

Laserski uređaji za graviranje

Neuhold, Snježana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:773914>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

Snježana Neuhold

LASERSKI UREĐAJ ZA GRAVIRANJE

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, rujan 2015. godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

Snježana Neuhold

LASERSKI UREĐAJ ZA GRAVIRANJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Marijan Brozović, dipl ing.stroj.

Karlovac, rujan 2015.

IZJAVA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom LASERSKI UREĐAJ ZA GRAVIRANJE izradila samostalno pod mentorstvom Marijana Brozovića, dipl.ing .

U radu sam primijenila metodologiju znanstveno istraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasna sam s objavom završnog rada na službenim stranicama Fakulteta.

ZAHVALA

Ovaj završni rad, kao i svaki položeni ispit te cijeli studij posvećujem svom pokojnom tati Borivoju I. Potkonjak.

Zahvaljujem svojoj obitelji: mami, suprugu i kćerima na podršci i bodrenju za vrijeme studija.

Također zahvaljujem svom mentoru dipl. ing. Marijanu Brozoviću na iskazanoj stručnoj pomoći i podršci pri izradi ovog završnog rada.

SAŽETAK

Obrađujući zadanu temu završnog rada „Uređaj za lasersko graviranje“ ušli smo u šire područje definiranja, načina rada te područja primjene lasera.

Laseri se nalaze svuda oko nas u dnevnoj uporabi od igrica za djecu, čitača barkodova po trgovinama, bankovnog kartičnog poslovanja do sofisticiranih obradnih strojeva, visokopreciznih medicinskih uređaja, vojne i svemirske tehnologije.

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.

SUMMARY

By developing the given topic of the thesis, 'Laser engraving device', we broached a wider field of defining the method of work and application of lasers.

Lasers are everywhere around us in daily use ranging from children's games, barcode scanners in shops, bank credit cards to sophisticated machine tools, high-precision medical devices, military and space technology.

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

SADRŽAJ	I
1. UVOD	1
LASERI ⁽¹⁾	1
1.1. Definicija lasera	1
1.2. Princip rada lasera	1
1.3. Prikaz rada lasera ⁽¹⁾	3
<i>Slika 1: Građa lasera</i>	3
2. POVIJEST RAZVOJA LASERA ^(2,3)	5
2.2. Kronologija razvoja lasera	7
3. VRSTE LASERA ^(2,3)	10
3.1. <i>Prema načinu rada</i>	10
3.1.1. <i>Kontinuirani laseri</i>	10
3.1.2. <i>Pulsni laseri</i>	10
3.2. <i>Prema agregatnom stanju optičkog pojačala</i>	11
3.2.1. <i>Laseri s čvrstom jezgrom</i>	11
3.2.2. <i>Plinski laseri</i>	12
3.2.3. <i>Poluvodički laseri</i>	12
3.2.4. <i>Kemijski laseri</i>	13
3.2.5. <i>Laseri s bojilima</i>	13
3.2.6. <i>Laseri sa slobodnim elektronima</i>	14
3.3. <i>Prema načinu pobude</i>	14
3.3.1. <i>Pobuda kemijskom reakcijom</i>	14
3.3.2. <i>Pobuda sudarima elektrona i atoma u plinskom izboju</i>	15
3.3.3. <i>Pobuda optičkim sredstvom</i>	15
3.4. <i>Prema području primjene</i> ^(4,5,6)	15
3.4.1. <i>Primjena u industriji</i>	16
3.4.1.1. <i>Rezanje laserom</i>	16
3.4.1.2. <i>Graviranje i markiranje laserom</i>	17
3.4.1.3. <i>Lasersko zavarivanje</i>	18
3.4.1.4. <i>Mjerenje i 3D modeliranje laserom</i>	20

3.4.2. Primjena u medicini.....	22
3.4.3. Primjena u vojnoj tehnologiji.....	23
3.4.4. Primjena u svakodnevnoj upotrebi.....	24
3.4.5. Ostala područja primjene lasera.....	24
4. IZRADA ZADATKA.....	25
4.1. Proces izrade zadatka.....	25
4.1.1. Program Corel Draw x5.....	26
4.1.2. Program Laser Cut 5.3.....	28
4.1.3. Uređaj za graviranje LG1200.....	32
4.1.4. Izrada obradka.....	34
5. ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA.....	39
POPIS SLIKA.....	40

1. UVOD

LASERI ⁽¹⁾

1.1. Definicija lasera

Laser (eng. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) naziv je za optičku napravu koja emitira koherentni snop fotona.

Za razliku od svjetlosti koju emitiraju uobičajeni izvori, kao što su žarulje, laserska je svjetlost redovito gotovo monokromatična, tj. samo jedne valne duljine (boje) i usmjerena je u uskom snopu. Snop je koherentan, što znači da su elektromagnetski valovi međusobno u istoj fazi i šire se u istom smjeru.

1.2. Princip rada lasera

Laserska zraka se proizvodi fenomenom stimulirane emisije. Kao prvi uvjet emisije fotona je Bohrov uvjet: laserski medij mora sadržavati energijske razine čija energija (razlika energija) odgovara energiji emitiranih fotona. Drugi uvjet je da većina atoma (ili molekula) bude u pobuđenom stanju. Moramo imati na umu da se u 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 na 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.

1.2.1. Trostupanjski laser

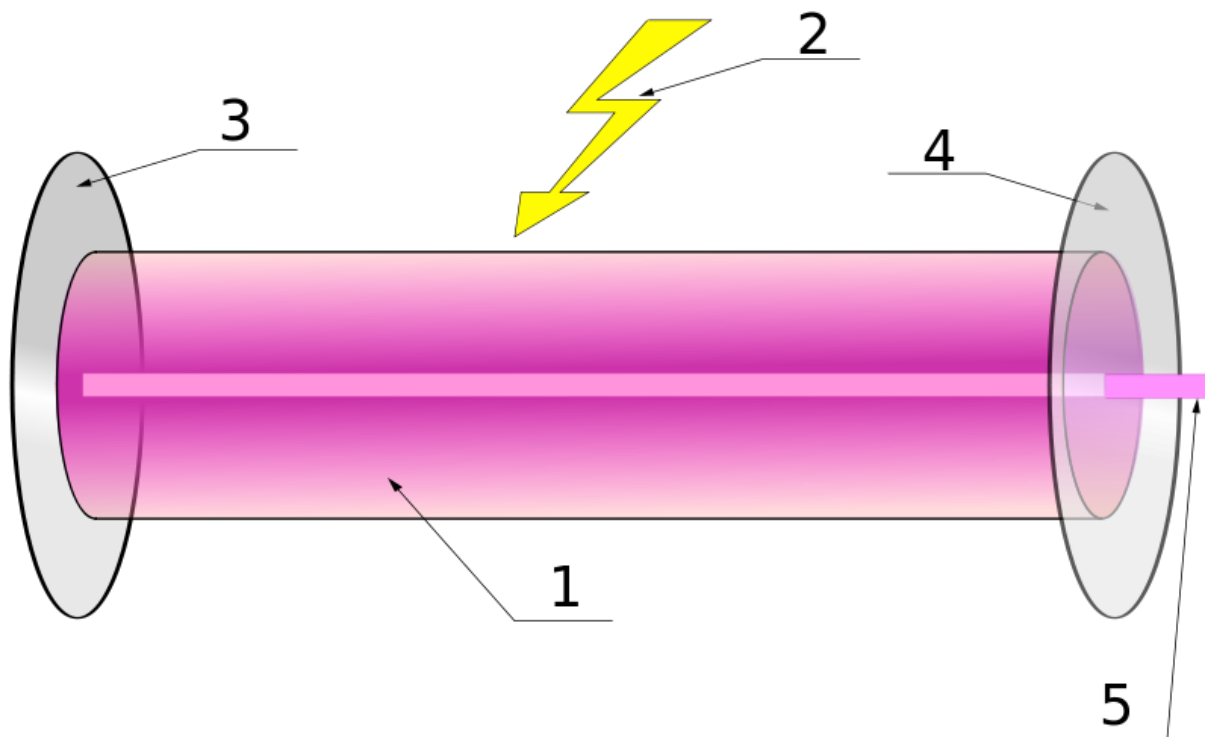
Inverzija napučenosti se može postići samo u specifičnim slučajevima, pa se samo rijetke tvari mogu iskoristiti kao laserski mediji. Inverzija napučenosti se može postići ako u sustavu postoji metastabilno stanje. Metastabilno stanje je pobuđeno stanje u kojem se atom (ili molekula) zadržava puno dulje nego u normalnim pobuđenim stanjima. U laserskom mediju mora postojati još barem jedno pobuđeno stanje, što sa osnovnim stanjem čini sustav od tri energijske razine - trostupanjski laser. U laserskom sustavu s tri razine, atomi (molekule) se određenim načinom pobuđuju u pobuđeno stanje. Pobuđeno stanje, traje vrlo kratko i brzo se relaksira u nešto niže metastabilno stanje. Atomi (molekule) se ne mogu brzo relaksirati u osnovno stanje, pa laserskim medijem počinju dominirati atomi u metastabilnom stanju. Inverzija napučenosti se postiže između metastabilnog i osnovnog stanja, pa se lasersko djelovanje postiže prijelazom između ta dva stanja. Pobuđeno stanje koje se koristi za populiranje metastabilnog stanja ne mora biti jedno stanje, već se može koristiti niz energijskih stanja.

1.2.2. Četverostupanjski laser

Postoje i laseri koji rade na principu četiri razine – četverostupanjski laser. Metastabilno stanje se napučuje na isti način kao i kod trostupanjskog lasera, ali inverzija napučenosti se postiže između metastabilnog i drugog pobuđenog stanja niže energije. Kako se niskoležeće pobuđeno stanje brzo relaksira i ostaje prazno, inverzija populacije je zajamčena čak i ako je pobuđen relativno mali broj atoma u laserskom mediju.

Za rad lasera je važna inverzija napučenosti. Povišenjem temperature pobuđena stanja se počinju populirati, što može narušiti inverziju populacije. (Zagrijavanjem nije moguće postići inverziju populacije.) Zbog toga je lasere često potrebno hladiti.

1.3. Prikaz rada lasera ⁽¹⁾



Slika 1: Građa lasera

- 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 i 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 izazivati 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 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. (Vidi: Građa lasera)

Laserska zraka je jedan od rijetkih primjera manifestacije kvantne mehanike u makroskopskim 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, već je vjerojatnost da će im se pridružiti još njih.

2. POVIJEST RAZVOJA LASERA ^(2,3)

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 područje

ili 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 centara 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 evropske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlanskog 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.

2.2. Kronologija razvoja lasera

- 1900. Max Planck je pokrenuo novo znanstveno polje, kvantnu fiziku, demonstrirajući matematički da materija zrači energiju u diskretnim paketima, koje je nazvao kvanti.
- 1905. Albert Einstein nadograđuje Plankovu teoriju za objašnjavanje fotoelektričnog efekta, pokazujući da se svjetlost sastoji od energijskih paketa, kasnije nazvanih fotonima. 1921. godine Einstein dobiva Nobelovu nagradu za svoje otkriće.

-
- 1913. Niels Bohr formulira model atoma , u kojem elektroni u gibanju oko jezgre okupiraju određene orbite, ili energijska stanja, , određene energijom elektrona.
 - 1917. Einstein je identificirao pojavu nazvanu stimulirana emisija.
 - 1951-1953 Charles Townes iz Columbia University Radiation Laboratory otkriva kako iskoristiti stimuliranu emisiju za proizvodnju fokusirane mikrovalne zrake. Svoj je izum nazvao maser, mikrovalno pojačalo stimuliranom emisijom zračenja. Za ovaj svoj rad Townes je 1964. podijelio Nobelovu nagradu s još dva ruska fizičara, N.G. Basov i A.M. Prokhorov koji su nezavisno od njega došli na istu ideju.
 - 1958. Townes i Arthur Schawlow iz Bell Laboratories objavljuju kako bi trebala raditi teorija stimulirane emisije na mnogo kraćim valnim duljinama, uključujući i svjetlost, čime dolaze do riječi laser, pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja.
 - 1960. Theodore Maiman iz Hughes Aircraft Company izrađuje laser koristeći sintetički rubin.
 - 1962. Istraživačke grupe iz General Electric, IBM, Lincoln Laboratory i MIT-a izvješćuju o laserskoj akciji u GaAs poluvodiču.
 - 1963. Herbert Kroemer iz University of Colorado predlaže da bi se kreiranjem poluvodičkog "sendviča" s tankim aktivnim slojem smještenim između dva sloja nekih drugih materijala smanjili zahtjevi lasera u pogledu električne energije, pa samim tim i zagrijavanje lasera.
 - 1966. Charles Kao i George Hockham iz Standard Communications Laboratories u Engleskoj izdaju članak u kojem teorijski demonstriraju dramatično smanjenje gubitaka u već postojećim staklenim optičkim vlaknima.
 - 1970. Morton Panish i Izo Hayashi iz Bell Laboratories demonstriraju poluvodički laser koji zrači kontinuirano svjetlo na sobnoj temperaturi. Donald Keck, Peter Schultz i Robert Maurer iz Corning Glass Works obavještavaju o stvaranju optičkog vlakna koje ostvaruje predviđanja Kaa i Hockhama.

- 1976-1977. Pokus s optičkim vlaknima baziranim na dizajnu i procesu izrade razvijenom u Bell Labs, započeo je u telefonskim sistemima Atlante i Chicaga.
- 1984. AT&T optičko vlakno pušteno je u rad, povezujući glavne gradove na Boston-Washington relaciji.
- 1988. Postavljen je prvi prekoatlanski kabel optičkih vlakna, koristeći tako prozirno staklo, da su pojačala bila postavljena na svega 40 milja međusobne udaljenosti.
- 1991. Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories zajedno s Davidom Payneom i P.J. Mearsom iz Engleske, University of Southampton, demonstriraju optička pojačala –ugrađena u same kablove s vlaknima.
- 1996. Kablovi s potpuno optičkim vlaknima postavljeni su preko Pacifika. Do 1997. očekuje se njihovo postavljanje u cijelom svijetu.

3. VRSTE LASERA ^(2,3)

Postoji više podjela lasera ovisno o svojstvima koja se promatraju:

1. prema načinu rada: kontinuirani i pulsni
2. prema agregatnom stanju optičkog pojačala: plinski, tekući, laseri čvrstog stanja
3. prema načinu pobude: optički, sudarima elektrona i atoma u plinskom izboju, ozračivanjem snopovima česticama visoke energije, kemijskim reakcijama
4. prema načinu primjene

3.1. Prema načinu rada

3.1.1. Kontinuirani laseri

Prema načinu rada laseri mogu imati kontinuirani (cw) ili pulsni izlaz. Kod cw lasera intenzitet emitiranog vala je stalan u vremenu.

Kod lasera s kontinuiranim valom optičko pojačalo se nalazi između dva paralelno postavljena zrcala (rezonator). Jedno od dva zrcala se obično napravi tako da nije 100% reflektirajuće već propušta određenu količinu svjetla (obično manje od 1%). Snop se unutar rezonatora reflektira, raste gustoća energije zračenja nakon postizanja uvjeta za lasersku akciju snop izlazi iz laserske šupljine kroz zrcalo koje je djelomično propusno.

3.1.2. Pulsni laseri

Umjesto jednog nepropusnog, i jednog slabo propusnog zrcala, moguće je koristiti potpuno neprozirna zrcala, od kojih se jedno periodički pomiče izvan optičkog puta lasera. Kada je zrcalo na svom mjestu, ono zarobljava lasersku zraku unutar rezonatora, gdje se ona pojačava zahvaljujući stimuliranoj emisiji zračenja. Kada se zrcalo ukloni, iz lasera izlazi kratki puls intenzivnog laserskog

zračenja. Pulsevi se kod lasera mogu proizvesti i stavljanjem određenog bojila u rezonator. Bojila apsorbiraju zračenje zahvaljujući apsorpciji zračenja pri čemu se molekule bojila pobuđuju u pobuđeno stanje. Kada su sve molekule pobuđene, više ne mogu apsorbirati, pa propuštaju zračenje. Na taj način se sprječava prolazak fotona kroz lasersku cijev, dok se uspostavi potpuna (ili gotovo potpuna) inverzija napučenosti u laserskom mediju. Laserski medij se na taj način puni energijom do trenutka kada bojilo postaje prozirno. U tom trenutku se energija pohranjena u laserskom mediju pretvara u lasersku zraku. Ovi načini proizvodnje laserskih pulseva se nazivaju "Q-prekidanje" (eng. Q-switching).

Ako se rezonator pažljivo izradi, moguće je u rezonatoru zarobiti određeni broj valnih duljina laserskog zračenja. U tom slučaju, laser će početi pulsirati u vrlo kratkim pulsevima – čak i u trajanju od oko jedne femtosekunde. (U jednoj sekundi ima toliko femtosekundi, koliko ima sekundi u 30000 godina)

Pulsni laseri mogu postići jako velike snage u pojedinim pulsevima, iako je prosječna snaga lasera relativno mala. Danas se mogu napraviti laseri koji odašilju 20-50 pulseva u sekundi, a pojedini pulsevi traju oko jedne femtosekunde. To znači da će se energija, koja bi se oslobodila tijekom jedne sekunde, osloboditi u dvadesetak vrlo kratkih pulseva.

3.2. Prema agregatnom stanju optičkog pojačala

3.2.1. Laseri s čvrstom jezgrom

Laseri s čvrstom jezgrom imaju jezgrou, napravljenu od kristala ili amorfne tvari, često u obliku štapića. Zrcala mogu biti tanki slojevi srebra napareni na krajeve štapića. Na taj način štapić čini lasersku šupljinu. Pobuđivanje atoma od kojeg se sastoji jezgra se obično provodi nekim intenzivnim izvorom svjetla. U tu svrhu se često koriste ksenonske bljeskalice, a u novije vrijeme LED diode, ili poluvodički laseri, čime se povećava energetska učinkovitost lasera. Prvi laser

koji je davao vidljivu svjetlost je bio rubinski laser. Rubinski laser koristi štapić od rubina kao lasersku jezgru. Rubinski laser daje crvenu svjetlost valne duljine 694.3 nm. Danas se često koristi Nd:YAG laser, koji se sastoji od štapića itrij-alumijevog granata (YAG), dopiranog atomima neodimija. Nd:YAG daje infracrveno zračenje.

3.2.2. Plinski laseri

Helij-Neon laser

Plinski laseri imaju laserski medij u plinovitom stanju. Plinski laseri se obično sastoje od cijevi ispunjene plinom ili smjesom plinova, pod određenim tlakom. Krajevi cijevi opremljeni su zrcalima kako bi tvorili lasersku šupljinu. Pobuđivanje atoma plina se obavlja električnim pražnjenjima kroz plin u cijevi. Plinski laseri se često hlade strujanjem plina kroz cijev. Najčešće korišteni plinski laseri su: He-Ne laser (Helij-Neon), Argonski laser ili CO₂ laser.

3.2.3. Poluvodički laseri

Poluvodički laser (diodni laser), predstavlja sićušni kristal, proizveden atomskom točnošću, podjeljen u dva osnovna područja, s različitim električnim svojstvima. Na tzv. n-strani višak elektrona predstavlja nosioce struje. Na tzv. p-strani prevladavaju šupljine koje predstavljaju nedostatak elektrona. Kad se na p-stranu primijeni pozitivan napon, a na n-stranu negativan, elektroni i praznine poteknu jedni prema drugima. Čestice se sretnu u ultratankom prostoru koji se naziva kvantna jama, gdje se rekombiniraju pri čemu dolazi do emisije fotona. Ako su krajevi diode ujedno i visokoreflektirajuća zrcala dolazi do laserskog efekta, emitiranja istovrsnih koherentnih fotona. Energija fotona (boja svjetlosti) određena je svojstvima poluvodičkog spoja, iznosom energijskog rascjepa (engl. band-gap)[1]. Npr. za GaAs lasere taj energijski rascjep iznosi 1,45 eV, što odgovara emisiji fotona valne duljine 885 nm.

Plavi laser je pojam (sintagma) koji označava poluvodičke lasere u području 400-450 nm, a čije bi ostvarenje predstavljalo značajan napredak u razvoju laserskih displeja i povećanju kapaciteta optičkih memorija.

3.2.4. Kemijski laseri

Određene kemijske reakcije mogu proizvesti molekule u pobuđenom stanju. Kemijski laseri koriste takve reakcije kako bi se postigla inverzija napučenosti. Primjer je fluorovodični laser koji koristi reakciju vodika i fluora, za proizvodnju fluorovodika u pobuđenom stanju. Laserska zraka nastaje u reakcijskoj komori, u koju stalno dotiču reaktanti, a produkti izlaze van. Na taj način je postignuta inverzija napučenosti, jer je u reakcijskoj komori stalno prisutno više pobuđenih molekula od onih u osnovnom stanju. Ovakvi laseri mogu postići jako veliku snagu u kontinuiranom modu.

Jedna vrsta kemijskih lasera koristi ekscimere. Ekscimer je molekula koja je stabilna samo u pobuđenom stanju. Laser se sastoji od smjese plinova kroz koje se narine visoki napon, slično kao kod plinskih lasera. Električna struja stvara mnoštvo iona i pobuđenih atoma u laserskoj šupljini, koji mogu reagirati i stvoriti ekscimer. Nakon što ekscimer doživi laserski prijelaz, on se raspada jer ne može postojati u osnovnom stanju. To je i razlog inverzije napučenosti u ovom laserskom mediju.

3.2.5. Laseri s bojilima

Laseri s bojilima koriste određene organske spojeve, koji služe kao aktivni laserski medij. Molekule, za razliku od atoma imaju vrpčaste spektre, koji se sastoje od mnogo spektralnih linija. Kod ovih spojeva, energijskim nivoima se može manipulirati (električnim poljem, magnetskim poljem, temperaturom ...). Na taj način je moguće ugoditi laser na određenu valnu duljinu. Pobuda molekula se obavlja pomoću nekog drugog lasera.

3.2.6. Laseri sa slobodnim elektronima

Lasери sa slobodnim elektronima koriste snop relativističkih elektrona koji prolazi kroz magnetsko polje koje naizmjenično mijenja smjer duž puta elektrona. U normalnim okolnostima, relativistički elektroni, koji prolaze kroz magnetsko polje emitiraju sinkrotronsko zračenje. Kod lasera sa slobodnim elektronima, put koji elektroni prolaze između naizmjenično postavljenih magneta se stavlja u lasersku šupljinu, tako da fotoni, koji su uhvaćeni između zrcala, izazivaju stimuliranu emisiju slobodnih elektrona u magnetskom polju, kao i kod elektrona u pobuđenim atomima. Laseri sa slobodnim elektronima se mogu ugađati promjenom gutoće rasporeda magneta, jakosti njihovog magnetskog polja i promjenom energije elektrona. Tako se mogu napraviti i laseri sa slobodnim elektronima koji rade na valnim duljinama koje su nedostupne klasičnim laserima, jer ne postoji pogodan laserski medij koji bi mogao proizvesti zadanu valnu duljinu. Moguće je napraviti i laser s jako dugačkom laserskom šupljinom, bez zrcala, čiji fotoni onda ne bi trebali prolaziti veliki broj puta duž optičkog puta lasera, već bi prošli samo jedanput. Takav laser se naziva superradijantni laser. Danas se pokušavaju napraviti superradijantni laseri sa slobodnim elektronima, koji bi radili u spektralnim područjima, u kojima ne postoje zrcala kojima bi se to zračenje reflektiralo; npr. u rendgenskom području.

3.3. Prema načinu pobude

3.3.1. Pobuda kemijskom reakcijom

Kemijski laseri su plinski jer su komponente koje reagiraju u plinovitom stanju. Molekule plina mogu se dovesti u pobuđeno stanje pomoću određenih kemijskih reakcija. Kemijski laseri koriste takve reakcije kako bi se postigla inverzija naseljenosti.

Prednost kemijskog lasera je da se pobuda dobiva samom kemijskom reakcijom bez ikakvog vanjskog djelovanja. Reakcija počinje miješanjem komponenata no moguće je reakciju započeti pomoću iskre. Reakcijom oslobođena energija prouzrokuje vibraciju nastalih molekula.

3.3.2. Pobuda sudarima elektrona i atoma u plinskom izboju

Kod molekulskih lasera laserska akcija počinje izbojem u plinu, elektroni visokih energija sudaraju se s molekulama plina i pobuđuju ih na viša energijska stanja. Energijski spektar molekula mnogo je složeniji od spektra atomskih plinova. Energija koju molekula primi može biti raspodjeljena na elektronsku, vibracijsku, rotacijsku i translacijsku.

Kod elektronske pobude nastaju promjene u raspodjeli elektrona između atoma u molekuli. Energija ove pobude je u vidljivom i UV području, pa je i emisija u tom području. Kod vibracijske pobude mijenja se titranje atoma u molekuli; energije titranja su u IC području pa je i emisija u tom području. Rotacijska pobuda molekule uključuje rotaciju cijele molekule. Te pobude su nižih energija i pripadaju mikrovalnom području.

Translacije cijele molekule povezane su s toplinom.

3.3.3. Pobuda optičkim sredstvom

Kod ovog lasera optičko sredstvo je plazma koja se sastoji od iona i elektrona dobivenih el. izbojem. Inverzija naseljenosti se postiže u dva koraka tako da se neutralni atom najprije ionizira u direktnom sudaru s elektronima nakon toga se tako dobiveni pozitivni ionu sudarima s elektronima pobuđuje na više energijske razine. Laserski prijelazi se odvijaju između elektronskih razina pobuđenog Ar⁺iona.

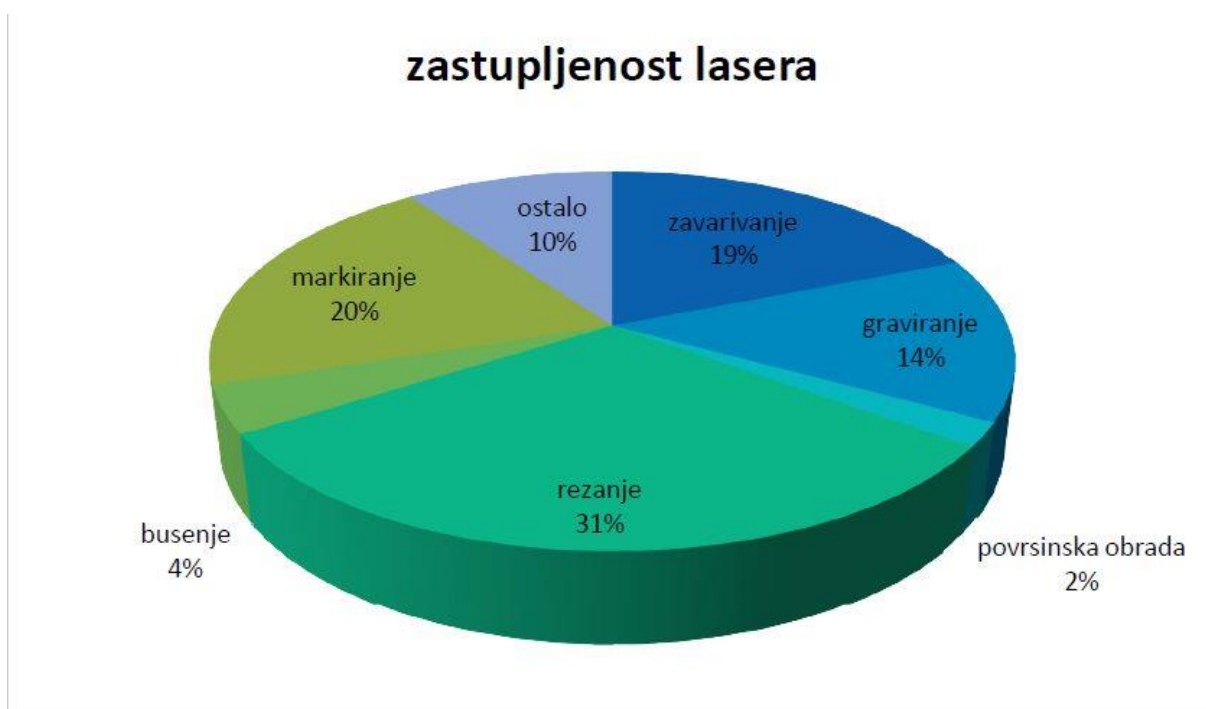
3.4. Prema području primjene ^(4,5,6)

Prvi laser je napravljen 1960. godine. Od tada do danas je našao primjenu u gotovo svim ljudskim djelatnostima; industriji, vojnoj tehnici, medicini, informatičkoj tehnologiji, istraživačkoj znanosti, kao i u svakodnevnoj osobnoj uporabi.

3.4.1. Primjena u industriji

Kod industrijske primjene laser se najčešće koristi kod obrade papira, tekstila te u strojarskoj industriji.

Ovdje ćemo navesti najčešća područja upotrebe lasera u strojarskoj industriji.



Slika 2 : Zastupljenost lasera u strojarskoj industriji

3.4.1.1. Rezanje laserom

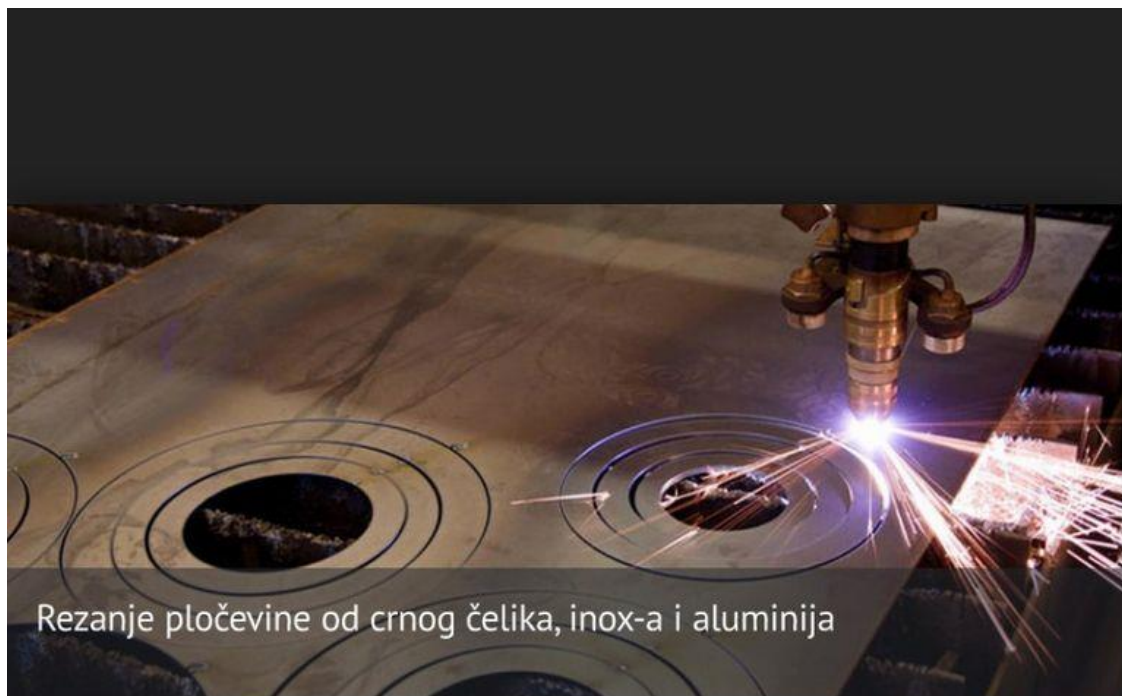
Prednost rezanja laserom, u odnosu na klasično mehaničko rezanje, je prije svega u jednostavnijem stezanju radnog komada i smanjuje se promjena strukture materijala radnog komada, jer kod mehaničkog rezanja, alat za rezanje i radni komad su u dodiru. Preciznost rezanja je bolja, budući se laserska zraka ne troši s vremenom. Smanjena je i deformacija radnog komada nakon rezanja, a rezanje laserom stvara i malu zonu utjecaja topline, gdje

dolazi do promjene strukture materijala i mehaničkih svojstava. Neke materijale je gotovo nemoguće rezati na tradicionalni način.

Lasersko rezanje je uspostavljena procedura za precizno rezanje kontura, rezanje cijevi i profila .

Lasersko rezanje ima svoje prednosti kao što su brzina , preciznost.

Loša strana su samo visoke investicije i operativni troškovi ,a lasersko rezanje ne nadmašuje konkurenciju uvijek .



Slika 3 : Rezanje laserom

3.4.1.2. Graviranje i markiranje laserom

Označavanje sa laserskim snopom i graviranje su vrlo rašireni postupci.

Lasersko označavanje-markiranje se koristi za označavanje roka korištenja, kodova za označavanje i sličnoga.

Sa laserom, postupkom graviranja možemo postići specifičnu promjenu površine ili određenog područja.



Slika 4: Lasersko graviranje i izrezivanje

3.4.1.3. Lasersko zavarivanje

Lasersko zavarivanje izvodi se sa CO₂ laserom.

CO₂ laseri sa velikom snagom (2-12kW) koriste se za zavarivanje automobilskih karoserija i prijenosnih komponenata, toplotnih izmjenjivača i zahtjevnih elemenata.

Laserski snop se usmjeri na jednu malu točku, čime se dobije dovoljna snaga za

topljenje materijala. Za fokusiranje velikih snaga CO₂ lasera, umjesto ogledala se koriste vodom hlađena ogledala. Zavarivanje se u osnovi izvodi na dva načina.

Za zavarivanje sa laserima velike snage, značajan je nastanak tzv. "keyhole". Energija lasera topi metal i uzrokuje isparavanje.

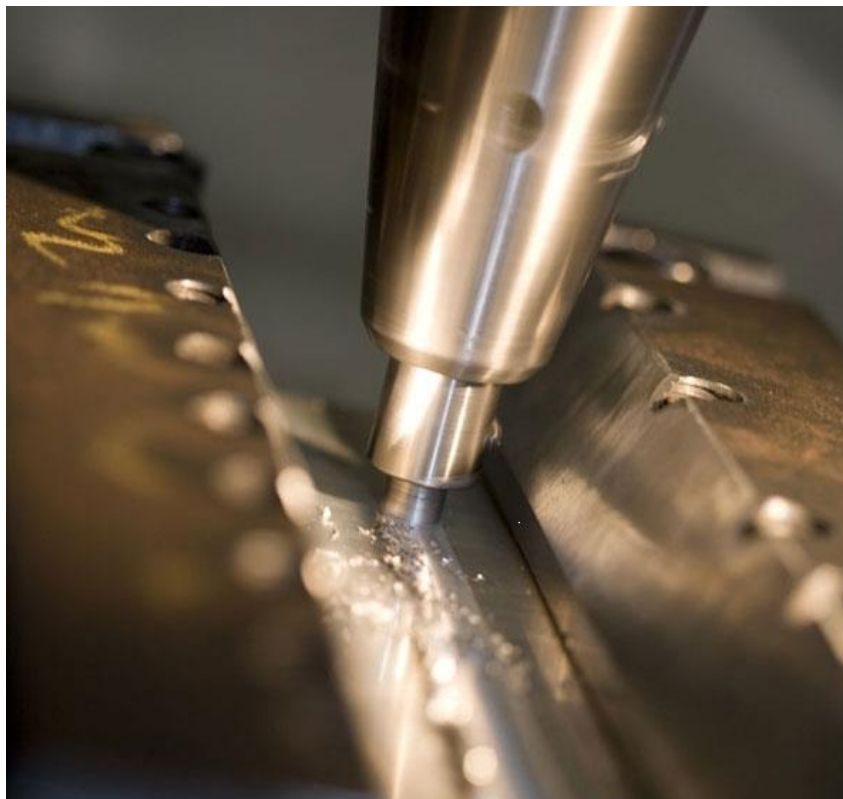
Pritisak pare istisne istopljeni materijal i tako nastane rupa u obliku ključa, koja omogućava prenos laserske energije u materijal i vodi laserski snop duboko u materijal.

Stvaranje "keyhola" omogućava usko i duboko zavarivanje, pa ga često zovemo i duboko zavarivanje.

Plinovi za zavarivanje moraju ispuniti više zahtjeva: štititi mesto zavara, područje oko zavara, štititi optiku od para i topline, i kontrolirati plazmu između zavarivanja sa CO₂ laserom. Plazma je oblak ioniziranih metalnih isparavanja i plinova, koje se stvaraju nad rupom. Taj oblak utječe na lasersko zračenje i prekida proces zavarivanja. Ovaj učinak zavisi od vrste lasera i korištene snage, te se zbog toga koriste različiti laserski plinovi.

Glavne prednosti zavarivanja laserom:

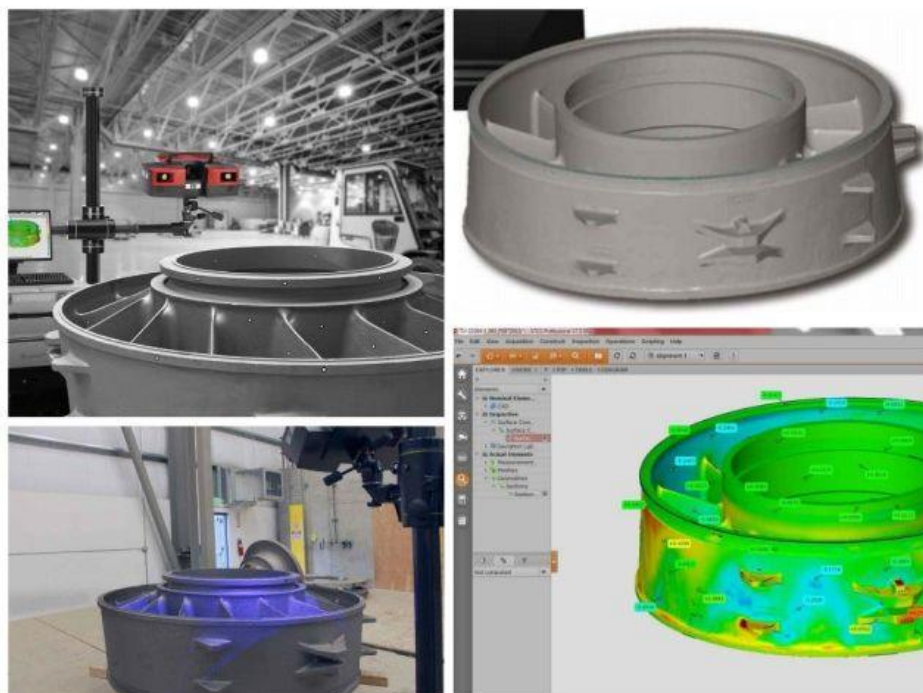
- visoka kvaliteta zavarenog spoja
- velika preciznost i brzina
- zanemarljiva zona uticaja topline
- ušteda vremena
- manje intervencije u pogledu obrade nakon laserskog zavarivanja
- pouzdanost rada
- povoljna cijena



Slika 5: Zavarivanje laserom

3.4.1.4. Mjerenje i 3D modeliranje laserom

U posljednje vrijeme sve više su važni ne samo podaci u geodetskom smislu, već prostorni podaci u mnogo većim spektrima, različitim kombinacijama informacija i različitih situacija na izgrađenom području ili na području gdje je pristup objektu gotovo nemoguć. Područja više ne uključuju samo potrebe inženjerske izmjere i projektiranja različitih objekata, nego se proširuju npr. na forenzičku znanost, očuvanje kulturne baštine, geologiju, medije, arheologiju, robotiku itd., općenito na sva područja gdje se primjenjuje modeliranje uz vrlo raznolike zahtjeve različitih korisnika, a uz vrlo velik broj preciznih informacija kako o izgrađenim tako i o tek projektiranim objektima. Lasersko skeniranje omogućava ispunjenje sve većih zahtjeva prostorne izmjere i vizualizacije objekata, prikupljanjem velikog broja odataka u obliku «oblaka točaka». U oblaku svaka točka ima točno određene 3D koordinate. Korištenjem različitih aplikacija omogućena je obrada, modeliranje, vizualizacija i prezentacija skeniranih objekata u relativno kratkom vremenu i bez direktnog pristupa istim. Povećava se brzina izmjere ali i brzina obrade prikupljenih podataka. Naravno daje osobit naglasak na razvoju procesne snage računala i tehnologije, kao i na primjeni laserske tehnologije. Mnoštvo točnih 3D prostornih podataka prikupljenih u, slobodno možemo reći, jednom trenutku postojanja nekog objekta (građevine) izgledaju poput fotografije. Razlika između njih je dakako za cijelu dimenziju u korist prvih. Njihovom obradom moguće je izvoditi uopćene ali i iznimno detaljne modele s obzirom na konkretne potrebe, a izvorni podaci mjerenja ostaju kao bogat i dostupan izvor informacija o promatranom objektu ili cijelom sustavu.

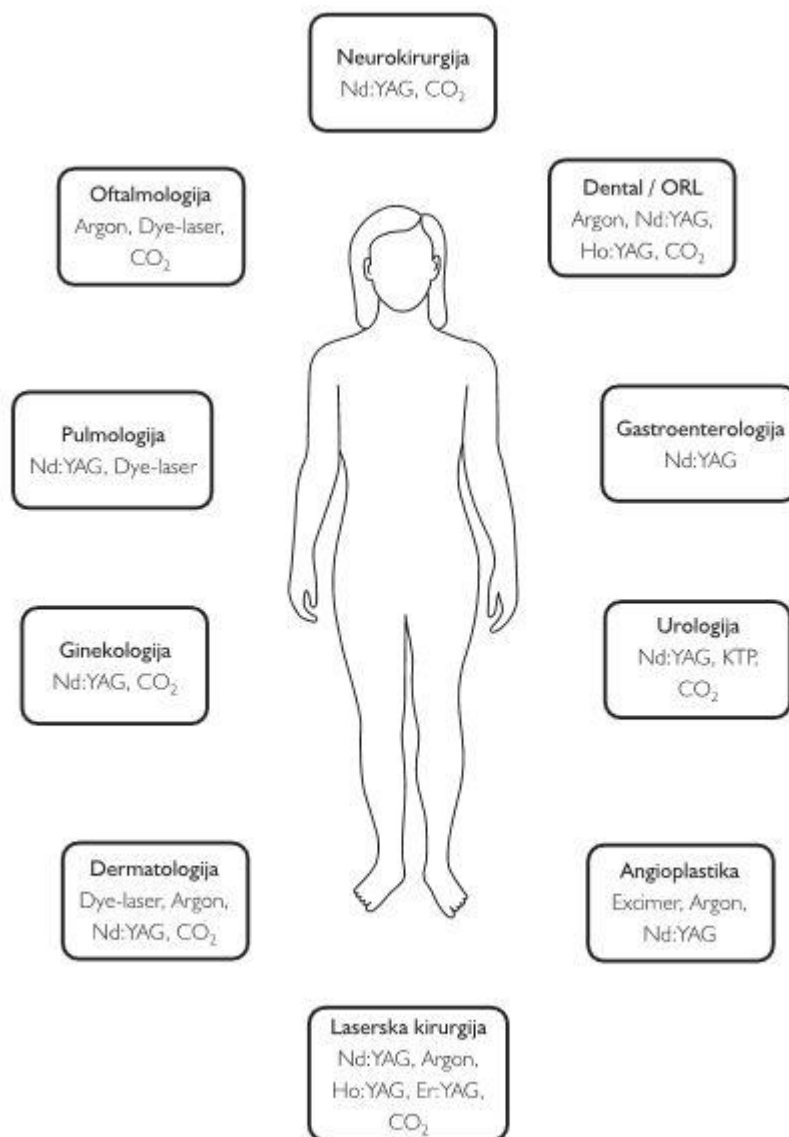


Slika 6: 3D modeliranje



Slika7: 3D modeliranje

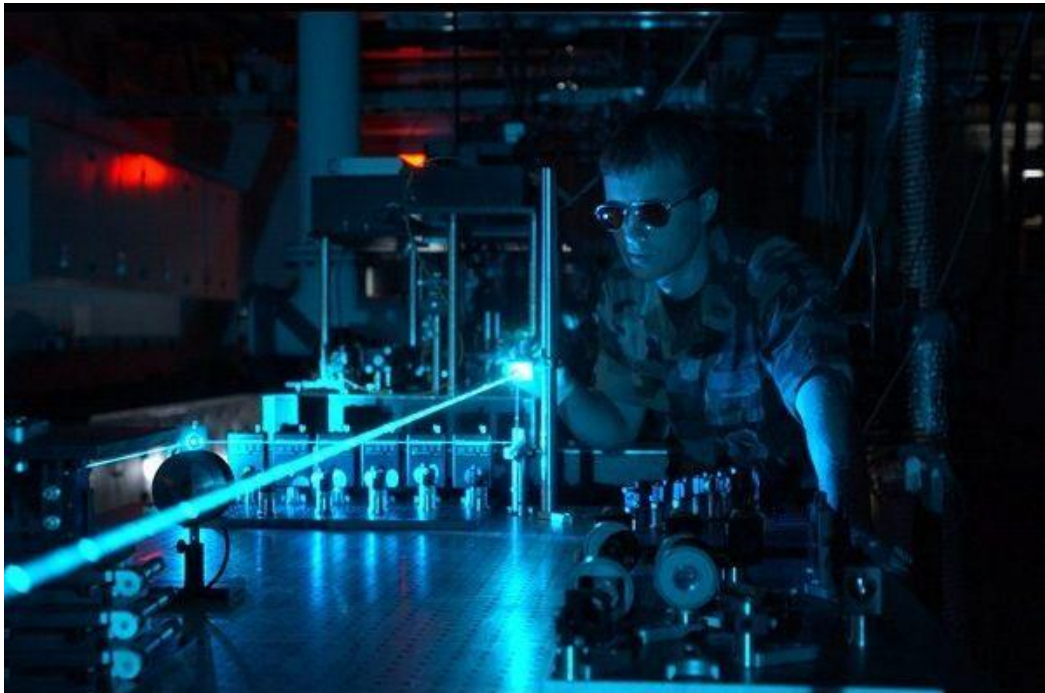
3.4.2. Primjena u medicini



Slika 8: Medicinski laseri i podjela po disciplinama

Kao što možemo vidjeti iz slike br 8. laseri se danas puno koriste u medicini, osobito na području kirurgije: operacije očiju, operacije zubi, dermatološki zahvati, opći zahvati, zatim kod dijagnostike i liječanja raka te kod liječenja termičkim efektima (biostimulacija).

3.4.3. Primjena u vojnoj tehnologiji



Slika 9: Laser u vojnoj industriji

Vojska je oduvijek bila sklona da isproba sve tehnologije koje bi mogle naći eventualnu primjenu unutar njenih sfera interesa. Laserska tehnologija je svakako jedna od tehnologija koja ima tu nevjerovatnu osobinu da može sa lakoćom biti primijenjena na više polja interesantnih oružanim snagama. Za razliku od većine tehnologija koje su limitirane na jednu sferu laseri pružaju veoma širok spektar primjena i potencijalnih primjena koje su za sada još uvijek tehnički teško izvodive.

Trenutna primjena lasera u vojnoj industriji je označavanje mete laserskom zrakom, navođenje "pametnih bombi", mjerenje udaljenosti mete, laserska oružja ("Star Wars" program).

3.4.4. Primjena u svakodnevnoj upotrebi

U svakodnevnoj upotrebi koristimo lasere i više nego što smo svjesni; od igrica do komunikacije među satelitima.

- Compact disc/DVD
- Laserski printer
- Bar-code čitači
- Zaštitni hologrami (na kreditnim karticama, Microsoftovom softwareu, vrijednosnim papirima,...)
- Prijenos podataka svjetlovodima
- Direktni prijenos podataka (komunikacija među satelitima, vojna tehnologija)
- Hologrami (npr. u muzejima umjesto originalnih umjetnina,...)
- Laser show

3.4.5. Ostala područja primjene lasera

Istraživačke svrhe

- Fundamentalna istraživanja (Interakcija zračenja s materijom, genetski inženjering ...)
- Spektroskopija
- Nuklearna fuzija
- Hlađenje atoma na ultra niske temperature
- Generiranje vrlo kratkih pulseva za studiranje vrlo brzih procesa

Posebne primjene

- Prijenos energije (u budućim svemirskim postajama)
- Laserski žiroskop (instrument za orijentaciju u prostoru)
- Laserski procesi direktno u svjetlovodu (primjena u telekomunikacijama)

4. IZRADA ZADATKA

ZADATAK

Projektiranje, programiranje i izrada obradka na uređaju za lasersko graviranje.

4.1. Proces izrade zadatka

Radni zadatak je izvršen u tvrtci „Braniteljska zadruga Ideja“ u Ozlju.

Prema raspoloživosti vremena dostupnosti uređaja dozvoljeno mi je da napravim laserskim graviranjem i izrezivanjem pločicu s imenom.

Obradak se je izrađivao na materijalu bukove drvene ploče debljine 3 mm.

Uređaj na kojem se je izrađivao je: Laserska graverka je LG1200.

Proces izrade obratka kreće u crtanju željene gravure i oblika na računalu u programu Corel draw x5. To se naziva grafička priprema.

Zatim se izrađena grafička priprema učitava u program Laser cut 5.3 koji upravlja laserskom graverkom, a u kojem se definiraju svi parametri obrade kako softverski tako i hardverski.

Uređajem na kojem se je izrađivao izradak se upravlja računalom.

Nakon definiranja svih parametara izrade (veličine polaznog materijala, veličine izradka, početne točke izrade, definiranja brzine izrade i redoslijeda operacije) u programu Laser cut 5.3 se odabire opcija Start koja pokreće uređaj i kreće graviranje i zadano izrezivanje obratka.

Koristilo se je zračno hlađenje.

4.1.1. Program Corel Draw x5

Corel Draw je računalni program za uređivanje vektorske grafike.

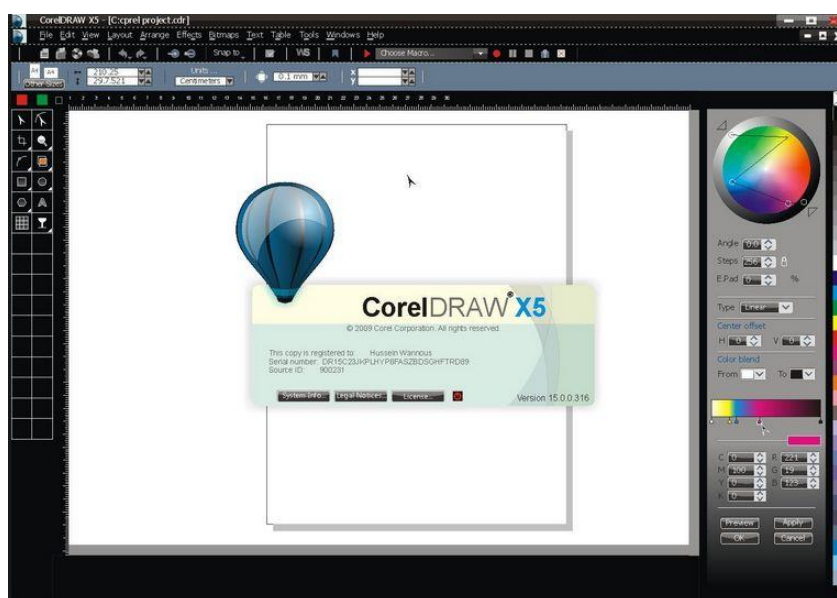
Prva verzija programa je izrađena 1989. godine i bila je verzija programa za kućnu upotrebu. Četiri godine kasnije izdaje se verzija sa znatnim poboljšanjima; uređivanje slika, uređivanje prezentacija, uređivanje grafičkih dijagrama te pretvaranje slika u vektorske objekte i program se počinje koristiti u profesionalnoj upotrebi.

Program Corel Draw x5 je izdan 2010. godine i predzadnja je izrađena, izrazito moderna i bogata verzija s velikim mogućnostima programiranja.

To je softverski paket za grafički dizajn, ilustracije, prijelom, uređivanje fotografija, web-grafiku i web-dizajn. Sadrži značajna poboljšanja u upravljanju slikovnim sadržajima, bojama kao i grafičkim sadržajima.

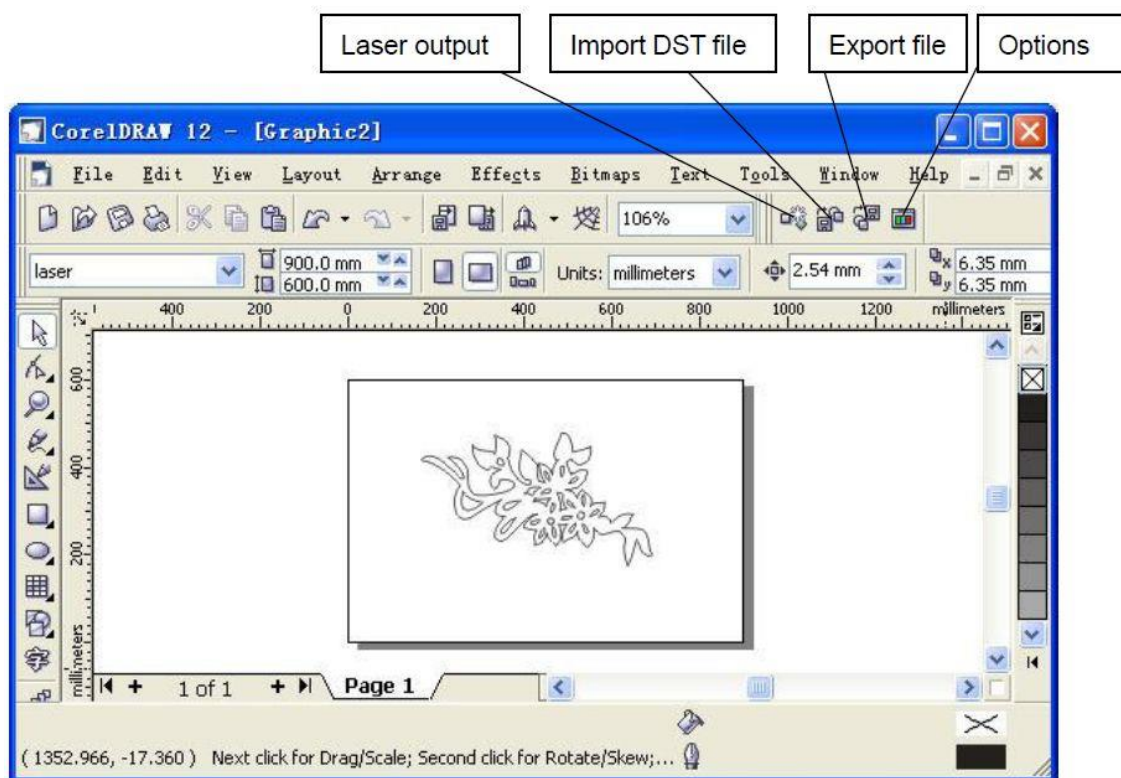
S novim alatima i velikim nadogradnjama postojećih alata prethodnih verzija programa omogućuje da se dizajnira onako kako dizajneru najviše odgovara.

Fleksibilan je i sa svojom preciznošću koja podsjeća na rad u CAD alatima, omogućuje rad brze i savršene pripreme za tisak i gravuru.



Slika 10: Sučelje programa Corel Draw x5

Nakon izrade grafičke pripreme za naš izradak u Corel Drawu i spremanja u za to određenu mapu, vrši se prijenos u povezani a ujedno i radnii program za uređej za lasersko graviranje po nazivom Laser Cut 5.5. Taj proces se odvija odabirom opcije Laser output.



Slika 11: Završena grafička priprema spremna za slanje u program Laser cut

4.1.2. Program Laser Cut 5.3

Laser cut je upravljački program u kojem se, nakon učitavanja grafičke pripreme iz programa Corel Draw ili AUTOCAD, definiraju odrednice za upravljanje uređajem za lasersko graviranje kao i naredba Start za početak izrade.


Redoslijed programiranja u programu Laser cut 5.3:

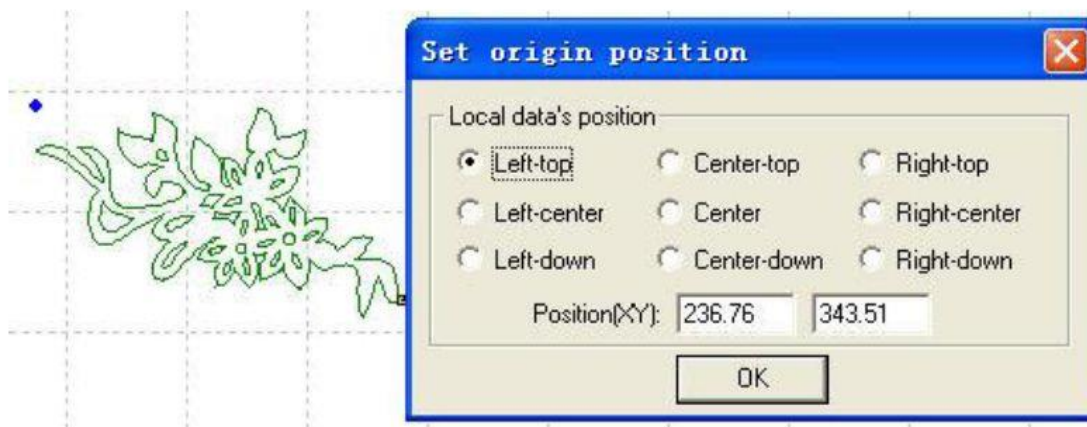


Slika 12: Definiranje veličine obradnog materijala

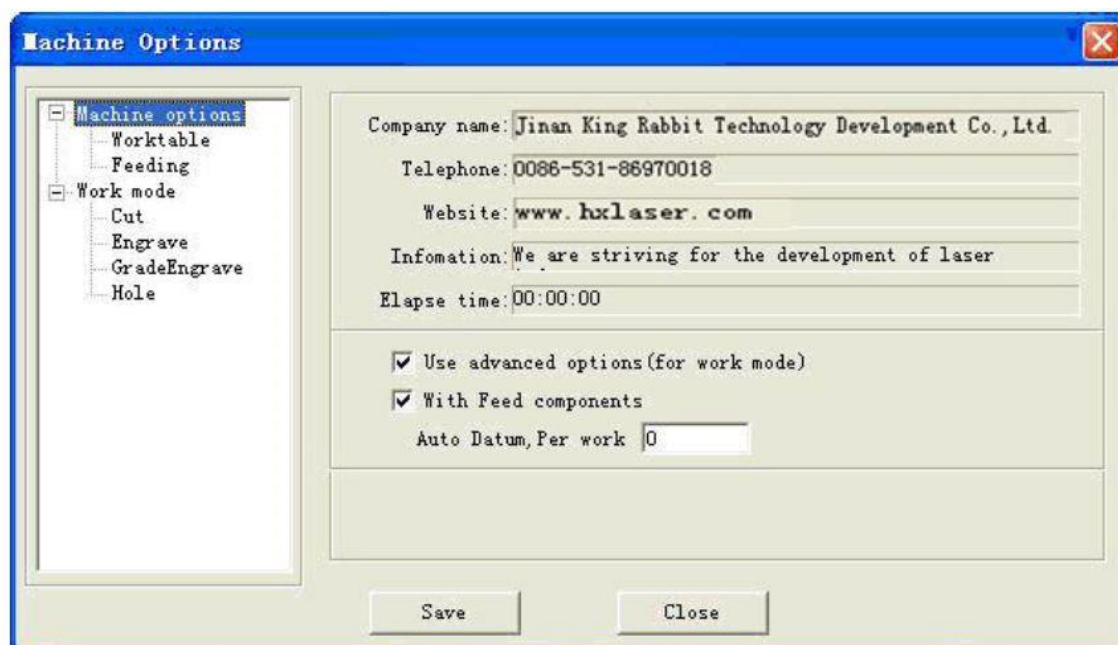


Slika 13: Definiranje veličine obradka

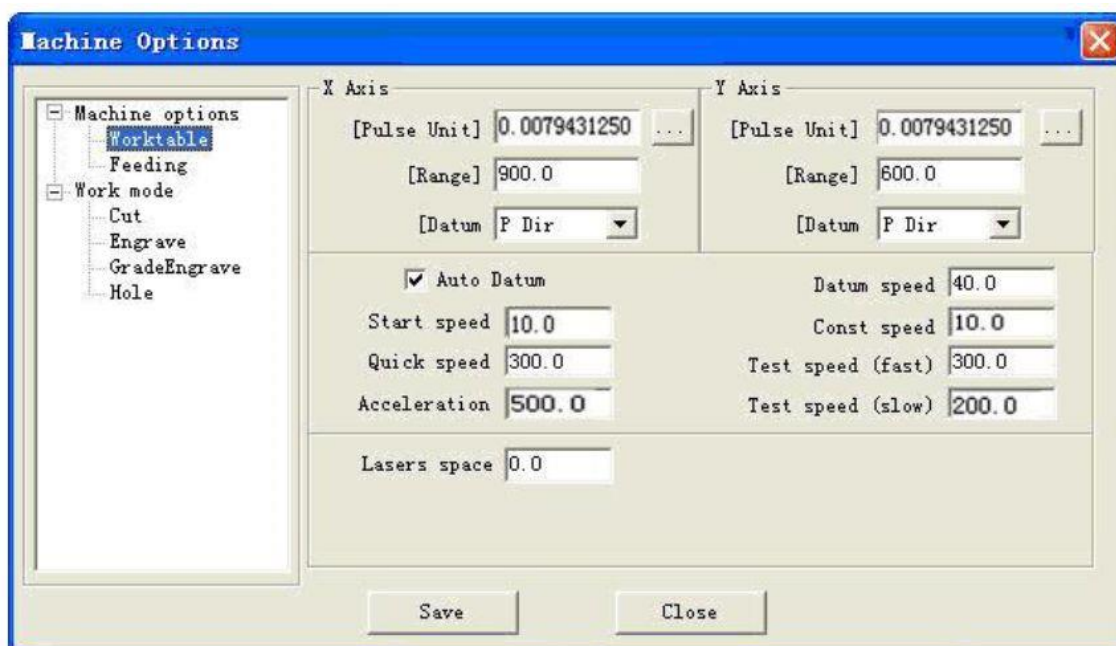
The corresponding icon is .
Click this button.



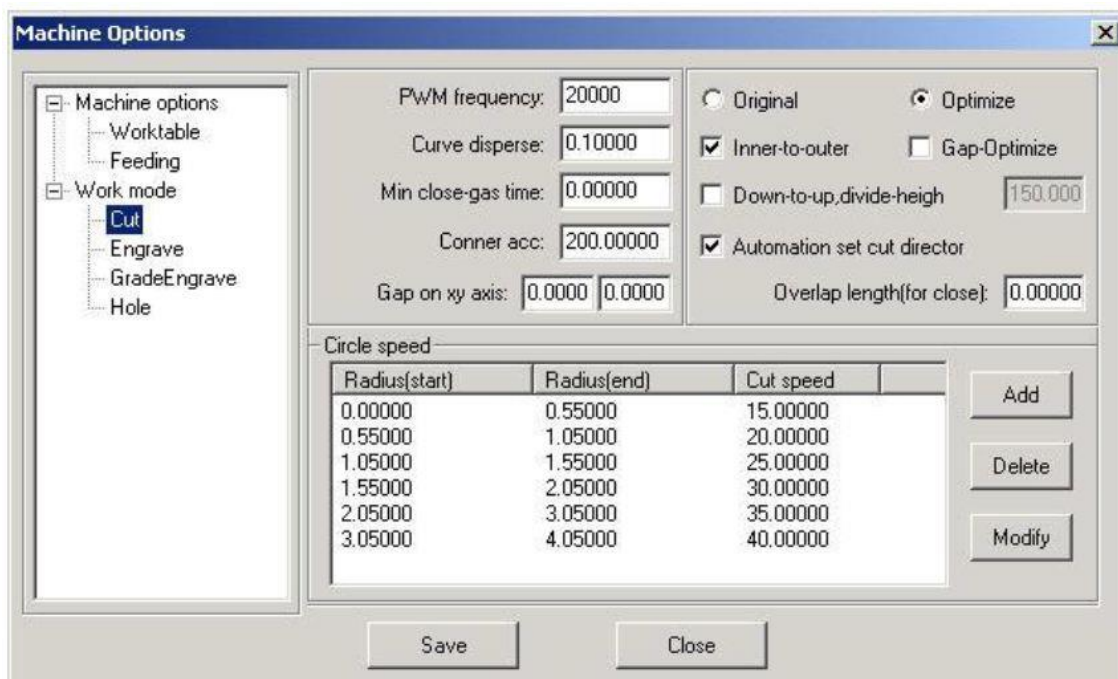
Slika 14: Definiranje polazne i završne točke izrade



Slika 15: Odabir radnog uređaja



Slika 16: Definiranje veličine i položaja radnog materijala




Slika 17: Definiranje radnih operacija (graviranje, izrezivanje)

Layer	Mode	Speed	Power	Output	Times
	Cut	40.00	40.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	Engra	400.00	50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	Grade	250.00	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	Hole	--	50.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1

Up Down All Calculate

Slika 18: Potvrda redoslijeda radnih operacija sa parametrima brzine izrade

Layer	Mode	Speed	Power	Output	Times
	Cut	40.00	40.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1

Up Down All Calculate

Y+ Z+
X- Datum X+ Z Datum
Y- Z-

Slow Step Length: 50.00

Laser Auxiliary processing parameters .00

Times: 1 Delay: 0 ...

Run Box Clip Box Immediate

Start P Download Stop

DownLoad

Slika 19: Učitavanje isprogramiranih podataka tipkom Download

4.1.3. Uređaj za graviranje LG1200

LG1200 najveći je u LG seriji. Laserska cijev snage 60W svrstava ovaj stroj u red izvrsnih gravera ali i snažnih rezača. Radna površina 1200 × 800 mm omogućava svestranost u poslu. Iako velik, bez problema će izraditi pečat ili bilo koji drugi objekt bogat sitnim detaljima. Posjeduje CE i FDA certifikate.

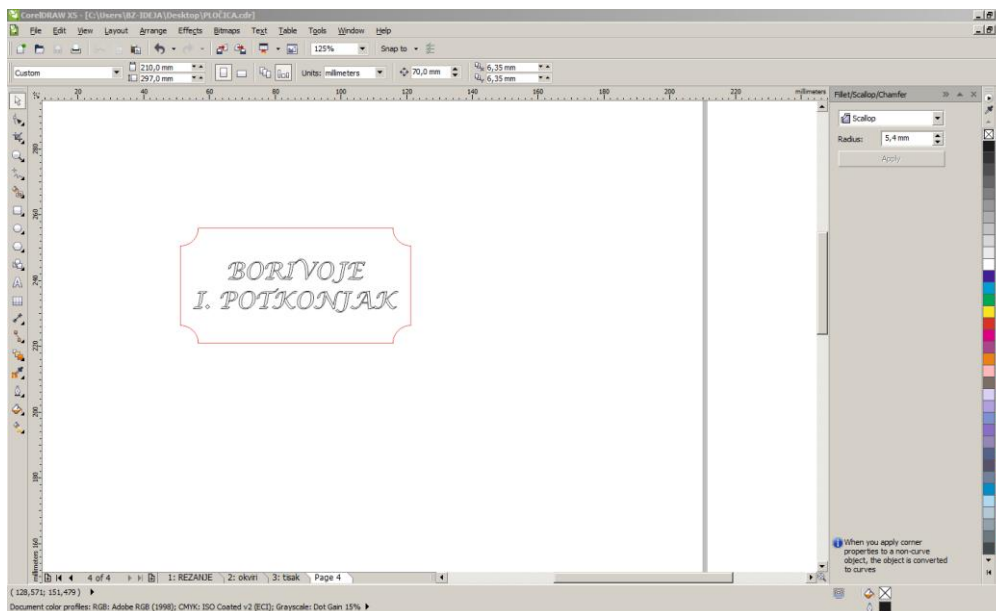


Slika 20: Uređaj za graviranje LG1200

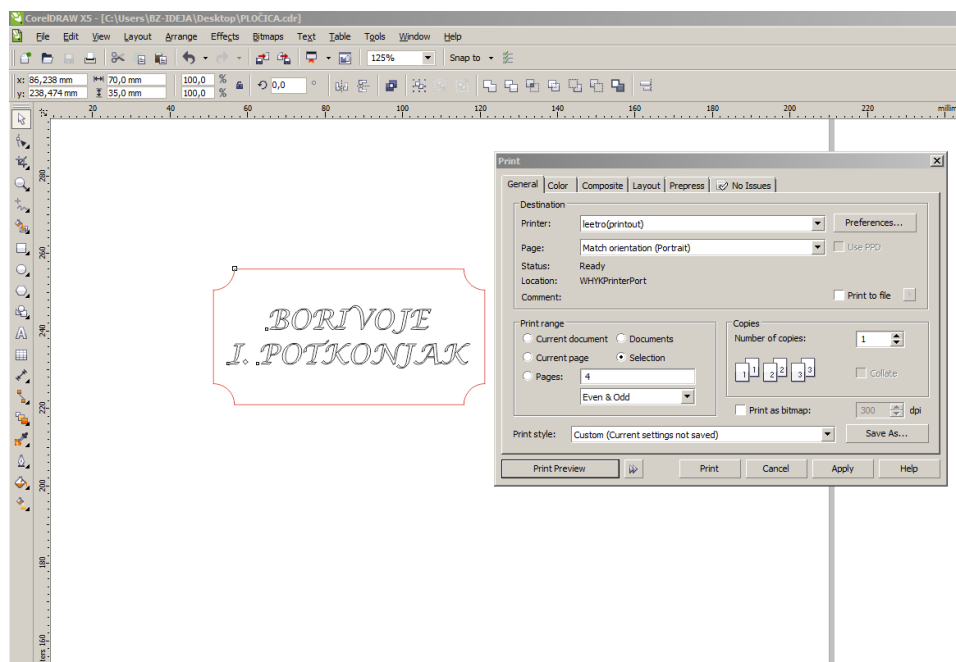
Tehnički podaci

radna površina:	1200 × 900 mm
dimenzije stroja:	1720 × 1310 × 1070 mm
snaga lasera:	60W
brzina graviranja:	0 – 60 000 mm/min
točnost ponovnog pozicioniranja:	±0.01mm
napajanje:	AC 110 – 220V ±10%, 50 – 60Hz
ukupna snaga:	< 1,000 W
radna temperatura:	0 – 45°C
radna vlažnost:	8 – 95%
veličina najmanjeg slova:	1 × 1mm
podržani grafički formati:	BMP, HPGL, PLT, DST, DXP, and AI
sustav pogona:	step motor
način hlađenja:	zatvoreni sustav za vodeno hlađenje
stol:	pomičan gore-dolje.
dodatna oprema:	ventilator za ispuh, ispušna cijev
pogonski program:	DSP control system.
podržani programi:	CorelDraw, AutoCAD, Photoshop
tip lasera:	zatvorena CO2 laserska cijev
netto težina stroja:	280 kg

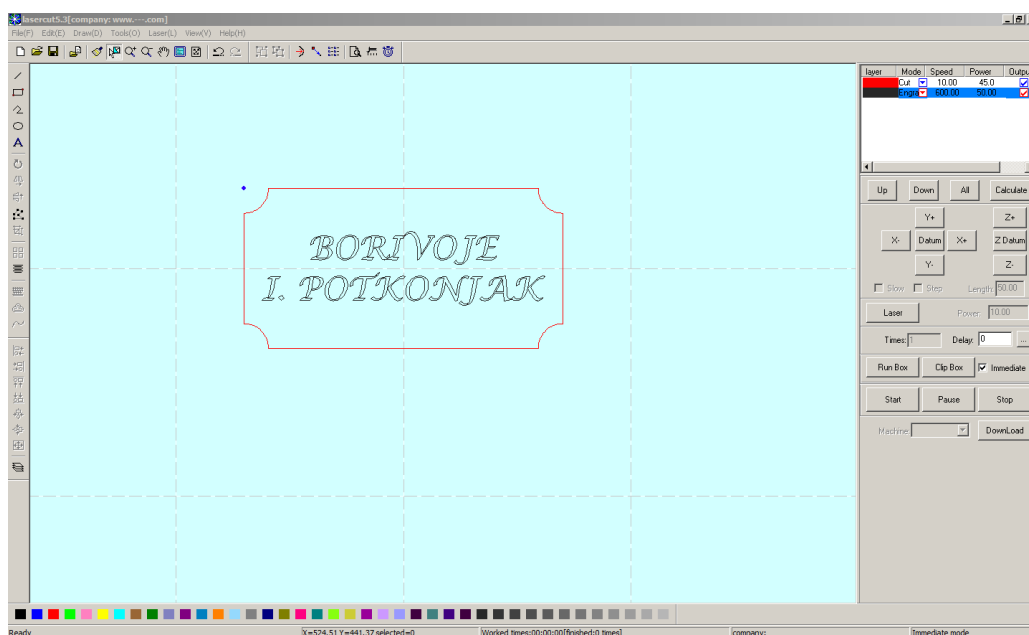
4.1.4. Izrada obradka



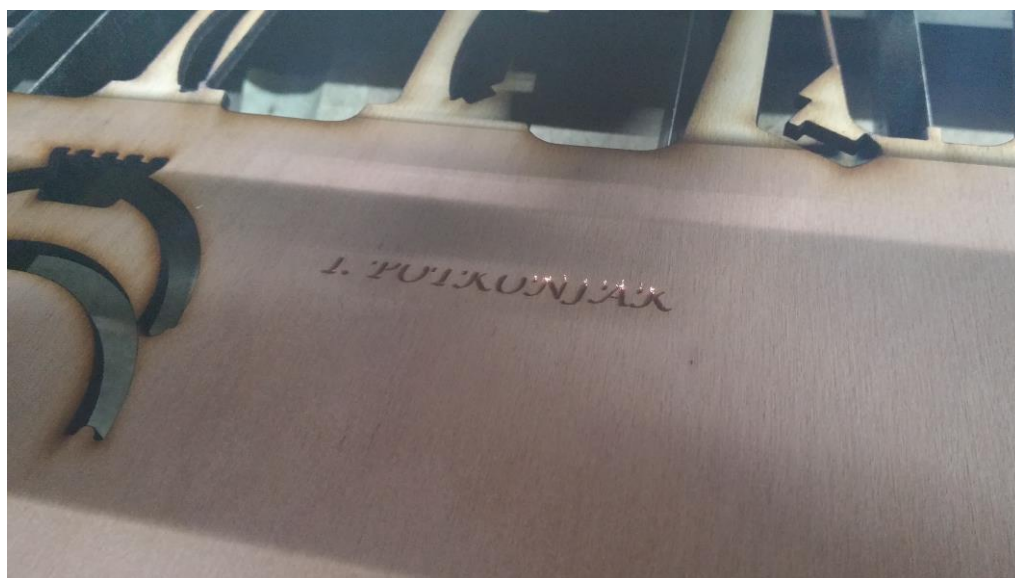
Slika 21: Projektiranje izradka



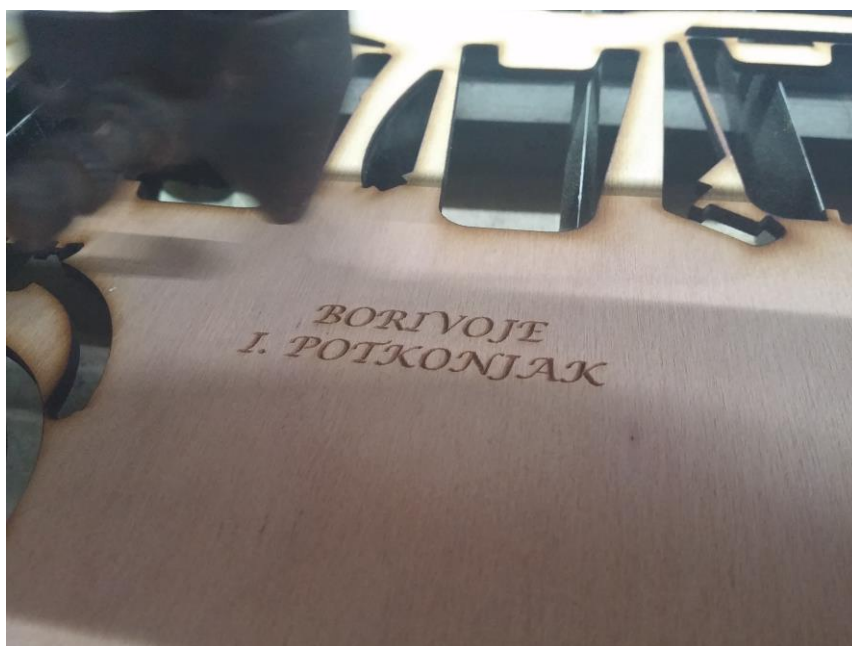
Slika 22: Izrada grafičke pripreme



Slika 23: Instaliranje u pokretački program Laser cut 5.3



Slika 24: Početak izrade laserskim graviranjem



Slika 25: Tijek izrade laserskim graviranjem



Slika 26: Izrezivanje obradka laserom



Slika 27: Gotov obradak

5. ZAKLJUČAK

Laserska tehnologija je, osim u industrijskom, medicinskom, vojnom, znanstvenom svijetu, vrlo popularna u općoj i osobnoj primjeni, a u literaturi i na internetu su dostupni brojni praktični savjeti, ideje i iskustva vezana uz ovu temu.

Laseri su od prve Einsteinove ideje 1917. godine i izrade prvog jednostavnog lasera 1960. godine doživjeli mnoge transformacije i poboljšanja te su postali vrlo brzi i precizni uređaji sa različitim načinom rada, pobudama i područjima primjene.

U ovom završnom radu su obrađeni laserski uređaji za graviranje gdje smo pri praktičnoj izradi zadatka utvrdili da se ti uređaji koriste u industriji kao i za novo područje likovne umjetnosti laserskim graviranjem.

LITERATURA

1. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser>
2. L. Bistričić; Fizika lasera
3. Bruna Babić, Sibil Brinjak:Lasери
4. Dr. sc. Damir Lelas: Fizika 2
5. dr Dušan Regodić: Tehnički sistemi – obrada laserom
6. <https://bib.irb.hr/datoteka/198888.itopic.pdf>

POPIS IZVORA SLIKA

1. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser#/media/File:Laser.svg>
2. dr Dušan Regodić: Tehnički sistemi – obrada laserom
3. <http://www.mastech-strojevi.com/ermaksan-plasma>
4. vlastita slika
5. <http://www.diss.hr/arhiv.html>
6. <http://www.3d-mjerenje.com/archives/americka-ljevaonica-bradken-implementirala-je-3d-skeniranje/>
7. http://www.topomatika.rs/vrhunska_optika_atos_triple_scan.htm
8. <http://www.hilus.hr/images/laseri.pdf>
9. <http://www.vestinet.rs/tema-dana/rusija-strahovito-napreduje-laser-velike-snage-koji-sece-led-poput-vruceg-noza-i-jos-4-velike-inovacije>
10. http://community.coreldraw.com/talk/coreldraw_graphics_suite_x4/f/245/t/6778
11. User manual (DSP5.3)
12. User manual (DSP5.3)
13. User manual (DSP5.3)
14. User manual (DSP5.3)
15. User manual (DSP5.3)
16. User manual (DSP5.3)
17. User manual (DSP5.3)
18. User manual (DSP5.3)
19. User manual (DSP5.3)
20. http://snop.hr/?page_id=20
21. vlastita slika
22. vlastita slika
23. vlastita slika
24. vlastita slika
25. vlastita slika
26. vlastita slika
27. vlastita slika