

# TEORIJSKA POZADINA I PRAKTIČNA PRIMJENA CNC PLAZME

---

Števinović, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:128:664568>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-26**



**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 REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

IVAN ŠTEVINOVIĆ

**TEORIJSKA POZADINA I  
PRAKTIČNA PRIMJENA CNC  
PLAZME**

ZAVRŠNI RAD

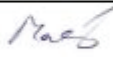
Mentor: dr.sc. Srđan Medić

KARLOVAC, 2023.

## ZADATAK

|  |   |
|--|---|
|  <b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b><br>Karlovo University of Applied Sciences | Klasa:<br>602-11/___-01/___             |
|  | Ur.broj:<br>2133-61-04-___-01<br>Datum: |
| <b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>  |   |

|  |                 |                           |
|--|-----------------|---------------------------|
| Ime i prezime  | Ivan Stevinović |                           |
| OIB / JMBG   |                 |                           |
| Adresa   |                 |                           |
| Tel. / Mob./e-mail                                   |                 |                           |
| Matični broj studenta                                |                 |                           |
| JMBAG  |                 |                           |
| Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija) | preddiplomski   | specijalistički diplomski |
| Naziv studija  |                 |                           |
| Godina upisa   |                 |                           |
| Datum podnošenja molbe                               |                 |                           |
| Vlastoručni potpis studenta/studentice               |                 |                           |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Naslov teme na hrvatskom: TEORIJSKA POZADINA I PRAKTIČNA PRIMJENA CNC PLAZME  |                                    |
| Naslov teme na engleskom: THEORETICAL BACKGROUND AND PRACTICAL APPLICATION OF CNC PLASMA  |                                    |
| Opis zadatka:<br>Teoretski obraditi obradu plazmom. Teorijski objasniti povijest CNC strojeva te postupak pripreme, programiranja i korištenja CNC plazme u procesu rezanja. Na praktičnom primjeru konkretno provesti rezanje plazmom za različite materijale i utjecajne parametre rezanja te provesti kontrolu obradaka. |                                    |
| Mentor:    | Predsjednik Ispitnog povjerenstva: |

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija te navedenu literaturu.

Ovim putem bih se želio zahvaliti svom mentoru profesoru dr.sc. Srđanu Mediću na pomoći tijekom izrade završnog rada, te firmi Metaflex d.o.o. i mentoru Siniši Kolundžiji na ustupljenom korištenju stroja i pomoći pri izvedbi praktičnog dijela te stručnim savjetima.

---

Ivan Števinović

U Karlovcu, \_\_\_\_\_



## SAŽETAK

### TEORIJSKA POZADINA I PRAKTIČNA PRIMJENA CNC PLAZME

Tema ovog završnog rada je rezanje i karakteristike CNC plazma stroja, te se rad sastoji od praktičnog i teorijskog dijela. Teorijski dio obuhvaća povijest CNC strojeva te prolazi kroz cijeli postupak pripreme, programiranja i korištenja CNC plazme za rezanje. Opisane su teorijske greške do kojih može doći te je napravljena teorijska usporedba sa CNC laserom.

U praktičnom dijelu je prikazan postupak iz stvarne prakse pripreme komada, programiranje stroja za rezanje. Na stroju su rezani različiti metali na različitim postavkama kako bi bile uočljive neke pogreške do kojih dolazi u stvarnosti tijekom rezanja plazmom.

Cilj ovog rada je opisati postupak rezanja na različitim materijalima te prikazati razlike u kvaliteti reza te koliko ovisi kvaliteta reza o različitim parametrima.

Ključne riječi: CNC stroj, plazma, obradak, rez, programiranje

## **SUMMARY**

### **THEORETICAL BACKGROUND AND PRACTICAL APPLICATION OF CNC PLASMA**

The topic of this thesis is Cutting and characteristics of the plasma CNC machine, and it is made up of a practical and theoretical section. The theoretical part covers the history of CNC machines and describes the entire process of preparing, programming and using the CNC plasma for cutting. The theoretical section describes errors that can occur and a comparison with a CNC laser cutting machine is made.

The practical part shows the procedure from actual practise. It shows preparing pieces, programming the machine and cutting. Different metals were cut on the machine at different settings so that some of the errors that occur in reality during plasma cutting can be observed.

The goal is to describe the cutting process on different materials and to show difference in cut quality and how much that quality depends on different parameters.

Keywords: CNC machine, plasma, workpiece, cut, programming

**SADRŽAJ**

|  |    |
|--|----|
| ZADATAK.....   | 1  |
| IZJAVA.....  | 2  |
| SAŽETAK.....   | 3  |
| SUMMARY .....  | 4  |
| POPIS SLIKA .....  | 6  |
| POPIS OZNAKA.....  | 8  |
| 1. UVOD U CNC- POVIJEST.....   | 9  |
| 1.1. Vrste strojeva .....  | 10 |
| 1.2. Dijelovi stroja.....  | 11 |
| 1.3. Programiranje stroja putem G-koda .....                               | 14 |
| 1.4. Primjena CNC stroja.....  | 15 |
| 2. PLAZMA- TEORIJSKI OPIS PLAZME.....                                      | 16 |
| 2.1. Gdje se koristi plazma .....  | 17 |
| 3. REZANJE PLAZMOM NA CNC STROJU.....                                      | 18 |
| 3.1. Prijenosna CNC plazma.....  | 18 |
| 3.2. Stolna plazma .....   | 19 |
| 3.3. Plazma za rezanje cijevi .....  | 20 |
| 3.4. Postupak programiranja.....   | 21 |
| 3.5. Priprema.....   | 22 |
| 3.6. Kontrola kvalitete – pogreške koje mogu nastati.....                  | 23 |
| 3.6.1. Iskakanje materijala.....   | 23 |
| 3.6.2. Gubitak pozicije .....  | 24 |
| 3.6.3. Gašenje plamena .....   | 25 |
| 3.7. Teorijska usporedba sa CNC laserom .....                              | 25 |
| 4. REZANJE METALA SA CNC PLAZOM- OPIS STROJA.....                          | 27 |
| 4.1. Programiranje obradka.....  | 28 |
| 4.2. Priprema komada .....   | 29 |
| 4.3. Rezanje čelične pločevine S235 debljine 5 mm.....                     | 30 |
| 4.4. Rezanje inoxa debljine 5mm, standarda kvalitete AISi 304 1.4301 ..... | 35 |
| 4.5. Rezanje aluminijskog lima AlMg3 debljine 5 mm.....                    | 40 |
| 5. ZAKLJUČAK.....  | 47 |
| LITERATURA.....  | 48 |

**POPIS SLIKA**

|  |    |
|--|----|
| Slika 1.: Traka sa probušenim rupama koja se koristila u telekomunikaciji .....    | 9  |
| Slika 2.: Arduino upravljačka jedinica .....                                       | 11 |
| Slika 3.: Shema povratne sprege .....  | 12 |
| Slika 4.: Kontrolna ploča stroja .....   | 13 |
| Slika 5.: Primjer G koda .....   | 14 |
| Slika 6.: FastCUT software za rezanje cijevi .....                                 | 14 |
| Slika 7.: Plazma CNCu brodogradilištu Brodosplit .....                             | 15 |
| Slika 8.: Molekulska shema plazme .....  | 16 |
| Slika 9.: Prijenosni plazma CNC .....  | 18 |
| Slika 10.: Rezanje sa prijenosnom CNC plazmom .....                                | 18 |
| Slika 11.: Stolni plazma CNC .....   | 19 |
| Slika 12.: Rezanje sa stolnom CNC plazmom .....                                    | 19 |
| Slika 13.: Plazma CNC za rezanje cijevi .....                                      | 20 |
| Slika 14.: Rezanje cijevi na CNC plazmi za cijev .....                             | 20 |
| Slika 15.: Rezanje četverokutne cijevi na CNC plazmi .....                         | 21 |
| Slika 16.: Žutom crtom definiran put pištolja i ulaz i izlaz .....                 | 22 |
| Slika 17.: Izrezani dio obratka je iskočio iz pozicije i može uzrokovati sudar ... | 23 |
| Slika 18.: Gubitak pozicije tijekom rezanja .....                                  | 24 |
| Slika 19.: Trumpf Trulaser 3030 .....  | 25 |
| Slika 20.: Rezanje lima sa laserom .....   | 26 |
| Slika 21.: CNC CAT CNC IXO 2040 .....  | 27 |
| Slika 22.: Hyperterm Powermax 125 .....  | 28 |
| Slika 23.: Programiranje komada na kontrolnoj ploči .....                          | 29 |
| Slika 24.: Prvi izrezani komad iz čelične pločevine .....                          | 30 |
| Slika 25.: Mjerenje prve dimenzije uz pomoć pomičnog mjerila .....                 | 31 |
| Slika 26.: Mjerenje druge dimenzije pomičnim mjerilom .....                        | 31 |
| Slika 27.: Rez drugog komada koji nije uspio .....                                 | 32 |

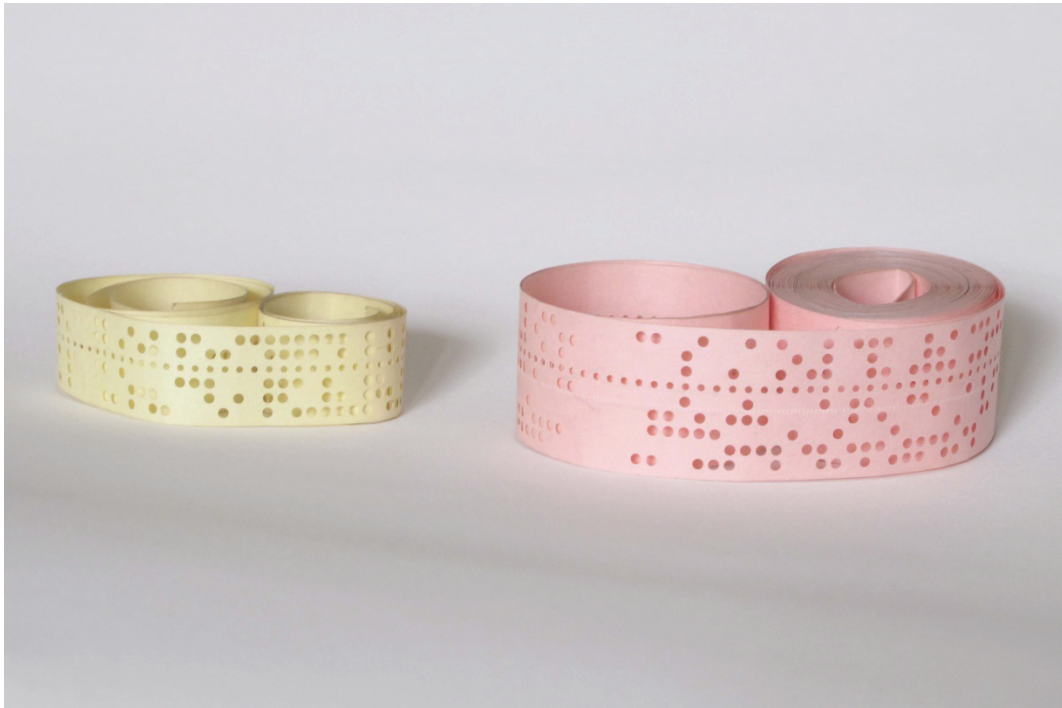
|  |    |
|--|----|
| Slika 28.: Rez trećeg komada .....                         | 33 |
| Slika 29.: Rez četvrtog komada .....                       | 34 |
| Slika 30.: Poledina neuspjelog reza četvrtog komada .....  | 34 |
| Slika 31.: Provjera prve dimenzije na komadu .....         | 35 |
| Slika 32.: Mjerenje druge dimenzije .....                  | 35 |
| Slika 33.: Neuspjeli rez 2 .....                           | 36 |
| Slika 34.: Treći izrezani komad .....                      | 37 |
| Slika 35.: Četvrti rez nije uspio .....                    | 38 |
| Slika 36.: Peti rez koji nije uspio .....                  | 39 |
| Slika 37.: Poledina 5. reza .....                          | 39 |
| Slika 38.: Prvi izrezani komad iz aluminijskog lima .....  | 40 |
| Slika 39.: Mjerenje prve dimenzije .....                   | 41 |
| Slika 40.: Mjerenje druge dimenzije .....                  | 41 |
| Slika 41.: Drugi rez koji nije bio uspješan .....          | 42 |
| Slika 42.: Treći rez na aluminijskom limu .....            | 43 |
| Slika 43.: Četvrti komad .....                             | 44 |
| Slika 44.: Poledina četvrtog komada na kojoj ima srh ..... | 44 |
| Slika 45.: Peti komad koji je zadovoljavao .....           | 45 |
| Slika 46.: Na petom komadu nema srha .....                 | 45 |
| Slika 47.: Mjerenje prve dimenzije na petom komadu .....   | 46 |
| Slika 48.: Mjerenje druge dimenzije .....                  | 46 |

## POPIS OZNAKA

|   |        |                    |
|---|--------|--------------------|
| I | A      | amper              |
| L | mm     | duljina            |
| b | mm     | širina             |
| k | mm     | pola debljine reza |
| V | mm/min | brzina rezanja     |
| m | kg     | kilogram           |
| t | s      | sekunda            |

## 1. UVOD U CNC- POVIJEST

CNC strojevi u 1940-tim i 1950-tim godinama bazirali su se na trakama sa probušenim rupama, koje su se u tom vremenskom periodu koristile u telekomunikaciji i pohrani podataka. (Slika 1.)



Slika 1: Traka sa probušenim rupama koja se koristila u telekomunikaciji

Prvo računalo na svijetu je napravljeno 1946. godine. 6 godina kasnije, oko 1952. godine, tehnologija računala je primijenjena na alatne strojeve. Prvi CNC je napravljen u Sjedinjenim američkim državama. 1948. godine zrakoplovstvo SAD-a je krenulo u razvoj opreme za proizvodnju elisa koje su bile potrebne avionima. Zbog kompleksnog oblika, kompleksne geometrije, niske tolerancije i potrebe za visokom preciznošću predložena je ideja alatnog stroja. 1949. uz pomoć ureda za istraživanje sa MIT-a započet je razvoj CNC alatnog stroja. 1952. godine uspješno je testirana prva trodimenzionalna glodalica. U serijsku proizvodnju je ušla 1957. godine. Ovim potezom je započeto doba CNC strojeva u proizvodnji. Uz CNC strojeve razvija se CAD ( computer aided design ) i CAM ( computer aided machining ). 1989 CAD i CAM softverski kontrolirani strojevi postaju industrijski standard. [1]

## 1.1. Vrste strojeva

Najčešće izvedbe CNC strojeva su glodalice, tokarilice i brusilice. Glodalice mogu obrađivati materijale kao što su metali, drvo, plastika i još mnoge druge. Glodalice dijelimo na horizontalne, vertikalne, portalne, univerzalne glodalice te glodači obradni centar. Glodači obradni centar može biti 3D ili 5D. Obradu vrše pomoću vretena te alata za rezanje. Prema zadanim uputama sa računala vreteno se giba u smjeru određene osi. Takvo gibanje naziva se translacijskim gibanjem. Alat ima rotacijsko gibanje koje mu omogućuje odvajanje strugotine od obratka. Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica kojim izrađujemo prvenstveno kutijaste dijelove, te se kao alat koristi glodalo s više oštrica određene rezne geometrije. Tokarilice su alatni strojevi namijenjeni pretežno obradi rotaciono simetričnih obradaka. Kao rezni alat se koristi tokarski nož s jednom oštricom u zahvatu s obratkom. Glavno gibanje je rotacija obradka, koje vrši glavno vreteno ili motorvreteno. Pomoćno gibanje je pravocrtno gibanje alata. Brusilice oblikuju obradak u željeni oblik pomoću brusne ploče koja rezanje vrši istovremeno s mnogo oštrica. Glavno gibanje kod brušenja je rotacija alata. Brusilice se mogu jednostavno programirati pa se koriste za projekte kod kojih nije potrebna velika preciznost.

Postoji još oblika CNC strojeva, kao što su 3D printeri i štanice. Glavna prednost CNC strojeva je to što se mogu prilagoditi za bilo kakav zadatak, bio on kompleksan ili jednostavan.[2]



## 1.2. Dijelovi stroja

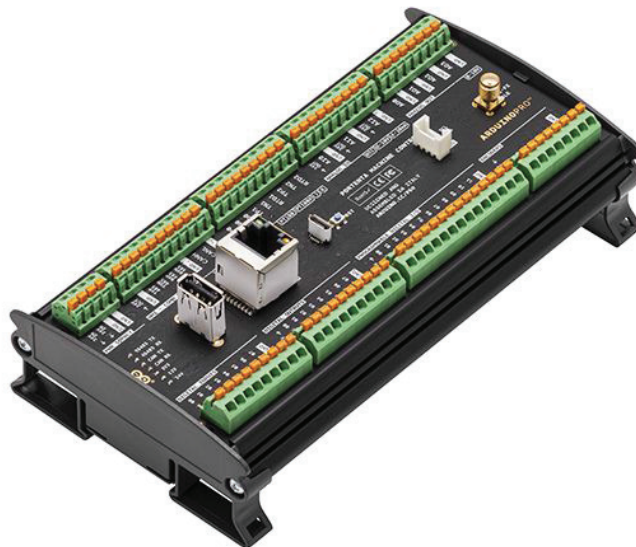
Neki dijelovi se koriste na više strojeva, dok su neki specifični za određeni stroj.

### 1. Ulazni uređaj

Ulazni uređaj za CNC stroj omogućuje unos G-koda u stroj. To može biti tipkovnica, USB port ili wireless način komunikacije. [6]

### 2. Upravljačka jedinica stroja

Upravljačka jedinica stroja je kombinacija software-a i hardware-a koji čitaju G-kod i prevode ga u upute za stroj. Ovo je jedna od najvažnijih komponenti u CNC stroju. Upravljačka jedinica G-kod pretvara u pokrete koje vrše servo motori. Procesira povratne informacije od senzora, kontrolira automatsku izmjenu alata te uključuje i isključuje emulziju. (Slika 2.) [6]



Slika 2: Arduino upravljačka jedinica

### 3. Alati

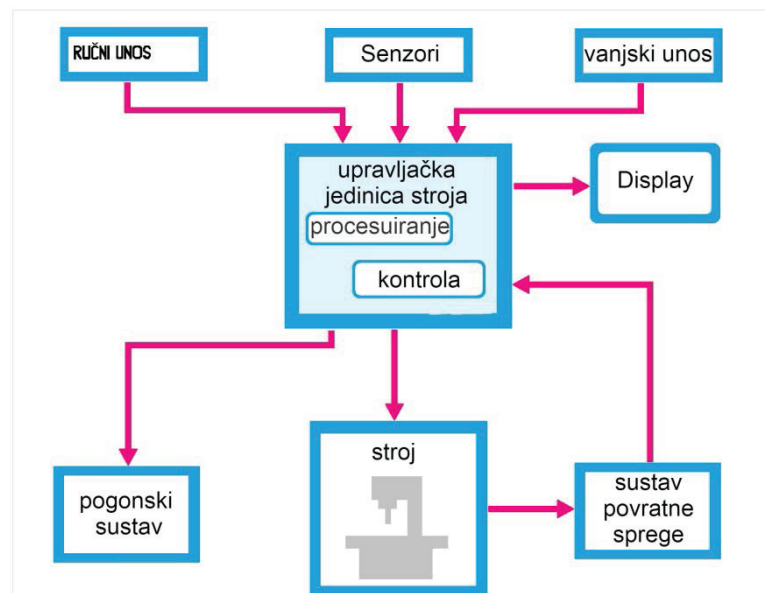
Izvršavaju izmjene na obratku te ga formiraju u završni dio. Mogu biti pokretni (glodalo), stacionarni ( tokarski nož). Alati se često nalaze u samom stroju te se mogu zamijeniti po potrebi. [6]

### 4. Pogonski sustav

Pogonski sustav pomiče alat ili stol u smjeru zadanih osi. Često se sastoji od servo motora, kugličnog navojnog vretena sa dvodijelnom maticom i linearnih vodilica. [6]

### 5. Sustav povratne sprege

Unatoč velikoj preciznosti, potrebno je potvrditi da je pogonjeni dio stroja u određenoj poziciji u određenom trenutku. Svrha ovoga sistema je kontrola i prilagodba sustava. (Slika 3.) [6]



Slika 3.: Shema povratne sprege

### 6. Display

Display je ekran koji pokazuje važne informacije operateru. Mogu biti visoke rezolucije ili niske ovisno o stroju. [6]

### 7. Stol ili postolje

Stol ili postolje je dio stroja na koji se pričvršćuje sirovac, te ostali držači za obratke. Stol ima T-otvore ili provrte preko kojih se sirovac pričvršćuje. Kod tokarilica ovu ulogu vrši amerikaner. [6]

## 8. Kontrolna ploča

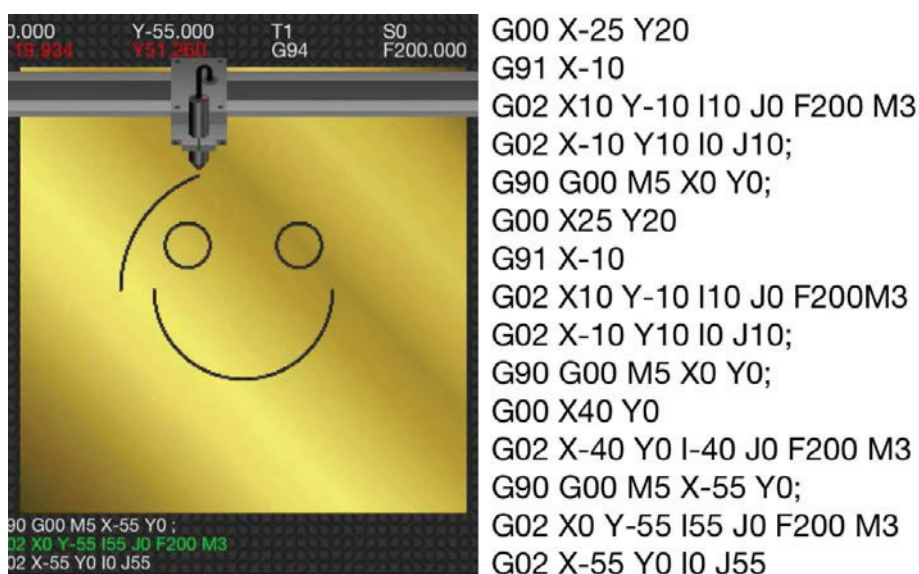
Na kontrolnoj ploči se nalaze sve kontrole vezane za stroj. Ondje se nalazi ulazni uređaj, display, tipkovnica ili ostale tipke vezane za kontrolu operacija stroja. (Slika 4.) [6]



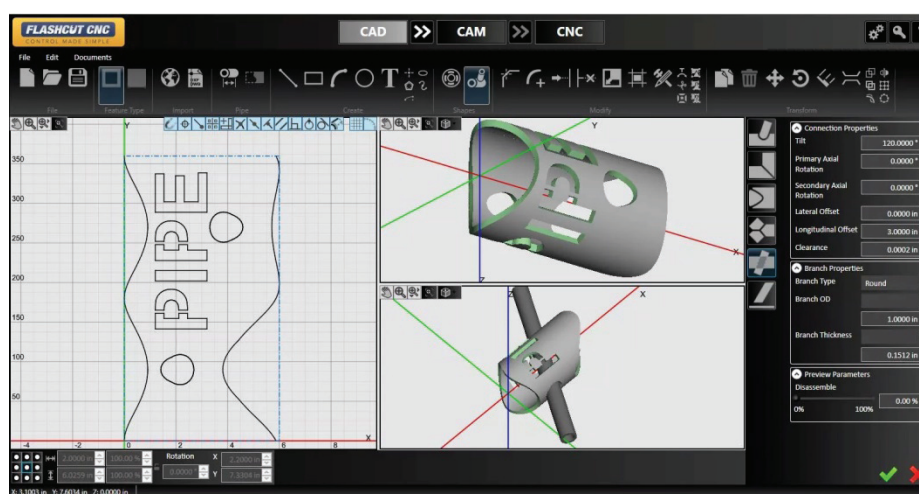
Slika 4.: Kontrolna ploča stroja

### 1.3. Programiranje stroja putem G-koda

G-kod se sastoji od određenih zapovjedi i uputa koje stroj čita i pomoću njih vrši zadane operacije. (Slika 5.) G-kod može definirati posmak, rotacijsku brzinu alata te uključivanje i isključivanje emulzije. Jednostavni dijelovi se mogu programirati ručno, dok se danas većinom svi dijelovi programiraju u software-skim paketima koji su predviđeni za određeni tip stroja i operacije koje želimo vršiti. Među jednim od češće korištenih software-a su SolidCAM, MasterCAM koji se primjenjuju većinom za glodalice dok se za plazmu i lasere koriste FastCAM i FlashCut. FlashCut se koristi za rezanje perforacija u cijevima na CNC-u koji je specijalno napravljen za rezanje cijevi i čeličnih greda. (Slika 6.)



Slika 5.: Primjer G koda



Slika 6: FastCut software za rezanje cijevi

#### 1.4. Primjena CNC stroja

CNC strojevi se primjenjuju u mnogim industrijama. Možemo ih vidjeti u brodogradnji kako se koriste za rezanje broskog čelika i obrađivanje ostalih materijala, (Slika 7.) u dentalnoj medicini se primjenjuju 3d printeri koji služe za izradu kruna za zube. CNC strojevi su rasprostranjeni po skoro svim granama industrije. Ključ njihove velike primjene je sposobnost prilagodbe i velike preciznosti u obavljanju zadataka.

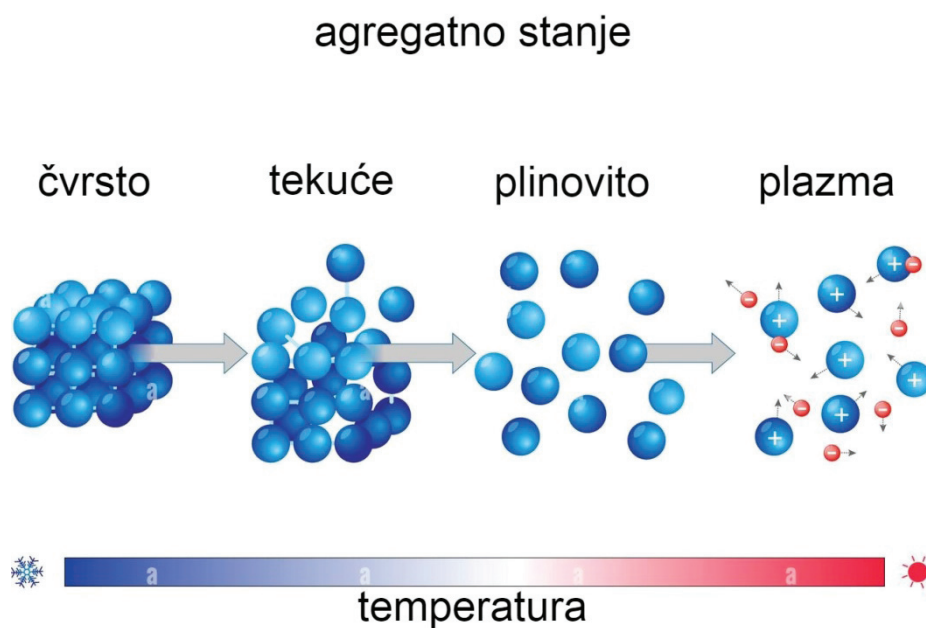


Slika 7: Plazma CNC u brodogradilištu Brodosplit



## 2. PLAZMA- TEORIJSKI OPIS PLAZME

Plazma je agregatno stanje kao čvrsto, tekuće ili plinovito stanje. Zbog dovođenja topline materijalu, molekule se počinju gibati sve brže. Kada se materijal zagrije, molekule se gibaju sve snažnije. Materijal se pretvori u tekućinu i molekule se sudaraju jedna s drugom. Kako gibanje molekula postaje sve brže i snažnije, one se sudaraju tako snažno da se počnu odvajati i formiraju plin. Ako nastavimo dovoditi energiju molekulama, plin će postati plazma. Plazma nastaje kada je kinetička energija u plinu toliko velika, da se počnu odvajati elektroni od atoma. Plazma je ionizirani plin. Kada atom ostane bez elektrona on postaje ion. Ako se dovodi dovoljno energije plinu da se uspostavi ravnoteža između otpuštenih elektrona i onih koji se prirodno vežu sa slobodnim elektronima, kaže se da je plin ioniziran. (Slika 8.) [7]



Slika 8: Molekulska shema plazme

## **2.1. Gdje se koristi plazma**

Rezanje CNC plazmom se primjenjuje u metalurškoj industriji, brodogradnji te u građevini u obliku prijenosnih CNC plazma rezača. Primjenjuje se i u manjim obrtima, jer su CNC plazma strojevi postali jeftini i dostupni svima. Relativno jednostavno se mogu programirati, jednostavni su za upotrebu te se uz neko vrijeme provedeno na stroju mogu postići vrlo dobri rezultati i preciznost kod samog rezanja. Koriste se u rezanju na terenu te rezanju u proizvodnim halama, te se koriste u hobby radionama u svrhu rezanja. [10]

### 3. REZANJE PLAZMOM NA CNC STROJU

Postoji više vrsta CNC plazma strojeva. Svaka vrsta stroja ima svoje prednosti i mane te se koristi za određene zadatke. Postoji prijenosna CNC plazma, stolna plazma te plazma za rezanje cijevi.

#### 3.1. Prijenosna CNC plazma

Prijenosni plazma CNC stroj je jeftiniji i manji u usporedbi sa stolnim plazma cnc strojem. Stroj je često montiran na dvije longitudinalne linearne vodilice. Jednostavnog je dizajna, nije kompliciran za programiranje, može se koristiti i bez stručne obuke. Vodilice su izrađene od posebne industrijske aluminijske legure male mase, nije ih lako deformirati i prikladne su za pomicanje. Glavna prednost ovakvih strojeva je to što nisu skupi i mogu se lako transportirati. (Slika 9.) Glavna mana prijenosne cnc plazme je što nema veliku stabilnost kao CNC plazma sa stolom te vibracije puno više utječu na nju. (Slika 10.) [4]



Slika 9.: Prijenosni plazma CNC



Slika 10.: Rezanje sa prijenosnom CNC plazmom

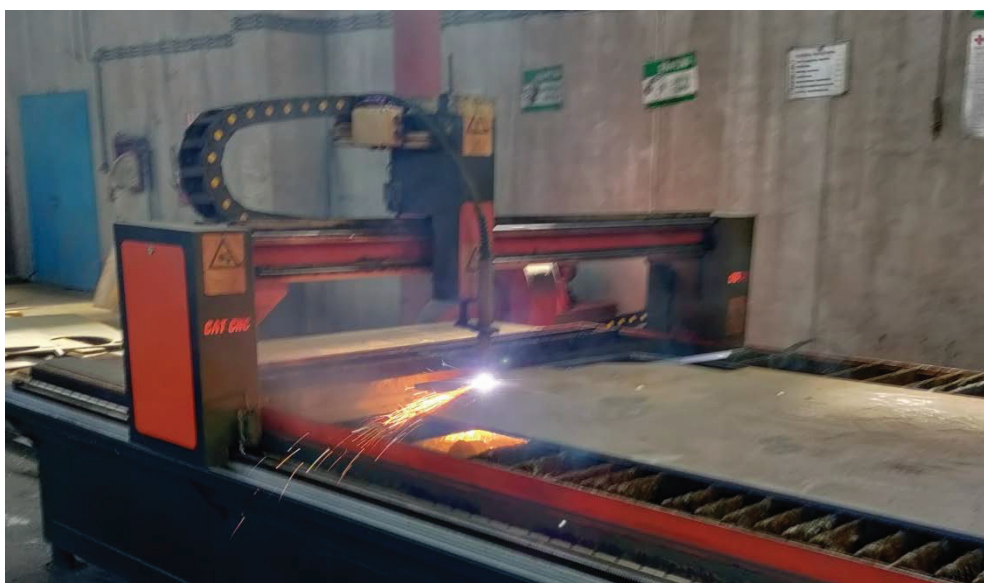


### 3.2. Stolna plazma

Stolna CNC plazma je skuplja od prijenosne plazme. Ima veliku stabilnost, dobru krutost, te prednost pri rezanju debljih čelika i aluminijevih limova. Koristi se za rezanje raznih metala kao što su čelici, nehrđajući čelici, aluminijevi limovi i ostali metali. Može rezati sve veličine, od velikih debelih pločevina do tanjih pločevina. Maksimalna veličina pločevine koja se može rezati ovisi o jačini plazme te o dimenzijama samog stola. [6]



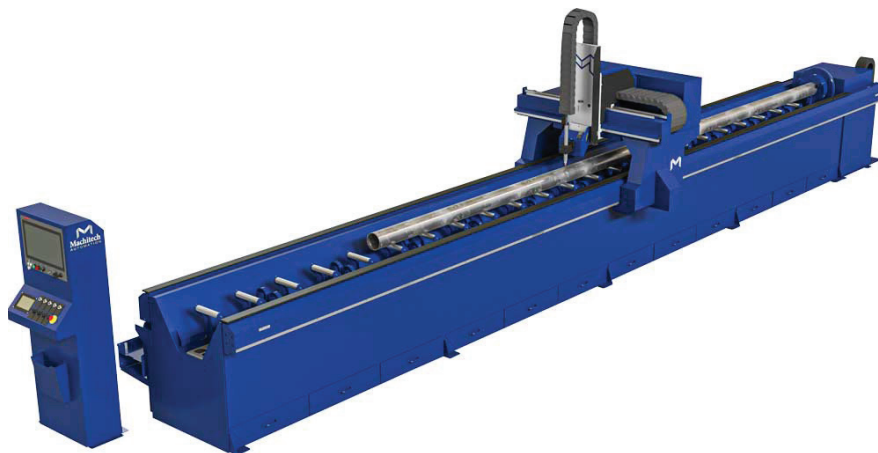
Slika 11.: Stolna plazma CNC



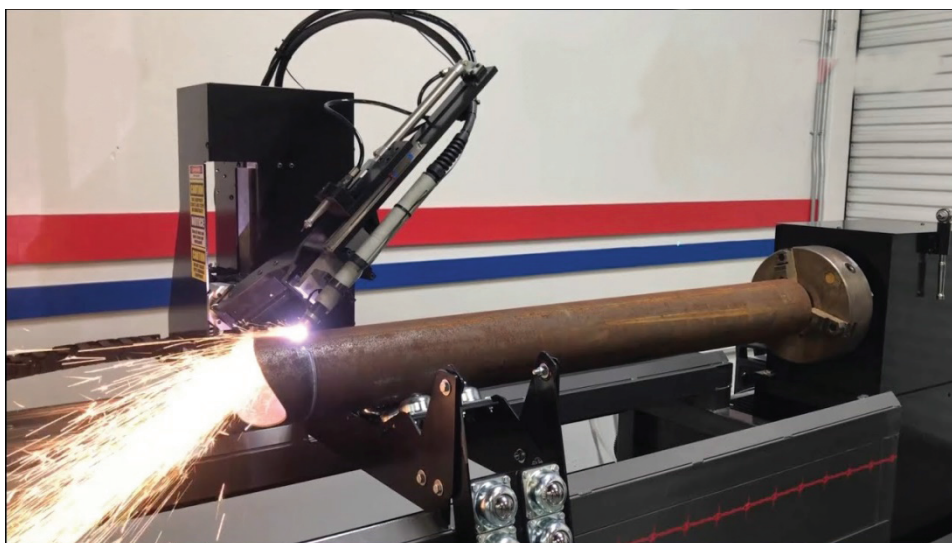
Slika 12.: Rezanje sa stolnom CNC plazmom

### 3.3. Plazma za rezanje cijevi

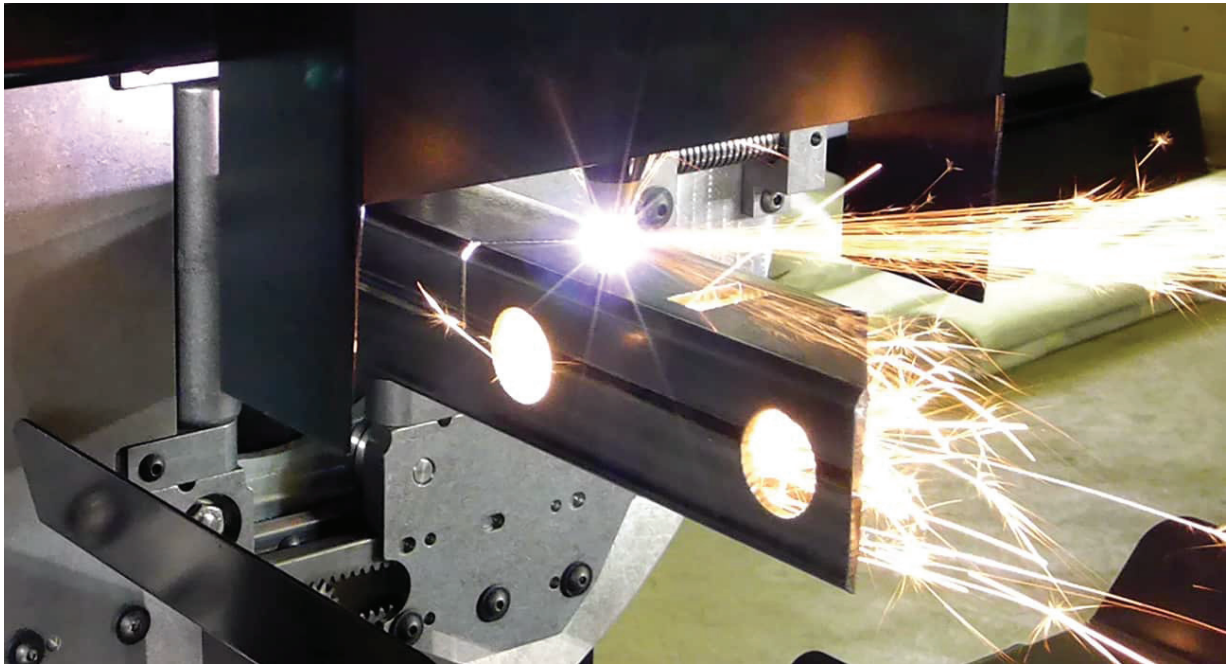
Stroj za rezanje cijevi uz pomoć plazme je stroj koji se koristi za rezanje različitih oblika cijevi ili greda, poput četvrtastih cijevi, okruglih cijevi, H greda i raznih profila. Osim linearnog gibanja pištolja po x,y i z osi imamo i linearno gibanje amerikanera te rotacijsko gibanje amerikanera. Linearno gibanje amerikanera se koristi za pomicanje cijevi u poziciju za rezanje. Kod nekih strojeva linearno gibanje amerikanera zamjenjuje y os gibanja pištolja. Kombinirajući ova gibanja, stroj ima mogućnost rezati bilo kakav oblik u cijevi. Modeli rezača cijevi za plazmu uglavnom se određuju duljinom same cijevi koju želimo rezati. Set CNC sustava za rezanje cijevi se najčešće sastoji od: nosača baklje, dijela za rotaciju cijevi, okvira za hranjenje, CNC upravljača i plazma napajanja s strojnom bakljom. [3] Istodobno kretanje nekoliko osi pomoću CNC tehnologije omogućuje glatke, precizne i ponovljive putanje alata.[13]



Slika 13.: Plazma CNC za rezanje cijevi



Slika 14.: Rezanje cijevi na CNC plazmi za cijevi

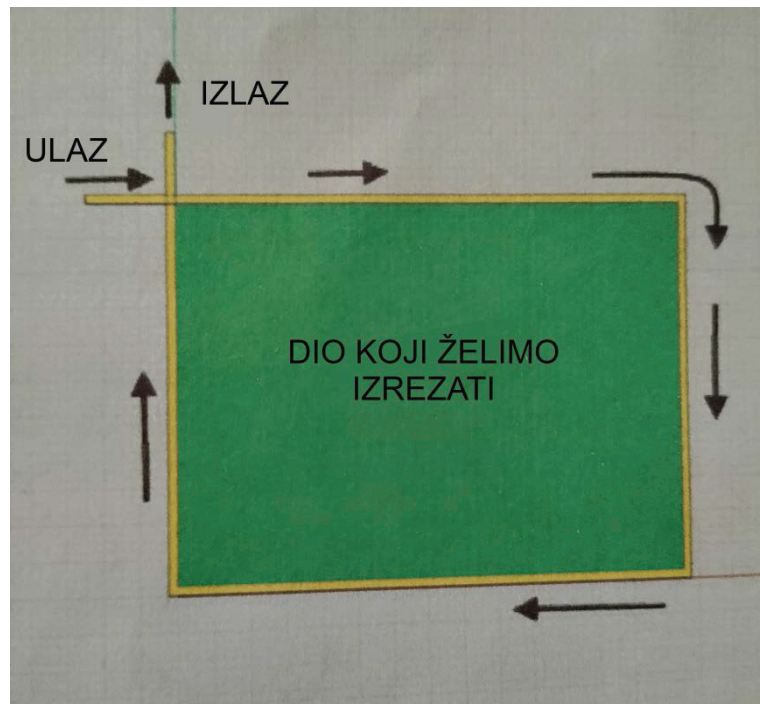


Slika 15.: Rezanje četverokutne cijevi na CNC plazmi

### 3.4. Postupak programiranja

CNC stroj se programira u software-u koji je prikladan za operacije stroja. Na primjer za glodalice je najpopularniji MASTERCAM, dok se za CNC plazmu većinom koriste fastCAM ili SMARTCUT. U software-u se podešavaju svi parametri rezanja kao što su ulazi, izlazi te vrijeme probijanja. Smjer rezanja je bitan faktor jer je to parametar koji određuje smjer kojim baklja putuje te utječe dosta na kvalitetu. To je zato što rupe u vrtložnom prstenu proizvode vrtlog u mlazu plazme. Mora se obratiti pažnja na redoslijed rezanja. Provrti i perforacije se moraju rezati prije završnog geometrijskog profila. Ako se najprije izreže završni oblik, obradak se može smaknuti. Kod određivanja ulaza i izlaza mora se paziti gdje se pali i gasi baklja. Kod prvog probijanja može se pojaviti višak troske. Ulaz i izlaz se uobičajeno određuju u istom kutu. (Slika 16.) [7]





Slika 16.: Žutom crtom definiran put pištolja i ulaz i izlaz

### 3.5. Priprema

Prije početka rezanja potrebno se pobrinuti da je pri ruci sva zaštitna oprema. U zaštitnu opremu spadaju zaštitne naočale, zaštita za sluh, rukavice, kombinezon i aparat za gašenje požara. Također se mora osigurati da ima dovoljno ventilacije u prostoriji. Nakon toga radi se provjera samog stroja. Provjerava se je li stroj pravilno postavljen, te vide li se kakva oštećenja na stroju. Provjerava se je li mlaznica u baklji istrošena, te je li postavljena dobra mlaznica za rez koji se radi. Nakon toga provjerava se kompresor, je li u sustavu dovoljan pritisak. Nakon što se potvrdi da je stroj spreman, pločevina se namješta na stol. Namještaju se postavke na upravljačkoj konzoli. Pištolj se pozicionira u početnu točku i namješta se visina pištolja, to jest udaljenost vrha pištolja od materijala. Promatra se prvi rez te ako se primijete greške moraju se primijeniti ispravke. [7]

### 3.6. Kontrola kvalitete – pogreške koje mogu nastati

Tijekom korištenja CNC plazme te rezanja sa CNC plazmom može doći do određenih pogrešaka. Pogreške mogu nanijeti ozbiljnu štetu stroju te mogu usporiti i zaustaviti proizvodnju. Prilikom rezanja se mora promatrati sam proces, te se greške moraju uočiti na vrijeme kako bi se što efikasnije spriječilo nastajanje bilo kakve štete.

#### 3.6.1. Iskakanje materijala

Do iskakanja materijala dolazi kada obradak djelomično propadne kroz rešetke, a dio obradka strši izvan površine rezanja. Dio koji strši može uzrokovati sudar sa bakljom. Ako se primijeti iskakanje materijala, mora se zaustaviti stroj, maknuti dio koji smeta, trebaju se nositi rukavice i primijeniti doza opreznosti jer je obradak vruć, te ponovno pokrenuti stroj. Mora se paziti da se ne pomakne materijal koji se reže. (Slika 17.) [7]



Slika 17.: Izrezani dio obratka je iskočio iz pozicije i može uzrokovati sudar

### 3.6.2. Gubitak pozicije

Ako se primijeti da je došlo do pomicanja materijala nakon početka rezanja, mora se zaustaviti stroj. Ako se ne zaustavi stroj, postoji šansa da materijal neće biti dobro izrezan te da obradak neće biti željenog oblika. (Slika 18.) [7]



Slika 18.: Gubitak pozicije tijekom rezanja

### 3.6.3. Gašenje plamena

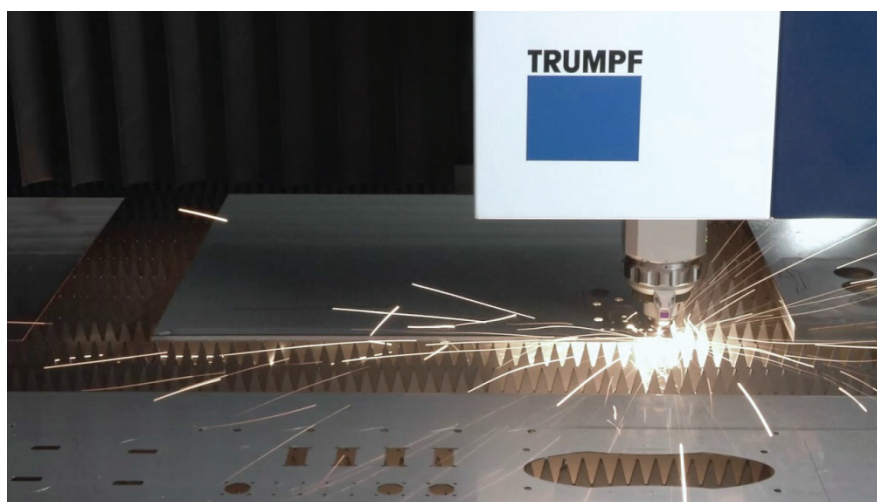
Gašenje plamena je kada se baklja ugasi dok reže konturu dijela. Uzrok gašenja plamena je gotovo uvijek prevelika udaljenost vrha baklje od materijala ili prijelaz preko već izrezane konture. Ako se primijeti da je došlo do gašenja plamena, mora se smjesta zaustaviti stroj. [7]

## 3.7. Teorijska usporedba sa CNC laserom

Prednost lasera nad plazmom je ta što se laserom mogu rezati, bušiti, zavarivati te označavati materijale. Također se mogu obrađivati razni materijali kao što su metali, drvo, plastika, guma i keramike. Rezanje s laserom je jako precizno, može se fokusirati na vrlo malu površinu. Plazmom se mogu rezati samo materijali koji provode električnu energiju. Plazmi je potrebno manje održavanja i jeftiniji je izbor od lasera. Laser je brži, može se rezati više materijala i precizniji je. Laser ne može rezati deblje čelike te su skuplji od CNC plazme. Moderni laseri imaju mogućnost rezanja 3D oblika sa kompliciranom geometrijom, također mogu se koristiti za zavarivanje te označavanje različitih materijala. [8] Plazma može rezati pod vodom te se tako rješava problem para i bljeskova.[11]. Nakon rezanja laserom nije potrebna dodatna obrada, dok nakon plazme je. [12]



Slika 19.: Trumpf Trulaser 3030



Slika 20.: Rezanje lima sa laserom



#### 4. REZANJE METALA SA CNC PLAZOM- OPIS STROJA

Metali su rezani na stolnoj plazmi marke CAT CNC IXO 2040. (Slika 21.) Model je kompaktni stroj sa radnim stolom dimenzija 2000 x 4000 mm. Oprema koja se koristi za rezanje je Hypertherm Powermax 125. (Slika 22.) Stroj je proizveden za precizno rezanje svih vrsta metala u visokoj kvaliteti reza prema ISO 9013 standardu. Masa stroja je 1800 kilograma, maksimalna brzina rezanja je 30 m / min. Stroj ima raspon snage od 45 do 300 A te može rezati crni čelik do 40mm debljine.



Slika 21.: CNC CAT CNC IXO 2040

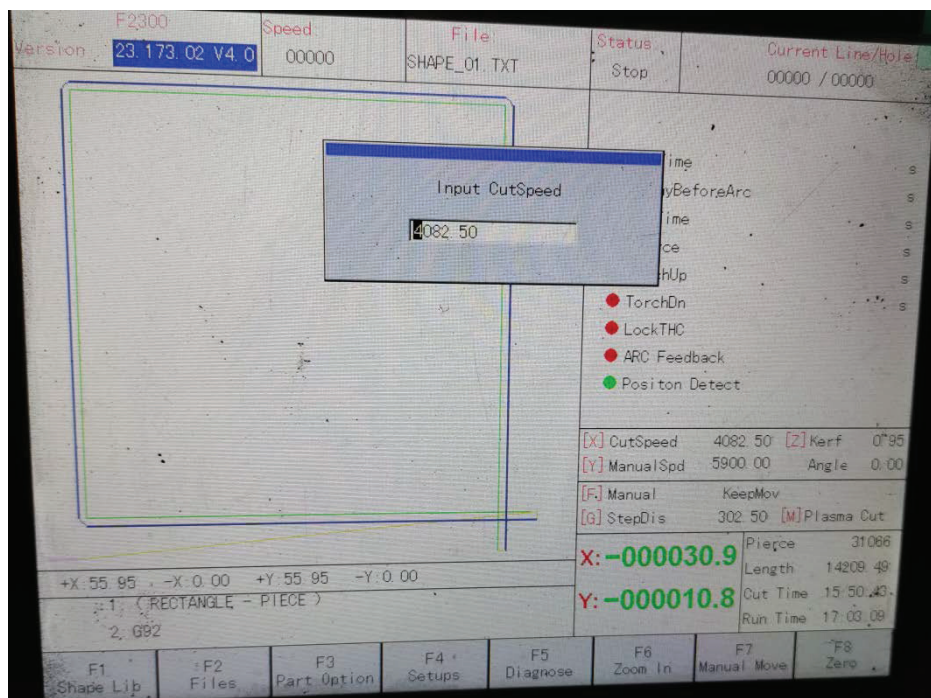


Slika 22.: Hypertherm Powermax 125

#### 4.1. Programiranje obradka

Kompleksni obradci se programiraju u software-u FastCAM. U FastCAM-u određuje se smjer kretanja, brzina rezanja, redoslijed rezanja te ulazi i izlazi. Kod određivanja ulaza i izlaza mora se paziti da ulaz i izlaz odgovaraju s obzirom kakva geometrija je zadana. Rezani su jednostavni geometrijski oblici te nisu morali biti programirani u software-u FastCAM. Stroj ima mogućnost programiranja jednostavnih geometrijskih oblika direktno na kontrolnoj ploči. (Slika 23.) Ondje se određuju dimenzije, debljina, brzina rezanja, početno vrijeme probijanja, snaga struje i pola debljine reza. Pri ruci je dobro imati prisutnu tablicu sa vrijednostima koje preporuča proizvođač. Parametri koje proizvođač preporuča daju najkvalitetniji mogući rez uz najbolju moguću dozu ekonomičnosti i vremena rezanja. Ukoliko nije bitna sama kvaliteta reza jer obradak ide na dodatnu obradu, koriste se parametri koji su zadani u tablici jer tako će se uštedjeti na vremenu i novcu. Ako se želi najbolja moguća kvaliteta reza moraju se prilagoditi parametri te isprobati rezanje na otpadnom komadu kako bi se vidjelo odgovara li rezultat. Ako rezultat ne zadovoljava, nastavlja se korigirati

parametar dok se ne dobije željeni rezultat. Ako rezultat zadovoljava, nastavlja se s pripremom materijala iz kojeg se izrezuje obradak.



Slika 23.: Programiranje obratka na kontrolnoj ploči

## 4.2. Priprema komada

Nakon što je programiran obradak te kvaliteta reza zadovoljava, namješta se pištolj. Pištolj se namješta u kut materijala kako bi postojao što manji otpadak. Točka u koju se namješta pištolj ovisi o smjeru u kojem se reže. Nakon što se namjesti pištolj, određuje se visina pištolja od materijala. Pištolj ne smije biti previsoko jer će izgubiti kontakt sa materijalom te će doći do gašenja plamena. Ako se pištolj postavi previše nisko, baklja će rastopiti previše materijala te neće biti dobra dimenzija izrezanog obratka. Također postoji šansa da dođe do gašenja plamena jer pištolj izgubi kontakt. Kada se namjesti obradak, prije rezanja pokreće se demonstracijski prolaz koji pokazuje kretanje pištolja bez paljenja baklje. Tijekom demonstracijskog prolaza moguće je vidjeti da li pištolj izlazi iz granice materijala.



### 4.3. Rezanje čelične pločevine S235 debljine 5 mm

Iz čelične pločevine je izrezano ukupno 4 obratka. Prvi obradak je rezan prema preporuci proizvođača. (Slika 24.) Prvi obradak je uzet kao kontrolni obradak jer je mentor iz višegodišnjeg iskustva rezanja zaključio da se sa tim parametrima postiže najbolji rezultat. Kod prvog obratka brzina rezanja iznosila je 3592,5 mm/min, vrijeme prvog probijanja iznosilo je 0.5 sekundi, jakost struje je 65 ampera te debljina polovice reza 0.85 mm. Pritisak u sistemu je tijekom rezanja kod sva 4 komada iznosio 5,5158 bara.



Slika 24.: Prvi izrezani obradak iz čelične pločevine

Nakon završetka rezanja obradak je vizualno prekontroliran. Dobiveni obradak je zadovoljavao kriterij kvalitete. Obradak nije imao srh na sebi. Nakon vizualne kontrole obradak je izmjereno sa pomičnim mjerilom kako bi se provjerile dimenzije. Tijekom programiranja zadana je dimenzija 50 mm x 50 mm. (Slika 25.) Tijekom mjerenja spoznato je da obradak odstupa u oba smjera od zadane dimenzije. Prva izmjerena dimenzija je iznosila 50.38 mm. Druga izmjerena dimenzija je iznosila 49.95 mm. (Slika 26.)



Slika 25.: Mjerenje prve dimenzije uz pomoć pomičnog mjerila



Slika 26.: Mjerenje druge dimenzije pomičnim mjerilom

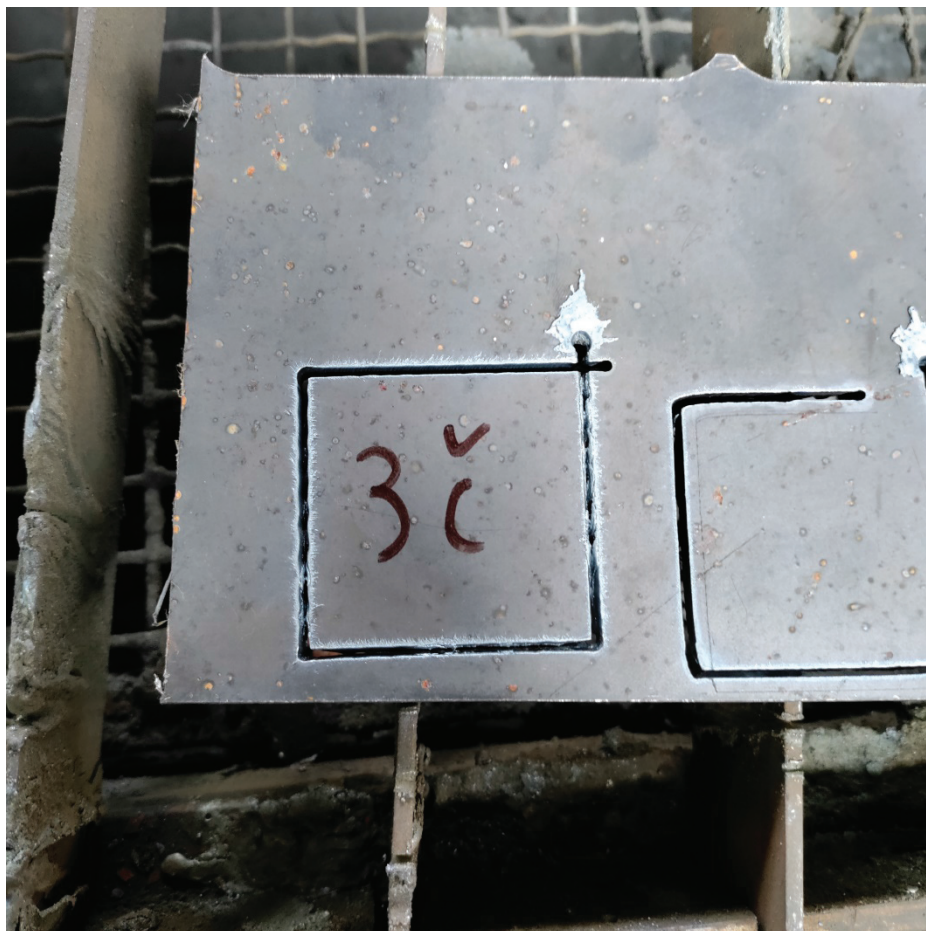
Nakon kontrole prvog obratka, pokrenuto je rezanje drugog obratka. Brzina rezanja je smanjena na 1000 mm/min. Svi ostali parametri su ostali isti kao kod prvog obratka. Stroj nije uspio izrezati obradak do kraja jer je pištolj izgubio kontakt te je došlo do gašenja plamena. Nakon promatranja i kontroliranja obratka zaključeno je da je došlo do gubitka kontakta sa materijalom. Zbog male brzine pištolj se kreće presporo i rastali materijal pa izgubi kontakt i dolazi do gašenja plamena. (Slika 27.)



Slika 27.: Rez drugog obradka koji nije uspio



Za rez trećeg obradka promijenjena je brzina rezanja. Brzina rezanja je povećana na 5000 mm/min. Ostali parametri su ostali isti. Nakon završetka rezanja obavljena je kontrola obradka. Linija reza je spojena u kutu gdje je određen ulaz i izlaz. Obradak nije izrezan jer baklja nije stigla u potpunosti rastaliti materijal zbog prevelike brzine.

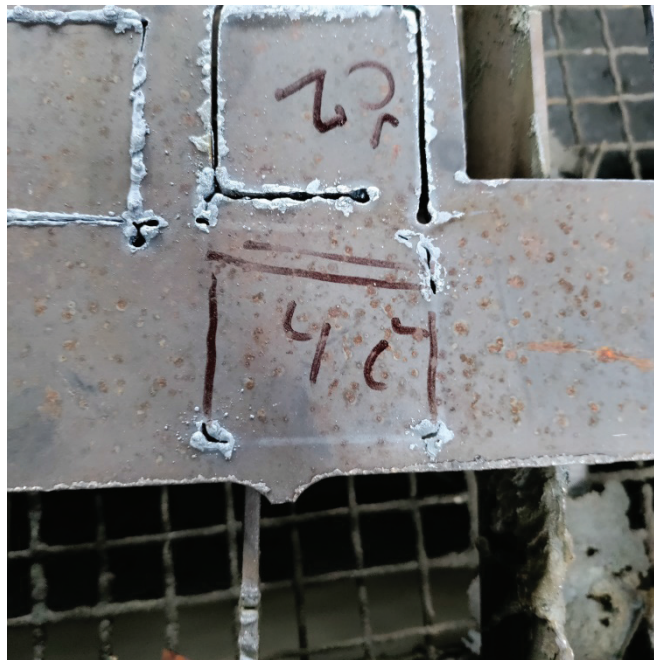


Slika 28.: Rez trećeg obradka

Za rez četvrtog obradka smanjena je jakost struje na 45 ampera te su zadržani ostali parametri od prvog reza. Cilj je bio probati dobiti kvalitetniji rez. Rez nije uspio. Nakon kontrole obradka zaključeno je da nije bilo dovoljno snage da baklja rastali materijal. Na poleđini četvrtog reza je jasno vidljivo da baklja nije uspjela rastaliti materijal.



Slika 29.: Rez četvrtog obradka



Slika 30.: Poleđina neuspjelog reza četvrtog obradka

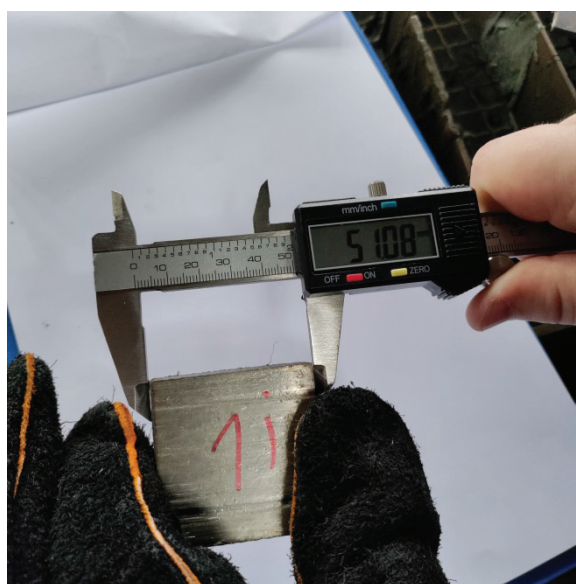


#### 4.4. Rezanje inoxa debljine 5mm, standarda kvalitete AISi 304 1.4301

Iz ploče od inoxa izrezano je 5 obradaka. Rezovi su rađeni sa različitim parametrima kako bi bilo moguće usporediti kvalitetu reza različitih obradaka. Prvi obradak je rezan sa parametrima koje preporučuje proizvođač. Brzina rezanja je iznosila 3557.5 mm/min. Vrijeme prvog probijanja je 0.5 sekundi. Jakost električne struje je postavljena na 65 ampera. Pola debljine reza je postavljeno na 0.85 mm. Pritisak u sistemu je iznosio 5.5158 bara. Rez je obavljen uspješno. Obradak je vizualno prekontroliran te je primijećeno da nema srha. Nakon vizualne kontrole obratku su izmjerene dimenzije uz pomoć pomičnog mjerila. Programirane dimenzije obradka su iznosile 50 mm x 50 mm. Izmjerene dimenzije su odstupale od zadanih. Prva dimenzija je iznosila 50.86 mm (Slika 31.), dok je druga dimenzija iznosila 51.08 mm. (Slika 32.)



Slika 31.: Provjera prve dimenzije na obratku



Slika 32.: Mjerenje druge dimenzije

Kod drugog reza je smanjena brzina rezanja na 1000 mm/min. Ostali parametri su ostali isti. Cilj je bio postići što bolju kvalitetu obradka. Rez nije uspio. Nakon kontrole zaključeno je da je došlo do gašenja plamena. Pištolj se kretao presporo te je baklja rastalila materijal i pištolj je izgubio kontakt sa materijalom. (Slika 33.)



Slika 33.: Neuspjeli rez 2

Za treći rez je povećana brzina rezanja na 2500 mm/min. Rez je uspio. Dobiveni obradak nije imao srh. Prilikom kontrole obradka nije primijećena značajna promjena u dimenzijama komada te nije došlo do značajne i uočljive promijene kvalitete. (Slika 34.)



Slika 34.: Treći izrezani obradak



Za rez četvrtog obradka odlučeno je brzinu rezanja smanjiti na 1500 mm/min. Svi ostali parametri su ostali isti kao kod prvog obradka. Rez nije uspio. Nakon kontrole je zaključeno da je došlo do gašenja plamena. Pištolj se kretao presporo te je baklja rastalila materijal i pištolj je ostao bez kontakta. (Slika 35.)



Slika 35.: Četvrti rez nije uspio

Za rez petog obradka je povećana brzina rezanja na 5000 mm/min. Ostali parametri su ostali isti kao kod prvog obradka. Rez nije uspio. (Slika 36.) Nakon kontrole je zaključeno da baklja nije uspjela rastaliti materijal do kraja jer se pištolj kretao prebrzo. Na poledini materijala se može uočiti kako nije došlo do probijanja. (Slika 37.)



Slika 36.: Peti rez koji nije uspio



Slika 37.: Poledina 5 reza

#### 4.5. Rezanje aluminijskog lima AlMg3 debljine 5 mm

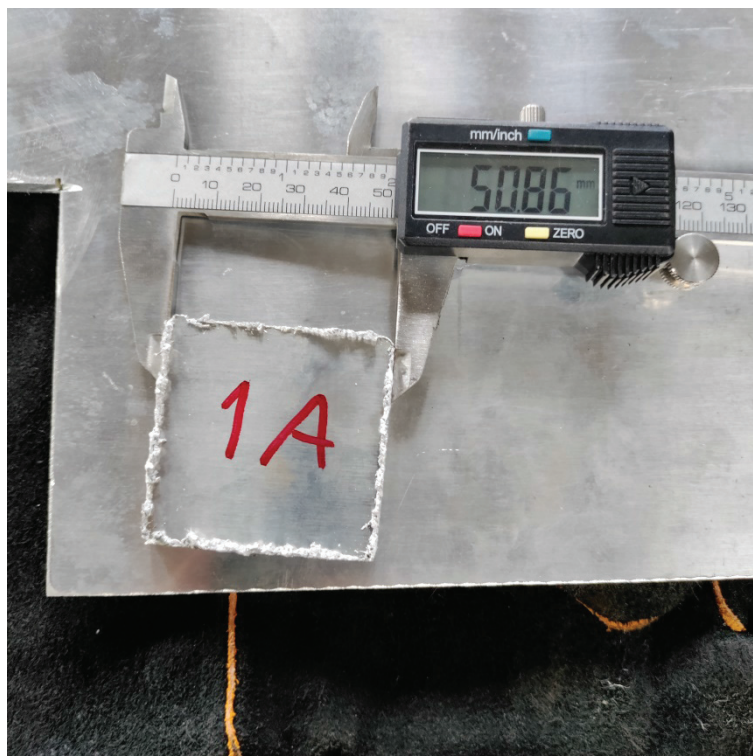
Rezan je aluminijски lim debljine 5 mm. Ukupno je napravljeno 5 rezova. Prvi obradak je rezan prema tablici sa parametrima koje preporuča proizvođač. Brzina rezanja je iznosila 4082,5 mm/min, vrijeme prvog probijanja 0,5 sekundi, jačina struje je 65 ampera te pola debljine reza je iznosilo 0,85 mm. Pritisak u sustavu je iznosio 5,0331 bara. Obradak je izrezan uspješno. Nakon što je obradak izrezan, obavljena je vizualna kontrola. Primijećeno je da obradak ima značajan srh na sebi te nije zadovoljio sa rezultatom. Tijekom kontrole je primijećeno da je aluminijски lim mnogo topliji od ostalih materijala te se došlo do zaključka da bolje provodi toplinu. (Slika 38.)



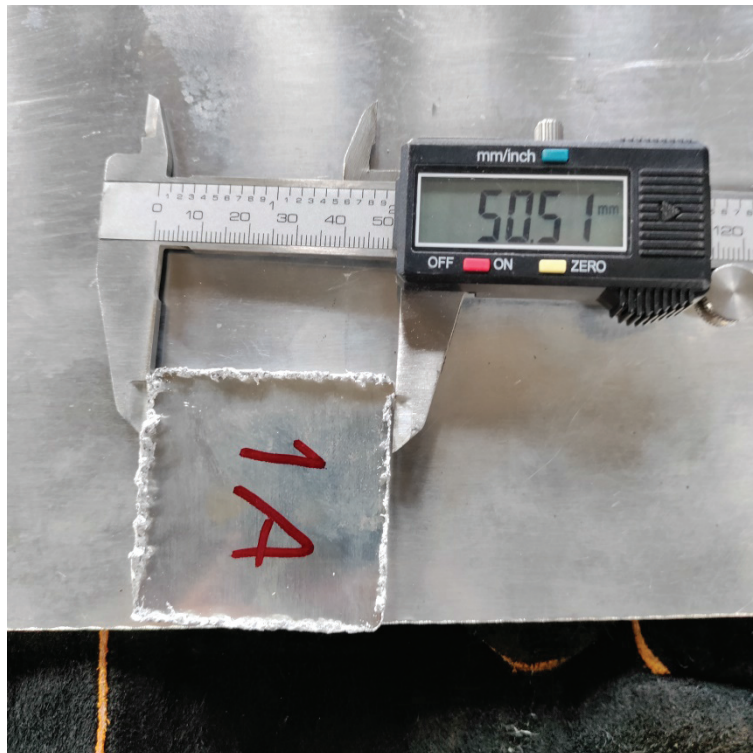
Slika 38.: Prvi izrezani obradak iz aluminijskog lima

Nakon vizualne kontrole obradak je izmjeren uz pomoć pomičnog mjerila. Zadane dimenzije tijekom programiranja su bile 50 mm x 50 mm. Prva dimenzija je iznosila 50,86 mm. (Slika 39.) Druga dimenzija je iznosila 50,51 mm. (Slika 40.)





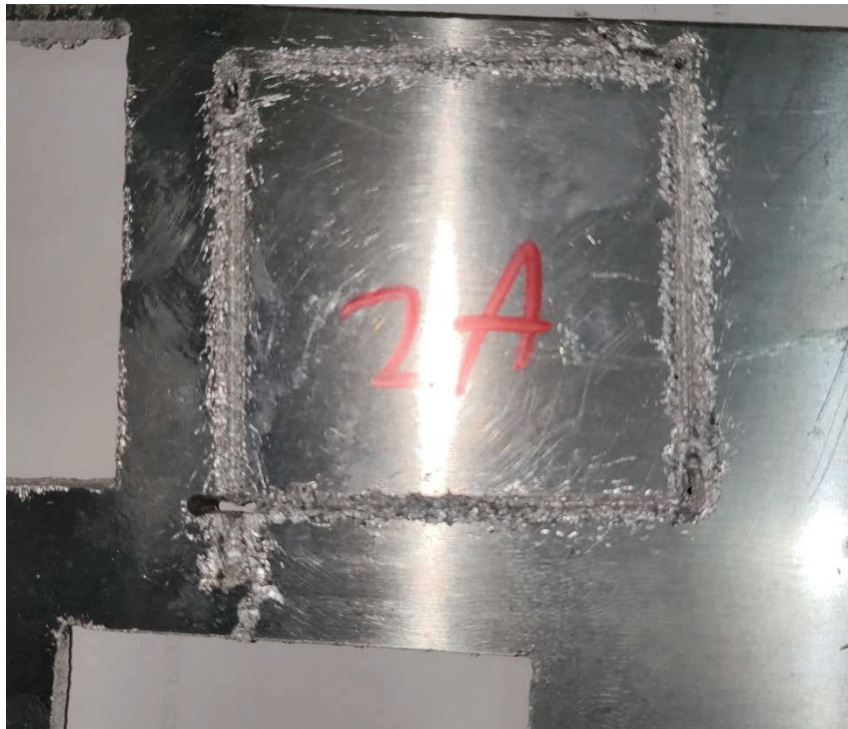
Slika 39.: Mjerenje prve dimenzije



Slika 40.: Mjerenje druge dimenzije

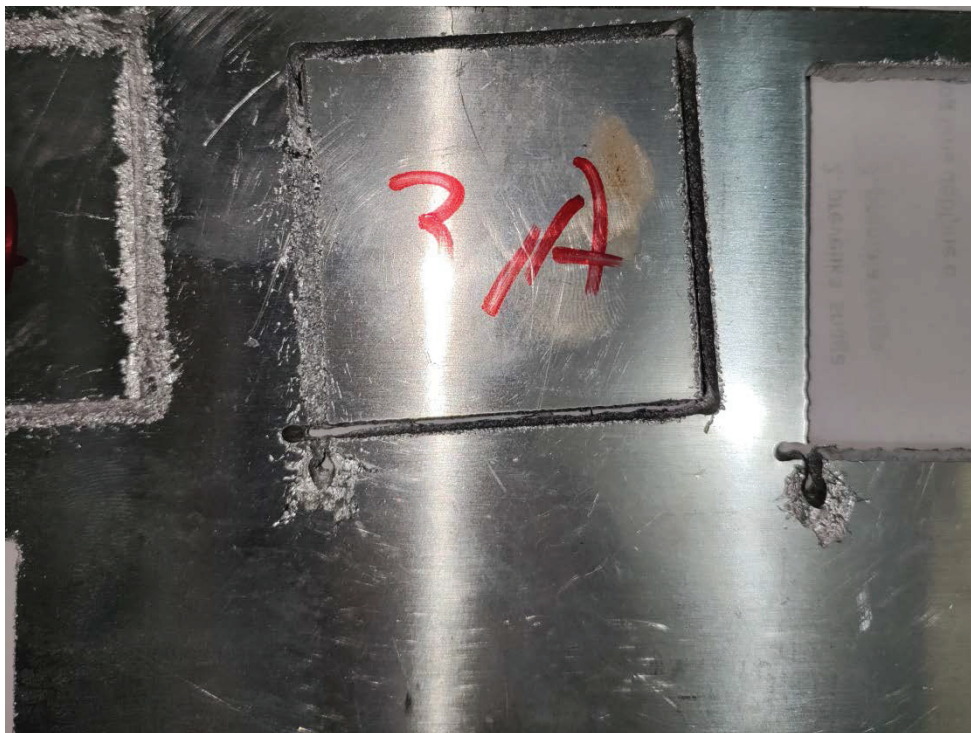


Za drugi rez je povećana brzina na 4782,5 mm/min. Jakost struje je smanjena na 45 ampera. Cilj je bio izrezati obradak iz aluminijskog lima sa minimalnim srhom kako ne bi morao ići na dodatnu obradu. Ostali parametri su ostali isti kao kod prvog obratka. Rez nije uspio. Rez je prekontroliran te je zaključeno da baklja nije uspjela rastaliti materijal te izrezati komad. Pištolj se kretao prebrzo. (Slika 41.)



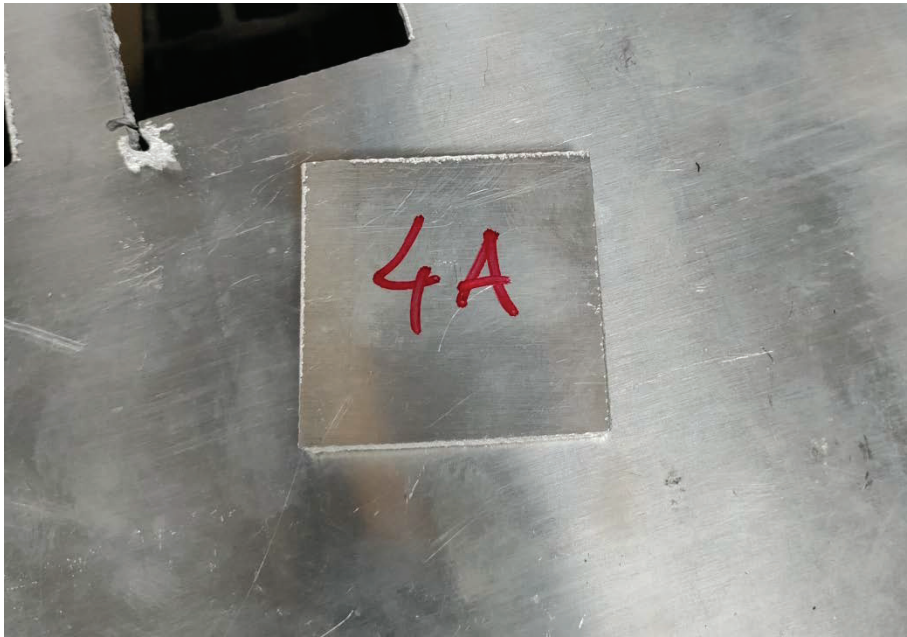
Slika 41.: Drugi rez koji nije bio uspješan

Za treći rez je smanjena brzina rezanja na 2700 mm/min. Jakost struje je ostavljena na 45 ampera. Svi ostali parametri su isti kao kod prvog komada. Rez nije uspio. Nakon kontrole reza zaključeno je da baklja nije stigla rastaliti materijal. U usporedbi sa drugim rezom primijećen je pomak u kvaliteti reza. (Slika 42.)



Slika 42.: Treći rez na aluminijskom limu

Četvrti rez je rezan sa istim parametrima kao treći, samo je povećana jakost struje na 65 ampera. Četvrti rez je bio uspješan. Nakon što je izrezan obradak, obavljena je vizualna kontrola. Sa prednje strane obratka nije bilo srha dok je na poleđini još bilo srha. Iako je izrezani obradak bio bolje kvalitete od prvog obratka nije zadovoljavao kriterij kvalitete jer bi opet morao ići na brušenje kako bi se skinuo srh. (Slika 44.)



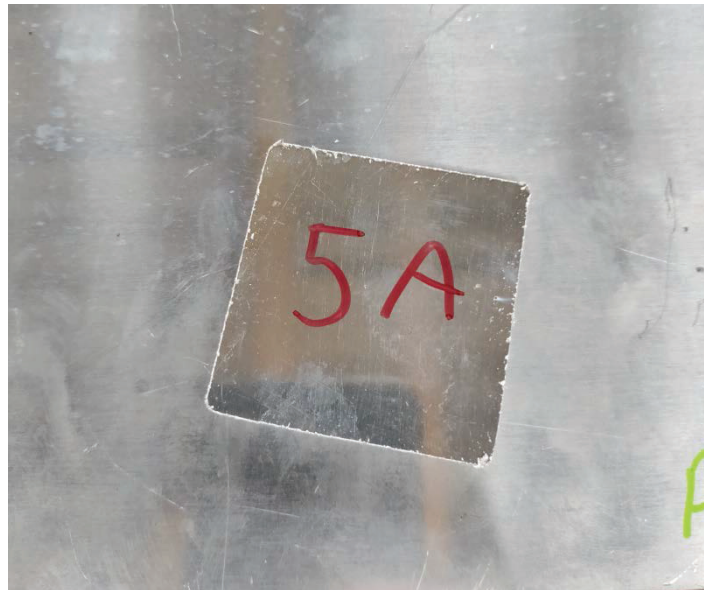
Slika 43.: Četvrti obradak



Slika 44.: Poleđina četvrtog obradka na kojoj ima srh



Za peti obradak je smanjena brzina rezanja na 2200 mm/min. Ostali parametri su ostali isti kao kod prethodnog obratka. Rez je bio uspješan. Nakon što je izrezan obradak obavljena je vizualna kontrola. Peti obradak je zadovoljio kriterij kvalitete reza jer izrezani obradak nije imao srh ni s jedne strane. Postignut je zadovoljavajući rezultat. (Slika 46.)



Slika 45.: Peti obradak koji je zadovoljavao



slika 46.: Na petom obratku nema srha

Nakon vizualne kontrole izmjerene su dimenzije obratka. Zadane dimenzije tijekom programiranja su bile 50 mm x 50 mm. Dimenzije su izmjerene uz pomoć pomičnog mjerila. Prva dimenzija je izmjerena da iznosi 48,60 mm. (Slika 47.) Druga dimenzija je izmjerena da iznosi 50,16 mm. (Slika 1.48.)



Slika 47.: Mjerenje prve dimenzije na petom obratku



Slika 48.: Mjerenje druge dimenzije



## 5. ZAKLJUČAK

Rezanje plazmom je rasprostranjeno kroz mnoge industrije. Strojevi su dostupni svima u svim mogućim veličinama po pristupačnoj cijeni. Na stroju CAT CNC IXO 2040 sz rezana 3 različita metala debljine 5 milimetara. Rezan je crni čelik S235, inox standarda kvalitete AISI 304 1.4301 i aluminijski lim AlMg3. Cilj je bio dobiti parametre s kojima će biti prisutna najbolja kvaliteta reza na obratku. Najbolju kvalitetu predstavlja obradak koji nema srh ili je on jako mali, te nema velika odstupanja od zadane mjere prilikom programiranja i pripremanja rezanja. Prvi obradak je rezan po preporuci proizvođača. U slučaju crnog čelika i inoxa najbolja kvaliteta je dobivena upravo koristeći se preporučenim parametrima. U slučaju aluminijskog lima prvi obradak koji je rezan po preporuci proizvođača je imao veliki srh. Zbog lošeg rezultata morali su biti pronađeni parametri sa kojima se dobije zadovoljavajuća kvaliteta obratka. Nakon kontrole petog obradka, dobiveni su željeni parametri s kojima se dobije zadovoljavajuća kvaliteta reza. Parametri koji su mijenjani su brzina rezanja i jakost struje. Bitno je imati parametre koji su provjereni i koji zadovoljavaju kriterij kvalitete kako bi se klijentu mogla ponuditi najbolja moguća kvaliteta usluge rezanja.

## LITERATURA

- [1] <https://www.sansmachining.com/the-history-of-cnc-machining-technology/>
- [2] <https://smpcnc.hr/blog/materijali/obrada-metala/o-cnc-strojevima/>
- [3] <https://hr.laser-cutter-machine.com/plasma-tube-cutting-machine-sale.html>
- [4] <https://pdf.directindustry.com/pdf/shanghai-huawei-welding-cutting-machine-co-ltd/hnc-portable-cnc-plasma-oxy-fuel-flame-cutter-more-cutting-size/168605-663703.html>
- [5] [https://esab.com/hr/eur\\_en/esab-university/blogs/what-is-a-cnc-plasma-cutter/](https://esab.com/hr/eur_en/esab-university/blogs/what-is-a-cnc-plasma-cutter/)
- [6] <https://www.xometry.com/resources/machining/parts-of-a-cnc-machine/>
- [7] [https://www.techno-isel.com/education1/IntrotoCNCPlasma\\_CuttingPreview.pdf](https://www.techno-isel.com/education1/IntrotoCNCPlasma_CuttingPreview.pdf)
- [8] <https://www.xometry.com/resources/sheet/laser-cutting-vs-plasma-cutting/>
- [9] [https://www.perfectlaser.net/plasma-cut/cnc-cutting.html?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oKyYmVP0eG3uQ-63Sle\\_qoyBLtij6m\\_GX-DknXlt4SUSNYIX\\_UN\\_IaAv4JEALw\\_wcB](https://www.perfectlaser.net/plasma-cut/cnc-cutting.html?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oKyYmVP0eG3uQ-63Sle_qoyBLtij6m_GX-DknXlt4SUSNYIX_UN_IaAv4JEALw_wcB)
- [10] Dimić, F. (2023) Prijenosni CNC plazma rezač, Završni rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [11] Grginčić, E. (2017) Rezanje plazmom, Završni rad, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu
- [12] Živić, J. (2022) Nekonvencionalna obrada materijala laserom, Završni rad, Pula: Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
- [13] Keraita, J. N., & Kim, K. H. (2007). PC-based low-cost CNC Automation of Plasma Profile Cutting of Pipes. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(5), 1-7.