

ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИЗРАДА ПРОТОТИПА ЛАСЕРСКЕ МАШИНЕ ЗА ГРАВИРАЊЕ И СЕЧЕЊЕ**DESIGNING AND PROTOTYPING CNC LASER FOR ENGRAVING AND CUTTING**

Мирна Ђирић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕХАТРОНИКА

Кратак садржај – Рад се састоји из две целине – пројектовање CNC машине и израда и тестирање прототипа. Прво ће бити дат увод у CNC машине, затим пројектовање машине према захтеваним условима што обухвата избор компоненти и израду управљачког програма за микроконтролер. Такође, биће приказана израда и тестирање рада прототипа CNC машине за гравирање и сечење ласером.

Кључне речи: CNC машине, G-код, graviranje laserom

Abstract – The paper consists of two parts - designing a CNC machine and assembling and testing the prototype. First, an introduction to CNC machines will be given. After that the design of the machine according to the required conditions will be presented. This includes the selection of machine's components and the development of the control program for the microcontroller. Also, the creation and testing of the CNC machine prototype for laser engraving and cutting will be presented in this paper.

Keywords: CNC machines, G-code, laser engraving

1. УВОД

CNC (Computer Numerical Control) је машина без које данас не може да се замисли машинска индустрија. Некада су то биле ручно контролисане машине, док су данас то машине које поседују контролну јединицу и моторе за све осовине. Поред тога обично поседују и драјвере, компјутер и неки софтверски пакет. Скуп свих инструкција, које машина користи за обраду материјала назива се CNC програм. Машина ради на принципу G-кода, у ком се налазе команде за усмерене покрете алата машине, како би се добио производ жељених карактеристика.

Постоји велики број различитих CNC уређаја, а неки од њих су глодалице, бушилице, ласери, стругови, и др. Принцип функционисања сваке од њих је доста сличан, све користе G-код. Разлика се огледа у алату који користи машина и начина на који врши обраду материјала [1].

CNC ласери користе ласерски сноп велике снаге за прецизно резање или гравирање различитих врста материјала. Области примене ових машина су широке, а то су за обраду дрвета, пластике, камена, стакла, гравирање, израду алата, моделовање.

Постоји неколико типова ласера:

- Ласери на принципу диоде – напајају диодни модул који емитују ласерске зраке таласне дужине 450-455 nm. Називају се још и плави ласери. Најбоља ствар код њих јета што су широко доступни, по приступачној цени.

- CO₂ ласери – базирани су на цеви напуњеној са гасом CO₂ која емитује ласерски сноп зрака. Доста су снажнији од диодних, због чега су и скупљи.

- Ласер на принципу влакана – коришћен је за резање метала, као што су бакар, челик, месинг, и др. То су ласери изузетно великих снага [2].

У оквиру пројекта коришћен је ласер на принципу диоде, односно плави ласер.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРОТОТИПА ЛАСЕРА**2.1. Задатак рада**

У оквиру Мастер рада било је потребно да се испоштују одређени захтеви, а то су:

- Машина треба да има могућност да оствари кретање по минимум две осе.

- Радни простор машине треба да буде максимално 200 x 150 mm.

- Конструкција машине треба да буде таква да је могуће брзо и лако повећање радног простора машине без измена погонског и управљачког дела.

- Омогућити једноставну и брзу монтажу и демонтажу машине.

- За управљање радом осама користити електромоторе као погон.

- Машина треба да има могућност гравирања на различитим материјалима и сечења папира и шперплоче.

- Изабрати ласер и управљање за њега у складу са захтевима који се односе на обраду материјала.

- Извршити избор мотора, сензора и управљачког контролера за машину.

- Написати управљачки код за изабрани микроконтролер.

- Могућност припреме слике за гравирање или сечење путем неког од постојећих софтвера за обраду слике.

2.2. Израда 3Д модела и управљачки систем машине

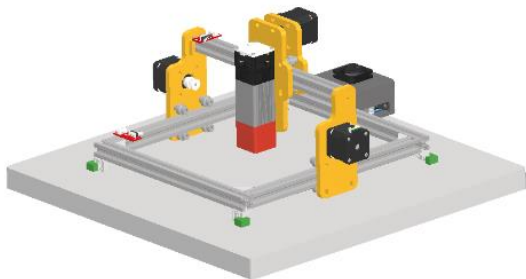
У складу са постављеним захтевима, процес израде прототипа отпочиње израдом 3Д модела CNC ласер машине. Кроз израду 3Д модела у обзир су узимане

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Драгана Орос, ванр.проф.

све димензије компоненти и положај сваке од њих. Неопходно је водити рачуна да се све компоненте могу физички касније уклопити, како би се остварила стабилност машине. Такође битно је да се компоненте могу лако и размонтирани у случају да је потребно заменити неке од делова. Изглед 3D модела прототипа машине дат је на слици 2.1. Машина је осмишљена тако да има XY конфигурацију која је за CNC машине најефикаснија конфигурација, у погледу брзине и квалитета обраде. Машина се састоји од две осе: X и Y осе. X оса је оса на којој се налази сам ласер, за чије је покретање коришћен један погонски мотор.

Кретање по Y осе обезбеђују два мотора. Кретање се одвија тако да електрични мотори претварају електричну енергију у ротационо кретање. Компоненте које потпомажу овој трансформацији су каишеви и ременице. Скуп свих компоненти који омогућавају ову трансформацију једним именом се назива трансмисија. Конструкција машине направљена је од алуминијумских профила димензија 20x20 mm који јој обезбеђују чврсту и стабилну конструкцију. Алуминијумски профили дефинишу и дужину радног хода, а према захтевима задатка ход X осе треба да износи максимално 200 mm, што је и изабрани радни ход ове осе. Дужина радног хода по Y осе износи 150 mm. Дефинисањем дужина свих алуминијумских профила дефинисан је и максимални радни простор који за ову машину износи 200x150 mm. Сви пројектовани носачи компоненти: мотора, ласера и кућишта за електронику направљени су методом 3D штампе од полиетилен терефталат гликол (PETG) пластике и задовољавају потребе пројекта у смислу чврстоће компоненти.



Слика 2.1 3D модел прототипа машине

Механички делови коришћени за израду уређаја су:

- Степер мотора НЕМА 17,
- Ременице 6-2GT-20T-5B,
- Зупчасти каиш 2GT,
- Ласер LT-40W-AA.

Најзаступљенији мотори за израду лаких CNC машина јесу НЕМА 17 степер мотори. Механичка једноставност, тачност позиционирања и мале димензије су особине које дају на значају овим моторима, због чега се и користе у системима где су потребне овакве особине [3]. Систем преноса снаге врши се преко каиша и ременица. Кориштени су каишеви серије GT који су оптимизовани да спрече зазор, услед чега неће бити изгубљено кретање у тренутку када мотор промени смер ротирања. У

складу са одабраним каишом коришћене су и адекватне ременице за 2GT каиш.

Према захтевима овог рада, било је потребно одабрати ласер који има могућност гравирања и сечења различитих врста материјала. У ту сврху одабрани ласер је произвођача Laser Tree LT-40W-AA. Основна намена му је да се користи за гравирање и сечење. Ласер има могућност да гравира различите врсте материјала као што су: шперплоча, дрво, камен, огледало од нерђајућег челика, црни акрил, пластика, кожа, папир, и др. Ласер се напаја са 12 V DC, а излазна снага ласера износи 5W. За напајање ласера коришћен је драјвер P-DA-01 иадаптер који даје излазни напон од 12 V DC и струју од 1.8 A [4].

Електричне компоненте коришћене у реализацији пројекта:

- PRO ECO 120W 24V 5A напајање,
- Ардуино Уно,
- CNC shield за Ардуино микроконтролер,
- DRV8825 драјвери,
- SUNON 12 VDC вентилатор,
- Механички гранични прекидачи.

При одабиру напајања потребно је да се познају потребе свих потрошача, односно потребна струја и напон сваке електричне компоненте појединачно. За потребе пројекта одабрано је напајање PRO ECO 120W 24V 5 A, на чији се улаз је доводи 220 V AC, док на излазу даје сталних 24 V DC, 5 A.

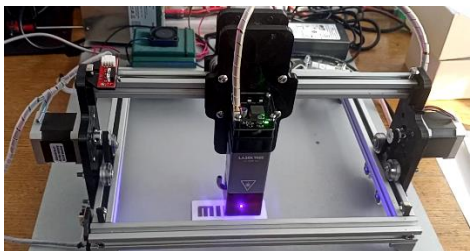
За управљање радом пројектоване машине одабран је Arduino Uno микроконтролер. Основна улога микроконтролера Arduino Uno јесте да прикупља све потребне информације са улаза (микропрекидачи) и у складу са тим да шаље електричне импулсе мотору. Програмирање се обавља у окружењу „Arduino IDE“. Коришћени Arduino Uno покреће GRBL софтвер. На Arduino плочи се налази CH340 чип који обрађује CNC команде послате од LaserGRBL софтвера путем USB комуникације.

Независна компонента која представља додатак на одабран микроконтролер је CNC shield [5]. Намена му је да прошири могућности Arduino микроконтролера. Shield подржава разне врсте драјвера неопходних за покретање мотора. У овом случају то су DRV8825 драјвери за степер моторе. Овај Arduino shield подржава разне типове комуникације, затим додавање различитих периферија, микропрекидача итд.

Драјвери степер мотора коришћени су за управљање радом степер мотора. Ови драјвери су јефтини и једноставни за употребу. Поседују температурну заштиту, а такође и уграђен хладњак. Како не би дошло до прегревања свих драјвера, као и микроконтролера при раду машине, потребно је да се доведе и екстерно хлађење за све те компоненте. Улогу екстерног хлађења је у овом случају преузео вентилатор SUNON 12 V DC.

Гранични прекидачи су електричне компоненте које се користе за детекцију позиције покретних делова система, односно за дефинисање максималне/минималног положаја. Такође, постављају се и из безбедносних разлога код заустављања покретних делова. Пратећи изглед 3D модела самог уређаја, направљен је и прототип приказан на слици 3.1. Добијен је један

функционалан уређај чије су перформансе тестиране на различитим материјалима (папир различите дебљине, шперплоча, пластика, лист, метални материјали).



Слика 2.2 Изглед монтираног прототипа

2.3.GRBL (енг.) софтвер

GRBL је бесплатан и високо квалификован софтвер коришћен за контролу CNC машина. Базира се на конверзији G-кода у електричне сигнале који контролишу кретање и брзину мотора. Чип CH340 Arduino микроконтролера трансформише команде које добија од GRBL конфигурационог фајла (G-код) у импULSE за померање мотора и покретање ласера [6].

Софтвер подржава гравирање и резање различитих врста материјала коришћењем ласера различитих произвођача. Такође, има могућност померања мотора различитим брзинама у оба смера, те различите функције намењене за хомирање, фокус, ресетовање, итд.

Да би овај прототип ласерске машине могао да функционише потребно је дати одговарајуће вредности свим параметрима у конфигурационом фајлу (Слика 2.2).

```

$0=10 (Step pulse time)
$1=25 (Step idle delay)
$2=0 (Step pulse invert)
$3=3 (Step direction invert)
$4=0 (Invert step enable pin)
$5=0 (Invert limit pins)
$6=0 (Invert probe pin)
$10=1 (Status report options)
$11=0.010 (Junction deviation)
$12=0.002 (Arc tolerance)
$13=0 (Report in inches)
$20=1 (Soft limits enable)
$21=1 (Hard limits enable)
$22=1 (Homing cycle enable)
$23=3 (Homing direction invert)
$24=100.000 (Homing locate feed rate)
$25=1000.000 (Homing search seek rate)
$26=250 (Homing switch debounce delay)
$27=3.000 (Homing switch pull-off distance)
$30=255 (Maximum spindle speed)
$31=0 (Minimum spindle speed)
$32=1 (Laser-mode enable)
$100=20.000 (X-axis travel resolution)
$101=20.000 (Y-axis travel resolution)
$102=20.000 (Z-axis travel resolution)
$110=9000.000 (X-axis maximum rate)
$111=9000.000 (Y-axis maximum rate)
$112=9000.000 (Z-axis maximum rate)
$120=500.000 (X-axis acceleration)
$121=500.000 (Y-axis acceleration)
$122=500.000 (Z-axis acceleration)
$130=203.000 (X-axis maximum travel)
$131=153.000 (Y-axis maximum travel)
$132=200.000 (Z-axis maximum travel)

```

Слика 2.2. Усвојене вредности параметара конфигурационог фајла

3. ПРИПРЕМА СЛИКЕ ЗА ГРАВИРАЊЕ/СЈЕЧЕЊЕ

Пре саме обраде материјала, потребно је дефинисати слику за гравирање или сечење. Програм коришћен за припремање слике је Inkscape. Inkscape поседује велики број алата за обраду слике. Како ће слика изгледати оставља се на вољу самом кориснику уређаја. Оно што је битно након што се исцрта нека слика је начин њеног чувања у самом програму и коришћење те слике у LaserGRBL.

Након што се исцрта слика потребно је добро да се зна који део ће се гравирати, а који сећи на слици. У зависности од тога, зависиће и формат слике у којем ће се чувати. Слика се подели на два слоја: први који ће бити слој који се реже и други који се гавира. Сваки од слојева се појединачно снима. Први се снима у векторској форми као „.svg“, а други слој као „.png“. Код слике која је припремљена за гравирање потребно је приликом снимања водити рачуна о број тачака по инчу (Dots Per Inch – DPI) параметру. Тај број DPI касније мора бити исти и у LaserGRBL. По додавању слике у LaserGRBL софтвер могуће је додатно визуелно подесити слику. Примарна улога је коришћене датог софтвера за сечење/гравирање. Неке од метода које користи приликом обраде материјала су:

- **Line to line** – само име каже да се користи метода линија по линија. Ова опција има могућност одабира начина гравирања: хоризонтално, вертикално или дијагонално. Поред тога има могућност подешавања квалитета слике, односно броја линија по mm.
- **1bit BW Dithering** – У основи овог начина гравирања су тачке уместо линије.
- **Vectorize** – Ово подешавање је најчешће коришћено за сечење.
- **Centrize** – Користи се за потребе исцртавања централне линије слова.
- **Passthrough** – Слично *Line to line*, с тим да се гравирање увек врши хоризонтално, у складу са величином слике.

Поред начина обраде материјала, потребно је дефинисати брзину и снагу ласера (Табела 1). При дефинисању снаге, постоје статичка која одржава константну снагу ласера и динамичку код које се врши прилагођавање снаге ласера на основу тренутне брзине кретања ласера. Статичка снага се најчешће користи приликом сечења како би се остварила константна снага приликом просецања, док се динамичка снага користи приликом гравирања.

Табела 1. Брзина, снага ласера и број пролаза за различите материјале

Просецање	Брзина (mm /min)	Снага (%)	Пролаз/контура
Папир	500	95-100	1
Шперплоча	300	95-100	3

4. ТЕСТИРАЊЕ РАДА ПРОТОТИПА И РЕЗУЛТАТИ

Пре почетка гравирања или просецања потребно је да се подеси удаљеност ласера од материјала. У складу са препорукама произвођача ласера, удаљеност приликом гравирања треба да буде 7 mm, док удаљеност приликом просецања треба да буде 5 mm. Калибрирање се врши тако да се користе плочице за калибрирање висине од 3 mm, 4 mm и 5 mm. Постављају се плочице на материјал на ком гравирамо или сечемо, а након тога подешава се висина ласера. Подешавање висине ласера се обавља ручно, при свакој промени материјала. Гравирање је спроведено на различитим материјалима, а то су: папир, шперплоча, АБС пластика, алуминијуму пресвученом танким слојем пластике, листу, животињској кожи, алуминијуму, челичном лиму и нерђајућем челику.

Различити материјали имаће различите параметре при обради материјала. Главна разлика се огледа у брзини и снази ласера. Препоручени параметри за гравирање приказани су у табели 2.

Табела 2. Параметри за гравирање

Гравирање	Брзина (mm/min)	Снага (%)
Папир	3000	0-100
Шперплоча	1000	0-100
АБС пластици	3000	0-80
Алуминијум пресвучен танким слојем пластике	3000	0-100
Лист	5000	0-20
Животињској кожи	3000	0-30

У табели 3. дате су препоручене вриједности за коришћење при просијецању папира и шперплоче.

Табела 3. Параметри за просецање

Гравирање	Брзина (mm/min)	Снага (%)
Папир	500	0-100
Шперплоча	300	0-100

Тестирање израде слика и фотографија на различитим материјалима показало је да ласер може да оствари захтевану тачност и прецизност. Такође, тестирање је било успешно на свим материјалима осим металима.

5. ЗАКЉУЧАК

Истраживање и рад на пројекту израде CNC ласера за гравирање и сечење се показао као веома изазован задатак који захтева интеграцију знања из више научних дисциплина. Комплексност овог задатка се огледа у примени више области: пројектовање, управљање и имплементације.

Прототип је успешно тестиран, изведени су закључци о примени на различитим материјалима, дат је предлог за унапређење машине додавањем треће осе и сензора за праћење рада система на даљину.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] „CNC mašine“ <https://www.industrija.rs/vesti/clanak/cnc-masine>, приступљено 7.10.2023.
- [2] „Best CNC laser cutter“ - <https://www.xtool.com/blogs/buyer-guide/cnc-laser-cutter>, приступљено 7.10.2023.
- [3] др Јован Бајић "Серво и корачни мотори"
- [4] Tree LT-40W-AA USER MANUAL
- [5] Maker Store „CNC Shield Guide“
- [6] GRBL Configuration : <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration>, приступљено 7.10.2023.

Кратка биографија:



Мирна Ћирић рођена је 20.11.1998. године у Приједору где је завршила основну школу и гимназију. ОАС завршила на Факултету техничких наука у Новом Саду на смеру Мехатроника. Контакт е-mail: mirna.ciric98@gmail.com