



RAZVOJNI MODEL CNC MAŠINE ZA LASERSKO GRAVIRANJE

Milan Živić

Tehnička škola, Kikinda, Republika Srbija, milan.zivic@gmail.com

Sadržaj: *Konstruisan je razvojni model CNC mašine za lasersko graviranje. Namenjen je prvenstveno za precizno graviranje slika i teksta na granitu, mada se može uspešno upotrebiti i na drugim materijalima. Za realizaciju kompletnog upravljačkog algoritma upotrebljen je Digitalni Signal Procesor TMS320F240 proizvođača Texas Instruments. Isti procesor koristi se za komunikaciju sa računarom i komandnom tablom, za programabilnu logičku kontrolu, generisanje željene trajektorije kretanja, kao i za regulaciju snage lasera.*

Ključne reči: *laser, graviranje, CNC, DSP.*

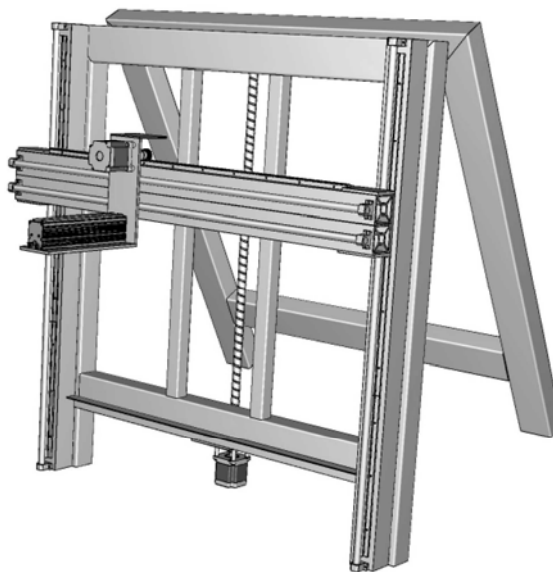
1. UVOD

Razvojni model CNC mašine za lasersko graviranje nastao je kao rezultat višegodišnjeg rada i mnogobrojnih eksperimenata, merenja i izmena urađenih na hardveru i softveru. Prvobitna verzija mašine bila je zasnovana na klasičnom, računarski upravljanoj X-Y ploteru koji je za pogon osa koristio koračne motore male snage u kombinaciji sa mehaničkim pužem i koncem. Graviranje se realizovalo pomoću elektromagneta i dijamantske

igle. Međutim, mala brzina rada i ograničene dimenzije radnog komada veoma brzo postale su limitirajući faktori.

Dalji razvoj mašine nastavio se u pravcu povećanja dimenzija i poboljšanja performansi. Osnovni cilj bio je ostvariti željeni kvalitet gravirane slike na materijalu velike tvrdoće i velikih gabarita. To je podrazumevalo konstruisanje robusnije mehanike i neizbežnu upotrebu laserskog zraka. Na taj način postalo je moguće ostvariti zavidnu rezoluciju graviranja uz minimalan utrošak vremena i energije.

U ovom radu opisana je trenutna verzija uređaja koji se neprekidno razvija i usavršava na svom putu ka prototipu. Konačno rešenje bi trebalo da u sebi objedini sva dosadašnja iskustva. Ono podrazumeva dalje unapređenje algoritma upravljanja, kako bi se došlo do optimalnog odnosa između kvaliteta slike, brzine graviranja i ukupnih troškova. Jedinu kriterijum koji ne dozvoljava optimizaciju i kompromis jeste bezbednost mašine. Toj problematici mora se posvetiti posebna pažnja.



Sl. 1. Mehanizam CNC mašine za lasersko graviranje (3D CATIA model)

2. MEHANIKA

Pojednostavljena mehanika mašine predstavljena je na slici 1. Za pogon horizontalne X -ose koristi se zupčasta letva modula 2 (slika 2.) sa odgovarajućim zupčanikom podeonog prečnika 40 mm (slika 3.). Kod vertikalne Y -ose upotrebjeno je kuglično zavojno vreteno koraka 32 mm (slika 4.) [1], [2].



Sl. 2. Zupčasta letva



Sl. 3. Zupčanik



Sl. 4. Kuglično zavojno vreteno

Zupčasta letva i zupčanik obezbeđuju veliku brzinu kretanja uz zadovoljavajuću tačnost. Oni predstavljaju jedino prihvatljivo rešenje za horizontalnu osu, s obzirom da ona pokreće relativno malu masu, ali velikom brzinom i sa velikim ubrzanjem. Na drugi način bilo bi veoma teško postići željenu produktivnost i profitabilnost mašine.

Kuglično zavojno vreteno ostvaruje duplo manju brzinu kretanja. Međutim, ono se ipak mora upotrebiti zbog povećanih zahteva vertikalne ose u pogledu momenta opterećenja. Y -osa ima zadatak da veliku masu pokreće sa velikim ubrzanjem, ali na malim

rastojanjima. Zbog toga kod nje maksimalna brzina nije kritična.

Radna površina mašine iznosi 1500 x 1300 mm, dok su ukupne dimenzije 1800 x 1600 mm. Tačnost kretanja po vertikalnoj osi iznosi 40 μm , a po horizontalnoj 78,5 μm . Proizvođač garantuje prečnik tačke fokusiranog laserskog zraka $d \approx 76 \mu\text{m}$. Radni komad postavlja se na prednji ram, koji je nagnut pod uglom $\alpha = 75^\circ$. Laser je montiran na portalu sa nagibom $\beta = 15^\circ$ u odnosu na horizontalu. Kompenzacija zazora letve urađena je softverskim putem.

Graviranje startuje iz početne pozicije i odvija se liniju po liniju, pri čemu nema praznog hoda. Za svaki novi red vertikalna osa pomera se na dole za 2 impulsa, odnosno 80 μm . Moguće je ostvariti rezoluciju 300 DPI za graviranu fotografiju. Maksimalna brzina graviranja iznosi 23 m/min, što znači da je za izradu slike A4 formata potrebno približno 55 minuta.

3. HARDVER

Razvoj tehnologije brzih elektronskih komponenti i pojava Digitalnog Signal Procesora (DSP) omogućili su izvršavanje veoma složenih algoritama u realnom vremenu. Zahvaljujući tome postalo je moguće kvalitetno upravljanje CNC mašinom. Otuda potiče ideja o primeni samo jednog procesora, koji je veoma jeftin, ali ne i lak za programiranje, u aplikacijama gde se zahteva velika tačnost pozicioniranja i pouzdana regulacija različitih fizičkih veličina.

3.1. Upravljačka elektronika

Na slici 5. prikazan je procesor $TMS320F240$ [3] koji u svojoj internoj *flash* memoriji sadrži program za realizaciju algoritma upravljanja kompletnom mašinom. On radi u mikrokompjuterskom modu.



Sl. 5. DSP TMS320F240

Elektronski deo sistema čine:

- Procesorska - DSP kartica,
- Komandna tabla,
- I/O kartica,
- Kartica za PC komunikaciju,
- Kartica portovskog proširenja, i
- Kartica napajanja.

DSP kartica sadrži procesor sa okruženjem i povezana je sa svim ostalim karticama. Proizvodi upravljačke i kontrolne signale neophodne za ispravan rad mašine. Ona generiše signale za: upravljanje elektromotornim pogonom osa, regulaciju snage lasera,

komunikaciju sa računarom, programabilnu logičku kontrolu i zaštitu mašine, nadgledanje tastature, osvežavanje displeja, itd.

Komandna tabla poseduje tastaturu i dvoredni alfanumerički *LCD*. Omogućava ručnu i automatsku manipulaciju mašinom, zadavanje parametara kretanja i lasera, kao i stalno praćenje statusa mašine.

I/O kartica se sastoji od 8 ulaza i 4 izlaza. Koristi se za obavljanje *PLC* funkcija i komunikaciju sa komandnom tablom.

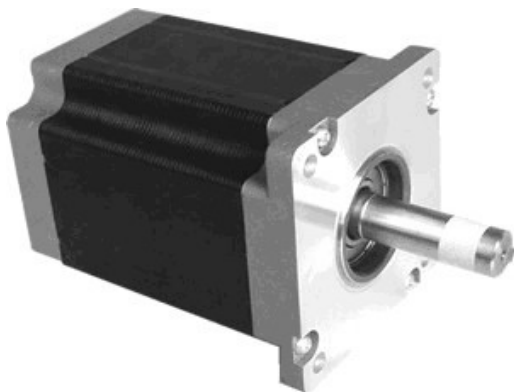
Kartica za PC komunikaciju ima centralnu ulogu u prosleđivanju (prijemu i slanju) signala između računara i *DSP*-a.

Kartica portovskog proširenja obuhvata prilagodna kola za nadgledanje ulaza i postavljanje izlaza. Takođe poseduje *DC/DC* pretvarač za dobijanje napona *5V DC*, *1,2 A*, kojim se napajaju procesor i ostala digitalna kola.

Kartica napajanja obezbeđuje napon *24V DC* koji je potreban za rad svih elektronskih komponenti sistema.

3.2. Elektromotorni pogon

Elektromotorni pogon osa realizovan je upotrebom bipolarnih hibridnih koračnih motora (raspoloživog momenta *8 Nm*) i odgovarajućih regulatora proizvođača *MotionKing* (slike 6. i 7.).



Sl. 6. Koračni motor serije 43HS



Sl. 7. Regulator koračnog motora 2L110M

Za oba motora [4] postoji mogućnost podešavanja prenosnog odnosa od 400 do 10000 *imp/obr*. Takođe je

moguće postaviti trajnu *RMS* struju motora u opsegu od 0,32 *A* do 5,57 *A*.

Regulator se napaja mrežnim naponom *220V AC*, *50 Hz*, tako da se radi zaštite od smetnji preporučuje upotreba mrežnog filtra. Svi niskonaponski upravljački i kontrolni signali su galvanski odvojeni pomoću optokaplera [5]. Pojedinačno kretanje osa ostvaruje se posredstvom *DSP* kartice. Svako pozicioniranje podrazumeva linearni zalet i kočenje, odnosno trapeznu ili trougaonu trajektoriju, zavisno od dužine pređenog puta [7]. Za definisanje referentne tačke i graničnih pozicija koriste se induktivni davači proizvođača *BALLUFF*.

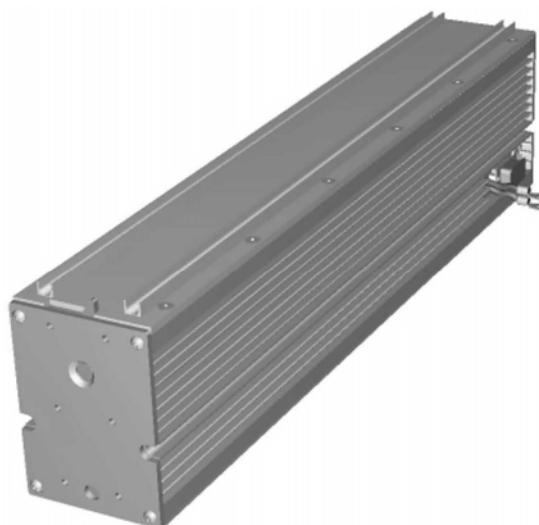
3.3. Laser

Precizno graviranje pomoću *CO₂* lasera na različitim materijalima pruža velike mogućnosti za istraživanje i predstavlja široko područje za nove inženjerske aplikacije. Na slici 8. prikazani su laseri različitih dimenzija i snaga. Oni pripadaju popularnoj seriji 48 proizvođača *SYNRAD* [6].



Sl. 8. SYNRAD *CO₂* laseri serije 48

U ovom radu koristi se laser 48-1 *S* snage 10 *W*. Njegov spoljašnji izgled modelovan je u programu *CATIA* i dat je na slikama 9. i 10.



Sl. 9. Model lasera 48-1 *S* (prednja strana)



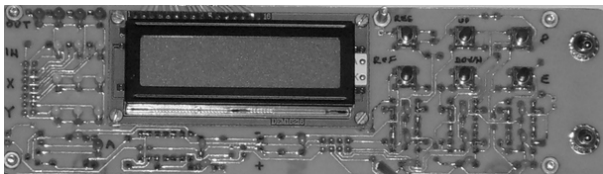
Sl. 10. Model lasera 48-1 S (zadnja strana)

Dimenzije kućišta lasera iznose $429 \times 71 \times 107\text{mm}$, dok mu je ukupna masa $4,1 \text{ kg}$. Koristi se vazdušno hlađenje, koje je izvedeno pomoću dva spoljašnja ventilatora. Proizvođač garantuje punu funkcionalnost uređaja u trajanju od 45000 radnih sati. Nakon toga potrebno je zameniti gas u laserskoj cevi, što predstavlja relativno jednostavnu i jeftinu operaciju.

Napajanje lasera obezbeđeno je iz posebnog izvora jednosmernog napona 30V DC , 7A , koji se takođe mora vazdušno hladiti. Snaga laserskog zraka može se teoretski podešavati od 0 do 100% . Za regulaciju se koristi *TTL* signal sa impulsno širinskom modulacijom (*PWM*), kojeg generiše Digitalni Signal Procesor. Vreme uspostavljanja željene snage zraka iznosi tipično $150 \mu\text{s}$. Radi fokusiranja laserskog zraka neophodna je upotreba optike, koja se posebno naručuje i montira. Važno je napomenuti da se kućište postavlja horizontalno i da ne sme biti pod većim nagibom od 20° .

4. KORISNIČKI INTERFEJS

Mašinom upravlja Digitalni Signal Procesor. Svi parametri kretanja, kao i željena snaga lasera mogu se podešavati korišćenjem tastature i alfanumeričkog displeja koji se nalaze na komandnoj tabli (slika 11.).



Sl. 11. Komandna tabla

Komandna tabla sadrži:

- 6 tastera (*RESET*, *REF*, *UP / START*, *DOWN / STOP*, *PROGRAM* i *ENTER*),
- Dva prekidača (*PRI* i *PR2*),
- *LCD* sa 2×16 karaktera,
- *LED* signalizaciju izlaza,
- *LED* signalizaciju ulaza, i
- *LED* signalizaciju induktivnih davača.

Tasteri se koriste za: reset elektronskog dela sistema, zauzimanje pozicije referentne tačke, start i stop kretanja ose, listanje i zadavanje novih vrednosti parametara mašine.

Dvoredni *LCD* ispisuje nazive parametara i njihove vrednosti, poruke greške, status mašine, aktivnu osu, kao i trenutnu poziciju aktivne ose. Za izbor osa koristi se prekidač *PRI*. Moguće je pokretati samo jednu – selektovanu osu.

Postoje dva moda rada mašine: ručni i automatski. Izbor moda rada obavlja se pomoću prekidača *PR2*.

U ručnom modu rada laser je uvek isključen i nije moguće graviranje. Ovaj mod se koristi za pojedinačno pozicioniranje željene ose.

Automatski mod rada može se selektovati samo nakon odlaska obe ose u referentnu tačku, što se postiže pritiskom *REF* tastera. U automatskom modu upravljanje mašinom preuzima računar, odnosno aplikativni softver napisan specijalno za tu namenu. Samo u automatskom modu moguće je obaviti graviranje.

5. APLIKATIVNI SOFTVER

Podaci za graviranje prenose se sa računara posredstvom aplikativnog softvera (slika 12.) napisanog u programskom jeziku C# [8], [9]. Postoje dve varijante komunikacije: paralelna i serijska.

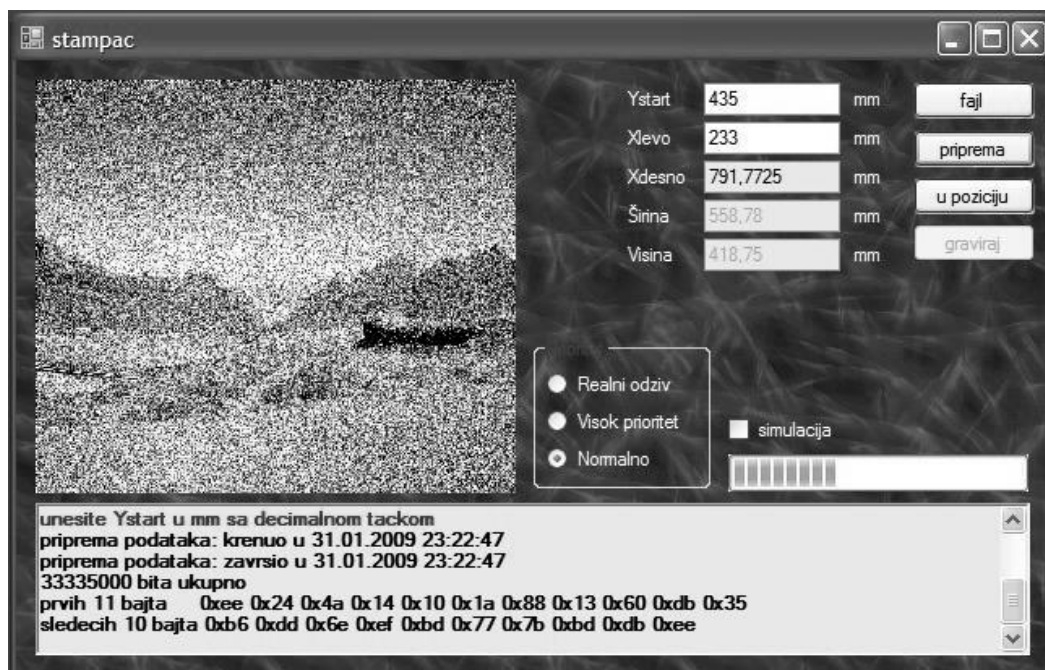
Aplikativni softver poziva se nakon referentnog pozicioniranja i izbora automatskog moda rada. Pritiskom softverskog tastera "*fajl*" otvara se unapred pripremljena i obrađena digitalna fotografija (*bitmap fajl*) koja u sebi može sadržati i tekst.

U donjem delu komandnog prozora pojavljuju se poruke koje upućuju korisnika na redosled unosa potrebnih podataka. Program sam prepoznaje dimenzije slike, tako da korisnik definiše samo koordinate početne pozicije (*Ystart* i *Xlevo*).

Pre učitavanja nove slike moguće je postaviti jedan od ponuđenih prioriteta: "*Realni odziv*", "*Visok prioritet*" ili "*Normalno*". Na taj način aplikaciji se dodeljuje određeni procenat procesorskog vremena. Budući da maksimalna frekvencija komunikacije iznosi $f_{MAX}=610 \text{ Hz}$, preporučuje se isključenje svih ostalih *PC* aplikacija. Tada prioritet "*Normalno*" sasvim zadovoljava protokol komunikacije.

Aktiviranjem tastera "*u poziciju*" računar šalje *DSP* kartici prvih 10 bajta koji predstavljaju osnovne podatke vezane za dimenzije slike i tačku iz koje će započeti graviranje radnog komada. Nakon toga dolazi do fizičkog pozicioniranja prvo *Y*, a zatim i *X*-ose.

Graviranje podrazumeva naizmenično kretanje osa i regulaciju snage laserskog zraka. Ono započinje pritiskom tastera "*graviraj*". Podaci se šalju bajt po bajt preko paralelnog, ili bit po bit preko serijskog porta računara. Započeto graviranje može se prekinuti samo tasterom *RESET* sa komandne table ili nestankom napajanja. U slučaju nestanka napajanja aplikacija pamti tačku do koje se stiglo i omogućava kasniji nastavak rada. Pre početka graviranja moguće je obaviti njegovu softversku simulaciju. U komandnom prozoru programa urađen je i *progress bar* za procenu trajanja graviranja.



Sl. 12. Komandni prozor računarske aplikacije

Nakon uspešno završenog projekta može se učitati nova slika ili napustiti PC aplikacija. Tada se pomoću PR2 prelazi u ručni mod rada, kako bi se ose pomerile u gornji položaj radi eventualne zamene radnog komada.

6. ZAKLJUČAK

Razvojni model poseduje gotovo punu funkcionalnost prototipa, ali nije ispitan pod svim mogućim uslovima rada. Takođe nije u potpunosti testiran u pogledu bezbednosti korisnika. Stručno lice neće imati problema u radu sa razvojnim modelom, međutim prototip je potrebno konstruisati za krajnjeg korisnika. Zbog toga je put do prototipa dug i najčešće praćen brojnim nepredviđenim teškoćama i problemima koji se moraju neprekidno rešavati.

Mehaniku mašine potrebno je oklopiti i dodatno obezbediti od nečistoća. Takođe je neophodno rešiti usisavanje granitne prašine koja se stvara prilikom graviranja. Ona je štetna za okolinu i korisnika, ali isto tako i za sočivo lasera koje se ne sme zaprljati.

Planira se dalje ispitivanje i unapređivanje razvojnog modela. Realizacija prototipa mašine predviđa se nakon jednogodišnjeg perioda probnog eksploatacija.

7. LITERATURA

- [1] Paul E. Sandin, "Robot Mechanisms and Mechanical Devices", March 2003.
- [2] Bojan Kraut, "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.
- [3] TI Documentation, "TMS320C240/F240 DSP Controllers Data Sheet", May 1998.

- [4] MotionKing Documentation, "Two-Phase Hybrid Stepper Motor 43HS Series", March 2007.
- [5] MotionKing Documentation, "Two-Phase Hybrid Stepper Motor Driver", March 2007.
- [6] SYNRAD Documentation, "Series L48 Lasers Operator's Manual", August 2006.
- [7] M. Živić, "Primena vektorski regulisanog asinhronog pogona za pozicioniranje ose na CNC mašini u Livnici Kikinda AD", Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 2002.
- [8] Matt Stoecker, "Razvoj Windows Aplikacija, Visual Basic.NET i Visual C#.NET", CET, Beograd, 2003.
- [9] John Sharp, "Visual C# 2008", CET, Beograd, 2008.

DEVELOPING MODEL OF CNC MACHINE FOR LASER ENGRAVING

Abstract: Developing model of CNC machine for laser engraving is designed. It is priority assigned for precise images and text engraving on the granite, but can be successfully used on other materials. The complete control algorithm is implemented by Digital Signal Processor TMS320F240 manufactured by Texas Instruments. The same processor is used for communication with the computer and control panel, the programmable logical control, generating of desired motion trajectory, as well as for laser power control.

Key words: laser, engraving, CNC, DSP.