

# OPRAVDANOST UVOĐENJA PLAZMA REZAČA U PROIZVODNI PROCES

---

**Lučić, Dragan**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2020**

*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:128:295194>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**



**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**  
**SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**  
**PROIZVODNO STROJARSTVO**

**DRAGAN LUČIĆ**

**OPRAVDANOST UVOĐENJA PLAZMA REZAČA**  
**U PROIZVODNI PROCES**

**ZAVRŠNI RAD**

**KARLOVAC, 2020.**

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**  
**PROIZVODNO STROJARSTVO**

**DRAGAN LUČIĆ**  
**OPRAVDANOST UVOĐENJA PLAZMA REZAČA**  
**U PROIZVODNI PROCES**  
**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

**Marijan Brozović, dipl.ing.,v.p.**

**KARLOVAC, 2020.**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                      |                                             |                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b><br>Trg J.J.Strossmayera 9<br>HR - 47000, Karlovac, Croatia<br>Tel. +385 - (0)47 – 843-500<br>Fax. +385 - (0)47 – 843-503<br>e-mail: dekanat @ vuka.hr | Klasa:<br>602-11/ __-01/ ____               | <br><small>IRN EN ISO 9001:2015</small> |
|                                                                                   | <b>ZADATAK ZAVRŠNOG /<br/>DIPLOMSKOG RADA</b>                                                                                                                                        | Ur.broj:<br>2133-61-04- __-01<br><br>Datum: |                                                                                                                            |

|                                                             |                                                       |                                                               |  |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--|
| Ime i prezime                                               | DRAGAN LUČIĆ                                          |                                                               |  |
| OIB / JMBG                                                  |                                                       |                                                               |  |
| Adresa                                                      |                                                       |                                                               |  |
| Tel. / Mob./e-mail                                          |                                                       |                                                               |  |
| Matični broj studenta                                       | 0111410036                                            |                                                               |  |
| JMBAG                                                       |                                                       |                                                               |  |
| Studij (staviti znak <b>X</b> ispred odgovarajućeg studija) | preddiplomski                                         | <input checked="" type="checkbox"/> specijalistički diplomski |  |
| Naziv studija                                               | Specijalistički diplomski stručni studij Strojarsstvo |                                                               |  |
| Godina upisa                                                | 2010/11                                               |                                                               |  |
| Datum podnošenja molbe                                      |                                                       |                                                               |  |
| Vlastoručni potpis studenta/studentice                      |                                                       |                                                               |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Naslov teme na hrvatskom: <b>OPRAVDANOST UVOĐENJA PLAZMA REZAČA U PROIZVODNI PROCES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |
| Naslov teme na engleskom: <b>JUSTIFICATION OF INTRODUCTION OF PLASMA CUTTERS INTO THE PRODUCTION PROCESS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    |
| Opis zadatka:<br><br>Ovaj završni rad podijeljen je u dva dijela. U prvom teoretskom dijelu opisati proces rezanja plazmom. U drugom praktičnom dijelu dati usporedbu izrade obratka rezanja plazmom i izrade obradka na cnc glodalici. Na kraju usporediti troškove proizvodnje za seriju od 2000 komada.<br><br>Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu VUK-a. |                                    |
| Mentor: Marijan Brozović                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Predsjednik Ispitnog povjerenstva: |

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje koje sam stekao tijekom studija uz vodstvo mentora Marijana Brozovića, dipl.ing., kojem se ovim putem iskreno zahvaljujem.

Dragan Lučić

## **SAŽETAK**

Tema ovog rad je Opravdanost uvođenja plazma rezača u proizvodni proces, a sastoji se iz dva dijela, teorijskog i praktičnog.

Teorijski dio rada posvećen je isključivo plazmi kao mediju i postupku rezanja plazmom. Prikazana je shema sustava za rezanje te objašnjen princip na kojem se temelji cijeli postupak, a to je prolazak plazmenog plina kroz električni luk uslijed čega dolazi do ionizacije i disocijacije plina. Također su navedene vrste plazma rezanja te plinovi koji se koriste kao i njihove mješavine.

U praktičnom dijelu opisan je postupak izrade obratka na plazme rezaču sa pripadajućim troškovima za seriju od 2000 spojnica. Izrada istog obratka simulirana je na CNC glodalici za isti broj spojnica. Uspoređeni su troškovi za oba postupka te je na temelju njih donesen zaključak.

Ključne riječi: plazma, obradak, simulacija, plinovi, glodanje, troškovi

## **SUMMARY**

The topic of this paper is the Justification of the introduction of plasma cutters in the production process, and it consists of two parts, theoretical and practical.

The theoretical part of the paper is dedicated exclusively to plasma as a medium and plasma cutting process. The scheme of the cutting system is presented and the principle on which the whole process is based is explained, which is the passage of plasma gas through the electric arc, as a result of which ionization and dissociation of the gas occur. Also mentioned are the types of plasma cutting and the gases used as well as their mixtures.

The practical part describes the process of making a workpiece on a plasma cutter with the associated costs for a series of 2000 pieces. The production of the same workpiece was simulated on a CNC milling machine for the same number of pieces. The costs for both proceedings were compared and a conclusion was reached.

Keywords: plasma, workpiece, simulation, gases, milling, costs

## SADRŽAJ

|        |                                                         |    |
|--------|---------------------------------------------------------|----|
| 1.     | UVOD .....                                              | 1  |
| 2.     | PLAZMA REZANJE.....                                     | 2  |
| 2.1.   | Plazma.....                                             | 2  |
| 2.2.   | Definicija plazma rezanja.....                          | 3  |
| 2.2.1. | Nepreneseni luk.....                                    | 4  |
| 2.2.2. | Preneseni luk.....                                      | 5  |
| 2.3.   | Proces plazma rezanja.....                              | 5  |
| 3.     | POSTUPCI REZANJA PLAZMOM.....                           | 9  |
| 3.1.   | Postupci rezanja bez sekundarnog medija.....            | 9  |
| 3.2.   | Plazma rezanje sa sekundarnim medijem.....              | 10 |
| 3.3.   | Plazma rezanje sa sekundarnim plinom.....               | 10 |
| 3.2.2. | Plazma rezanje sa injektiranom vodom.....               | 13 |
| 3.2.3. | Plazma rezanje pod zaštitom vode.....                   | 14 |
| 3.2.4. | Plazma rezanje pod vodom.....                           | 14 |
| 3.3.   | Plazma rezanje s povećanim suženjem plazmenog luka..... | 15 |
| 4.     | SUSTAV ZA PLAZMA REZANJE.....                           | 16 |
| 4.1.   | Izvor plazma rezanja.....                               | 17 |
| 4.2.   | Pištolf za plazma rezanje i sapnice.....                | 19 |
| 4.3.   | Regulacija visine pištolja plazme.....                  | 21 |
| 4.4.   | Sustav za vođenje.....                                  | 22 |
| 4.5.   | Tehnički plinovi pri plazma rezanju.....                | 24 |
| 55.    | POSTAVKA ZADATKA.....                                   | 28 |
| 6.     | RAZRADA ZADATKA.....                                    | 29 |
| 6.1.   | Odabir stroja za rezanje.....                           | 29 |
| 6.2.   | Izrada plana rezanja.....                               | 31 |
| 6.3.   | Troškovi materijala i rezanja.....                      | 38 |
| 6.4.   | Izrada „Spojnice“ na CNC glodalici.....                 | 39 |
| 6.5.   | Troškovi materijala i obrade.....                       | 42 |
| 7.     | ANALIZA REZULTATA.....                                  | 43 |
| 8.     | ZAKLJUČAK.....                                          | 44 |
| 9.     | LITERATURA.....                                         | 45 |

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Ilustracija agregatnih stanja tvari i njihova promjena
- Slika 2. Proces stvaranja plazme
- Slika 3. Preneseni i nepreneseni plazmeni luk rezanja
- Slika 4. Princip rada s neprenesenim lukom
- Slika 5. Princip rada s prenesenim lukom
- Slika 6. Početak plazma rezanja
- Slika 7. Ionizacija plazmenog plina
- Slika 8. Stvaranje glavnog luka iz pilot luka
- Slika 9. Putanja plazmenog mlaza do radnog komada
- Slika 10. Plazma rezanje
- Slika 11. Standardni postupak plazma rezanja
- Slika 12. Plazma rezanje sa sekundarnim plinom
- Slika 13. Plazma rezanje sa sekundarnim plinom u vodi
- Slika 14. Plazma rezanje s injektiranom vodom
- Slika 15. Plazma rezanje pod zaštitom vode
- Slika 16. Postupak rezanja plazmenim mlazom pod vodom
- Slika 17. Plazma rezanje s povećanim suženjem plazmenog luka
- Slika 18. Sustav strojnog plazma rezanja
- Slika 19. Izvor plazme HT 2000 (Hypertherm)
- Slika 20. Izvor plazme Thermal Dynamics
- Slika 21. Saprnice
- Slika 22. Pištolj kompjuterski vođene plazma rezačice
- Slika 23. Gorionik HT 2000
- Slika 24. Tijek gibanja pištolja kod CNC upravljanog rezanja plazmom
- Slika 25. Hypertherm upravljačka jedinica za vođenje
- Slika 26. Crtež obratka „Spojnica“
- Slika 27. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje je marke **ECKERT**
- Slika 28. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje – nosač gorionika
- Slika 29. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje – gorionik



- Slika 30. Prikaz sučelja software-a LANTEK
- Slika 31. Granična odstupanja za razred tolerancije nazivnih dimenzija klase 2
- Slika 32. Tipične kvalitete rezanja koje se mogu postići sa srednjom visinom profila debljina radnog komada do 30 mm
- Slika 33. Tipične kvalitete reza koje se mogu postići tolerancijom okomitosti ili kutnosti
- Slika 34. „Print screen“ posloženih pozicija na tablu lima 15 x 2000 x 6000, sa „veznim putem“ tj. redosljedom rezanja pozicija
- Slika 35. „Print screen“ posloženih pozicija na tablu lima 15 x 2000 x 1650, sa „veznim putem“ tj. redosljedom rezanja pozicija
- Slika 36. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 200 A
- Slika 37. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 130 A
- Slika 38. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 80 A
- Slika 39. Strojni park
- Slika 40. 3D model pozicioniran u Espritu za obradu
- Slika 41. 3D model sirovca
- Slika 42. Prvo stezanje – glodanje na dužinu
- Slika 43. Drugo stezanje – glodanje na završne mjere
- Slika 44. Simulacija gotovosti programa

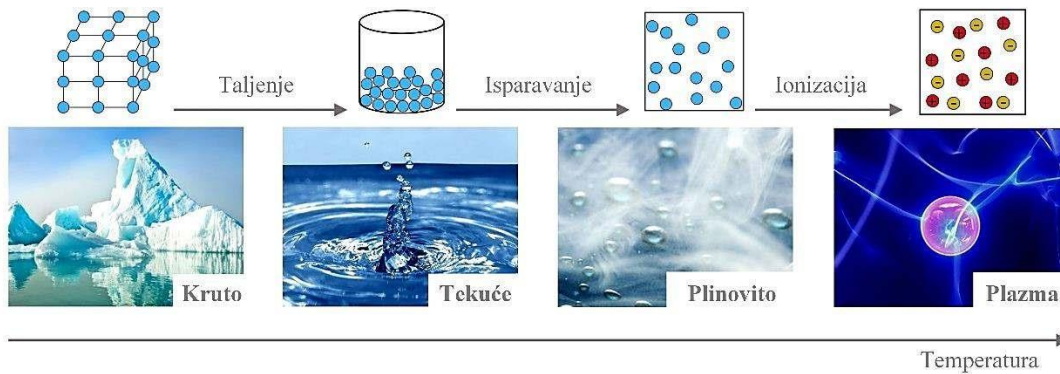
## **1.UVOD**

U metalnoj industriji postupak rezanja primarni je proces u tehnološkom slijedu operacija izrade neke konstrukcije zbog čega je potrebno pažljivo odabrati tehnologiju rada i osigurati da se proizvodnja odvija bez prekida i u predviđenom vremenskom roku. Također, tehnologija rezanja treba biti takva da proizvod nakon rezanja bude spreman za slijedeću tehnološku operaciju (npr. zavarivanje), odnosno bez potrebe naknadne obrade reza (čist rez, sa što manje deformacija), što u protivnom iziskuje dodatne troškove i povisuje cijenu proizvodnje. Zato je odabir odgovarajućeg postupka rezanja od odlučujuće važnosti za upravljanje troškovima. Sve veća internacionalizacija tržišta i pojačani pritisak konkurencije zahtijevaju porast ekonomičnosti proizvodnje u pogonima i postizanje više razine kvalitete. Tehnologija rezanja bez naknadne obrade reza snižava troškove – to je jedan od ciljeva na putu k povećanju konkurentnosti poduzeća. Kod izbora postupka rezanja važno je uzeti u obzir sve čimbenike koji utječu na troškove rezanja kako bi se dobila stvarna cijena postupka rezanja izražena po satu rezanja odnosno po metru reza. Često se nakon analize može doći i do takvih rezultata kod kojih je postupak rezanja koji je jeftiniji po metru reza u konačnici skuplji uzimajući u obzir i troškove naknadnih operacija.

## 2. PLAZMA REZANJE [1],[2],[3],[4]

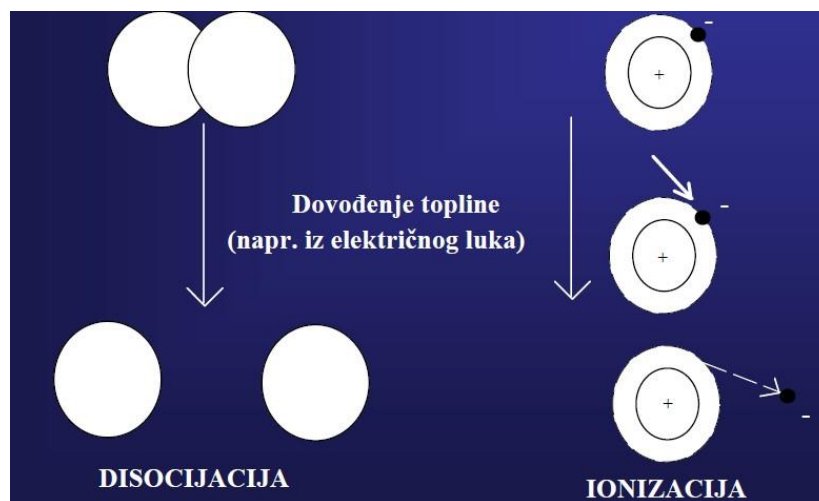
### 2.1. Plazma

Tvari u prirodi pojavljuju se u četiri agregatna stanja: kruto, tekuće, plinovito i stanje plazme.



Slika 1. Ilustracija agregatnih stanja tvari i njihova promjena

Plazma je četvrto stanje tvari; ona je električki provodljiv, disociran i visokoioniziran plin u kojem je broj pozitivnih i negativnih naboja jednak, pa je plazma kao cjelina električki neutralna (broj nosioca pozitivnog naboja, tj. kationa, jednak je broju nosioca negativnog naboja, tj. broju aniona). Slika 2. prikazuje postupak disocijacije i ionizacije plina tijekom nastanka plazme.



Slika 2. Proces stvaranja plazme

Kako prosječna kinetička energija čestica raste tako tvar prelazi iz krutog, preko tekućeg i plinovitog do stanja plazme. Stanje plazme se zato odlikuje velikom

srednjom energijom po čestici. Velika energija dovodi do ionizacije atoma ili molekula od kojih se tvar sastoji. Zbog toga je plazma zapravo ionizirani plin.

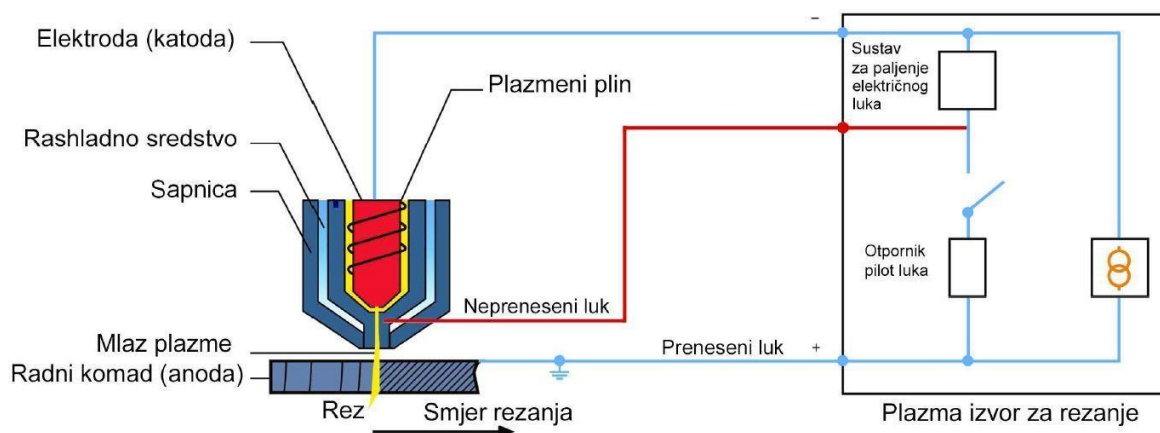
S obzirom da je plazma ionizirani plin, od svih procesa koji se u njoj događaju, ionizacija je daleko najvažnija. Stalni sudarni procesi omogućavaju da plazma postoji jer dovode do stvaranja novih nabijenih čestica: elektrona i pozitivnih iona. Od svih mogućih procesa ionizacije, najjednostavniji je proces ionizacije elektronskim udarom. Općenito, svi procesi se mogu podijeliti na pet vrsta:

- direktna ionizacija elektronskim udarom
- postupna ionizacija elektronskim udarom
- ionizacija pri udaru s teškom česticom
- fotoionizacijski procesi
- površinska ionizacija

## 2.2. Definicija plazma rezanja

Plazmeni mlaz dobiva se tlačenjem određenog plina kroz električni luk tj. luk se uspostavlja između volframove elektrode spojene na (-) pol izvora struje i radnog komada (preneseni luk) ili sapnice pištolja uređaja (nepreneseni luk). Slika 2.1. prikazuje preneseni i nepreneseni plazmeni luk rezanja. Plazma rezanje veoma je slično postupku zavarivanja plazmom tako što je razlika u konstrukciji gorionika glave za rezanje i dosta višem naponu struje. Za rezanje se najčešće koristi proces s prenosivim lukom, kojim se mogu rezati svi elektroprovodljivi materijali. Proces s neprenosivim lukom, koristi se za rezanje predmeta manjih debljina (ispod 1 mm) i materijala koji nisu elektroprovodljivi (npr. keramika). Električni luk održava se u cilindričnom kanalu hlađenim vodom. U kanal se pod tlakom dovodi plin (Ar, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, njihove mješavine te zrak ili kisik) koji se prolaskom električnim lukom disocira i ionizira zbog toplinske energije električnog luka. Na taj način dobiva se mlaz plazme visoke temperature (20 000 – 40 000°C) i visoke gustoće snage koji može taljenjem rezati sve metale. Nakon izlaska mlaza plazme iz sapnice dolazi do prenošenja energije preuzete iz električnog luka na radni tj. rezni komad i plin se vraća u stabilno stanje. Postupak rezanja plazmom može biti ručni i strojni. Brzina rezanja plazmom

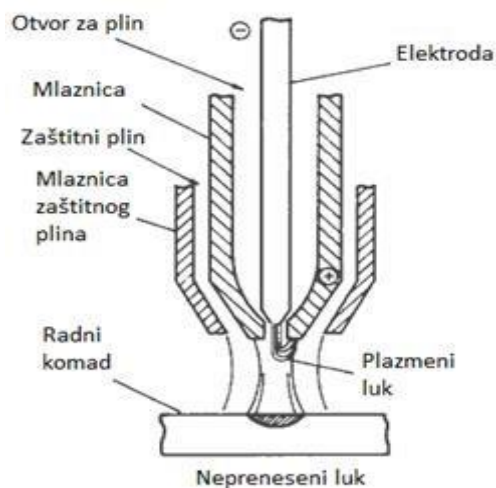
može biti i do 2 m/min, a ovisi o materijalu koji obrađuje, debljini istog i struji električnog luka.



Slika 3. Preneseni i nepreneseni plazmeni luk rezanja

### 2.2.1. Nepreneseni luk

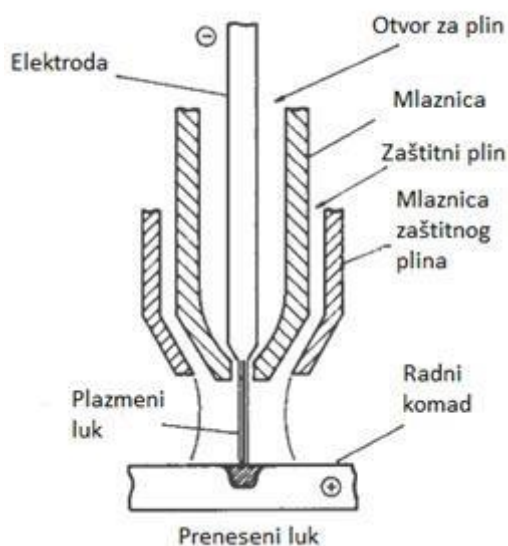
Plazmeni luk se formira između elektrode (negativan pol) i vodom hlađene mlaznice (pozitivan pol). Plazmeni mlaz je istisnut kroz sapnicu preko plazmenog plina. Luk je neovisan o radnom komadu te radni komad nije uključen u strujni krug. Ova vrsta luka koristi se za plazma naštrecavanje ili za jako niske struje kod obrade nemetala. Nepreneseni plazmeni luk ima manju gustoću energije nego preneseni luk te se koristi za plazma zavarivanje taljenjem, prevlačenjem te za naštrecavanje. Ovaj tip luka se koristi i za zavarivanje keramike, metalnih oplata kao radnih materijala te folija. Princip rada s neprenesenim lukom prikazano je na slici 4.



Slika 4. Princip rada s neprenesenim lukom

### 2.2.2. Preneseni luk

Struja se prenosi od vrha elektrode (negativni pol) kroz otvor pa sve do radnog komada (pozitivan pol) te nazad do izvora struje. Preneseni luk ima veliku gustoću energije te visoku brzinu plazmenog mlaza. Prednosti prenesenog luka su u većoj prenesenoj energiji na radni komad i ovaj tip se najčešće koristi za zavarivanje. Ovakvim lukom mogu se postići velike brzine zavarivanja. Za pokretanje prenesenog luka koristi se otpornik postavljen u strujni krug. Prvo se pali pilot luk koji ograničava struju na oko 50 A koja se uspostavlja između sapnice plazmenog luka i elektrode. Nakon što se dotakne radni komad, glavna struja protječe između elektrode i radnog komada, te se tada pokreće preneseni luk. Temperatura koja se može postići takvim plazmenim lukom iznosi između 8000 °C i 25000 °C. Princip rada s prenesenim lukom prikazano je na slici 5.

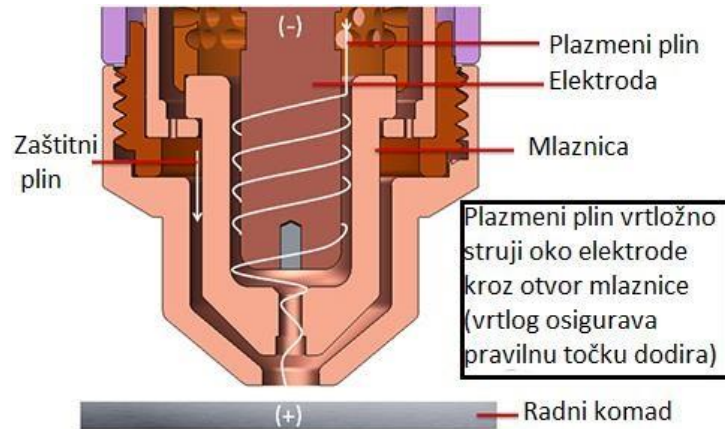


. Slika 5. Princip rada s prenesenim lukom

### 2.3. Proces plazma rezanja

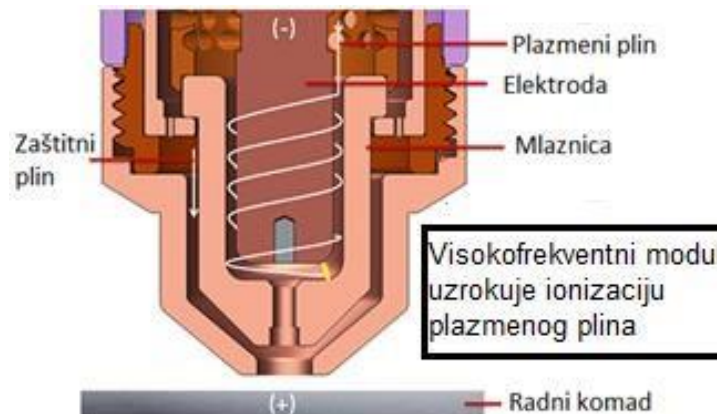
Unutar plazmenog pištolja elektroda i unutarnja mlaznica se ne dodiruju, jedna od druge su izolirane vrtložnim prstenom koji ima male otvore za odušak koji transformiraju plazmeni plin u plazmeni vrtlog. Između unutarnje i vanjske mlaznice nalazi se prostor kojim struji zaštitni plin. U trenutku kada je puštena struja, dolazi do generiranja napona te se inicira protok plina kroz crijevo postavljeno na pištolju (Slika

6.). Mlaznica je privremeno spojena na pozitivan pol izvora struje, a elektroda na negativan pol.



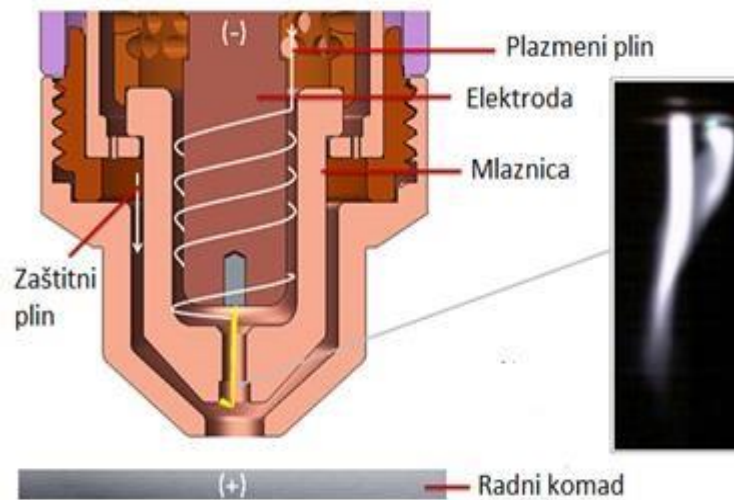
Slika 6. Početak plazma rezanja

Visokofrekventnim modulom (uzrokuje ionizaciju plina) uključuje se pilot luk male snage, koji se stvara između elektrode (katoda) i osnovnog materijala (anode). Nadalje se stvara inicijalni plazmeni mlaz (Slika 7.).



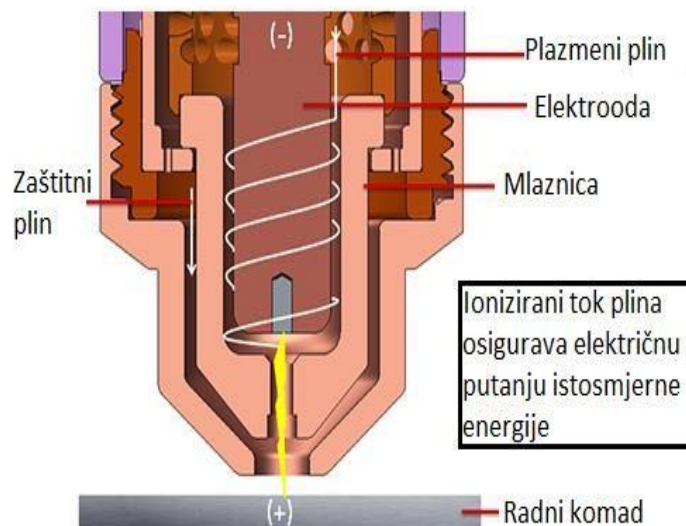
Slika 7. Ionizacija plazmenog plina

Jednom kada pilot luk dođe u kontakt s radnim komadom (koji je uzemljen), struja se prelazi s elektrode na radni komad, visokofrekventivni modul se isključuje te je strujni krug zatvoren (Slika 8.) .



Slika 8. Stvaranje glavnog luka iz pilot luka

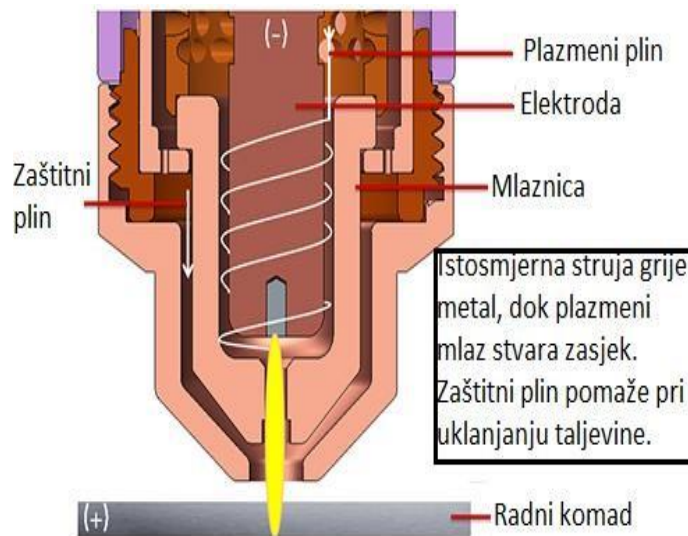
Tada izvor istosmjerne struje generira napon rezanja namješten od strane operatera te se postiže optimalna brzina rezanja za zadani materijal. Kada luk dodirne radni komad dolazi do rezanja i probijanja radnog komada (Slika 9.). Zaštitni plin struji kroz vanjsku mlaznicu, obavi mlaz te na taj način štiti rez.



Slika 9. Putanja plazmenog mlaza do radnog komada

Oblik otvora mlaznice i njen promjer dodatno sužavaju luk plazme što rezultira čistim rezom s vrlo niskim konusom kuta i manjim zasjekom (Slika 10.).





Slika 10. Plazma rezanje

Dakle, osnovni princip je da je luk formiran između elektrode i radnog komada ograničen veličinom bakrene mlaznice. Na taj način se povećava temperatura i brzina plazmenog mlaza. Temperatura plazme doseže visinu i preko 20 000°C, dok brzina može premašiti i brzinu zvuka. Kada se koristi za rezanje, plazmeni protok plina se povećava kako bi pri dubokom prodiranju u radni materijal višak rastaljenog materijala bio uklonjen.

### 3. POSTUPCI REZANJA PLAZMOM [1],[3],[4],[7]

Plazma rezanje metala razvijeno je 50-ih godina prošlog stoljeća. Od tada se plazma sve više razvija što donosi sa sobom i nove tehnike, odnosno postupke plazma rezanja. Svaki od postupaka sa sobom donosi različite prednosti, odnosno nedostatke. Tehnike i postupci rezanja plazmom svode se na:

- plazma rezanje bez sekundarnog medija
- plazma rezanje uz prisutnost sekundarnog medija
- plazma rezanje suženim lukom

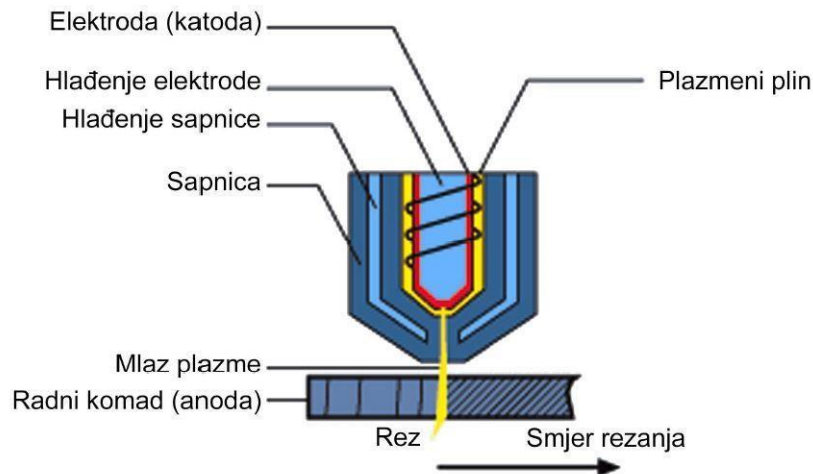
#### 3.1. Plazma rezanje bez sekundarnog medija

Rezanje plazmom bez sekundarnog medija tj. standardna plazma, koristi se kod:

- ručnog rezanja plazmom i žlijebljena
- manjeg broja dijelova koji se režu, odnosno manje debljine limova
- ne previsokih zahtjeva za kvalitetu reza

Standardni postupak rezanja plazmom prikazan je na Slici 11. Za ovakav primjer plazma rezanja postoje mnogobrojni slučajevi primjene s CNC upravljanim sustavima za vođenje plazma pištolja tj. mlaznice kao na primjer kod proizvodnje panela u brodogradnji, gdje je rezanje plazmom neposredna priprema za zavarivanje, kod završne obrade i pakiranja limova u čeličanama te kod robotiziranog rezanja cijevi, I – profila i plosnatih profila s izbočinama.

Kod plazma rezanja bez sekundarnog medija koristi se samo jedan plin (zrak, dušik ili kisik) koji ujedno hladi i razvija luk plazme. Uglavnom se ovaj postupak koristi kod ručnih postupaka rezanja, za materijale debljine od 16 mm i struje do 100 A.



Slika 11. Standardni postupak plazma rezanja

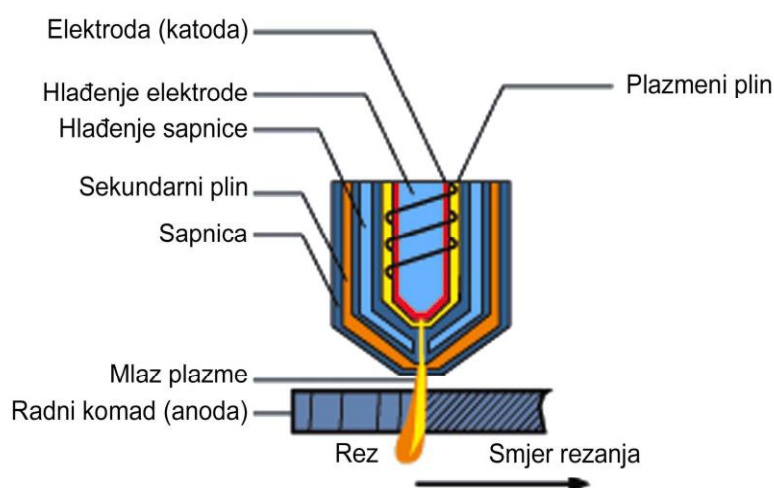
### 3.2. Plazma rezanje sa sekundarnim medijem

Upotreba plazma pištolja sa sekundarnim medijem, ima prednost kod:

- proizvodnje manjih dijelova,
- čestog bušenja, odnosno započinjanja rezanja,
- potrebne visoke kvalitete reza, posebno kod Cr-Ni čelika i kod aluminija,
- rezanja rešetaka, odnosno rezova s prekidima,
- podvodnog rezanja plazmom

#### 3.2.1. Plazma rezanje sa sekundarnim plinom

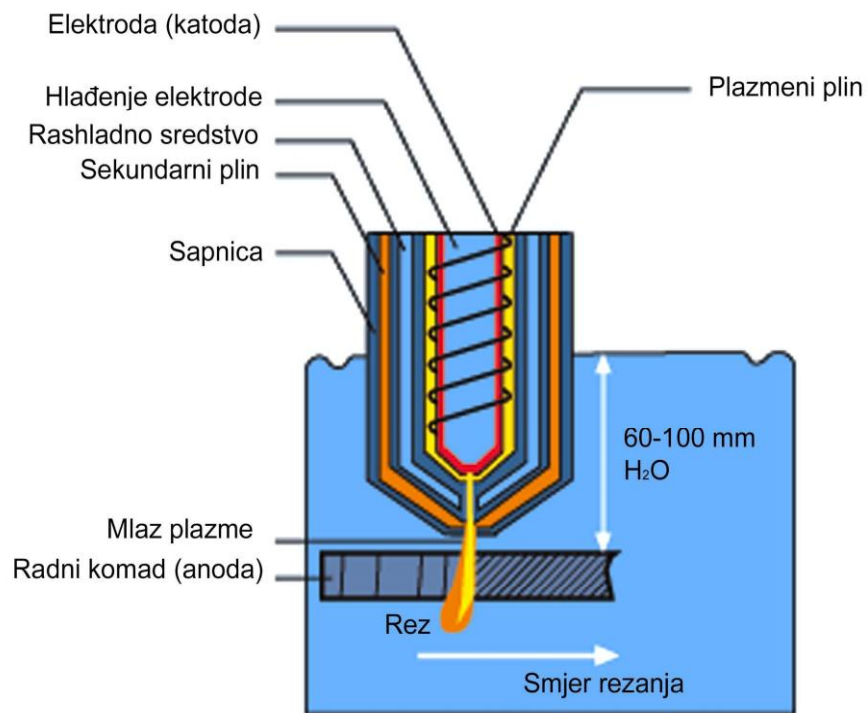
Koaksijalno sa sapnicom plazma pištolja nalazi se sapnica za dovod rotirajućeg plina, koji „omata“, odnosno štiti plazmeni plin od utjecaja okolne atmosfere. Rotirajući plin i sapnica rotirajućeg plina koja je bez potencijala, štite sapnicu od štrcanja rastaljenog metala, koje se događa prilikom bušenja lima. Kod određenih debljina lima bušenje se izvodi dok pištolj stoji, pa je tako moguće rezanje malih kontura bez početnog, odnosno ulaznog reza.



Slika 12. Plazma rezanje sa sekundarnim plinom

Rotirajući plin sprječava sudjelovanje okolnog zraka u reakciji plazmenog mlaza i rastaljenog metala u zoni reza. To je posebno važno kod rezanja visokolegiranih čelika, gdje inače dolazi do reakcije kisika sadržanog u zraku s površinom reza, koji izaziva njenu oksidaciju i u većini slučajeva naknadnu obradu skidanja nastalih oksida. Upotreba dušika kao rotirajućeg plina je nužna za rezanje bez srha kod limova od visokolegiranih čelika debljine do 20 mm.

Zbog zaštitnog djelovanja rotirajućeg plina, takvi plazma pištolji mogu se rabiti i za podvodno rezanje plazmom. Slika 13. prikazuje plazma rezanje sa sekundarnim plinom u vodi. Nasuprot suhom rezanju plazmom, kod podvodnog rezanja je značajno reducirana buka te pojava prašine i aerosola, a ultraljubičasto zračenje luka se dodatno filtrira u vodi. Deformacija radnih komada također je vrlo mala, ali je potrošnja energije veća u odnosu na suho rezanje plazmom. Maksimalna debljina lima koja se može rezati suhim rezanjem plazmom iznosi 180 mm pri jačini struje od 600 A, a kod podvodnog rezanja iznosi 100 mm pri 750 A struje rezanja.



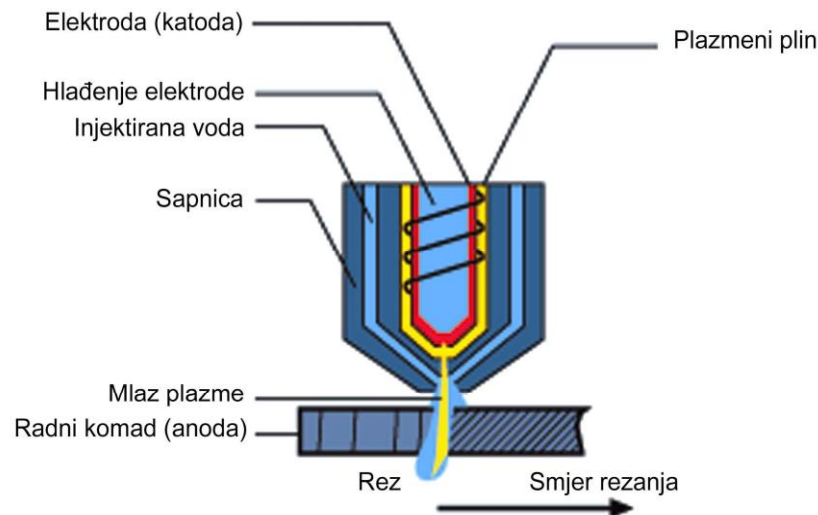
Slika 13. Plazma rezanje sa sekundarnim plinom u vodi

Kod plazma rezanja pod vodom radni komad je uronjen 60 – 100 mm u vodu. Isto tako sapnica je za vrijeme rezanja pod vodom. Na taj način su uvelike smanjeni štetni utjecaji postupka rezanja plazmom na okoliš, a i smanjen je utjecaj razvijene topline na kvalitetu reza.

S druge strane, nedostatak rezanja plazmom pod vodom je da radni komad nije vidljiv za vrijeme rezanja i ne može se vidjeti da li se ostvaruje kvalitetan i traženi rez, brzine rezanja su smanjene za 10 – 20%, a i smanjena je mogućnost rezanja većih debljina radnog komada. Rezanje se izvodi u kadama, odnosno stolovima koji imaju mogućnost naplovljavanja vodom koje je potrebno periodički čistiti što rezultira zaustavljanjem proizvodnje na nekoliko sati, također i dodatnim troškovima održavanja, a to je još jedan nedostatak primjene plazma rezanja pod vodom. Kako bi se izbjegli dodatni troškovi čišćenja stolova i zaustavljanja proizvodnje, danas su razvijeni vodeni stolovi koji imaju mogućnost samočišćenja što predstavlja praktično i ekonomično rješenje za korisnike.

### 3.2.2. Plazma rezanje s injektiranom vodom

Slika 14. prikazuje plazma rezanje s injektiranom vodom. Ovaj postupak rezanja koristi samo jedan plin za plazmu, a vodu ubrizgava radijalno ili vrtložno direktno u luk čime se postiže sužavanje luka i povećanje gustoće plazmenog luka. Razlog za sužavanje električnog luka bilo je stvaranje izolatorskog graničnog parnog sloja između plazmenog mlaza i injektirane vode. Zaštitna svojstva parnog sloja omogućila su otkrićem ovog postupka (1968.god.), uvođenje jedinstvene inovacije: cijeli donji dio sapnice je mogao biti izrađen od keramike. Kao posljedica toga, pojava stvaranja dvostrukog električnog luka, najvećeg uzročnika uništenja sapnice, je eliminirana.



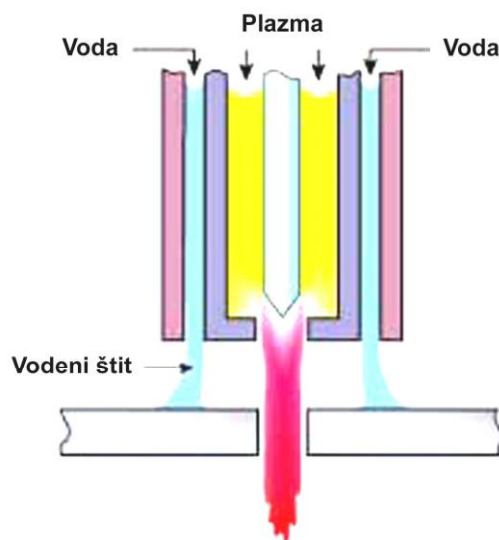
Slika 14. Plazma rezanje s injektiranom vodom

Postupak se koristi kod struja od 260 do 750 A za visokokvalitetno rezanje raznih materijala i debljina. Primjenjuje se samo za strojni mehanizirani postupak rezanja. Pored dušika, za plazmeni plin može se koristiti i zrak što čini postupak bitno jeftinijim. Fizikalno, dušik je najpovoljniji za korištenje zbog svoje sposobnosti prijenosa topline iz električnog luka na radni komad. Unatoč visokim temperaturama na mjestu gdje se voda ubrizgava u električni luk, manje od 10 % vode isparava. Ostatak vode, osim navedenih poboljšanja, služi i za hlađenje gornje površine radnog komada. Isto tako, ovo dodatno hlađenje sprječava nastajanje oksida na

površini reza i pridonosi učinkovitim hlađenju sapnice na mjestu najvećeg toplinskog opterećenja.

### 3.2.3. Plazma rezanje pod zaštitom vode

Plazma rezanje pod zaštitom vode je vrsta plazma rezanja sa sekundarnim medijem, gdje se umjesto zaštitnog plina koristi voda koja pruža bolje hlađenje sapnice i radnog komada te bolju kvalitetu reza kod rezanja nehrđajućih čelika. Slika 15. prikazuje plazma rezanje pod zaštitom vode. Postupak se koristi samo kod strojnog mehaniziranog rezanja

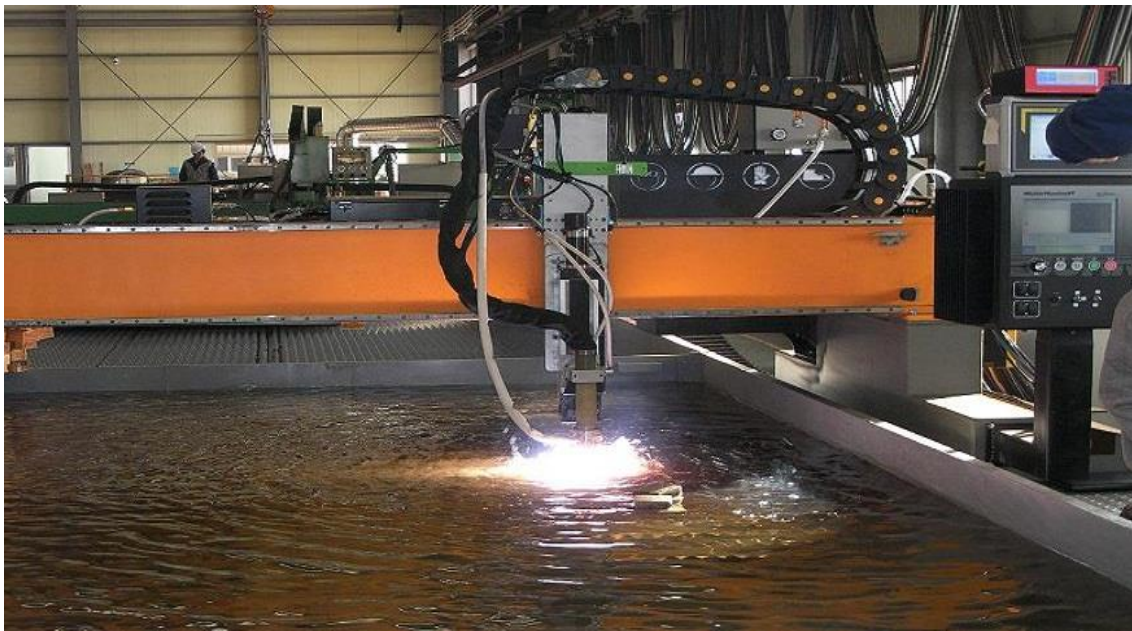


Slika 15. Plazma rezanje pod zaštitom vode

### 3.2.4. Plazma rezanje pod vodom

Kod postupka rezanja pod vodom predmet obrade i mlaznica su uronjeni u vodu 50 do 100 mm. Time se uvelike smanjuje količina buke za vrijeme rezanja, eliminira se nastajanje dima i različitih plinova u radnom prostoru te utjecaj topline na zonu reza. Kvaliteta reza je slična onoj koja se postiže s injektiranjem vode u plazmeni mlaz. Nedostatak ovog postupka je što predmet obrade nije vidljiv za vrijeme rezanja, brzine rezanja su smanjene za 10 do 20% u usporedbi s postupcima na suhom i ograničene su debljine rezanja. Također, za vrijeme obrade dolazi do disocijacije vode na vodik i kisik pri čemu kisik može reagirati s rastaljenim metalom (Al), a

vodikov plin ima tendenciju nakupljanja ispod lima i uzrokovanja malih eksplozija u dodiru s plazmom. Kako bi se to izbjeglo vrši se konstantno miješanje vode za vrijeme odvijanja procesa. Rezanje se odvija pri visokim jakostima struje, od 400 do 700 A na stolovima koji imaju mogućnost naplavlivanja vodom. To zahtijeva periodičko čišćenje i održavanje sustava čime se povećavaju troškovi obrade. Ovaj postupak se naročito koristi za rezanje tankih konstrukcijskih i nehrđajućih čelika, kako bi se spriječile deformacije.

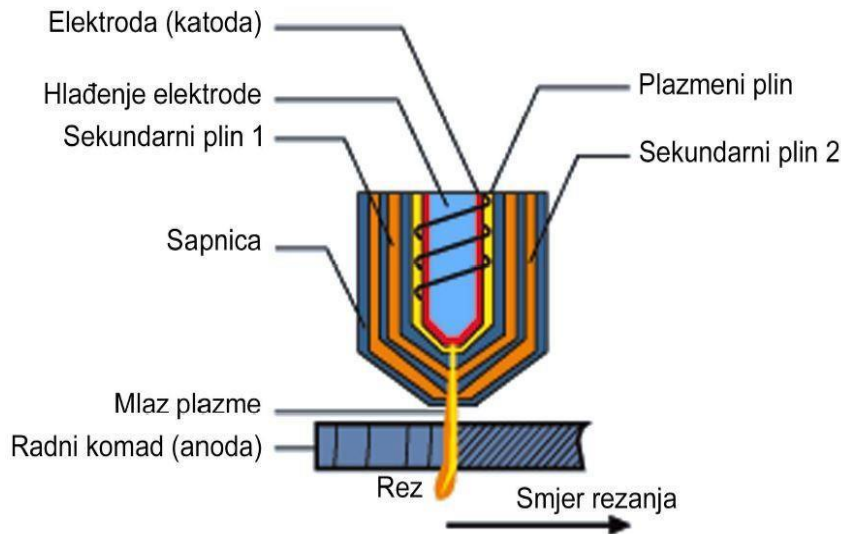


Slika 16. Postupak rezanja plazmenim mlazom pod vodom

### 3.3. Plazma rezanje s povećanim suženjem plazmenog luka

Rezanje plazmom s povećanim suženjem plazmenog luka se dobiva kvalitetan rez kod rezanja tanjih materijala odnosno do 12 mm pri manjim brzinama. Primjer postupka prikazan na Slici 17. Poboljšana kvaliteta reza je rezultat korištenja tehnologije povećanog sužavanja luka, odnosno povećanja gustoće energije električnog luka, dok su manje brzine rezanja potrebne kako bi se ostvarili precizniji pomaci kod rezanja.



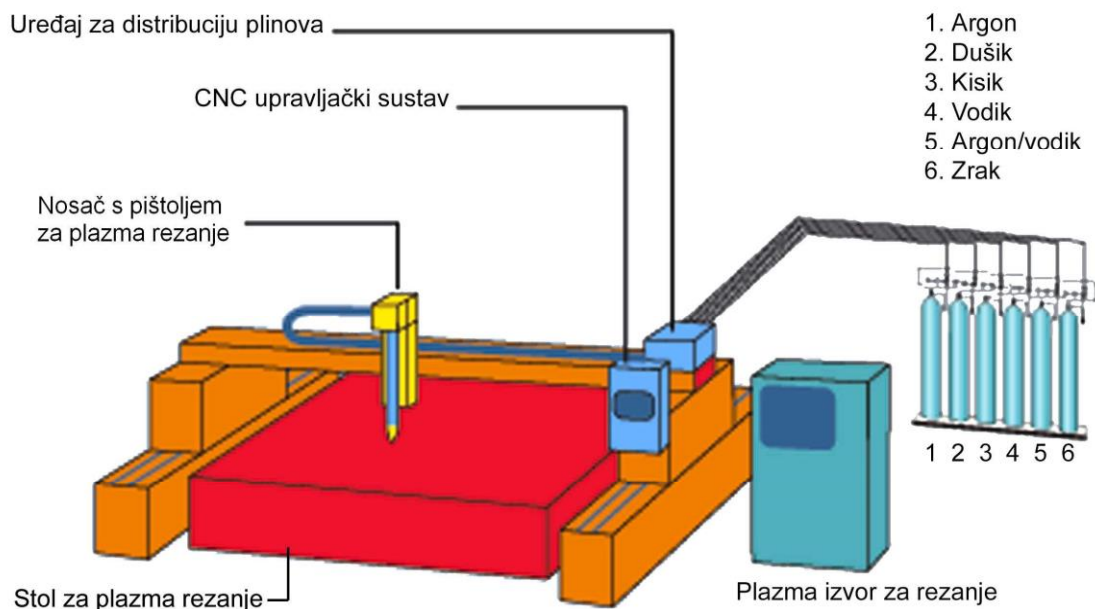


Slika 17. Rezanje plazmom s povećanim suženjem plazmenog luka

Cilj rezanja plazmom s povećanim suženjem plazmenog luka je dobivanje dvije paralelne, ravne površine reza koje su prikladne za daljnju uporabu bez potrebne naknadne obrade nakon rezanja. Ali, ipak površina reza ima određeno odstupanje od toga idealnog oblika. Posebno u području tankih limova do približno 5 mm debljine, odstupanje može, ovisno o materijalu, razmaku pištolja, jačini struje i brzini rezanja, iznositi do  $10^\circ$ . Korištenjem novo razvijenog postupka preciznog rezanja plazmom s povećanim suženjem plazmenog luka (tzv. HiFocus rezanje) odstupanje od pravoga kuta značajno se reducira. HiFocus tehnologija omogućuje dobivanje približno okomitih površina reza za debljine limova od 0,8 do 8 mm i time postizanje značajno veće točnosti. Tehnologija se zasniva na principu rezanja plazmom sa suženim i stabiliziranim plazmenim mlazom. To se postiže primjenom sapnica manjeg promjera, povećanom rotacijom plazmenog plina i dodatnom primjenom rotirajućeg plina koji do plazmenog luka dolazi kroz koaksijalnu sapnicu bez potencijala. Sapnica za rotirajući plin sprječava i nastajanje tzv. dvostrukih električnih lukova i uništenje sapnice kapljicom rastaljenog metala koje nastaje zbog štrcanja prilikom bušenja rupa. Za mnoge primjene, visoka kvaliteta reza i preciznost, koja se postiže HiFocus tehnologijom, predstavlja što se troškova tiče povoljniju alternativu u odnosu na rezanje laserom. Pomoću HiFocus uređaja i postrojenja za rezanje plazmom, može se održavati tolerancija radnog komada  $\pm 0,2$  mm.

#### 4. SUSTAV ZA PLAZMA REZANJE [4],[6],[8]

Cilj sustava za plazma rezanje je jeftino rezanje radnih komada i to u što kraćem vremenu s što boljom kvalitetom rezanja. Isto tako, uravnoteženje troškova, kvalitete rezanja i brzine sustava može postati teško kada se projektira ili poboljšava učinkovitost sustava za rezanje. Zbog toga, jako je bitno da svatko tko koristi sustav za plazma rezanje bude u potpunosti svjestan njegove funkcionalnosti. Razumijevanjem i optimiranjem svojstava svake komponente sustava za rezanje, jako brzo se može stvoriti visokokvalitetan proizvod s relativno malim troškovima rezanja. Slika 18. prikazuje sustav strojnog rezanja plazmom.



Slika 18. Sustav strojnog plazma rezanja

##### 4.1. Izvor plazma rezanja

Izvor za plazma rezanje je najbitniji dio plazma sustava za rezanje. Izvor za plazma rezanje određuje vrstu plazmenog ili zaštitnog plina koji se može koristiti pri rezanju. Kako je kvaliteta reza radnog komada presudna pri proizvodnji nekog proizvoda, potrebno je provjeriti koji se plinovi i njihove mješavine mogu koristiti s određenim izvorom za plazma rezanje. Nadalje, ukoliko postoji problem s mijenjanjem struje ili protokom plina tijekom rezanja, vijek trajanja sustava, kao i kvaliteta rezanja će biti

smanjena. Općenito gledajući, izvori za plazma rezanje koji pomoću mikroprocesorskog kontrolera imaju mogućnost povećavanja struje i tlaka plina na početku rezanja, kao i mogućnost smanjenja tih parametara na kraju rezanja, produžuju vijek trajanja potrošnih dijelova sustava za rezanje. Neoštećeni potrošni dijelovi sustava doprinose dobivanju kvalitetnog reza za dulje vrijeme trajanja proizvodnje.



Slika 19. Izvor plazme HT 2000 (Hypertherm)



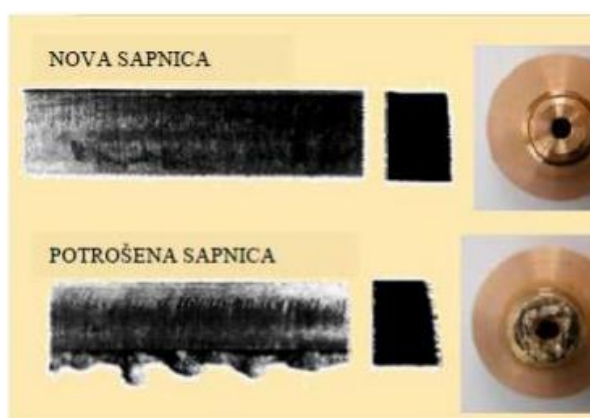
Slika 20. Izvor plazme Thermal Dynamics

#### 4.2. Pištolj za plazma rezanje i sapnice

Kod procesa plazma rezanja koriste se ručno vođeni ili mehanizirano upravljivi plazma pištolji. Postoji nekoliko različitih vrsta i veličina jednih i drugih, a biraju se ovisno o debljini radnog komada. Ukoliko se želi postići što bolja kvaliteta rezanja udaljenost pištolja od radnog komada se mora održavati u jako niskim tolerancijama. Neki mehanizirani plazma pištolji su opremljeni s automatskim kontrolnim uređajima kako bi se održala konstantna udaljenost, odnosno razmak između vrha pištolja i radnog komada. Plazma pištolj konstruiran je tako da različiti plinovi, bilo plazmeni ili zaštitni, i električna struja mogu istodobno prolaziti kroz sami pištolj bez ikakvog utjecaja jedne veličine na drugu. Pištolji većinom imaju vanjsku oplatu koja štiti unutarnje dijelove pištolja od topline uzrokovane električnim lukom. Isto tako pištolj sadrži izvedbeni sustav kanalicama za razne plinove (plazmene, zaštitne) koji su propisno odvojeni i zatvoreni jedan od drugoga te sadrži izolacijske materijale kako bi se spriječilo stvaranje električnog luka unutar samog plazma pištolja. Glavni potrošni materijali u pištolju su elektroda, sapnica, dovodnik plina, zaštitna navlaka. Što su kvalitetniji i dugotrajniji potrošni materijali plazma pištolja, bolja je i kvaliteta rezanja. Elektroda – zatajenje elektrode pojavljuje se kada se emitirajući element tako istroši

da se emitirani električni luk počinje odbijati od okružujuće bakrene ili srebrene navlake. Jednom kada električni luk dođe u kontakt s tom navlakom, može doći do uništenja cijele elektrode. Kao emitirajući element elektrode u neoksidirajućim okolinama koristi se volfram, dok se hafnij preferira pri rezanju s kisikom.

Sapnica – konstrukcija elemenata sapnice je najvažnija za postizanje optimalne kvalitete rezanja. Sapnica je tako konstruirana da je njen otvor malo veći od promjera fokusiranog ionizirajućeg plina. To omogućava da sapnica sadrži i fokusira plazmeni mlaz bez nepovoljnog djelovanja na samu sapnicu. Kvaliteta rezanja se smanjuje kada je vanjski ili unutarnji dio otvora sapnice oštećen. Oštećenje unutarnjeg dijela sapnice može biti uzrokovano pregarenjem elektrode, problemima oko paljenja luka ili protoka plina, ili postavkom struje koja je prevelika ili preniska. Slika 21. prikazuje oštećenje unutarnjeg dijela sapnice. Oštećenje vanjskog dijela sapnice može biti uzrokovano prevelikim štrcanjem metala koje se pojavljuje zbog male udaljenosti pištolja i radnog komada ili pri probijanju debljih materijala. Isto tako do oštećenja vanjskog dijela sapnice može doći zbog problema uspostavljanja električnog luka, između elektrode i radnog komada. Oštećenje vanjskog dijela sapnice. Zaštitna navlaka sprječava oštećenje sapnice tijekom postupka rezanja. Otvor navlake je ključna značajka zaštite, ako je oštećen, može doći do negativnog utjecaja na protok plazmenog ili zaštitnog plina, samim time i do loše kvalitete reza .



Slika 21. Saprnice



Slika 22. Pištolj kompjuterski vođene plazma rezačice



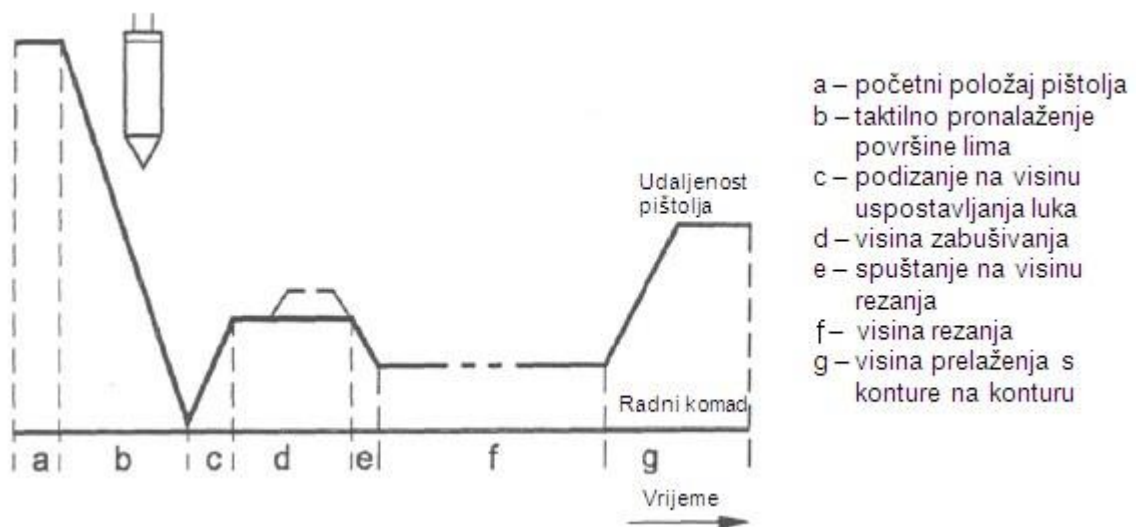
Slika 23. Gorionik HT 2000

#### 4.3. Regulacija visine pištolja plazme

Za kvalitetu reza kod rezanja plazmom, između ostalog od velikog je značaja optimalno podešen i duž cijelog reza konstantno održavan razmak između pištolja i radnog komada. Za postizanje ravnomjerne širine reza i ponovljive geometrije, odnosno dimenzija radnih komada, potrebno je imati točnu regulaciju udaljenosti između pištolja i radnog komada. Regulacija udaljenosti omogućuje da se plazma pištolj uvijek nalazi na istoj udaljenosti od radnog komada, bilo da je uzorak valovit ili da neravno naliježe. Isti zahtjevi vrijede i za proces bušenja (probijanja) koji čuva sapnicu od štrcanja, posebno u području srednjih i velikih debljina limova. Pogrešni procesi bušenja dovode do povećanog trošenja sapnice, prekidanja procesa rezanja i loših rezultata rezanja. U pravilu se na početku rezanja, pomoću taktilnog senzora odredi položaj plazma pištolja tako da se pištolj primiče limu, dok taktilni senzor ne dodirne površinu lima. Kada senzor dotakne površinu materijala, zatvara se električni krug i računalo je obavješteno da je rezna glava postavljena na visinu bušenja, koja je viša od visine rezanja kako bi se spriječilo štrcanje vrućeg metala direktno u sapnicu. Kad završi bušenje, glava se pomiče na visinu rezanja i započinje rezanje. Optimalna visina bušenja, odnosno rezanja te optimalna brzina rezanja ovise o vrsti

plinske mješavine i materijalu koji se reže. Slika 24.. prikazuje tijek gibanja pištolja kod CNC upravljanog rezanja plazmom.

Kad jednom započne rezanje plazmom, udaljenost između vrha pištolja i površine materijala održava se očitavanjem napona prenesenog električnog luka, u procesu koji se zove automatska regulacija visine. Za postizanje visoke kvalitete reza važno je održavati konstantnu udaljenost između pištolja i površine materijala pomoću odgovarajućeg sustava automatske regulacije. Napon u luku se stalno provjerava, a očitavanja se koriste za podešavanje Z osi prema gore ili dolje ovisno o očitanom naponu. Rezultat je kvalitetan rez koji ne zahtijeva intervenciju korisnika.



Slika 24. Tijek gibanja pištolja kod CNC upravljanog rezanja plazmom

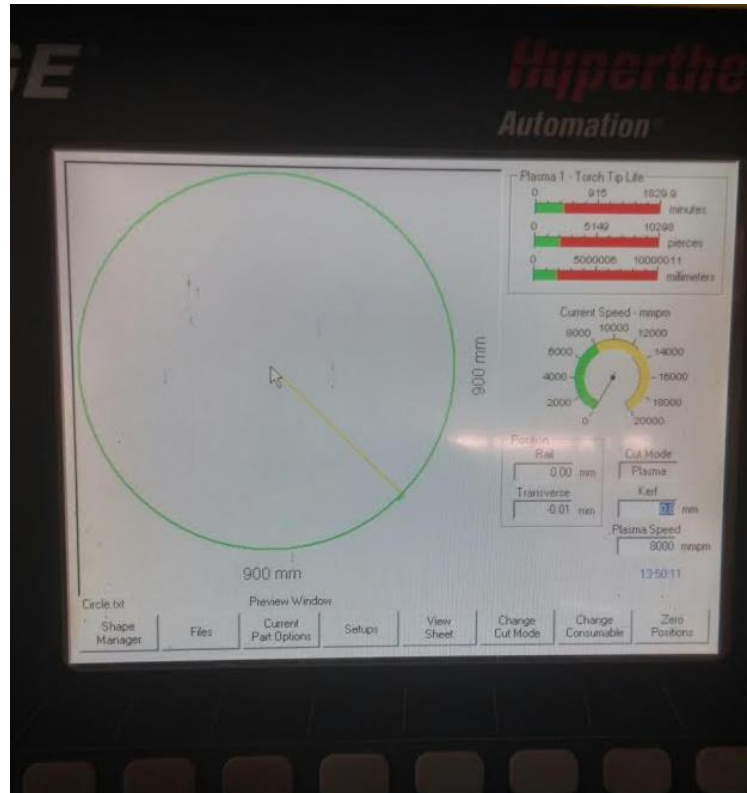
#### 4.4. Sustav za vođenje

Sustav za vođenje ima jednako veliki utjecaj na kvalitetu reza kao i „alat“ – plazmeni mlaz. Za postizanje visoke kvalitete reza u pravilu se koriste CNC upravljeni koordinatni sustavi te roboti. Sustav za vođenje mora imati pogone s dovoljnom dinamikom kako bi brzo postigao zadanu brzinu rezanja.

Od velikog je značaja točno upravljanje slijedećim fazama rezanja:

- početak i kraj rezanja, posebno kod unutarnjih kontura,
- prelaženje preko reza,
- gibanje po kutevima .

U potpuno automatiziranom pogonu ima smisla napraviti datoteku s podacima za automatsko određivanje tehnoloških parametara, na temelju vrste i debljine materijala. U memoriji računala postoje standardne konture, odnosno ponuđeni programi najčešće korištenih oblika predmeta koje treba izrezati. Kada se izabere geometrijski oblik predmeta, potrebno je upisati brzinu rezanja, dimenzije predmeta, način započinjanja reza te da li se želi izrezati rupu ili vanjsku konturu. Kada se reže više jednakih komada, funkcija krojenja omogućava optimalno iskorištenje površine ploče. Također se mogu koristiti tehnološke tablice za automatsko podešavanje uvjeta rezanja. Za dobivanje točnih dimenzija potrebno je odrediti kompenzaciju širine reza. Kompenzacija rezanja u kutevima i radijusima sukladno debljini lima koristi se da ne dođe do propaljivanja, odnosno pada kvalitete rezanja na tim mjestima. Kada se želi izrezati kontura složenog geometrijskog oblika koju je potrebno programirati, koristi se suvremeni programski paket za CAD/CAM pripremu programa za toplinsko rezanje. Programirana kontura može se pohraniti u računalu. Tako kreirana kontura, može se učitati u računalu CNC stola pomoću diskete ili preko mrežnog priključka.



Slika 25. Hypertherm upravljačka jedinica za vođenje



#### 4.5. Tehnički plinovi pri plazma rezanju

Uz sve prije navedene utjecajne čimbenike, ključni utjecaj na stabilnost i brzinu procesa rezanja i na kvalitetu tako dobivenih reznih površina imaju tehnički plinovi koji se koriste u procesu, bilo da se radi o plazmenim ili zaštitnim plinovima. U cilju postizanja ekonomičnog procesa rezanja i zahtijevane kvalitete rezanja potreban je pravilan odabir plazmenog plina/mješavine za određeni materijal. Pri odabiru tehničkog plina najvažniju ulogu imaju njegova fizička svojstva, kao što su ionizacija i energija disocijacije, toplinska vodljivost, atomska težina i kemijska reaktivnost.

**Zrak** je najsvestraniji plazmeni plin te omogućava dobru kvalitetu i brzinu rezanja nelegiranih i nehrđajućih čelika, kao i aluminija. Zrak isto tako smanjuje troškove rezanja jer nije potrebna njegova nabavka. Komprimirani korišteni zrak treba biti očišćen od svih nečistoća, kao što su čestice ili vlaga. Glavne komponente zraka su dušik ( $\approx 70\%$ ) i kisik ( $\approx 21\%$ ). S upotrebom zračne plazme može doći do pojave nitracije i oksidacije površine reza, što kasnije može uzrokovati poroznost u zavarenim spojevima.

**Argon** pripada grupi inertnih plinova, što znači da kemijski ne reagira s materijalom tokom procesa rezanja. Njegova visoka atomska težina (najveća od svih plinova) pridonosi visokoj energiji za ispuhivanje taline, dok niska energija ionizacije omogućava laganu uspostavu luka. Rezultat toga je visoka kinetička energija plazmenog mlaza. Argon se većinom koristi u mješavinama, zbog njegove male toplinske vodljivosti te njegove veće cijene.

**Vodik**, nasuprot argonu, ima vrlo dobru toplinsku vodljivost. Nadalje, vodik disocira pri visokim temperaturama. To znači da se velika većina energije povlači s električnog luka, što rezultira suženjem električnog luka te mogućnošću postizanja veće gustoće energije. Zbog male atomske težine čisti je vodik neprikladan za korištenje te tako ne može proizvesti dovoljnu kinetičku energiju za ispuhivanje taline metala.

**Dušik** s materijalom reagira samo pri visokim temperaturama, dok pri niskim temperaturama ostaje inertan. Što se tiče fizikalnih svojstava, odnosno toplinske vodljivosti i atomske težine, nalazi se između argona i vodika. Kao dodatak argonu povećava toplinsku vodljivost i kvalitetu reza. Još uvijek je najbolje rješenje pri rezanju aluminija i nehrđajućeg čelika. Općenito govoreći, upotreba zraka kao sekundarnog medija je najbolja kombinacija pri plazma rezanju dušikom.

Isto tako, moguće je i korištenje vode kao sekundarnog medija, čime se dobija jako glatka površina reza nehrđajućih čelika i aluminija te manje deformacije samog radnog komada. Ovakova aplikacija zahtijeva uporabu vodenog stola.

**Kisik** je po svojoj toplinskoj vodljivosti i atomskoj težini jednak dušiku. Kisik djeluje oksidirajuće na talinu te se proizvodi dodatna toplina koja može povećati brzinu rezanja. Kisik kao plazmeni plin je postao standardan pri rezanju ugljičnih čelika te pritom daje najbolju kvalitetu rezanja i najveću brzinu rezanja od svih plazmenih plinova. Upotreba kisika pri rezanju ugljičnih čelika daje fini mlaz taline metala, smanjujući površinsku napetost svake kapljice metala te tako omogućuje lagano ispuhivanje taline. Nedostatak upotrebe kisika kao plazmenog plina je njegova cijena i vijek trajanja potrošnih materijala plazma pištolja. No, posljednja dostignuća plazma sustava za rezanje omogućuju započinjanje rezanja mješavinom kisika i dušika te nastavak rezanja kisikom, čime se produžuje vijek trajanja potrošnih materijala. Povećani troškovi zbog cijene kisika i smanjenja vijeka trajanja potrošnih materijala se uobičajeno nadoknađuju smanjenjem troškova sekundarnih operacija, kao što je uklanjanje srha i ravnanje kosih površina reza. Isto tako, kisik se može upotrebljavati za rezanje nehrđajućih čelika i aluminija, ali se dobija grublja površina reza te se ne preporučuje za rezanje navedenih materijala.

**Mješavine plinova** dobivaju se miješanjem gore navedenih plinova. Na primjer, dobra toplinska svojstva vodika se mogu kombinirati s velikom atomskom težinom argona. Ovo omogućava rezanje aluminija i nehrđajućih čelika, debljina većih od 5 mm, s sadržajem vodika ovisno o debljini materijala (najčešća mješavina: 35% H<sub>2</sub>, 65% Ar). Premalo vodika daje grublju površinu reza i zaobljen gornji rub reza, a previše vodika daje glatku gornju stranu reza, ali na donjem rubu ostaje dio rastaljenog metala. Pravilan izbor mješavine Ar/H<sub>2</sub> daje vertikalni rez i glatku, gotovo poliranu površinu reza nehrđajućih čelika. Pritom je također moguća pojava

srha na donjem rubu reza. Kao zaštitni plin mješavine Ar/H<sub>2</sub>, uobičajeno se koristi dušik. Nedostatak upotrebe ovakve kombinacije plinova za plazma rezanje je visoka cijena .

Rezanje plazmom različitih materijala i debljina ne može se optimalno izvoditi koristeći samo jedan plazmeni plin. Za dobivanje reza koji ne treba naknadnu obradu potrebno je prilagoditi plazmeni i dodatni plin materijalu koji se reže. Djelovanje pojedinih plinova, odnosno plinskih mješavina na kvalitetu reza, a time i na troškove prikazano je u tablici 1.

Tablica 1. Plinske mješavine

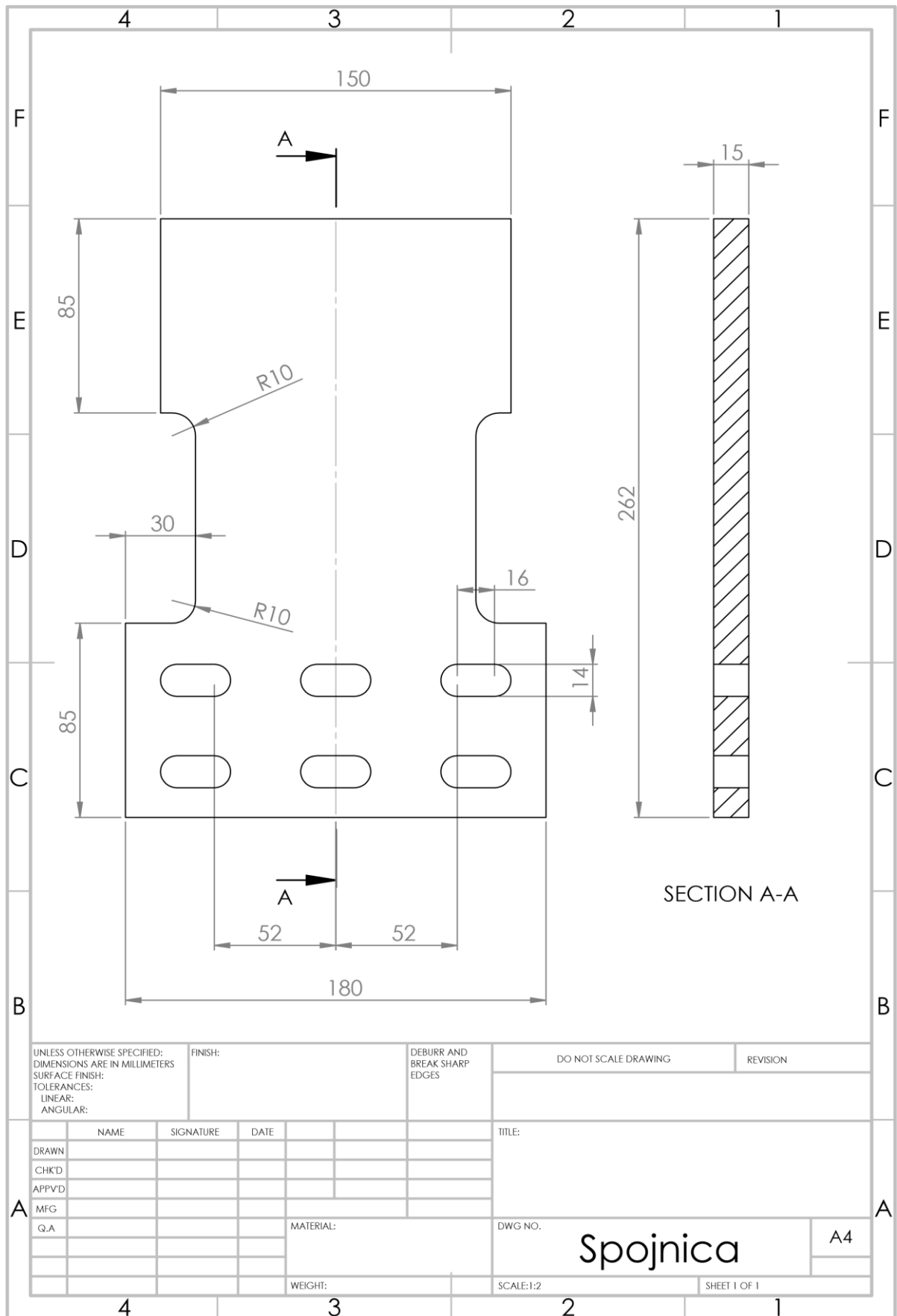
| Materijal            | Plazmeni plin     | Dodatni plin          | Napomena                                                                                                                             |
|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Konstrukcijski čelik | Zrak              | Zrak                  | moguće stvaranje nitrida na površini reza                                                                                            |
|                      | Kisik             | Zrak ili kisik        | nema stvaranja nitrida na površini reza manje srha nego kod zraka srh se lako uklanja dugi vijek trajanja pomoću XL-LifeTime-sustava |
|                      | Kisik             | Kisik ili kisik/dušik | kvaliteta reza usporediva s laserom u području tankih limova (HiFocus)                                                               |
| Visokolegirani čelik | Zrak              | Zrak                  | hrapava i oksidirana površina reza malo srha, gotovo okomite površine reza (HiFocus; 1 – 6 mm)                                       |
|                      | Argon/vodik       | Dušik                 | glatka i sjajna površina reza pojava srha pri malim debljinama                                                                       |
|                      | Argon/vodik/dušik | Dušik                 | glatka i sjajna površina reza zbog dušika manji srh ili bez srha                                                                     |
|                      | Dušik             | Dušik/vodik           | sjajna površina reza bez srha u području tankih limova (od debljina 2 mm) (HiFinox; 0,5 – 6 mm)                                      |
| Aluminijske legure   | Zrak              | Zrak                  | hrapava površina reza                                                                                                                |
|                      | Argon/vodik       | Zrak ili dušik        | glatka površina reza nego sa zrakom približno okomita površina reza                                                                  |
|                      | Zrak              | Dušik/vodik           | okomita površina reza u području tankih limova (HiFocus)                                                                             |

## **5. POSTAVKA ZADATKA**

U ovom završnom radu potrebno je nakon proučene literature, izraditi obradak (spojnicu) na plazma rezaču s pripadajućim troškovima za seriju od 2000 spojnica. Izradu istog obratka simulirati na CNC glodalici za isti broj komada s pripadajućim troškovima.

Usporediti troškove za oba postupka te na temelju njih donesti zaključak.

Ulazni podaci su na priloženom crtežu.



Slika 26. Crtež obratka „Spojnica“

## 6. RAZRADA ZADATKA

### 6.1. Odabir stroja za rezanje

Prema zadatku završnog rada prvo se pristupilo izradi tehnologije za izradu obratka plazma rezanjem i izračunu troškova svih troškova za ovaj postupak. U tu svrhu odabran je:

#### - CNC STROJ ZA REZANJE I PLAZMA IZVOR:

- Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje je marke **ECKERT** (Poljska)
- Plazma izvor je marke **HYPERTHERM HPR 400XD**
- LANTEK EXPERT 2019 – nesting software system – software za programiranje strojeva za rezanje



Slika 27. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje je marke **ECKERT** (Poljska)



Slika 28. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje – nosač gorionika

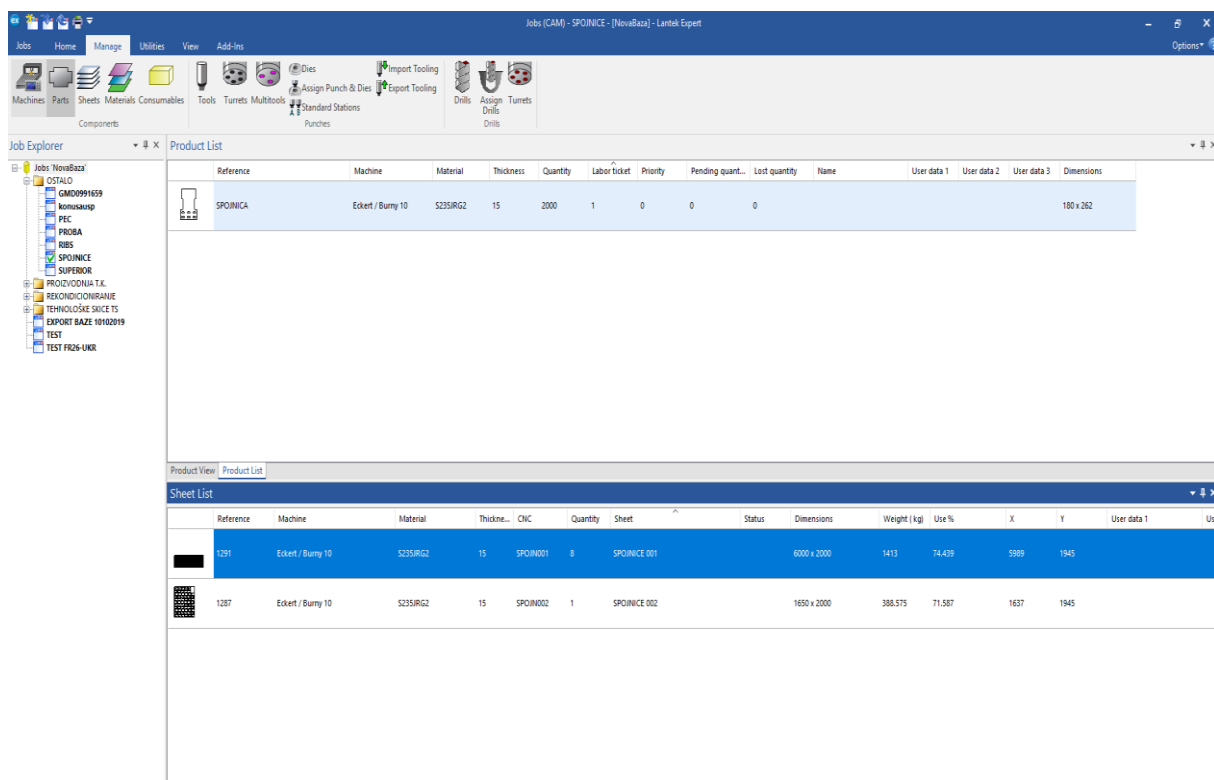


Slika 29. Stroj za CNC plinsko / plazma rezanje – gorionik

## 6.2. Izrada plana rezanja

Da bi se pristupilo rezanju 2000 pozicija „spojnica“ iz lima kvalitete S235JRG2 (č0361 – Konstrukcijski čelik), potrebno je izraditi plan rezanja.

Plan rezanja i CNC program rađen je u softwar-u LANTEK.



Slika 30. Prikaz sučelja software-a LANTEK

Poziciju za izradu plazma rezanjem u pravilu dobijemo od naručioca u jednom od CAD oblika, a najčešće u softveru Auto CAD. Importiramo ju u software LANTEK. Pomoću modula za slaganje unesenu poziciju rasporedimo po tabli lima dimenzija 15 x 2000 x 6000 mm (standardna dimenzija lima), i još jednoj manjoj tabli dimenzija 15 x 2000 x 1650 mm, pazeći pri tome da razmak između pozicija zadovoljava sve tehničke i tehnološke norme. Na samom crtežu nisu definirane tolerancije, već su sve otvorene kote, ali je naručilac naznačio na crtežu da je zahtjev za kvalitetu prema normi ISO 9013-342.



Norma ISO 9013-342 nam definira klase tolerancije:

- za kvalitetu dimenzija,
- za kvalitetu hrapavosti površine i
- za kvalitetu tolerancije okomitosti reza

Za plazma rezanje naših pozicija (lim 15 mm konstrukcijski čelik, veličina pozicije 180 x 262 mm) za klase kvalitete koje se mogu postići bile (prema aneksu A na strani 21 norme), i to:

- klasa 2 za dimenzije - tolerancija  $\pm 1,9\text{mm}$ :

Table 7 — Limit deviations for nominal dimensions tolerance class 2

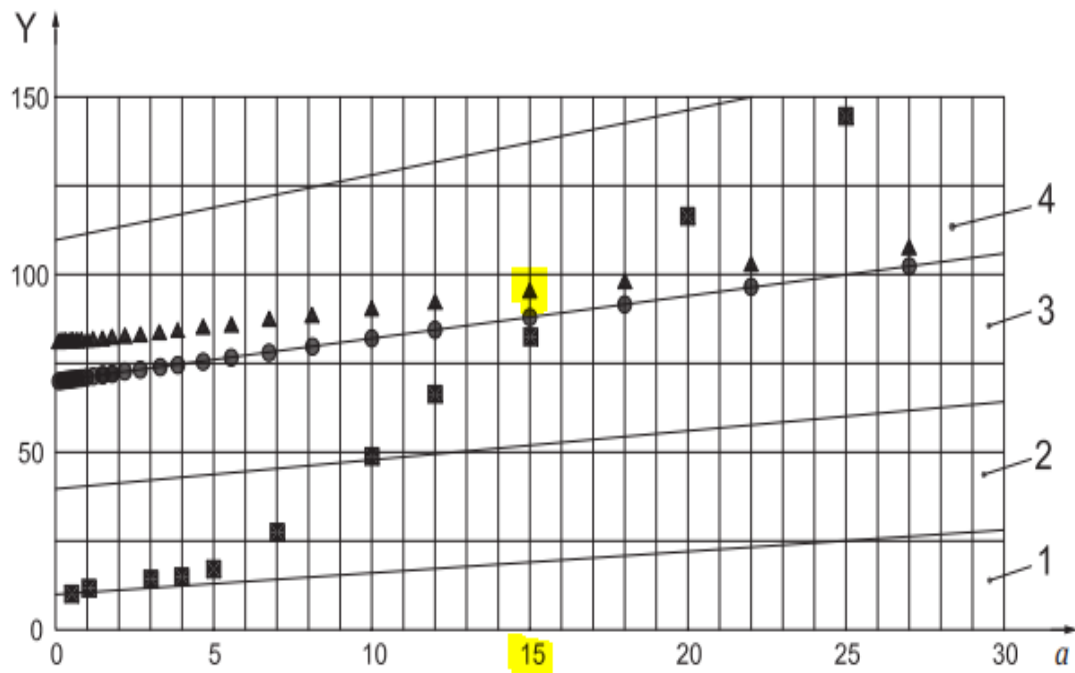
Dimensions in millimetres

| Work piece thickness<br><i>a</i> | Nominal dimensions |           |            |             |              |                |                  |                  |                  |                  |
|----------------------------------|--------------------|-----------|------------|-------------|--------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                  | >0 to <3           | ≥3 to <10 | ≥10 to <35 | ≥35 to <125 | ≥125 to <315 | ≥315 to <1 000 | ≥1 000 to <2 000 | ≥2 000 to <4 000 | ≥4 000 to <6 000 | ≥6 000 to <8 000 |
| Limit deviations                 |                    |           |            |             |              |                |                  |                  |                  |                  |
| >0 to ≤1                         | ±0,5               | ±0,6      | ±0,6       | ±0,7        | ±0,7         | ±0,8           | ±0,9             | ±0,9             | —                | —                |
| >1 to ≤3,15                      | ±0,6               | ±0,6      | ±0,7       | ±0,7        | ±0,8         | ±0,9           | ±1               | ±1,1             | ±1,4             | ±1,4             |
| >3,15 to ≤6,3                    | ±0,7               | ±0,8      | ±0,9       | ±0,9        | ±1,1         | ±1,2           | ±1,3             | ±1,3             | ±1,6             | ±1,6             |
| >6,3 to ≤10                      | —                  | ±1        | ±1,1       | ±1,3        | ±1,4         | ±1,5           | ±1,6             | ±1,7             | ±1,9             | ±2               |
| >10 to ≤15                       | —                  | ±1,8      | ±1,8       | ±1,8        | ±1,9         | ±2,3           | ±3               | ±4,2             | ±4,3             | ±4,5             |
| >15 to ≤20                       | —                  | ±1,8      | ±1,8       | ±1,8        | ±1,9         | ±2,3           | ±3               | ±4,2             | ±4,3             | ±4,5             |
| >20 to ≤25                       | —                  | ±1,8      | ±1,8       | ±1,8        | ±1,9         | ±2,3           | ±3               | ±4,2             | ±4,3             | ±4,5             |
| >25 to ≤32                       | —                  | ±1,8      | ±1,8       | ±1,8        | ±1,9         | ±2,3           | ±3               | ±4,2             | ±4,3             | ±4,5             |
| >32 to ≤50                       | —                  | ±1,8      | ±1,8       | ±1,8        | ±1,9         | ±2,3           | ±3               | ±4,2             | ±4,3             | ±4,5             |
| >50 to ≤100                      | —                  | —         | ±2,5       | ±2,5        | ±2,6         | ±3             | ±3,7             | ±4,9             | ±5,3             | ±5,6             |
| >100 to ≤150                     | —                  | —         | ±3,2       | ±3,3        | ±3,4         | ±3,7           | ±4,4             | ±5,7             | ±6,1             | ±6,4             |
| >150 to ≤200                     | —                  | —         | ±4         | ±4          | ±4,1         | ±4,5           | ±5,2             | ±6,4             | ±6,8             | ±7,1             |
| >200 to ≤250                     | —                  | —         | —          | —           | —            | ±5,2           | ±5,9             | ±7,2             | ±7,6             | ±7,9             |
| >250 to ≤300                     | —                  | —         | —          | —           | —            | ±6             | ±6,7             | ±7,9             | ±8,3             | ±8,6             |

Slika 31. Granična odstupanja za razred tolerancije nazivnih dimenzija klase 2

Iz tablice na slici 31 vidljivo je da je tolerancija  $\pm 1,9\text{mm}$  i to zadovoljava dimenzionalnu kvalitetu

- klasa 4 za kvalitetu površine:



**Key**

1 to 4 range (see [Table 5](#))

$a$  cut thickness,  $e$ , in mm

$Y$  mean height of the profile,  $Rz5$

● oxyfuel flame cutting

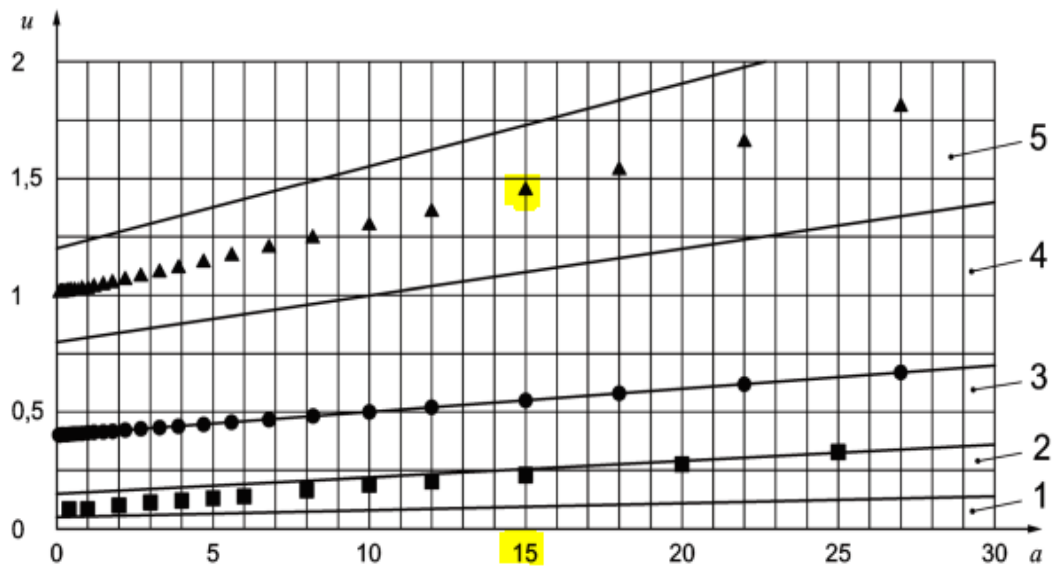
▲ plasma cutting

■ laser cutting

Slika 32. Tipične kvalitete rezanja koje se mogu postići sa srednjom visinom profila debljina radnog komada do 30 mm

Dijagram na slici 32, nam pokazuje kvalitetu rezanja za lim debljine 15 mm i ista iznosi 100  $\mu\text{m}$ .

- klasa 5 za toleranciju okomitosti:



**Key**

1 to 5 range (see [Table 5](#))

$a$  cut thickness,  $e$ , in mm

$u$  perpendicularity or angularity tolerance, in mm

● oxyfuel flame cutting

▲ plasma cutting

■ laser cutting

Slika 33. Tipične kvalitete reza koje se mogu postići tolerancijom okomitosti ili kutnosti - debljina radnog komada do 30 mm

Dijagram na slici 33, nam pokazuje kvalitetu okomitosti i kutnosti kod rezanja lima debljine 15 mm.

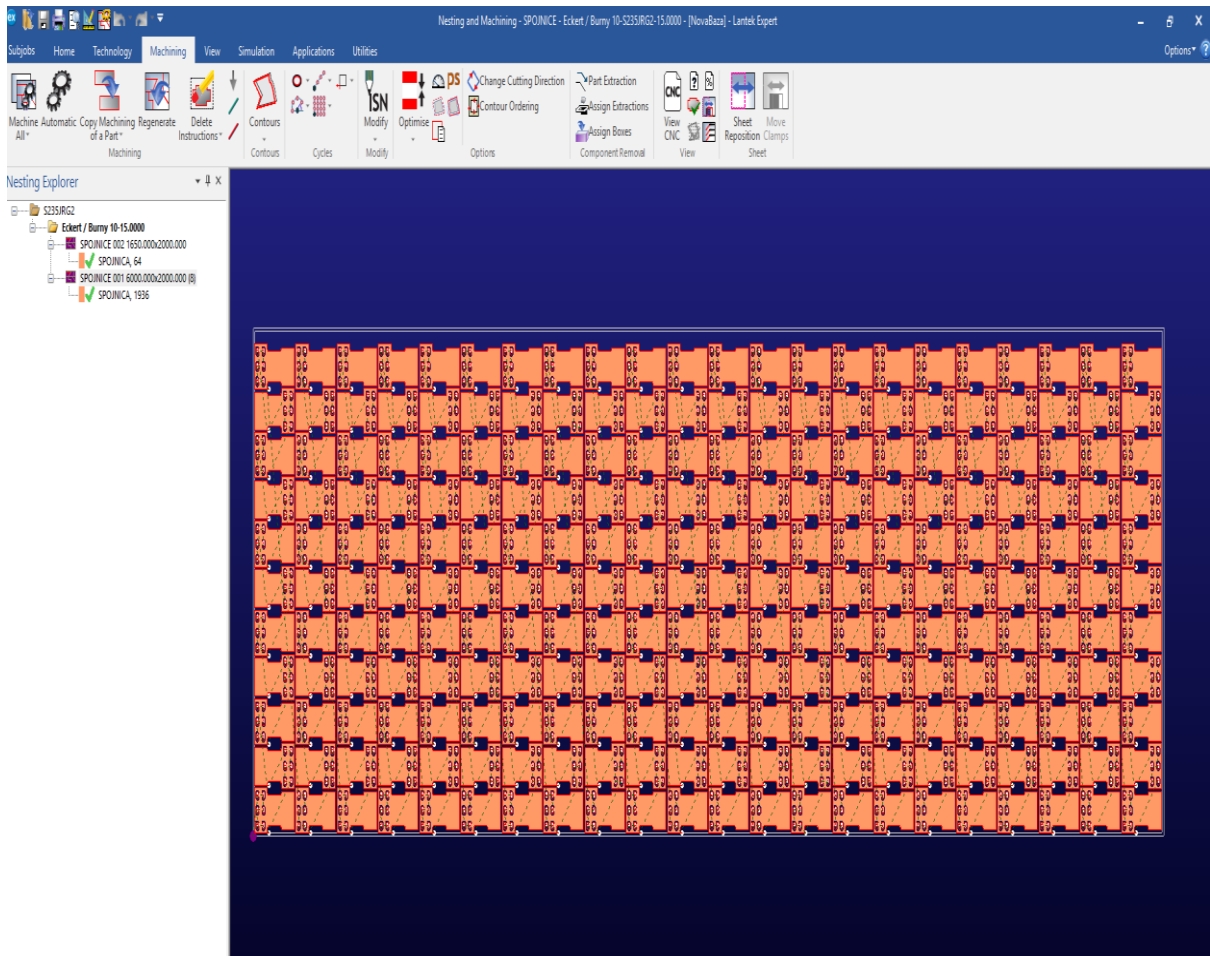
- Ako se pozicija nakon rezanja strojno obrađuje, ovo su preporuke za dodatak za strojnu obradu:

Tablica 2. preporuke za dodatak za strojnu obradu

| Debljina radnog komada<br>$a$ (mm) | Dodatak za obradu za svaku rezanu površinu<br>$B_z$ (mm) |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $\geq 2 \leq 20$                   | 2                                                        |
| $\geq 20 \leq 50$                  | 3                                                        |
| $\geq 50 \leq 80$                  | 5                                                        |
| $> 80$                             | 7                                                        |

Na slijedećim slikama prikazan je „Print screen“ sa importiranim pozicijama „SPOJNICA“. Importirana je:

- geometrija pozicije,
- broj spojnica,
- kvaliteta i
- debljina lima



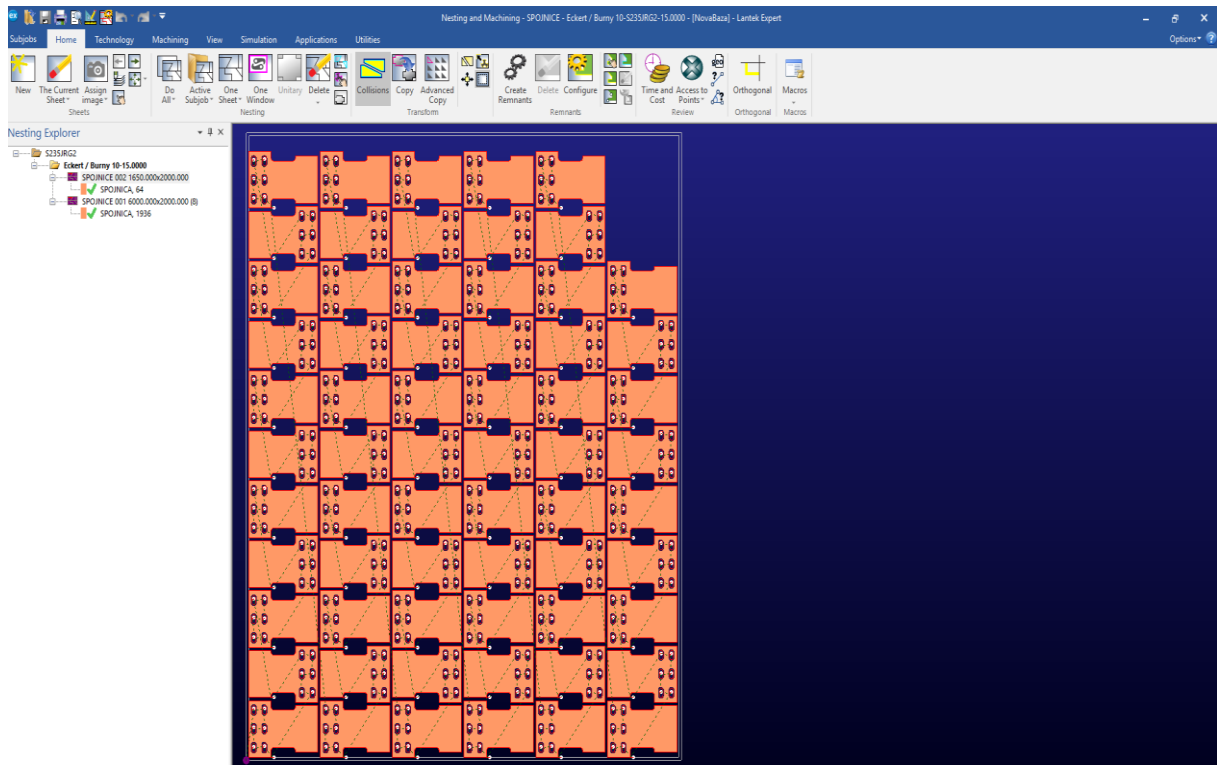
Slika 34. „Print screen“ posložene pozicije na tablu lima 15x2000x6000, sa „veznim putem“ tj. redoslijedom rezanja pozicija.

Na ovu tablu dimenzija 15 x 2000 x 6000 mm je smješteno 242 pozicije.

Potrebno je 8 ovakvih tabli lima za 1936 (242 x 8 = 1936) pozicija za izrezivanje.

Da bi se ukupno izrezalo 2000 komada pozicija još je potrebna tabla 15 x 2000 x 1650 mm iz koje se treba izrezati preostale 64 pozicije.

Sljedeća slika prikazuje „Print screen“ posloženih pozicija na tablu lima 15 x 2000 x 1650 mm, sa „veznim putem“ tj. redoslijedom rezanja pozicija.

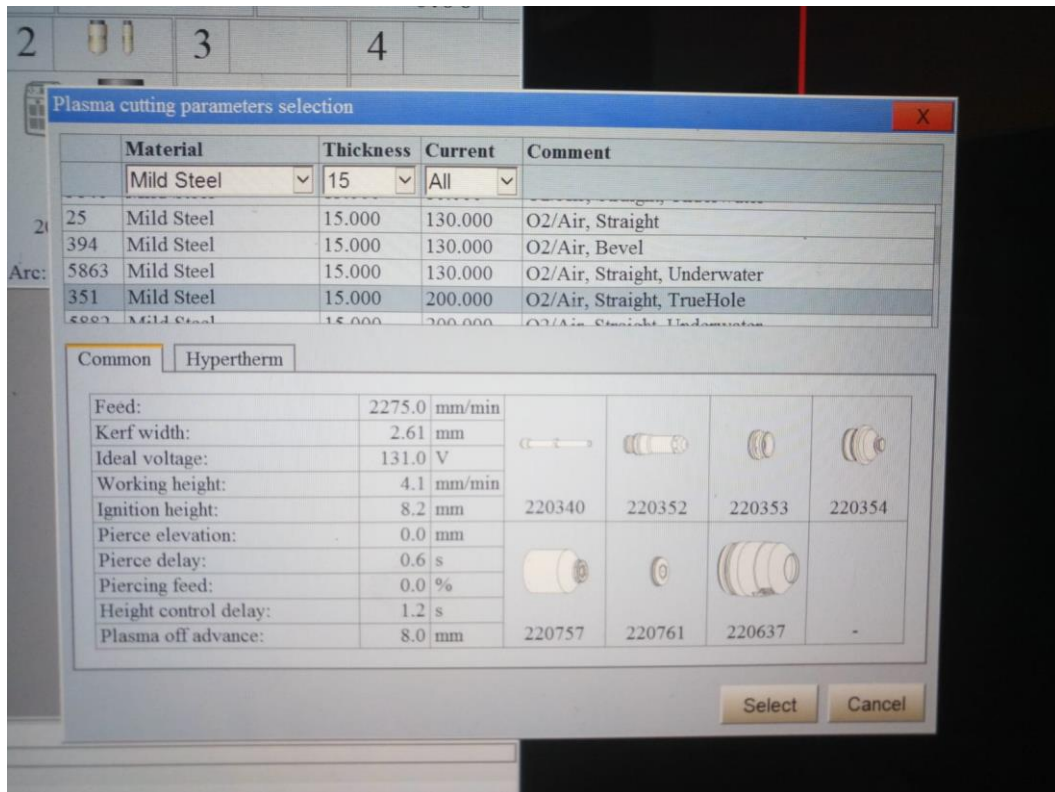


Slika 35. „Print screen“ posloženih pozicija na tablu lima 15x2000x1650, sa „veznim putem“ tj. redoslijedom rezanja pozicija.

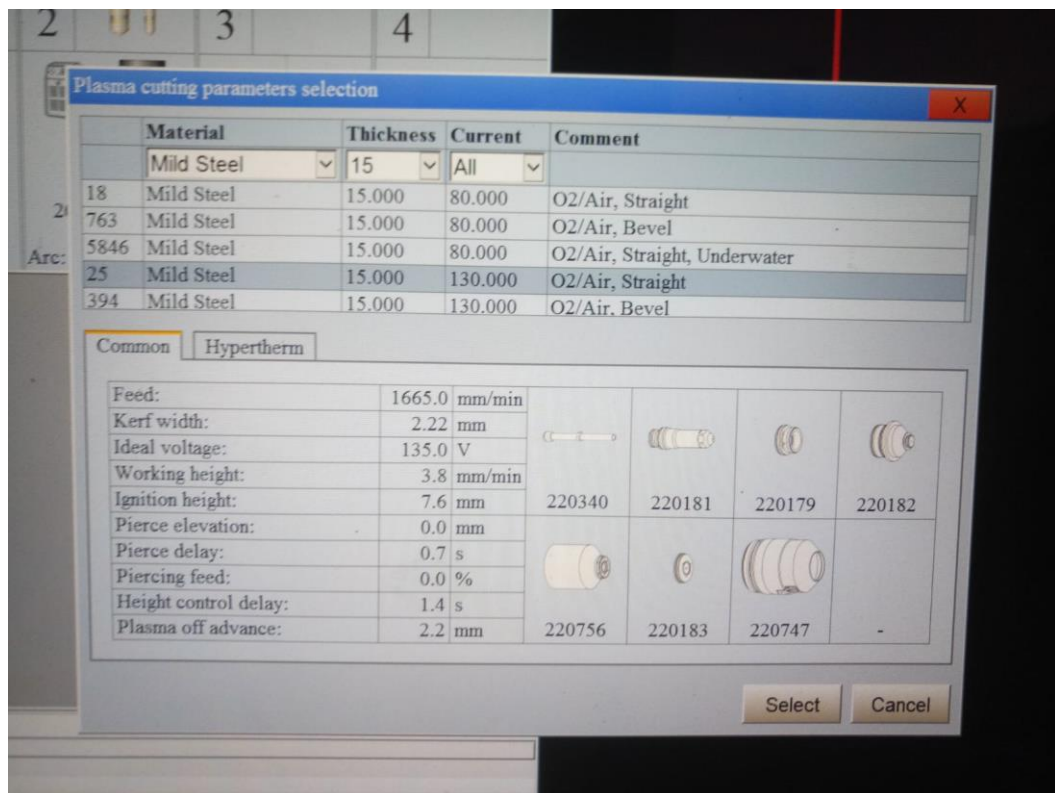
Slike u nastavku prikazuju monitor upravljačke jedinice s tri različita režima rada i to za tri različite jakosti struje. Odabrane jakosti struje su:

- 200 A,
- 130 A i
- 80 A

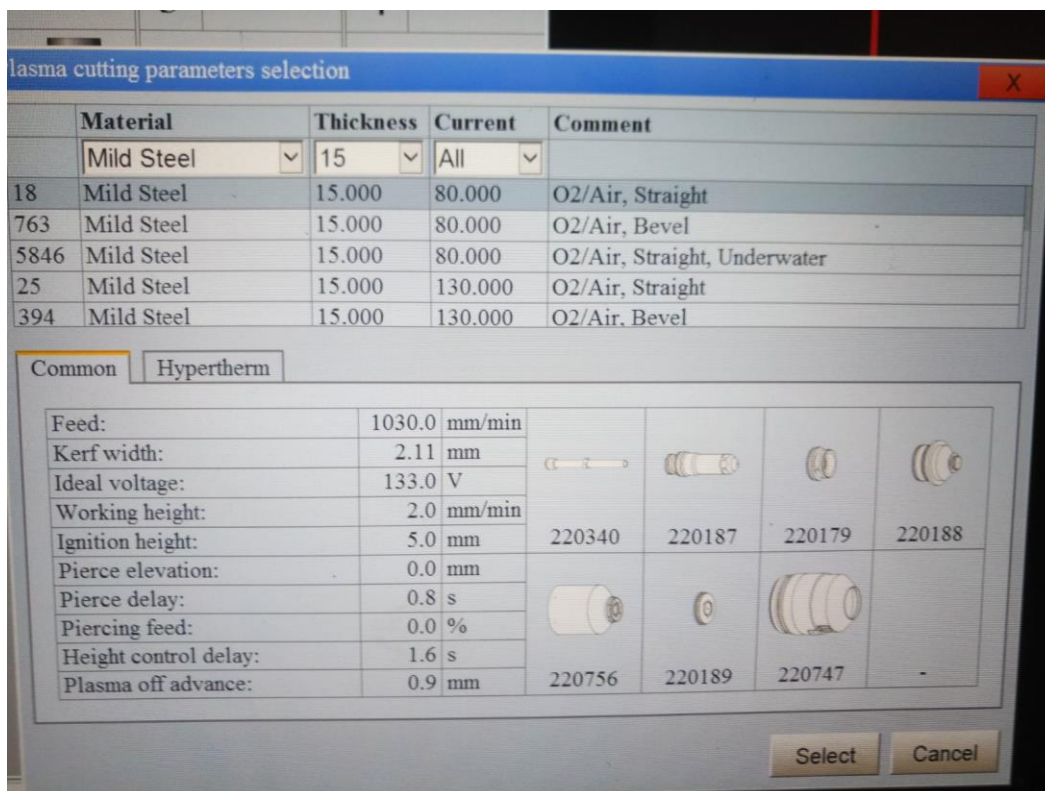
Sva tri režima rada zadovoljavaju kvalitetu reza, a najkvalitetniji rez dobije se s režimom rada od 80 A i brzinom rezanja  $vc = 1030$  mm/min.



Slika 36. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 200 A



Slika 37. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 130 A



Slika 38. Režimi i alati za vrijednost jačine struje od 80 A

### 6.3. Troškovi materijala i rezanja

- cijena lima kvalitete S235JRG2 je 566,88 kn/m<sup>2</sup> ili 4,8 kn/kg
- cijena materijala 99,3 m<sup>2</sup> x 566,88 kn/m<sup>2</sup> = **56.291,20 kn**
- cijena sata stroja za rezanje je 288,70 kn/sat
- ovdje imamo 7 probijanja lima po jednoj poziciji, što znatno troši elektrodu i sapnicu plazma gorionika, pa je istu potrebno više puta čistiti ili mijenjati elektrodu i sapnicu.

Kada bi za ovo rezanje normirali cca 12 sati po jednoj tabli 2000 mm x 6000 mm i 3 sata za malu tablu 2000 mm x 1650 mm to bi iznosilo:

12 x 8 = 96 sati + 3 sata = 99 sati ... zaokružiti ćemo na 100 sati...

Cijena rezanja je prema tome 288,70 kn/sat x 100 sati = **28 870 kn**

Ukupna cijena usluge iznosi:

cijena materijala + cijena rezanja = **85.161,2 kn**

U prilogu su pdf fileovi ispisa planova rezanja koji se u okviru proizvodne dokumentacije šalju u proizvodnju zajedno s CNC programima

#### 6.4. Izrada „Spojnice“ na CNC glodalici

Tehnolog - programer u tehnološkom procesu izrade koristeći polazni crtež i CAD model određuje stroj odnosno radno mjesto gdje će se pozicija izraditi. Odabir se vrši sukladno mogućnostima i dimenzijama strojeva, a vodi se računa i o ekonomičnosti te trenutnoj zauzetosti pojedinih strojeva.

Radni nalog je osnovni dokument koji se koristi u određenom projektu. Od nabavke materijala i gotovih proizvoda, označavanja istih, izrade programa, strojne obrade, montaže i kontrole te isporuke gotovog proizvoda. S obzirom na to da se ovdje radi o serijskoj proizvodnji ne previše zahtjevnog obratka, Radni nalog sadrži samo osnovne podatke. Za izradu spojnice potrebno je:

1. Definirati tehnološki proces izrade na osnovi narudžbe kupca (količine) i izrađene konstrukcije – CAD modela prema zadanom crtežu i materijalu.
2. Nabaviti materijal za izradu i izraditi pozicije.
3. Odrediti stroj na kojem će se vršiti obrada.

Na raspolaganju smo imali dvije glodalice i to:

a) CNC glodalica 3-osna  
HAAS VM6

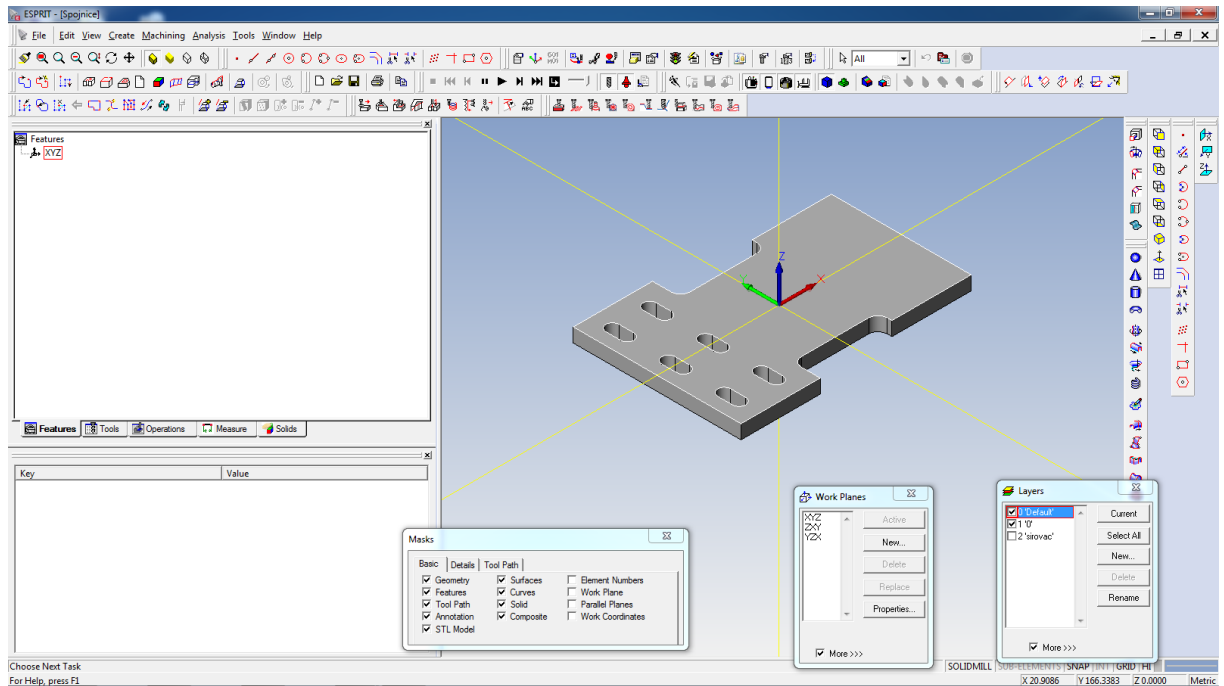
b) CNC glodalica 3-osna  
MIKRON VCE600 Pro



Slika 39. Strojni park

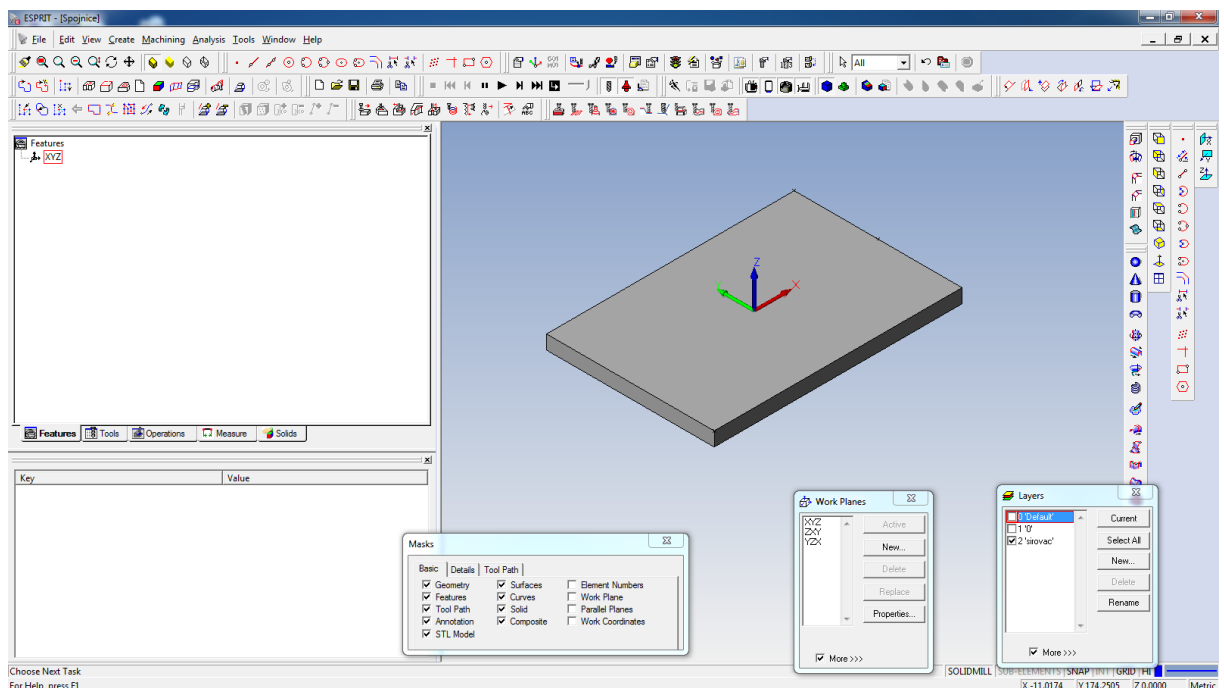


Prvo se pristupilo izradi 3D modela u CAD softveru (SolidWorks), koji je potom insertiran u CAM paket Esprit i isti je prikazan na slici 40.



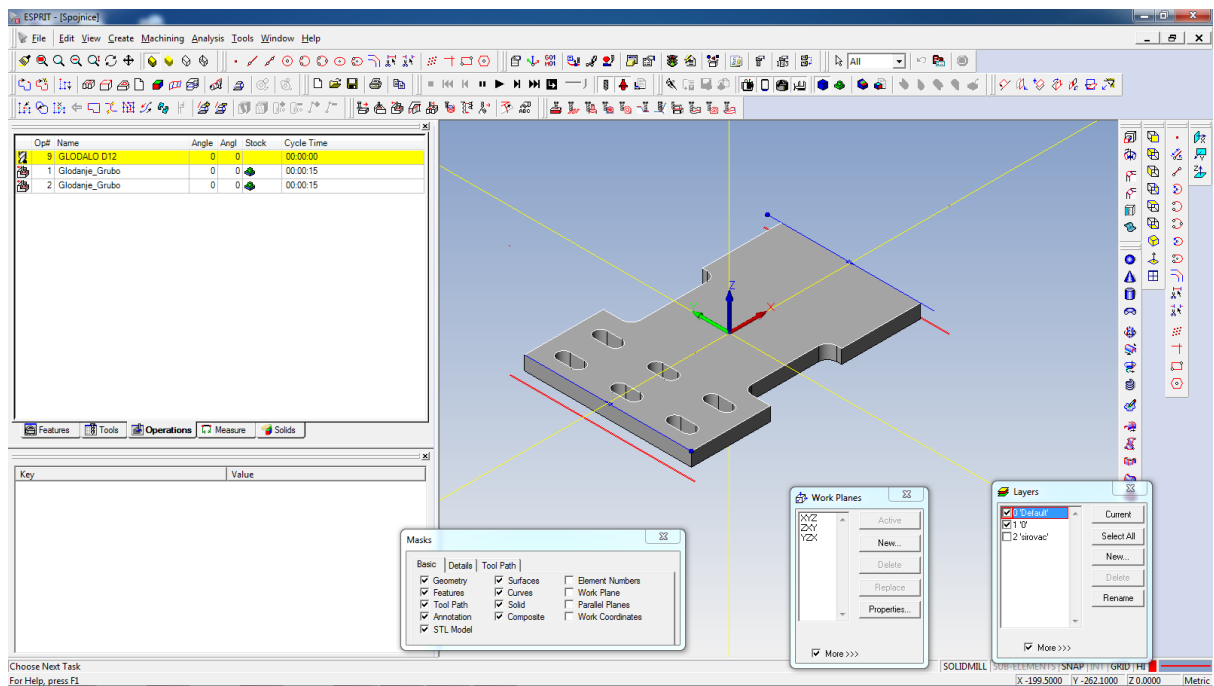
Slika 40. 3D model pozicioniran u Espritu za obradu

Nakon izrađenog 3D modela spojnice odrede se dimenzije sirovca i položaj u koordinatnom sistemu stroja, kao što je prikazano na slici 41. Sirovac je odrezan na dužinu 265 mm na tračnoj pili iz profila 180 x 15 mm.



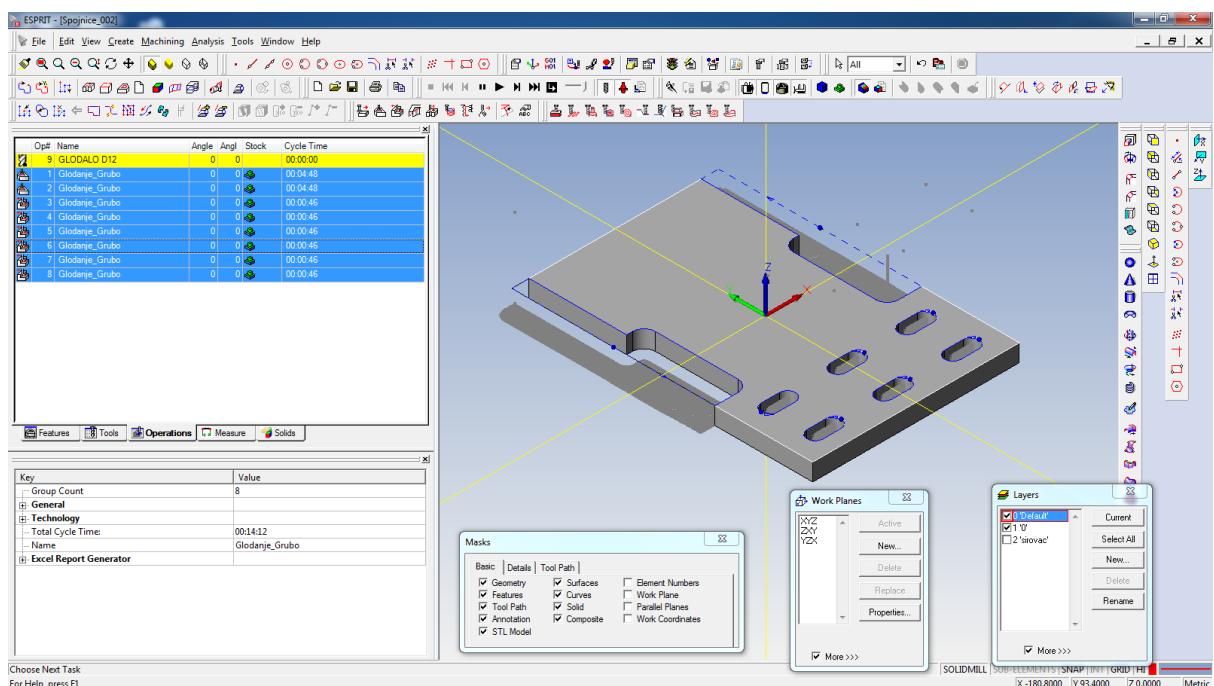
Slika 41. 3D model sirovca

Sljedeća slika prikazuje prvo stezanje u kojem se sirovac glodanjem obrađuje na zadanu dužinu 262 mm.



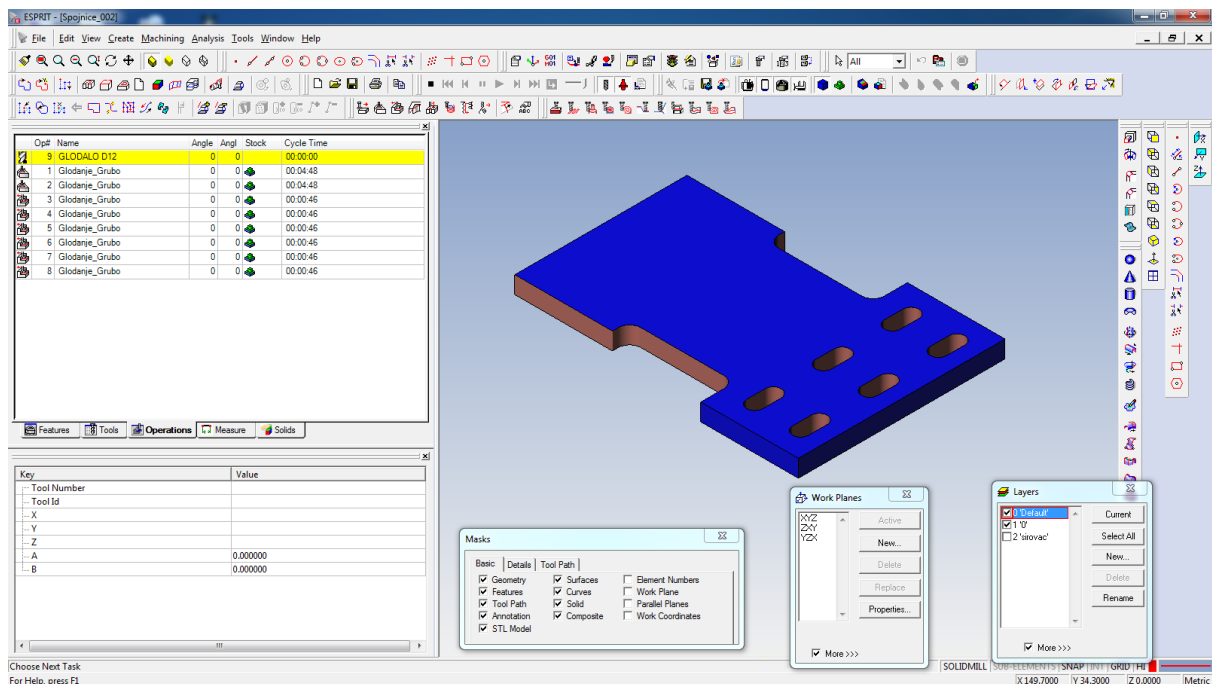
Slika 42. Prvo stezanje – glodanje na dužinu

U drugom stezanju vrši se glodanje na završne mjere s izradom 6 otvora.



Slika 43. Drugo stezanje – glodanje na završne mjere

Na kraju je simulacija gotovosti programa koja prema zadanim režimima rada daje podatke o vremenu obrade, prema kojem možemo izračunati usluge obrade.



Slika 44. Simulacija gotovosti programa

## 6.5. Troškovi materijala i obrade

- cijena lima kvalitete S235JRG2 je 6,1 kn/kg jer je materijal nabavljen već odrezan na dužinu 265 mm iz trake 180 x 15 mm u količini od 2000 komada
- cijena materijala iznosi: 2000 kom x 5.63 kg x 6,1 kn/kg = **68.698,00 kn**
- cijena sata glodalice je 190,00 kn/sat
- iz simulacije programa vidljivo je da je ukupno vrijeme obrade za jednu spojnicu, prvo + drugo stezanje iznosi 14.5 minuta i po pola minute izmjena komada što je ukupno 15.5 minuta.

Kada izračunamo ukupno vrijeme potrebno za obradu 2000 komada ono bi iznosilo:  
 $2000 \times 15,5 = 31000 \text{ min.} = 517 \text{ sati}$

Cijena glodanja je prema tome  $190,00 \text{ kn/sat} \times 517 \text{ sati} = \mathbf{98\ 230 \text{ kn}}$

Ukupna cijena usluge iznosi:

cijena materijala + cijena glodanja = **166.928,00 kn**

U prilogu su i CNC programi

## 7. ANALIZA REZULTATA

Tablica 3. Usporedba troškova proizvodnje

|                                 | <b>Plazma rezanje</b> | <b>Strojna obrada</b> |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Broj komada</b>              | <b>2000</b>           | <b>2000</b>           |
| <b>Troškovi materijala (kn)</b> | 56.291,20 kn          | 68.698,00 kn          |
| <b>Cijena sata (kn)</b>         | 288,70 kn/sat         | 190,00 kn/sat         |
| <b>Troškovi rezanja/obrade</b>  | 28 870,00 kn          | 98 230,00 kn          |
| <b>Ukupni troškovi</b>          | <b>85.161,2 kn</b>    | <b>166.928,00 kn</b>  |

Iz gornje tablice možemo vidjeti da je u ovom slučaju izrada pozicije na plazma rezalici upola jeftinija i da ako se ovakve serije ponavljaju da je isplativost nabave plazma rezalice opravdana. Uz to povećava se i konkurentnost tvrtke.

### Ulaganja

Troškovi nabave plazma rezalice za rezanje lima debljine do 30 mm iznosili bi 40.000,00 € (~ 300.000,00 kn).

Iz tablice 3 je vidljivo da je razlika u troškovima obrade 81.767,00 kn i ako bi svu dobit rezervirali za otplatu plazma rezalice mogli bi je isplatiti kroz četiri serije.

## 8. ZAKLJUČAK

Proces nabave opreme nije jednostavan i traži dobro promišljanje prije same odluke. Prije ulaganja u novu opremu potrebno je izraditi plan organizacijske strategije. Potrebno je postaviti ciljeve i strategiju za kupnju i odabir opreme. Treba uspostaviti proces nabave opreme, koji će odgovarati potrebi poduzeća, za ostvarivanje kvalitete i cijene proizvoda.

Kada se donese odluka o nabavi opreme i modernizaciji strojnog parka potrebno je pripaziti na sljedeće stvari:

- oprema mora biti priznata u svijetu
- na tržištu mora imati dovoljn broj referenci
- mora imati funkcionalnost, koje mi trebamo:
  - o dobro korisničko sučelje (user interface)
  - o dobra dinamika sistema
  - o dobro razvijen NC modul i dobru povezanost s drugim NC sistemom
  - o mora omogućiti vizualnu provjeru generiranog G-koda
  - o mora omogućiti normalan rad pod Windows-ima
- jednostavnost za učenje i upotrebu
- mora biti robusna
- cijena mora biti poznata da možemo napraviti financijsku analizu
- mora biti sposobna čitati datoteke koje već imamo u bazi
- mora biti usklađena sa standardima za izmjenu podataka.

Na kraju možemo zaključiti da smo izvršenom analizom ugotovili da se isplati ulaganje u plazma rezač, pogotovo jer je poznato da će ovakvih i još većih serija obradaka dolaziti u proizvodni proces.

## 9. LITERATURA

1. I. Samardžić: Rezanje plazmom – podloge za predavanja, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.
2. I. Stojanović: Plazma rezanje, Seminarski rad na doktorskom studiju FSB
3. I. Peko :Pregled termoelektričnih postupaka obrade metala s naglaskom na rezanje plazmenim mlazom; FESB Split
4. Josip Mioč: Optimizacija parametara pri rezanju plazmom; Diplomski rad FSB
5. <http://thermal-dynamics.com/index.php>
6. [http://thermal-dynamics.com/literature/operators\\_reference/63-2823.pdf](http://thermal-dynamics.com/literature/operators_reference/63-2823.pdf)
7. <http://www.laser-ing.hr>
8. [https://www.hypertherm.com/en/Products/Automated\\_cutting/Mechanized\\_plasma/Technology\\_upgrades/](https://www.hypertherm.com/en/Products/Automated_cutting/Mechanized_plasma/Technology_upgrades/)

## 9. PRILOG







## Dio NC koda za plazma rezanje

```
N10 PROGRAM
N20 INIT
N30 "Number :1051
N40 "Material :S235JRG2
N50 "Thickness :15
N60 "Date 09/04/20 | 09:20:31
N70
N80 USE_PRESELECTED
N90 INNER_CONTOUR
N100 G0 X30 Y163.14 COMP_LEFT
N110 PART_BEGIN('SPOJNICA')
N120 TECHNOLOGY_ON
N130 G1 X23 Y159.1
N140 G1 X23 Y152
N150 G3 X37 Y152 I7 J0
N160 G1 X37 Y168
N170 G3 X23 Y168 I-7 J0
N180 G1 X23 Y158.6
N190 G1 X27 Y156.29
N200 TECHNOLOGY_OFF
N210 COMP_NONE
N220 G0 X70 Y162.815 COMP_LEFT
N230 TECHNOLOGY_ON
N240 G1 X63 Y158.775
N250 G1 X63 Y152
N260 G3 X77 Y152 I7 J0
N270 G1 X77 Y168
N280 G3 X63 Y168 I-7 J0
N290 G1 X63 Y158.275
N300 G1 X67 Y155.965
N310 TECHNOLOGY_OFF
N320 COMP_NONE
N330 G0 X70 Y104.8 COMP_LEFT
N340 TECHNOLOGY_ON
N350 G1 X63 Y100.755
N360 G1 X63 Y92
N370 G3 X77 Y92 I7 J0
N380 G1 X77 Y108
N390 G3 X63 Y108 I-7 J0
N400 G1 X63 Y100.255
N410 G1 X67 Y97.95
N420 TECHNOLOGY_OFF
N430 COMP_NONE
N440 G0 X30 Y104.35 COMP_LEFT
N450 TECHNOLOGY_ON
N460 G1 X23 Y100.31
N470 G1 X23 Y92
N480 G3 X37 Y92 I7 J0
N490 G1 X37 Y108
N500 G3 X23 Y108 I-7 J0
N510 G1 X23 Y99.81
N520 G1 X27 Y97.5
N530 TECHNOLOGY_OFF
N540 COMP_NONE
N550 G0 X30 Y43.43 COMP_LEFT
N560 TECHNOLOGY_ON
```

N570 G1 X23 Y39.39  
N580 G1 X23 Y32  
N590 G3 X37 Y32 I7 J0  
N600 G1 X37 Y48  
N610 G3 X23 Y48 I-7 J0  
N620 G1 X23 Y38.89  
N630 G1 X27 Y36.58  
N640 TECHNOLOGY\_OFF  
N650 COMP\_NONE  
N660 G0 X70 Y42.8 COMP\_LEFT  
N670 TECHNOLOGY\_ON  
N680 G1 X63 Y38.76  
N690 G1 X63 Y32  
N700 G3 X77 Y32 I7 J0  
N710 G1 X77 Y48  
N720 G3 X63 Y48 I-7 J0  
N730 G1 X63 Y38.26  
N740 G1 X67 Y35.95  
N750 TECHNOLOGY\_OFF  
N760 COMP\_NONE  
N770 STANDARD\_CONTOUR  
N780 G0 X107 Y10 COMP\_LEFT  
N790 TECHNOLOGY\_ON  
N800 G1 X95 Y10  
N810 G1 X10 Y10  
N820 G1 X10 Y190  
N830 G1 X95 Y190  
N840 G1 X95 Y170  
N850 G3 X105 Y160 I10 J0  
N860 G1 X177 Y160  
N870 G3 X187 Y170 I0 J10  
N880 G1 X187 Y175  
N890 G1 X272 Y175  
N900 G1 X272 Y25  
N910 G1 X187 Y25  
N920 G1 X187 Y30  
N930 G3 X177 Y40 I-10 J0  
N940 G1 X105 Y40  
N950 G3 X95 Y30 I0 J-10  
N960 G1 X95 Y10  
N970 G1 X95 Y6  
N980 TECHNOLOGY\_OFF  
N990 COMP\_NONE  
N1000 PART\_END  
N1010 INNER\_CONTOUR  
N1020 G0 X252 Y218.765 COMP\_LEFT  
N1030 PART\_BEGIN('SPOJNICA')  
N1040 TECHNOLOGY\_ON  
N1050 G1 X245 Y214.725  
N1060 G1 X245 Y207  
N1070 G3 X259 Y207 I7 J0  
N1080 G1 X259 Y223  
N1090 G3 X245 Y223 I-7 J0  
N1100 G1 X245 Y214.225  
N1110 G1 X249 Y211.915  
N1120 TECHNOLOGY\_OFF  
N1130 COMP\_NONE  
N1140 G0 X212 Y217.26 COMP\_LEFT

N1150 TECHNOLOGY\_ON  
N1160 G1 X205 Y213.215  
N1170 G1 X205 Y207  
N1180 G3 X219 Y207 I7 J0  
N1190 G1 X219 Y223  
N1200 G3 X205 Y223 I-7 J0  
N1210 G1 X205 Y212.715  
N1220 G1 X209 Y210.405  
N1230 TECHNOLOGY\_OFF  
N1240 COMP\_NONE  
N1250 G0 X212 Y278.32 COMP\_LEFT  
N1260 TECHNOLOGY\_ON  
N1270 G1 X205 Y274.28  
N1280 G1 X205 Y267  
N1290 G3 X219 Y267 I7 J0  
N1300 G1 X219 Y283  
N1310 G3 X205 Y283 I-7 J0  
N1320 G1 X205 Y273.78  
N1330 G1 X209 Y271.47  
N1340 TECHNOLOGY\_OFF  
N1350 COMP\_NONE  
N1360 G0 X252 Y276.87 COMP\_LEFT  
N1370 TECHNOLOGY\_ON  
N1380 G1 X245 Y272.83  
N1390 G1 X245 Y267  
N1400 G3 X259 Y267 I7 J0  
N1410 G1 X259 Y283  
N1420 G3 X245 Y283 I-7 J0  
N1430 G1 X245 Y272.33  
N1440 G1 X249 Y270.02  
N1450 TECHNOLOGY\_OFF  
N1460 COMP\_NONE  
N1470 G0 X252 Y340.185 COMP\_LEFT  
N1480 TECHNOLOGY\_ON  
N1490 G1 X245 Y336.145  
N1500 G1 X245 Y327  
N1510 G3 X259 Y327 I7 J0  
N1520 G1 X259 Y343  
N1530 G3 X245 Y343 I-7 J0  
N1540 G1 X245 Y335.645  
N1550 G1 X249 Y333.335  
N1560 TECHNOLOGY\_OFF  
N1570 COMP\_NONE  
N1580 G0 X212 Y338.695 COMP\_LEFT  
N1590 TECHNOLOGY\_ON  
N1600 G1 X205 Y334.65  
N1610 G1 X205 Y327  
N1620 G3 X219 Y327 I7 J0  
N1630 G1 X219 Y343  
N1640 G3 X205 Y343 I-7 J0  
N1650 G1 X205 Y334.15  
N1660 G1 X209 Y331.84  
N1670 TECHNOLOGY\_OFF  
N1680 COMP\_NONE  
N1690 STANDARD\_CONTOUR  
N1700 G0 X107 Y200 COMP\_LEFT  
N1710 TECHNOLOGY\_ON  
N1720 G1 X95 Y200

N1730 G1 X10 Y200  
N1740 G1 X10 Y350  
N1750 G1 X95 Y350  
N1760 G1 X95 Y345  
N1770 G3 X105 Y335 I10 J0  
N1780 G1 X177 Y335  
N1790 G3 X187 Y345 I0 J10  
N1800 G1 X187 Y365  
N1810 G1 X272 Y365  
N1820 G1 X272 Y185  
N1830 G1 X187 Y185  
N1840 G1 X187 Y205  
N1850 G3 X177 Y215 I-10 J0  
N1860 G1 X105 Y215  
N1870 G3 X95 Y205 I0 J-10  
N1880 G1 X95 Y200  
N1890 G1 X95 Y196  
N1900 TECHNOLOGY\_OFF  
N1910 COMP\_NONE  
N1920 PART\_END  
N1930 INNER\_CONTOUR  
N1940 G0 X30 Y513.14 COMP\_LEFT  
N1950 PART\_BEGIN('SPOJNICA')  
N1960 TECHNOLOGY\_ON  
N1970 G1 X23 Y509.1  
N1980 G1 X23 Y502  
N1990 G3 X37 Y502 I7 J0  
N2000 G1 X37 Y518  
N2010 G3 X23 Y518 I-7 J0  
N2020 G1 X23 Y508.6  
N2030 G1 X27 Y506.29  
N2040 TECHNOLOGY\_OFF  
N2050 COMP\_NONE  
N2060 G0 X70 Y512.815 COMP\_LEFT  
N2070 TECHNOLOGY\_ON  
N2080 G1 X63 Y508.775  
N2090 G1 X63 Y502  
N2100 G3 X77 Y502 I7 J0  
N2110 G1 X77 Y518  
N2120 G3 X63 Y518 I-7 J0  
N2130 G1 X63 Y508.275  
N2140 G1 X67 Y505.965  
N2150 TECHNOLOGY\_OFF  
N2160 COMP\_NONE  
N2170 G0 X70 Y454.8 COMP\_LEFT  
N2180 TECHNOLOGY\_ON  
N2190 G1 X63 Y450.755  
N2200 G1 X63 Y442  
N2210 G3 X77 Y442 I7 J0  
N2220 G1 X77 Y458  
N2230 G3 X63 Y458 I-7 J0  
N2240 G1 X63 Y450.255  
N2250 G1 X67 Y447.95  
N2260 TECHNOLOGY\_OFF  
N2270 COMP\_NONE  
N2280 G0 X30 Y454.35 COMP\_LEFT  
N2290 TECHNOLOGY\_ON  
N2300 G1 X23 Y450.31

N2310 G1 X23 Y442  
N2320 G3 X37 Y442 I7 J0  
N2330 G1 X37 Y458  
N2340 G3 X23 Y458 I-7 J0  
N2350 G1 X23 Y449.81  
N2360 G1 X27 Y447.5  
N2370 TECHNOLOGY\_OFF  
N2380 COMP\_NONE  
N2390 G0 X30 Y393.43 COMP\_LEFT  
N2400 TECHNOLOGY\_ON  
N2410 G1 X23 Y389.39  
N2420 G1 X23 Y382  
N2430 G3 X37 Y382 I7 J0  
N2440 G1 X37 Y398  
N2450 G3 X23 Y398 I-7 J0  
N2460 G1 X23 Y388.89  
N2470 G1 X27 Y386.58  
N2480 TECHNOLOGY\_OFF  
N2490 COMP\_NONE  
N2500 G0 X70 Y392.8 COMP\_LEFT  
N2510 TECHNOLOGY\_ON  
N2520 G1 X63 Y388.76  
N2530 G1 X63 Y382  
N2540 G3 X77 Y382 I7 J0  
N2550 G1 X77 Y398  
N2560 G3 X63 Y398 I-7 J0  
N2570 G1 X63 Y388.26  
N2580 G1 X67 Y385.95  
N2590 TECHNOLOGY\_OFF  
N2600 COMP\_NONE  
N2610 STANDARD\_CONTOUR  
N2620 G0 X107 Y360 COMP\_LEFT  
N2630 TECHNOLOGY\_ON  
N2640 G1 X95 Y360  
N2650 G1 X10 Y360  
N2660 G1 X10 Y540  
N2670 G1 X95 Y540  
N2680 G1 X95 Y520  
N2690 G3 X105 Y510 I10 J0  
N2700 G1 X177 Y510  
N2710 G3 X187 Y520 I0 J10  
N2720 G1 X187 Y525  
N2730 G1 X272 Y525  
N2740 G1 X272 Y375  
N2750 G1 X187 Y375  
N2760 G1 X187 Y380  
N2770 G3 X177 Y390 I-10 J0  
N2780 G1 X105 Y390  
N2790 G3 X95 Y380 I0 J-10  
N2800 G1 X95 Y360  
N2810 G1 X95 Y356  
N2820 TECHNOLOGY\_OFF  
N2830 COMP\_NONE  
N2840 PART\_END

## Dio NC koda za glodalicu

%

O1

( BR.ALATA- T9 GLODALO D12 )

(18.9.2020. 19:34:14)

(Achtung G126= Position Wrk Wechsel)

(Bitte Pruefen ob Position OK ist)

(Wechselposition Anfahren)

(-----)

G49 G126 G00 Z0.

(-----)

(Prstasto TM D12 Inovatools- 945.120.10)

N1 T9 M06

N2 G00 G90 G54 G40

N3 S3979 M03

N4 G43 H9 D9

N5 X-96.12 Y-10. A0. B0. M08

N7 Z50.

N8 X-96.12 Y-10.

(Glodanje\_Grubo )

N9 Z2.

N10 G01 Z-20. F1194.

N11 G03 X-96. Y-8.806 I-5.88 J1.194 F924.

N12 G01 Y15.652 F1194.

N13 G03 X-96.12 Y16.846 I-6. J0 F924.

N14 X-96.222 Y17.1 Z-19.9 I-.735 J-.149 F1194.

N15 X-97.605 Y16.692 I-.633 J-.403 F1194.  
N16 G01 X-97.417 Y-10.992 F1194.  
N17 G03 X-96.34 Y-11.662 I.749 J.005 F1194.  
N18 X-96.12 Y-11.5 Z-20. I-.328 J.675 F1194.  
N19 X-94.5 Y-7.399 I-4.38 J4.101 F924.  
N20 G01 Y14.619 F1194.  
N21 G03 X-96.12 Y18.72 I-6. J0 F924.  
N22 X-96.34 Y18.882 Z-19.9 I-.548 J-.513 F1194.  
N23 X-97.417 Y18.203 I-.328 J-.675 F1194.  
N24 G01 X-97.23 Y-12.347 F1194.  
N25 G03 X-96.38 Y-13.085 I.75 J.005 F1194.  
N26 X-96.12 Y-13. Z-20. I-.1 J.743 F1194.  
N27 X-93. Y-7.736 I-2.88 J5.264 F924.  
N28 G01 Y15.259 F1194.  
N29 G03 X-95.308 Y19.989 I-6. J0 F924.  
N30 G02 X-96.12 Y20.644 I20.308 J26.011 F1194.  
N31 G03 X-96.358 Y20.777 Z-19.9 I-.48 J-.577 F1194.  
N32 X-97.35 Y20.061 I-.242 J-.71 F1194.  
N33 G01 X-97.042 Y-13.777 F1194.  
N34 G03 X-96.393 Y-14.513 I.749 J.007 F1194.  
N35 X-96.12 Y-14.5 Z-20. I.1 J.743 F1194.  
N36 X-91.5 Y-8.661 I-1.38 J5.839 F924.  
N37 G01 Y15.259 F1194.  
N38 G03 X-94.385 Y21.171 I-7.5 J0 F957.  
N39 G02 X-96.12 Y22.629 I19.385 J24.829 F1194.  
N40 G03 X-96.353 Y22.772 Z-19.9 I-.503 J-.556 F1194.  
N41 X-97.373 Y22.063 I-.27 J-.699 F1194.



N42 G01 X-96.87 Y-15.26 F1194.  
N43 G03 X-96.389 Y-15.95 I.75 J.01 F1194.  
N44 X-96.12 Y-16. Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N45 X-92.596 Y-14.941 I0 J6.393 F1183.  
N46 X-93.62 Y-12.803 I-.681 J.988 F1183.  
N47 G01 X-96.463 Y-13.65 F1194.  
N48 G03 X-96.12 Y-16. I.343 J-1.15 F1194.  
N49 G01 X-96. F1194.  
N50 G03 X-92.596 Y-14.941 I0 J6. F1194.  
N51 X-90. Y-10. I-3.404 J4.941 F924.  
N52 G01 Y15.259 F1194.  
N53 G03 X-93.462 Y22.353 I-9. J0 F983.  
N54 G02 X-96.12 Y24.694 I18.462 J23.647 F1194.  
N55 G03 X-96.346 Y24.848 Z-19.9 I-.528 J-.533 F1194.  
N56 X-97.398 Y24.152 I-.302 J-.687 F1194.  
N57 G01 X-96.87 Y-16.76 F1194.  
N58 G03 X-96.389 Y-17.45 I.75 J.01 F1194.  
N59 X-96.12 Y-17.5 Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N60 G01 X-96. F1194.  
N61 G03 X-88.5 Y-10. I0 J7.5 F957.  
N62 G01 Y15.259 F1194.  
N63 G03 X-92.538 Y23.536 I-10.5 J0 F1005.  
N64 G02 X-96.12 Y26.864 I17.538 J22.464 F1194.  
N65 G03 X-96.337 Y27.029 Z-19.9 I-.556 J-.504 F1194.  
N66 X-97.426 Y26.351 I-.339 J-.669 F1194.  
N67 G01 X-96.87 Y-18.259 F1194.  
N68 G03 X-96.389 Y-18.95 I.75 J.009 F1194.

N69 X-96.12 Y-19. Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N70 G01 X-96. F1194.  
N71 G03 X-87. Y-10. I0 J9. F983.  
N72 G01 Y15.259 F1194.  
N73 G03 X-91.615 Y24.718 I-12. J0 F1022.  
N74 G02 X-96.12 Y29.179 I16.615 J21.282 F1194.  
N75 G03 X-96.326 Y29.358 Z-19.9 I-.587 J-.467 F1194.  
N76 X-97.457 Y28.703 I-.381 J-.646 F1194.  
N77 G01 X-96.87 Y-19.759 F1194.  
N78 G03 X-96.389 Y-20.45 I.75 J.009 F1194.  
N79 X-96.12 Y-20.5 Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N80 G01 X-96. F1194.  
N81 G03 X-85.5 Y-10. I0 J10.5 F1005.  
N82 G01 Y15.259 F1194.  
N83 G03 X-90.692 Y25.9 I-13.5 J0 F1036.  
N84 G02 X-96.12 Y31.71 I15.692 J20.1 F1194.  
N85 G03 X-96.312 Y31.905 Z-19.9 I-.621 J-.42 F1194.  
N86 X-97.491 Y31.281 I-.429 J-.615 F1194.  
N87 G01 X-96.87 Y-21.259 F1194.  
N88 G03 X-96.389 Y-21.95 I.75 J.009 F1194.  
N89 X-96.12 Y-22. Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N90 G01 X-96. F1194.  
N91 G03 X-84. Y-10. I0 J12. F1022.  
N92 G01 Y15.259 F1194.  
N93 G03 X-89.769 Y27.083 I-15. J0 F1048.  
N94 G02 X-96.12 Y34.601 I14.769 J18.917 F1194.  
N95 G03 X-96.291 Y34.813 Z-19.9 I-.66 J-.357 F1194.

N96 X-97.53 Y34.236 I-.489 J-.569 F1194.  
N97 G01 X-96.87 Y-22.759 F1194.  
N98 G03 X-96.389 Y-23.45 I.75 J.009 F1194.  
N99 X-96.12 Y-23.5 Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N100 G01 X-96. F1194.  
N101 G03 X-82.5 Y-10. I0 J13.5 F1036.  
N102 X-84.549 Y-9.151 I-1.2 J0 F1036.  
N103 G01 X-84.743 Y-9.346 Z-19.9 F1194.  
N104 X-96.654 Y-21.257 F1194.  
N105 X-96.849 Y-21.451 Z-20. F1194.  
N106 G03 X-96. Y-23.5 I.849 J-.849 F1194.  
N107 G01 X-93.422 F1194.  
N108 G03 X-82.5 Y-12.578 I0 J10.922 F1194.  
N109 G01 Y-10. F1194.  
N110 G03 X-84.641 Y-9.256 I-1.2 J0 F1194.  
N111 G01 X-84.812 Y-9.471 Z-19.9 F1194.  
N112 X-94.193 Y-21.34 F1194.  
N113 X-94.363 Y-21.556 Z-20. F1194.  
N114 G03 X-93.422 Y-23.5 I.941 J-.744 F1190.  
N115 G01 X-90.961 F1190.  
N116 G03 X-82.579 Y-13.887 I0 J8.461 F1190.  
N117 X-84.672 Y-13.262 I-1.189 J-.164 F1190.  
N118 G01 X-91.865 Y-21.511 F1194.  
N119 G03 X-90.961 Y-23.5 I.904 J-.789 F1194.  
N120 G01 X-88.808 F1194.  
N121 G03 X-82.579 Y-16.195 I0 J6.308 F1194.  
N122 X-84.677 Y-15.606 I-1.185 J-.19 F1194.

N123 G01 X-89.721 Y-21.521 F1194.  
N124 G03 X-88.808 Y-23.5 I.913 J-.779 F1194.  
N125 G01 X-88.5 F1194.  
N126 G03 X-82.5 Y-17.5 I0 J6. F1194.  
N127 G01 Y-10. F1194.  
N128 Y15.259 F1194.  
N129 G03 X-88.846 Y28.265 I-16.5 J0 F1059.  
N130 G02 X-96.12 Y38.241 I13.846 J17.735 F1194.  
N131 G03 X-96.259 Y38.476 Z-19.9 I-.704 J-.258 F1194.  
N132 X-97.574 Y37.974 I-.565 J-.493 F1194.  
N133 G01 X-96.87 Y-24.258 F1194.  
N134 G03 X-96.389 Y-24.95 I.75 J.008 F1194.  
N135 X-96.12 Y-25. Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N136 G01 X-88.5 F1194.  
N137 G03 X-81. Y-17.5 I0 J7.5 F957.  
N138 G01 Y15.259 F1194.  
N139 G03 X-87.923 Y29.447 I-18. J0 F1068.  
N140 G02 X-96. Y46. I12.923 J16.553 F1194.  
N141 G01 Y132.206 F1194.  
N142 G03 X-96.05 Y132.475 Z-19.9 I-.75 J0 F1194.  
N143 X-97.5 Y132.203 I-.7 J-.269 F1194.  
N144 G01 X-96.87 Y-25.753 F1194.  
N145 G03 X-96.389 Y-26.45 I.75 J.003 F1194.  
N146 X-96.12 Y-26.5 Z-20. I.269 J.7 F1194.  
N147 G01 X-88.5 F1194.  
N148 G03 X-79.5 Y-17.5 I0 J9. F983.  
N149 G01 Y15.259 F1194.

N150 G03 X-87. Y30.63 I-19.5 J0 F1076.  
N151 G02 X-94.5 Y46. I12. J15.37 F1194.  
N152 G01 Y135.148 F1194.  
N153 G03 X-94.55 Y135.416 Z-19.9 I-.75 J0 F1194.  
N154 X-96. Y135.148 I-.7 J-.268 F1194.  
N155 G01 Y132.207 F1194.  
N156 Y132.206 F1194.  
N157 X-96.12 Y-24.879 F1194.  
N158 G02 X-96.158 Y-25.115 I-.75 J.001 F1194.  
N159 G01 X-96.783 Y-26.989 F1194.  
N160 X-96.87 Y-27.25 Z-20. F1194.  
N161 G03 X-96.12 Y-28. I.75 J0 F1194.  
N162 G01 X-88.5 F1194.  
N163 G03 X-78. Y-17.5 I0 J10.5 F1005.  
N164 G01 Y15.259 F1194.  
N165 G03 X-86.077 Y31.812 I-21. J0 F1083.  
N166 X-87.894 Y30.34 I-.738 J-.946 F1083.  
N167 G01 X-87.773 Y30.093 Z-19.9 F1194.  
N168 X-80.399 Y14.98 F1194.  
N169 X-80.278 Y14.733 Z-20. F1194.  
N170 G03 X-78. Y15.259 I1.078 J.526 F1188.  
N171 G01 Y19.748 F1188.  
N172 G03 X-84.139 Y30.493 I-12.472 J0 F1194.  
N173 G02 X-86.077 Y31.812 I9.139 J15.507 F1194.  
N174 G03 X-87.805 Y30.188 I-.738 J-.946 F1194.  
N175 G01 X-87.65 Y29.961 Z-19.9 F1194.  
N176 X-80.345 Y19.297 F1194.

N177 X-80.19 Y19.07 Z-20. F1194.  
N178 G03 X-78. Y19.748 I.99 J.678 F1184.  
N179 G01 Y22.993 F1184.  
N180 G03 X-83.169 Y29.859 I-7.144 J0 F1194.  
N181 X-84.46 Y27.984 I-.332 J-1.154 F1194.  
N182 G01 X-80.159 Y22.271 F1194.  
N183 G03 X-78. Y22.993 I.959 J.722 F1194.  
N184 G01 Y23.751 F1194.  
N185 G03 X-81.75 Y29.314 I-6. J0 F1194.  
N186 G02 X-86.077 Y31.812 I6.75 J16.686 F1194.  
N187 X-93. Y46. I11.077 J14.188 F1194.  
N188 G01 Y136.334 F1194.  
N189 G03 X-93.05 Y136.603 Z-19.9 I-.75 J0 F1194.  
N190 X-94.5 Y136.334 I-.7 J-.269 F1194.  
N191 G01 Y135.155 F1194.  
N192 Y135.148 F1194.  
N193 X-96.119 Y-26.382 F1194.  
N194 G02 X-96.157 Y-26.612 I-.75 J.007 F1194.  
N195 G01 X-96.783 Y-28.489 F1194.  
N196 X-96.87 Y-28.75 Z-20. F1194.  
N197 G03 X-96.12 Y-29.5 I.75 J0 F1194.  
N198 G01 X-88.5 F1194.  
N199 G03 X-76.5 Y-17.5 I0 J12. F1022.  
N200 G01 Y23.751 F1194.