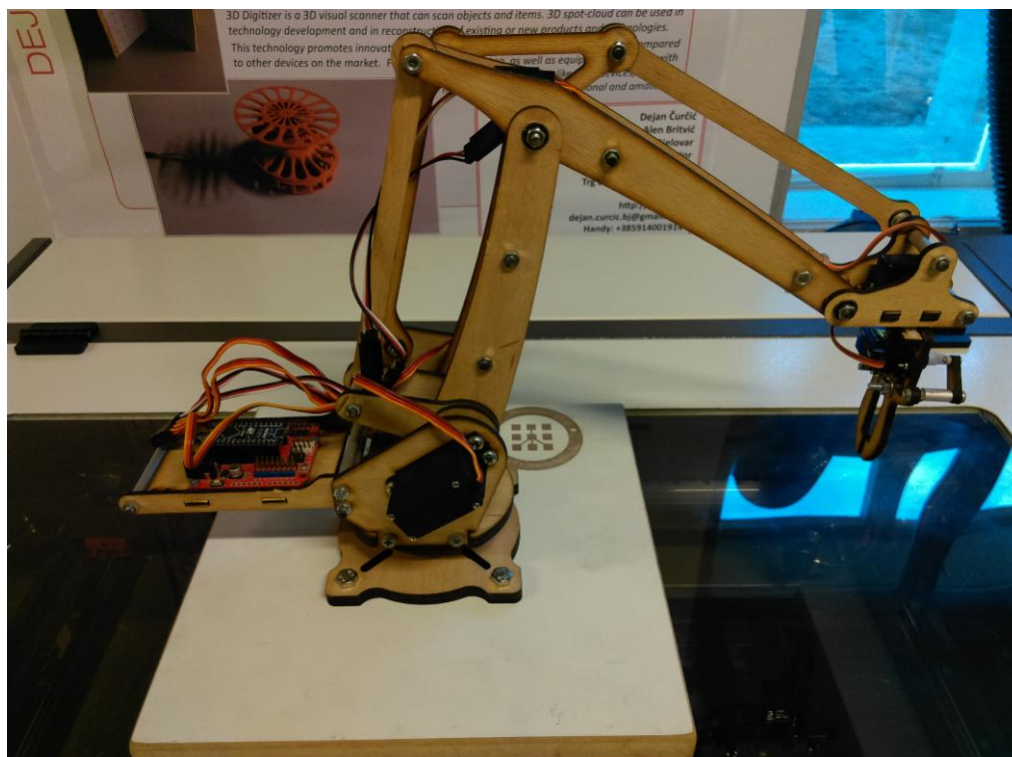


Slika 6.24. Dijelovi robotske ruke izrezani laserom

Na slikama 6.25. i 6.26. nalazi se didaktička robotska ruka sastavljena i opremljena elektroničkom opremom spremna za upotrebu.



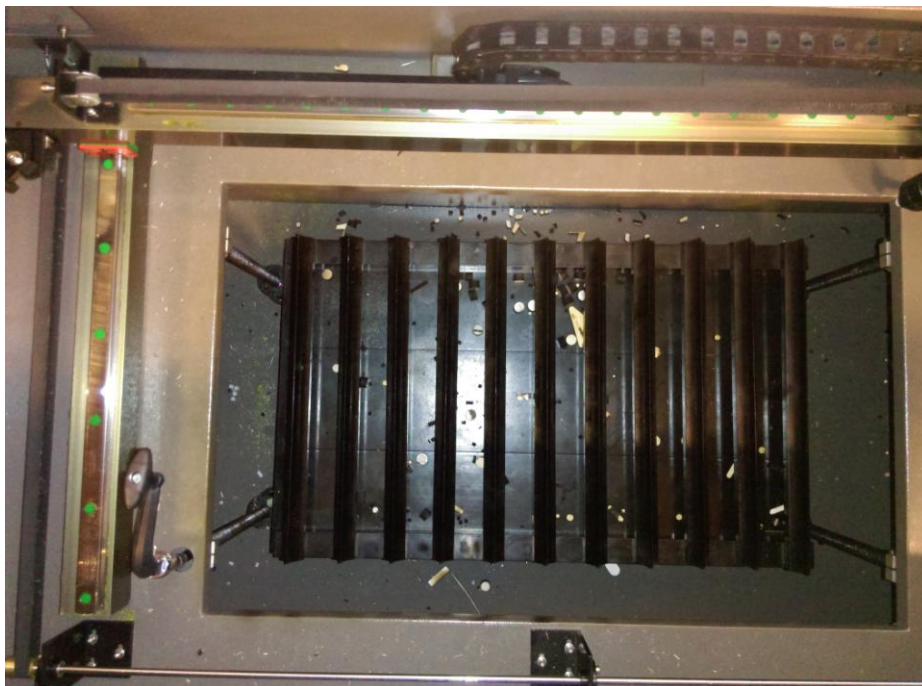
Slika 6.25. Pogled s boka na didaktičku robotsku ruku



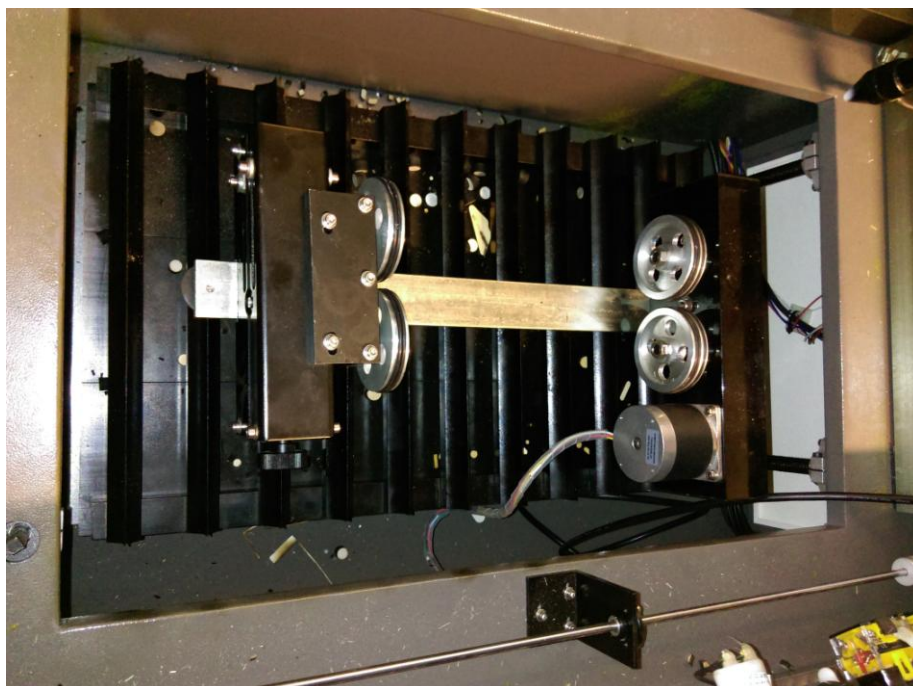
Slika 6.25. Pogled na didaktičku robotsku ruku sa suprotne strane

6.4. Rotacijska os laserskog stroja

Laserski stroj uz malu preinaku radnog stola može raditi kružnu obradu koristeći četvrtu os. Radni stol se spušta kako bi se mogao dodati dio za četvrtu os (slika 6.26. i slika 6.27.).

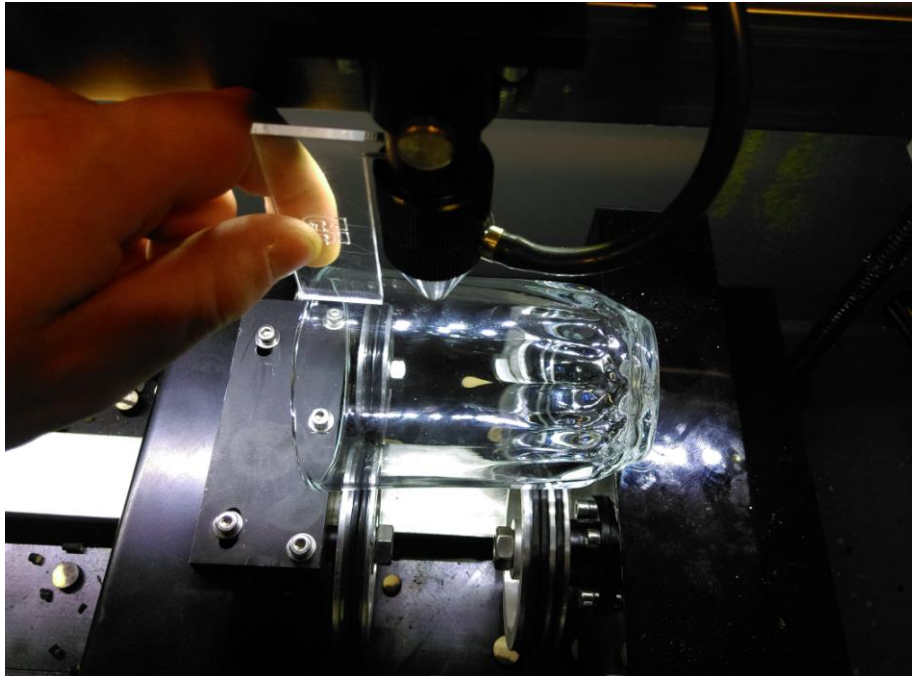


Slika 6.26. Radni stol u donjoj mrtvoj točki



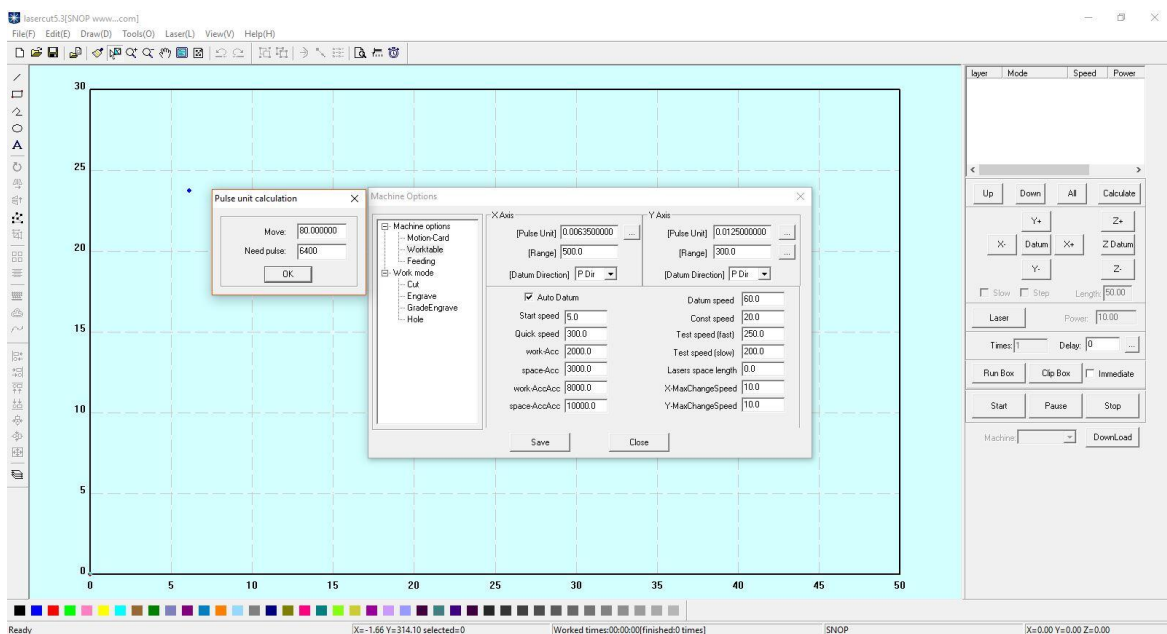
Slika 6.27. Pogon četvrte osi

Konkretno u ovom slučaju ćemo gravirati logo Visoke tehničke škole u Bjelovaru na staklenu čašu. Na slici 6.28. vidimo konačno podešavanje visine radnog stola koristeći etalon za udaljenost objekta od laserske glave.



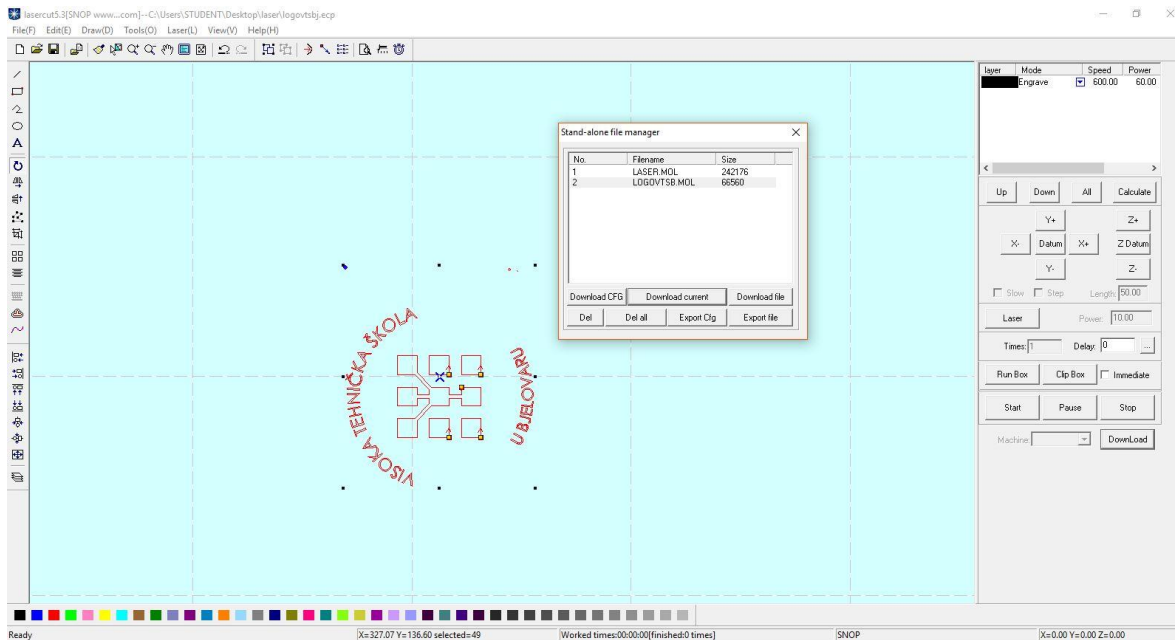
Slika 6.28. Priprema objekta za graviranje

U programskom alatu LaserCut 5.3 potrebno je klikovima na „File“ → „Machine Options“ → „Worktable“ pod parametrima y-osi unijeti vrijednost 80 pod parametar „Move“ (slika 6.29.).



Slika 6.29. Prilagodba u softveru

Dodatni korak pri slanju datoteke na laserski stroj je klik na tipku „Download CFG“ prije klika na „Download Current“. Time se ažuriraju postavke u svrhu aktivacije četvrte osi (slika 6.30.).



Slika 6.30. Slanje konfiguracijske i obradne datoteke

7. Zaključak

Izvor svjetlosti laserske zrake je generiran mehanizmom stimulirane emisije za razliku od konvencionalnih izvora svjetlosti kao što su žarulja sa žarnom niti, halogena žarulja i fluorescentna cijev [22]. Taj izvor su elektromagnetski valovi u infracrvenom i vidljivom dijelu spektra svjetlosti. Razvojem tehnologije bazirane na poluvodičima omogućeno je korištenje lasera u civilne i vojne svrhe širokog spektra. Od 60-ih godina prošlog stoljeća kada je započela proizvodnja lasera u eksperimentalnim laboratorijima do danas se dogodila revolucija na tom području. Laseri nalaze primjenu od čitača CD-a, DVD-a preko upotrebe u medicini do rezanja i graviranja. Spojem znanja iz područja fizike i kemije razvijaju se tipovi lasera prilagođeni vrsti upotrebe, a najčešće korišteni za rezanje i graviranje su CO₂ i Nd:YAG laseri.

Laserski stroj G.Weike LG5030S sa svojim karakteristikama najveći domet ima pri učenju uzrasta od osnovnoškolskog do fakultetskog o svom principu rada i kao uvod u tehnologije rezanja i graviranja ili za obrtničke usluge. Korisničko sučelje ima 3 tipa: CorelDraw, AutoCAD i univerzalnu inačicu LaserCut. Lanac ovih programskih alata omogućuje maksimalno prilagođavanje i veliku kompatibilnost sa starijim i novijim računalnim sustavima. Uz sve softverske prepreke savladane, dolazi i jednostavnost održavanja i prihvatljiva nabavna cijena. Velika prednost je integracija projektiranja i proizvodnje što inženjeru pruža bogatu spoznaju jer upravlja projektom od nastajanja do izvedbe, uz izmjene radi nadogradnje ili želja krajnjeg korisnika.

8. Literatura

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_cutting (dostupno 20.07.2017.)
- [2] Požar H., Barišić M., Jakobović Z., Sentić A., Štefanović D., Viličić Ž. Laser. U: Požar H., ur. Tehnička enciklopedija. Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod „Miroslav Krleža“; 1980. Sv. 7 Ke-Međ, str. 465-492
- [3] Podhorsky R., Podlesnik V., Viličić Ž. Plinski laseri. U: Podhorsky R., ur. Tehnička enciklopedija. Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod „Miroslav Krleža“; 1963. Sv. 4 Električne-Elektorni, str. 471
- [4] https://hr.wikipedia.org/wiki/Infracrveno_zra%C4%8Denje (dostupno 20.07.2017.)
- [5] <http://www.znrfak.ni.ac.rs/SERBIAN/010-STUDIJE/OAS-4-1/1%20GODINA/PREDMETI/106-FIZIKA/PREDAVANJA/9.%20Oscilatorno%20kretanje.pdf> (dostupno 20.07.2017.)
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_vibration (dostupno 20.07.2017.)
- [7] <https://www.enraversjournal.com/article.php/2780/index.html> (dostupno 20.07.2017.)
- [8] <https://www.thoughtco.com/definition-of-isotopes-and-examples-604541> (dostupno 24.07.2017.)
- [9] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kisik> (dostupno 01.08.2017.)
- [10] <http://nationalinterest.org/blog/the-buzz/russias-cold-war-super-weapon-put-lasers-everything-it-can-21553> (dostupno 02.08.2017.)
- [11] <https://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42279> (dostupno 04.08.2017.)
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG_laser (dostupno 10.08.2017.)
- [13] <http://www.ophiropt.com/laser-measurement-instruments/beam-profilers/knowledge-center/white-paper/laser-measurement-in-medica> (dostupno 10.08.2017.)
- [14] <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing> (dostupno 11.08.2017.)
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_laser (dostupno 11.08.2017.)
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_pumping (dostupno 11.08.2017.)
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_engraving (dostupno 11.08.2017.)
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Ruby_laser (dostupno 12.08.2017.)
- [19] Laser Engraving & Cutting Control System DSP5.3: Manual V1.6
- [20] Sistem za lasersko rezanje i graviranje: Uputstvo za upotrebu LaserCut 5.3
- [21] <http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf> (dostupno 16.08.2017.)
- [22] https://hr.wikipedia.org/wiki/Umjetni_izvori_svjetla (dostupno 22.08.2017.)

[23] <https://www.kickstarter.com/projects/ufactory/uarm-put-a-miniature-industrial-robot-arm-on-your/description> (dostupno 22.08.2017.)

[24] https://hr.wikipedia.org/wiki/Infracrveno_zra%C4%8Denje (dostupno 25.08.2017.)

9. Popis oznaka

CAD – dizajn potpomognut računalom (eng. *Computer-Aided Design*)

CAM – proizvodnja potpomognuta računalom (eng. *Computer-Aided Manufacturing*)

CNC – računalna brojčana kontrola (eng. *Computer Numerical Control*)

CO₂ – ugljikov (IV) dioksid

LENS – izrada metalnih dijelova direktno iz CAD modela, koristeći metalni prah i fokusiranu lasersku zraku velike snage (eng. *Laser Engineered Net Shaping*)

LIDAR – svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija (eng. *Light Detection and Ranging*)

Nd:YAG – itrij-aluminijev granat dopiran atomima neodimija

3D (modeliranje) – proces kreiranja matematičke reprezentacije nekog trodimenzionalnog objekta (*3D modeling*)

10. Sažetak

Naslov: Primjena laserskog rezača za izradu komponenata mehatroničkih uređaja

Za rezanje i graviranje primjeniti se može laserska tehnologija, što podrazumijeva lasere dovoljne izlazne snage. Laserska tehnologija raširila se u industriji, školama, malim poduzećima i kod hobista. Računalom direktno kontrolirana izlazna snaga lasera izaziva da se materijal topi, izgara, isparava ili ga otpuhuje mlaz zraka pod pritiskom. U mnoštvu konstrukcija i principa funkcioniranja lasera najkorišteniji za rezanje i graviranje su CO₂ i Nd:YAG laser koji rade prema zakonima fizike i kemije. Laserski stroj G. Weike LG5030S ima tri inačice upravljanja: univerzalna LaserCut 5.3, AutoCAD inačica i CorelDraw inačica što se tiče upravljanja računalom. Na stroju se nalazi kontrolna jedinica sa tipkovnicom i zaslonom. Sve navedeno je opisano koristeći se priručnikom za upotrebu i osobnim iskustvom. Rad se zaključuje projektiranjem i realizacijom ideje didaktičke robotske ruke čija je svrha učenje o robotici. Robotika je grana znanosti koja ima ubrzan korak s vremenom i kao i informatika zahtjeva da se njezino učenje primjenjuje u sve ranijoj dječjoj dobi. Didaktička robotska ruka namjenjena je za uzraste od osnovne škole do studenata, a njezine nadogradnje su ograničene samo idejama i potrebama korisnika. Velika prednost posjedovanja laserskog stroja je integracija projektiranja i proizvodnje što inženjeru pruža bogato iskustvo.

Ključne riječi: laser, rezanje, graviranje, inačice upravljanja, robotika.

11. Abstract

Title: Application of laser cutter for making components of mechatronic devices

The laser is used as cutting technology or engraving technology. It is used in industry, schools, small businesses and by hobbyists. The computer's directly controlled laser output power causes the material to mumble, burn, evaporate, or blown off by the jet of pressurised air. In the multitude of designs and principles of laser functioning most useful for cutting and engraving are CO₂ and Nd: YAG lasers working according to laws of physics and chemistry. The Weike LG5030S laser machine has three management versions: the unique LaserCut 5.3, the AutoCAD version, and the CorelDraw version as far as computer management is concerned. The machine has a control unit with a keyboard and a display. All of these are described using the manual for use and personal experience. The work is concluded by designing and realizing the ideas of the didactic robotic arm whose purpose is robot learning. Robotics is a branch of science that rapidly spikes over time and also as informatics requires that its learning be applied in all earlier schooling. The didactic robotic arm is intended for users from elementary school to student, and its upgrades are limited only to the ideas and needs of the user. The great advantage of having a laser machine is the integration of design and manufacturing that provides a rich experience to the engineer.


Keywords: Laser, cutting, engraving, management versions, robotics.

Završni rad izrađen je u Bjelovaru, 11.09.2017

(Potpis studenta)

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>11. 09. 2017.</u>	IVAN REHENARIĆ	

Prema Odluci Visoke tehničke škole u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Visoke tehničke škole u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

IVAN REMENARIĆ

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

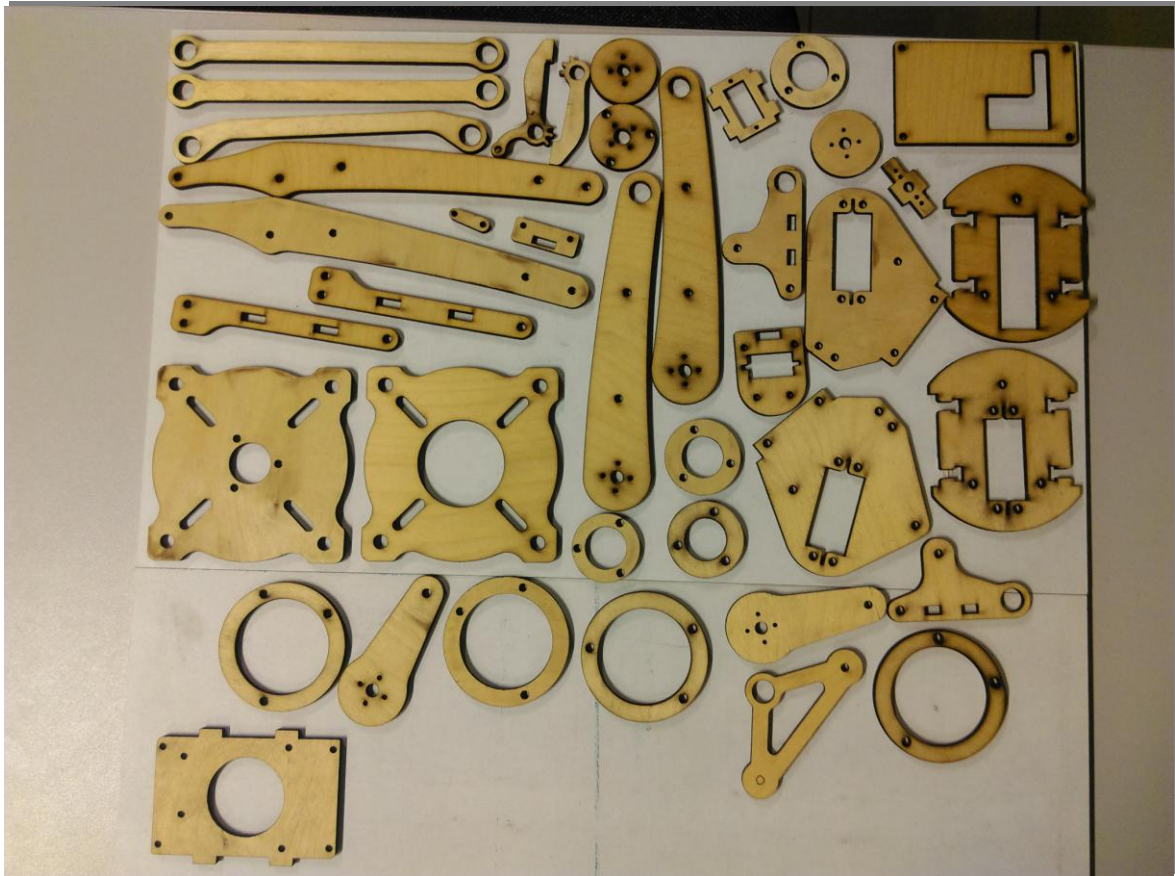
Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 11.09.2017.

Ivan Remenarić
potpis studenta/ice

12. Pravitak

U pravitku se nalazi slika izrezanih dijelova i tablica koja sadrži ležajeve, vijčanu robu, matice i podloške korištene za sastavljanje didaktičke robotske ruke.



Slika 12.1. Dijelovi izrezani i spremni za sastavljanje didaktičke robotske ruke

Tablica 11.1 Popis korištenih ležajeva, vijaka i podložaka

Naziv dijela	Količina
ležaj 61807 (6807) 2RS KG 35X47X8	1
ležaj 619/3 ZZ KG (693) 3X8X5	2
ležaj 619/4 2RS MTM (694) 4X11X5	11
matica ISO - 4032 - M2	6
matica ISO - 4032 - M3	10
matica ISO - 4032 - M4	38
matica ISO - 4032 - M6	4
podloška M3	2
podloška M4	16
vijak ISO 4015 - M6 x 26	4
vijak ISO 7045 - M2 x 10	10
vijak ISO 7045 - M2 x 6	4
vijak ISO 7045 - M2 x 8	4
vijak ISO 7045 - M3 x 12	6
vijak ISO 7045 - M3 x 20	2
vijak ISO 7045 - M3 x 25	1
vijak ISO 7045 - M4 x 10	12
vijak ISO 7045 - M4 x 12	2
vijak ISO 7045 - M4 x 16	4
vijak ISO 7045 - M4 x 25	3
vijak ISO 7045 - M4 x 30	7
vijak ISO 7045 - M4 x 35	4
vijak ISO 7045 - M4 x 45	1
vijak ISO 7045 - M4 x 50	1
vijak ISO 7045 - M4 x 80	4