

# Rezanje plazmom

---

**Grginčić, Elvira**

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

**2017**

*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:128:137096>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-09**



**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**

**GRGINČIĆ ELVIRA**  
**REZANJE PLAZMOM**

**ZAVRŠNI RAD**

**Karlovac, 2017.**

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

**GRGINČIĆ ELVIRA**  
**REZANJE PLAZMOM**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

**Prof. Marijan Brozović, dipl.ing.**

**Student:**

**Elvira Grginčić**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / **specijalistički studij: STROJARSTVA**  
(označiti)

Usmjerenje: Proizvodno strojarstvo

Karlovac, 16.01.2017.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Elvira Grginčić**

Matični broj: 0111414006

Naslov: **REZANJE PLAZMOM**

Opis zadatka:

Tema ovog diplomskog rada je postupak rezanja plazmom. U uvodnom dijelu rada objasniti je što je to toplinsko rezanje metala, koje vrste toplinskog rezanja razlikujemo kao i koji je njegov značaj u proizvodnji i obradi metala.

Opisati razvojni put ovog postupka rezanja od sredine 50-tih godina prošlog stoljeća do danas.

Prikazati shemu sustava za rezanje te objasniti princip na kojem se temelji cijeli postupak. Navesti vrste plazma rezanja, plinove koji se koriste kao plazmeni kao i njihove mješavine.

U eksperimentalnom dijelu rada opisi kompletan proces rezanja plazmom od izrade nacrtu i planova rezanja do izrade CNC programa za rezanje. Pokusno rezanje izvesti na CNC portalnoj rezalici Messer Cortina s izvorom plazme HT 2000 tvrtke Hypertherm.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

16.01.2017.

20.04.2017.

27.04.2017.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Marijan Brozović, dipl.inž., v.p.

## **I. IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradila samostalno, koristeći znanje stečeno na Veleučilištu kao i savjete mentora, te navedenu literaturu.

Elvira Grginčić

## **II. ZAHVALA**

Ovaj rad izrađen je pod stručnim vodstvom prof. Marijana Brozović dipl.ing., kojem se iskreno zahvaljujem na pruženoj stručnoj podršci i savjetima koji su mi bili od iznimne pomoći kod izrade ovoga rada.

Najveću zahvalu dugujem svojoj djeci Josipi i Tomislavu za strpljenje i razumijevanje koje su pokazali za vrijeme mog školovanja, te također suprugu Josipu koji mi je pomagao svojim stručnim znanjem i iskustvom. Zahvala također i majki i sestri koje su mi bile najveća moralna podrška za vrijeme sveukupnog školovanja.

### III. SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je postupak rezanja plazmom. U uvodnom dijelu rada objašnjeno je što je to toplinsko rezanje metala, koje vrste toplinskog rezanja razlikujemo kao i koji je njegov značaj u proizvodnji i obradi metala.

Također je opisan konstantan razvojni put ovog postupka rezanja od sredine 50-tih godina prošlog stoljeća do danas.

Teorijski dio rada isključivo je posvećen 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.

Navedene su vrste plazma rezanja, plinovi koji se koriste kao plazmeni kao i njihove mješavine. Definirane su također i smjernice za izbor plazmenog plina za ugljične čelike, Cr-Ni čelike i Aluminij. Obradene su neke od tehnika plazma rezanja kao i tehnologije kao što su HiFocus i FineFocus. Prednosti i nedostaci ovog postupka rezanja također su sastavni dio ovog dijela rada.

Budući da kao rezultat svakog postupka rezanja pa tako i plazmenog imamo rez određene kvalitete, navedeni su i čimbenici koji utječu na kvalitetu reza te parametri koji utječu na sam proces rezanja (jakost struje, brzina rezanja itd.).

Kada govorimo o kvaliteti reza moramo spomenuti također HRN EN ISO 9013 normu prema kojoj se određuje kvaliteta reza, koja je također opisana u radu kao i mjerenje hrapavosti i uvjeti mjerenja.

U eksperimentalnom dijelu rada opisan je kompletan proces rezanja plazmom od izrade nacrti i planova rezanja do izrade CNC programa za rezanje. Pokusno rezanje izvedeno je na CNC portalnoj rezalici Messer Cortina s izvorom plazme HT 2000 tvrtke Hypertherm.

Rezana su dva različita izratka jedan izrađen od ugljičnog čelika (oznake S235JRG2) a drugi od Cr-Ni čelika (oznake X6CrNiTi18-10). Prethodno su izrađeni planovi rezanja i nacrti u mjerili 1:1 u AutoCAD-u, kao i program rezanja izrađen u programu CADREZ-u.

Na kraju ovoga dijela rada opisana je i oprema za precizno mjerenje kao i još jedan važan čimbenik u procesima rezanja a to je zaštita na radu.

## **SUMARRY**

Plasma cutting is the topic of this thesis. In preamble it is illustrated what thermal cutting of metals is, which are types of thermal cutting, and importance in production of metal structures.

There is also a presented evolution of plasma cutting since from the middle of last century up to date.

Theoretical part of this thesis is dedicated to plasma as a medium and its implementation for cutting. There is explained principle of plasma, passing of gas through electric arc, ionisation and dissociation.

Gases and gas mixtures for plasma cutting are described main types of plasma cutting. Also some guideliness for choosing of plasma gases for cutting mild steels, stainless steels and aluminium are defined. Some newest versions of plasma cutting as HiFocus and FineFocus are also described. Advantages and disadvantages of plasma cutting are specified.

Plasma cutting quality depends of many parameters (current voltage/amperage, cutting speed, gas...), they are described in this thesis.

Cutting quality is classified according to standard HRN EN ISO 9013. Procedures for measuring dimensions and roughness are described here.

In experimental part of this thesis the complete process described is – making drawings, cutting plans and programming of CNC plasma cutting machine. Experimental cutting is realized on CNC cutting machine Messer, with plasma Hypertherm HT-2000.

Two diferent parts have been cut, first from mild steel S235JRG2, and second from stainless steel X6CrNiTi1810. Drawings are made with AutoCad, and cutting plans and NC codes are made with Cadrez.

Finally measuring tools are described, and safety as one very important component.



## IV. SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b>	
1.1. OPĆENITO O TOPLINSKOM REZANJU METALA.....	1
1.2. PREGLED RAZVOJA POSTUPAKA REZANJA PLAZMOM.....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b>	
2.1. REZANJE PLAZMOM .....	9
2.2. VRSTE PLAZMA REZANJA.....	12
2.3. PLAZMENI PLINOVI.....	13
2.4. SMJERNICE ZA IZBOR PLAZMENOG PLINA.....	15
2.5. TEHNIKE PLAZMA REZANJA.....	16
2.6. PREDNOSTI PLAZMA REZANJA.....	17
2.7. NEDOSTACI PLAZMA REZANJA.....	18
2.8. TEHNOLOGIJE PLAZMA REZANJA.....	19
2.8.1. Varijante plazma postupka.....	20
2.8.2. Raspon područja rezanja i brzine rezanja za Cr-Ni čelike ( za plazmu, laser i vodeni mlaz).....	22
2.9. OSNOVNI PARAMETRI KOJI UTJEČU NA REZANJE PLAZMOM....	23
2.9.1. Čimbenici koji utječu na kvalitetu reza.....	26
2.9.2. HRN EN ISO 9013.....	28
2.9.3. Izgled reza.....	28
2.9.4. Procjena brzine rezanja.....	32
2.9.5. Mjerenje hrapavosti.....	33
2.9.6. Određivanje kvalitete reza.....	34
2.9.7. Uvjeti mjerenja.....	35
2.9.8. Neki od najzastupljenijih proizvođača izvora plazmi.....	37
2.9.9. Neki od najzastupljenijih proizvođača CNC rezalica.....	38
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b>	
3.1. SAŽETAK IZRADE EKSPERIMENTALNOG DJELA.....	39
3.2. PLAZMENI I ZAŠTITNI PLINOVI KORIŠTENI U POSTUPKU.....	39
3.3. NACRTI I PLANOVI REZANJA.....	42
3.4. FOTO SNIMKA IZREZANIH POZICIJA.....	46
3.5. SUSTAV ZA REZANJE (korišten u eksp.dijelu).....	47
3.6. KARAKTERISTIKE PROGRAMA CADREZ.....	50
3.7. POSTUPAK IZRADE PROGRAMA.....	51
3.8. OPREMA ZA PRECIZNO MJERENJE.....	55
3.9. ZAŠTITA NA RADU – Toplinsko rezanje metala.....	56
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>57</b>
<b>5. LITERATURA.....</b>	<b>62</b>

## V. POPIS SLIKA:

- Sl.1. - Shema konvencionalnog postupka rezanja .....	2
- Sl.2. – Shema postupka plazma rezanja s dualnim lukom .....	3
- Sl.3. – Shema postupka plazma rezanja zrakom .....	4
- Sl.4. – Shema postupka plazma rezanja s vodenom zaštitom .....	5
- Sl.5. – Shema postupka plazma rezanja s ubrizgavanjem vode .....	5
- Sl.6. – Rezanje plazmom ispod vode .....	6
- Sl.7. – Shema postupka plazma rezanja s ubrizgavanjem kisika.....	7
- Sl.8. – Shema postupka preciznog plazma rezanja .....	8
- Sl.9. – Shema sustava za rezanje plazmom .....	9
- Sl.10.- Dijagram disocijacije i ionizacije plinova.....	10
- Sl.11. – Distribucija temperaturnog polja .....	10
- Sl.12. – Shema uređaja za rezanje plazmom (s prenesenim i neprenesenim lukom) .....	11
- Sl.13. – Ručno rezanje plazmom .....	13
- Sl.14. – HiFocusi FineFocus tehnologija .....	15
- Sl.15. – CNC rezanje plazmom.....	16
- Sl.16. – Usporedba postupaka rezanja (rezanje inoxa).....	17
- Sl.17. – Dijagram brzine rezanja u ovisnosti o debljini lima.....	18
- Sl.18. – Tipičan koncept HiFocus plazma rezača za konstruk. čelik i Al.....	19
- Sl.19. – Tipičan koncept HiFocus plazma rezača za pločaste Cr-Ni čelike...20	
- Sl.20. – Varijante plazma rezanja Cr-Ni čelika .....	20
- Sl.21. – Usporedna veličine ZUT-a .....	22
- Sl.22. – Područja rezanja Cr-Ni čelika.....	22
- Sl.23. – Brzine rezanja Cr-Ni čelika kod različitih postupaka rezanja.....	23
- Sl.24. – Područje učestalije primjene pojedinih postupaka rezanja.....	25
- Sl.25. – Uobičajene debljine lima koji se reže.....	26
- Sl.26. – Utjecaj stanja potrošenosti sapnica na stanje rezne površine i pojavu srha.....	27
- Sl.27. – Izgled reza.....	28
- Sl.28. – Pozitivan i negativan kut rezanja.....	30
- Sl.29. – Dijagram - brzina rezanja u ovisnosti o debljini materijala .....	32
- Sl.30. – Vertikalni i kosi rez.....	33
- Sl.31. – Tolerancije.....	36
- Sl.32. – Kvaliteta reza.....	37
- Sl.33. – HT 2000 Hypertem.....	38
- Sl.34. – CNC rezanje plazmom – Varstroj, Slovenija.....	38
- Sl.35. – Nacrt za izradak br.1- rebro.....	42
- Sl.36. – Nacrt za izradak br.2. – prirubnica.....	43
- Sl.37. – Plan rezanja za izradak br.1.....	44
- Sl.38. – Plan rezanja za izradak br.2.....	45
- Sl.39. – Izradak br.1. – REBRO.....	46
- Sl.40. – Izradak br.2. – PRIRUBNICA.....	46

- SI.41. – CNC portalna rezalica – Messer Cortina.....	47
- SI.42. – HT 2000 Hypertem - izvor plazme.....	48
- SI.43. – Gorionik HT 2000.....	49
- SI.44. – Algoritam mikroprocesorskog kontrolera.....	50
- SI.45. – Glavni menu programa CADREZ.....	52
- SI.46. – Tabela rezanja – opcija u glavnom meniu.....	53
- SI.47. – Menu CADREZ u AutoCAD-u.....	53
- SI.48. – Odabir dimenzija lima i određivanje veznog puta.....	54
- SI.49.– Metar za mjerenja.....	55
- SI.50.– Pomično mjerilo.....	55
- SI.51. – Kutnik.....	56
- SI.52.- Ručno rezanje plazmom – pojava bljeska.....	57
- SI.53.- Strojno rezanje plazmom – pojava bljeska .....	57
- SI.54. – Suvremena zaštitna maska bez filtera.....	59
- SI.55. – Suvremena zaštitna maska s filterom.....	59
- SI.56. – Stol za rezanje s odsisom.....	60
- SI.57. – Klasični stol za rezanje bez odsisa.....	60

## VI. POPIS TABLICA:

- Tabela br.1. – Nepravilnosti kod rezanja ( konstrukcijski čelik, nehrđajući čelik i Al- legure).....str.31
- Tabela br.2. – debljina reza.....str.34
- Tabela br.3. – utjecaj kvalitete preciznih mjernih instrumenata na izmjerene vrijednosti reznih površina .....str.34
- Tabela br.4. – Utjecaj kvalitete hrapavih mjernih instrumenata na izmjerene vrijednosti reznih površina.....str.35
- Tabela br.5. – Parametri za plazmeni i zaštitni plin kod rezanja ugljičnog čelika.....str.40
- Tabela br.6. – Parametri za plazmeni i zaštitni plin za rezanje nehrđajućeg čelika.....str.41

## VII. POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Nacrt – izradak br.1. REBRO.....	42
2. Nacrt – izradak br.2. PRIRUBNICA.....	43
3. Plan rezanja - izradak br.1.....	44
4. Plan rezanja – izradak br.2.....	45

## **1. UVOD**

### **1.1. OPĆENITO O TOPLINSKOM REZANJU METALA**

Kada govorimo o toplinskom rezanju metala kao tehnici, moramo konstatirati da ono zauzima jedno od ključnih mjesta u svim granama proizvodnje i obrade metala, željezarama, brodogradnji, gradnji energetske i procesne opreme, gradnji vozila i u drugim područjima metaloprerađivačke industrije i zanatstva.

Toplinsko rezanje se primjenjuje praktički u cjelokupnoj proizvodnji i preradi limova, te svih vrsta profila. U tu svrhu se najviše koristi plinsko rezanje.

Toplinsko rezanje metala dijeli se u dvije skupine:

- Rezanje izgaranjem (kisikom) – u ovu skupinu spada plinsko rezanje, elektrolučno rezanje, rezanje laserom
- Rezanje taljenjem ( bez kisika) – u ovu skupinu spada rezanje plazmom, elektronskim mlazom, metalnom elektrodom.

Od svog početka pa do danas tehnike toplinskog rezanja metala doživjele su mnoge inovacije i usavršavanja, a sve u svrhu povećanja ekonomičnosti i produktivnosti.

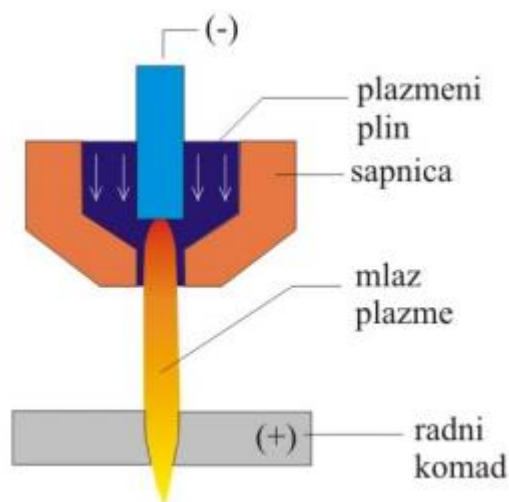
Sve naprijed navedeno samo je dokaz da se toplinskom rezanju metala mora posvetiti posebna pozornost, te je stoga i tema ovog diplomskog rada jedna od tehnika toplinskog rezanja metala – REZANJE PLAZMOM.

PLAZMA je električki provodljiv, disociran i visokoioniziran plin. Broj pozitivnih i negativnih naboja je jednak, pa je plazma kao cjelina električki neutralna ( broj pozitivnih iona = broju elektrona ).

### **1.2. PREGLED RAZVOJA POSTUPKA REZANJA PLAZMOM:**

#### **1. Konvencionalni postupak rezanja - uveden je 50-tih godina**

Dominirao je od 1957. – 1970.g. , često je zahtijevao vrlo skupe mješavine plinova argona i vodika.



sl.1. Shema konvencionalnog postupka rezanja

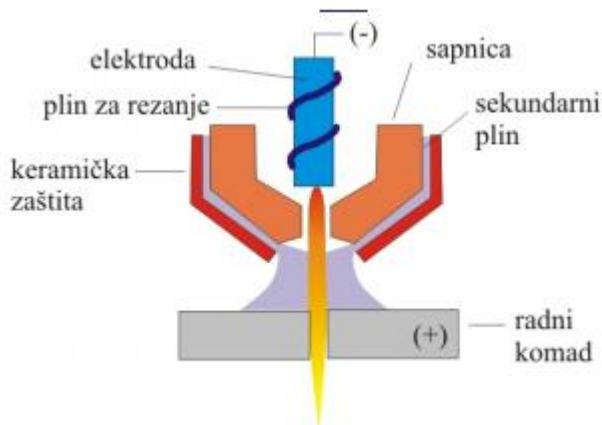
Ova tehnika rezanja se tada nazivala „suha“ tehnika, njome su se mogli rezati limovi debljine 250 mm, no u industriji se primjenjivala za rezanje do 50 mm. Nedostatak je bio pojava nakošenja i zaobljenja rubova reza zbog rasipanja toplinske energije na vrhu luka. To se reduciralo postavljanjem pištolja za rezanje što je bliže moguće predmetu na kojem se radi.

1955 .g. – UCC- razvijen je plazma plamenik za postupak plazma rezanja aluminija pod nazivom „Heliarc- Cutting“

1956.g. – taj je plamenik preuzet od tvrtke Linde i preimenovan u novi naziv „Presslichtbrenner“

## 2. Luk plazme s dualnim tokom - 1962.g.

Ova tehnika sadrži osobine konvencionalnog postupka rezanja plazmom, ali je dodan i sekundarni plin oko sapnice s plazmom.



sl.2. Shema postupka rezanja plazmom s dualnim lukom

U ovom postupku obično je plin za rezanje dušik, dok se sekundarni plin odabire prema materijalu koji se reže.

- za meke čelike (ugljične) obično se koristi zrak ili kisik
- za nehrđajuće čelike ugljični dioksid
- za aluminij mješavina plinova argon / vodik.

Prednosti pred konvencionalnim postupkom su slijedeće:

- bolje brzine rezanja za meke čelike (ne za nehrđajuće i aluminij)
- keramička zaštita onemogućava skraćenje sapnice i reducira pojavu stvaranja tzv. dvostrukog luka
- sekundarni plin prekriva zonu rezanja i poboljšava kvalitetu reza i brzinu, a ujedno hladi sapnicu i keramičku zaštitu.

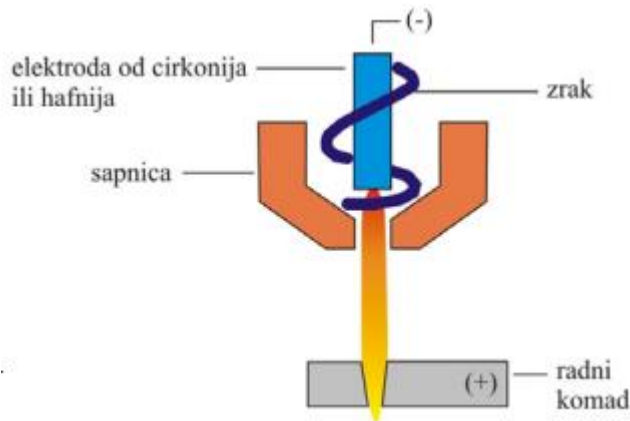
Nedostatak: kvaliteta reza nije zadovoljavajuća za sve primjene.

### 3. Plazma rezanje zrakom – 1965.g.

Kisik iz zraka osiguravao je dodatnu energiju egzotermičkom reakcijom s rastaljenim čelikom, što je rezultiralo povećanjem brzine rezanja do 25 % u odnosu na plazma rezanje dušikom. Ovaj se postupak mogao koristiti za rezanje nehrđajućih čelika i



aluminija, ali zbog jake oksidacije površine rezanja bio je neprihvatljiv za mnoge primjene.



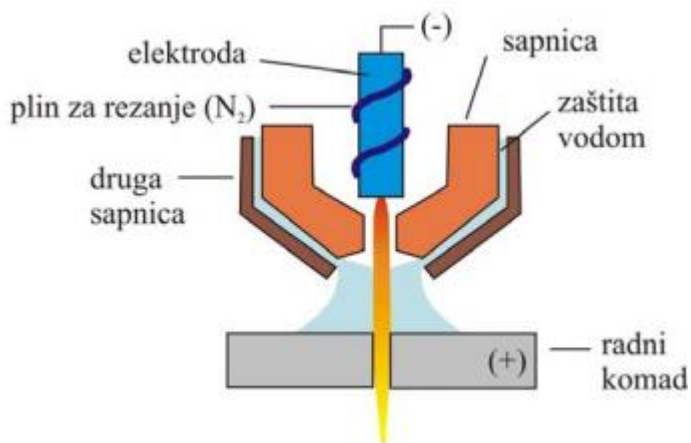
sl.3. Shema postupka plazma rezanja zrakom

Od ostalih nedostataka možemo navesti : - brza erozija elektrode (čak i kod elektroda od specijalnih materijala kao što su cirkonij, hafnij i njegove legure.

Vijek elektrode kod rezanja zrakom znatno je kraći nego kod konvencionalnog postupka.

#### 4. Plazma rezanje s vodenom zaštitom – 1965.g.

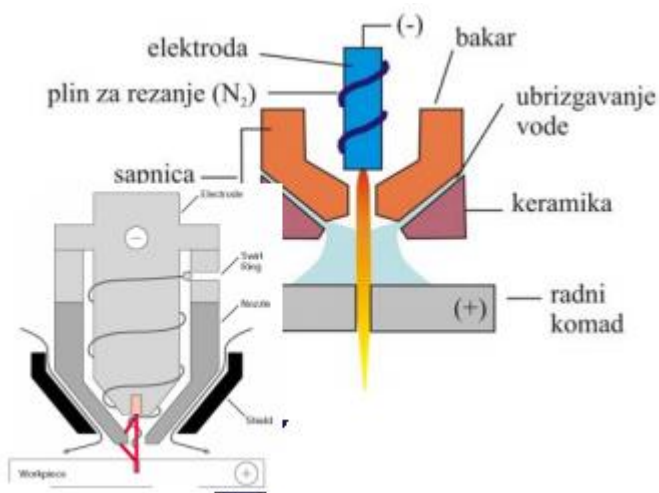
Postupak je sličan tehnici dualnog toka osim što je zaštitni plin zamijenjen vodom. Zbog efekta hlađenja koji osigurava voda poboljšana je izgled reza i vijek sapnice.



sl.4. Shema postupka plazma rezanja s vodenom zaštitom

### 5. Rezanje plazmom s ubrizgavanjem vode - 1968.g.

U ovom postupku koristi se jedan jedini plin a to je dušik za rezanje svih metala, kvaliteta reza je dakle podjednaka na svim metalima, te je stoga postupak ekonomičan i lakši za upotrebu.



sl.5. Shema postupka rezanja plazmom s ubrizgavanjem vode

Ovaj postupak je totalno eliminirao postupak s dualnim lukom iz razloga što su zaštitna svojstva sloja vodene pare, omogućila inovaciju kojom je cijeli donji dio sapnice bio izveden od keramike. Nadalje, vijek sapnice je produljen zbog

možnosti hlađenja i zaštite na mjestu maksimalnog suženja i maksimalne topline luka.

## 6. Rezanje plazmom ispod vode – 1977.g.

Ovo je metoda rezanja visokom snagom sa strujom iznad 100 amp. te je danas veoma popularna.

Radni je komad potopljen pod vodu na dubinu od 50 – 75 mm i rezanje se odvija dok je komad potopljen u vodu. Ovakvim načinom rezanja znatno je smanjen nivo buke, dima i bljesak luka, te su manje deformacije izradka.



sl.6. Rezanje plazmom ispod vode

Nedostaci su slijedeći:

- smanjena brzina rezanja
- nemogućnost ocjene kvalitete prema zvuku plazme
- disocijacija vode (vodik i kisik) posljedica toga je stvaranje metalnih oksida (osobito kod Al i lakih metala) a u vodi zaostaje slobodan vodikov plin. Zbog ove pojave voda se mora stalno miješati da ne dođe do nakupljanja vodika u „džepovima“ ispod lima i malih eksplozija uslijed dodira sa plazmom.

## 7. Plazma rezanje kisikom -1983.g.

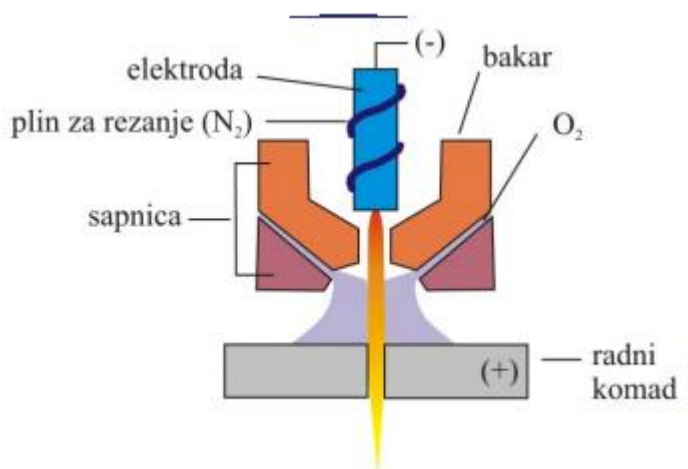
Kod ovog postupka visoka temperatura na vrhu sapnice i djelovanje čistog kisika dovodilo je do vrlo brzog uništenja elektrode. Rješenje ovog problema nađeno je uvođenjem elektroda od cirkonija i hafnija, te konstrukcijskim poboljšanjem glave za rezanje. Ovim rješenjem omogućena je primjena kisika kao plazma plina za rezanje bez šljake i povećanje brzine do 30 % za rad pri nižoj struji, te dobivanje glatkih i pravilnih rubova reza.

Ovim postupkom dakle dobivamo zadovoljavajuću kvalitetu reza, a skupi postupci uklanjanja šljake (kod rezanja dušikom) u ovom postupku s kisikom su potpuno eliminirani.

## 8. Plazma rezanje s ubrizgavanjem kisika – 1985.g.

U odnosu na prethodno navedenu metodu rezanja ovom metodom zaobiđen je problem s vijekom elektrode, na način da se koristi dušik kao plazma plin a kisik se ubrizgava na izlazu iz sapnice.

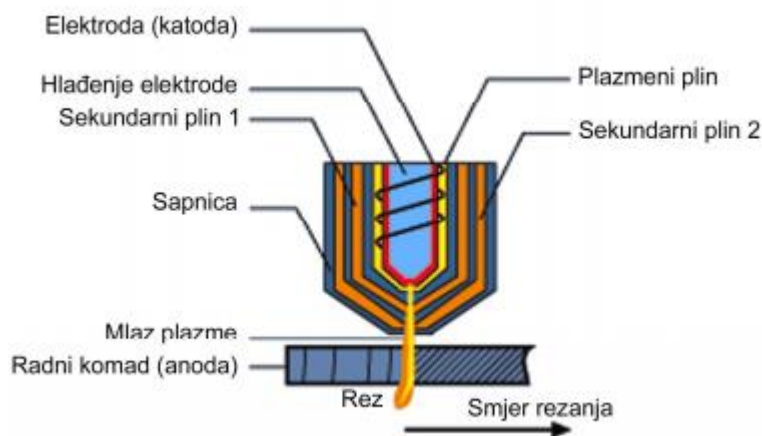
Ovaj se postupak isključivo koristi za rezanje mekih čelika i brzina rezanja je nešto veća, a neki od nedostataka su: nepravilan oblik reza i ograničenost primjene.



sl.7. Shema postupka plazma rezanja s ubrizgavanjem kisika

Razlog razvoja ovog postupka bio je povećana primjena Cr-Ni čelika i Al- legura a koje se nisu mogle rezati uobičajenim plinskim postupkom rezanja. Daljnji razvoj ovog postupka išao je u smjeru razvoja postupa plazma zavarivanja, naštrcavanja i odvajanja.

### 9. Plazma rezanje s povećanim suženjem plazmenog luka- HiFocus (precizno plazma rezanje) - najnovija varijanta plazma rezanja



sl.8. Shema postupka preciznog plazma rezanja

Spada u najmoderniju opremu za plazma rezanje, poboljšana kvaliteta reza je rezultat povećanog suženja luka odnosno povećanja gustoće luka, pri manjim brzinama.

HiFocus tehnologijom rezanja dobiva se rez veoma visoke kvalitete, posebice kod rezanja tankih materijala ( do 12 mm) pri manjim brzinama. Nakon ovog rezanja nije potrebna naknadna obrada jer se dobiva približno okomita površina reza već za debljine od 0,8 mm – 8 mm.

HiFocus se odlikuje visokom kvalitetom reza, preciznošću, produženim vijekom trajanja potrošnog materijala ( sapnica), njime se može održati tolerancija radnog komada  $\pm 0,2$  mm.

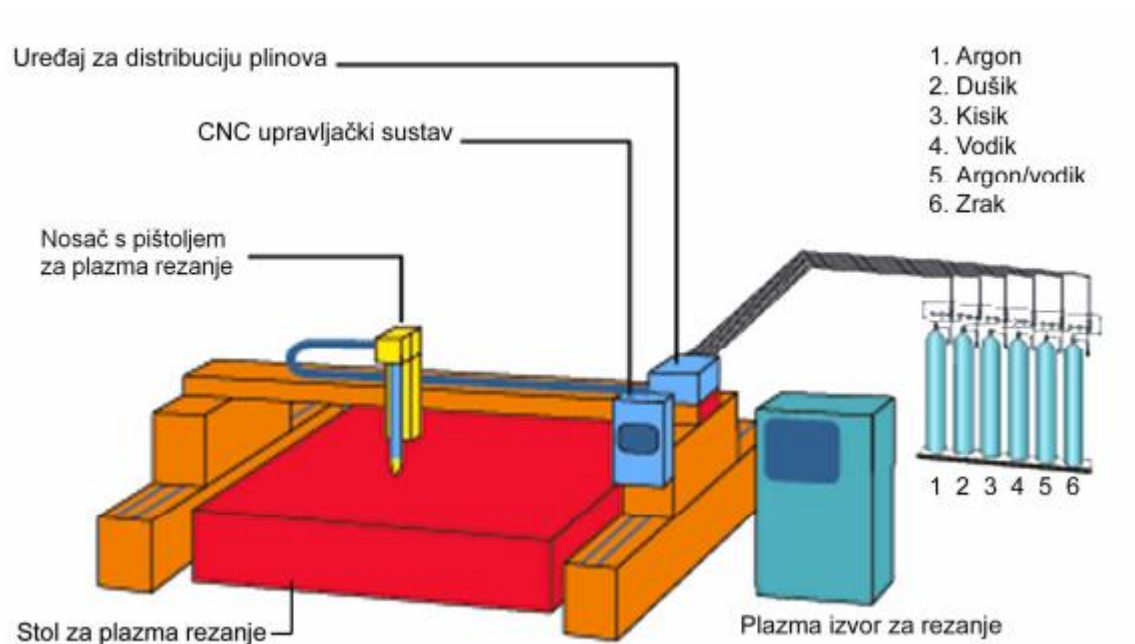
## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. REZANJE PLAZMOM

Plazma rezanje je dopuna plinskom rezanju koje je prevladavajuće kao tehnika rezanja. Kada govorimo o plazma rezanju moramo naglasiti da je ono gotovo nezamjenjivo u rezanju nehrđajućih čelika, aluminija i aluminijevskih legura, bakra i bakrenih legura odnosno svih električki vodljivih materijala.

Plazma je četvrto agregatno stanje, to je električki provodljiv, disociran i visokoioniziran plin.

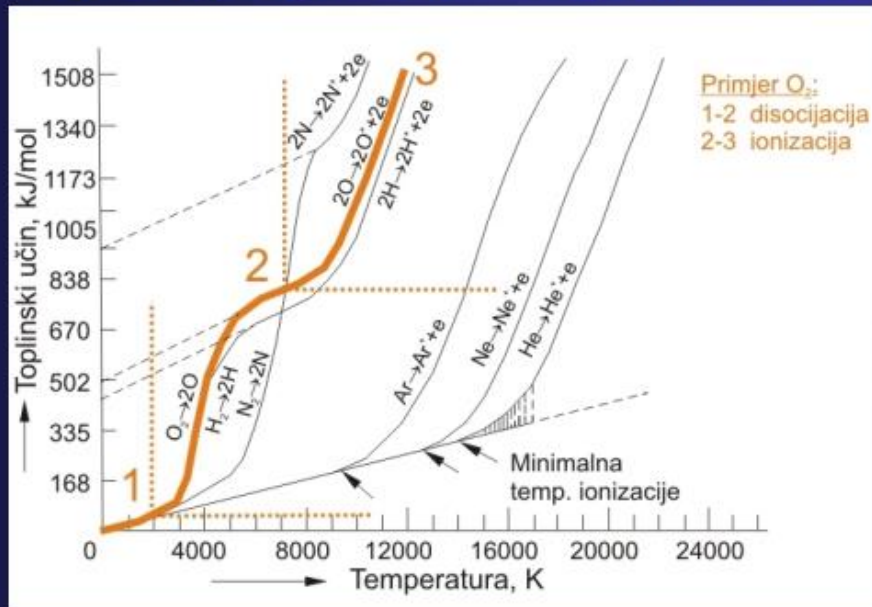
Broj pozitivnih i negativnih naboja je jednak pa je plazma kao cjelina električki neutralna.



sl.9. Shema sustava za rezanje plazmom

Sustav za rezanje plazmom sastoji se od plazma izvora za rezanje, CNC upravljačkog sustava, stola za rezanje, nosača pištolja za rezanje, uređaja za distribuciju plina.

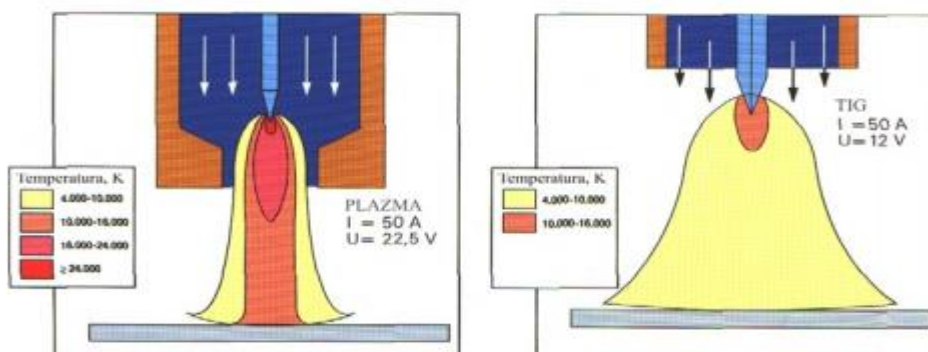
## Disocijacija i ionizacija plinova



sl. 10. Dijagram disocijacija i ionizacija plinova

Plazma postupak rezanja temelji se na principu prolaska plazmenog plina kroz električni luk pri čemu dolazi do disocijacije i ionizacije plina.

Plazmeni mlaz se dobiva tlačenjem određenog plina kroz električni luk, koji se uspostavlja između elektrode koja je spojena na „-“ pol i radnog komada ili sapnice pištolja samog uređaja.

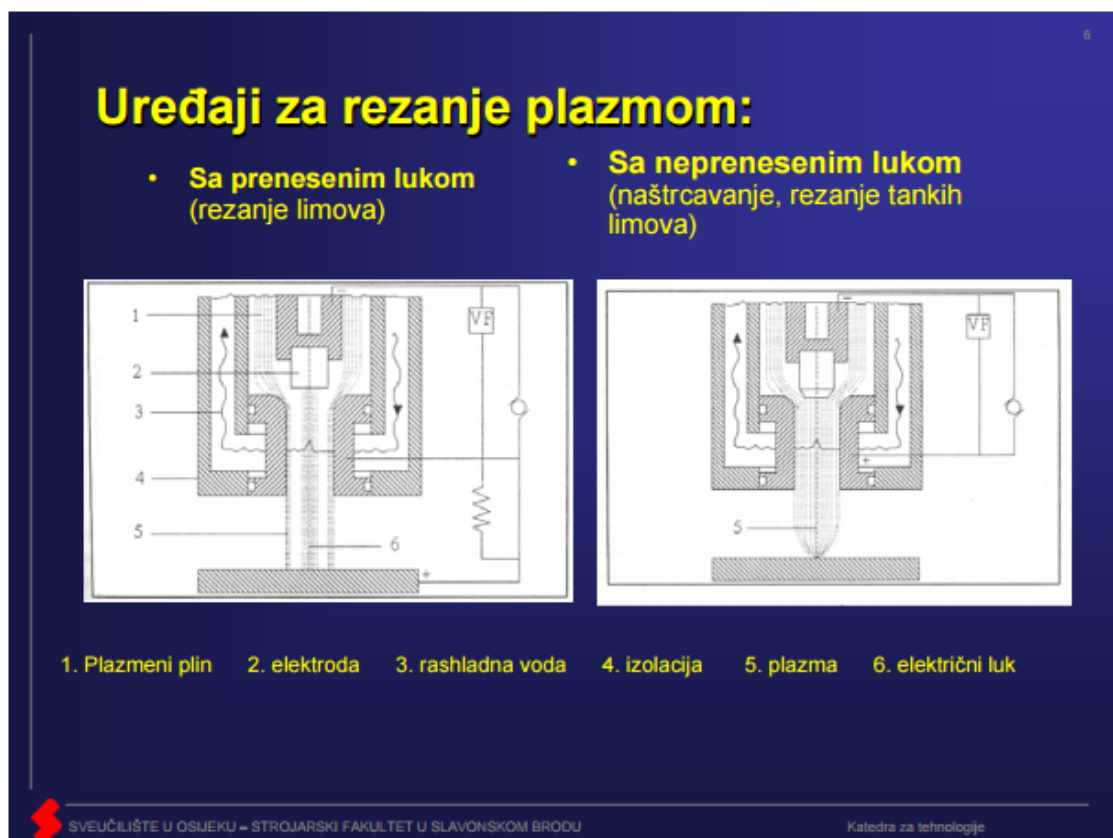


Sl.11. Distribucija temperaturnog polja

Plin se zagrijava na veoma visoke temperature ( 25000 K) i takav prolazi kroz električni luk istosmjerne struje. Ovaj način rezanja temelji se na energiji termičke plazme koja tali materijal na mjestu reza dok nastalu talinu izbacuje mlaz plinova koji se koriste za stvaranje plazme.

Drugim riječima u posebnoj sapnici nalazi se odgovarajući plin pod tlakom, otvor sapnice ispunjava električni luk kroz koji prolazi plin uslijed čega se naglo zagrijava i velikom brzinom izlazi iz otvora sapnice (nekoliko tisuća metara u sekundi). Ovako velika brzina mlaza plina vrlo visoke temperature (oko 30000K) reže svaki metal. Toplinska energija mlaza tali i djelomično isparuje metal, a kinetička energija tog snažnog strujanja izbacuje rastaljeni metal iz reza. Zbog veoma visokih toplinskih opterećenja gorionici se hlade vodom.

Električna struja za plazma rezanje je kao kod zavarivanja istosmjerna iz izvora, a električni luk se uspostavlja postupkom prenesenim ili neprenesenim lukom.



sl.12. Shema uređaja za rezanje plazmom s prenesenim i neprenesenim lukom



Energija električnog luka kroz koji prolazi plin utječe na ionizaciju (Ar, He) i disocijaciju i ionizaciju (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ...) plinova,

Elektrode za rezanje su volframove kod neaktivnog plina ili od nekog drugog materijala, a kod aktivnog plina (npr. zraka) koriste se različiti plinovi, najčešće argon, vodik, dušik i njihove mješavine.

## 2.2. VRSTE PLAZMA REZANJA:

- A) Rezanje prenesenim lukom: vrlo visok učinak rezanja a nedostatak je teže prilagođavanje ručnom rezanju ( mora se održavati ujednačena dužina luka) – primjenjuje se u strojnom rezanju.
  
- B) Rezanje neprenesenim lukom: ima manji učinak ali je prikladniji način za ručno rezanje. Zbog toga što radni komad nije uključen u strujni krug plamenik se bez ikakve opasnosti može nasloniti na mjesto rezanja. Važno je napomenuti da se ovim načinom rezanja mogu rezati i materijali koji nisu električki provodljivi.

Općenito nedostaci u rezanju plazmom: buka, bljeskovi, onečišćenje učinkovito se uklanjaju npr. rezanjem pod vodom.

Sve je veća primjena ovog tipa rezanja i kod nelegiranih čelika zbog velikih brzina u radu tj. ekonomičnosti postupka. Ovaj postupak se neprestano usavršava pa se tako npr. ako želimo postići vrlo visoku kvalitetu reznih površina primjenjuje postupak rezanja plazmom tzv. finim mlazom. Naime relativno širok mlaz plazme se uz pomoć magnetskog polja sužuje, pa se na taj način dobiju vrlo sitne rezne udubine.

Kod ovakvog tipa rezanja može se koristiti još i plazma plamenik kod kojeg se uz plin kisik ili dušik injektira voda. Nadalje imamo i tzv. posebne „plivajuće“ glave koje

se koriste kod rezanja vrlo tankih limova ( one „pritišću“ limove da se ne izbacuju uslijed zagrijavanja).

Postoji još i HyDefinition plazma koja je razvijena posebno za automatizaciju i robotizaciju u rezanju kao alternativa laserskom rezanju.



sl.13. Ručno rezanje plazmom

### 2.3. PLAZMENI PLINOVI :

**ARGON** - ionizacija je u području 9 – 22000K. Energija je relativno mala u odnosu na dvoatomne plinove. Argon – vodik mješavina koristi se za dualne plinske sustave radi poboljšanja kvalitete reza na nehrđajućim čelicima i aluminiju.

Premalo vodika daje grublju površinu reza i zaobljen gornji rub reza , dok previše vodika daje glatku gornju stranu reza ali na donjem rubu ostaje dio rastaljenog metala.

Osigurava lagano uspostavljanje električnog luka i njegovu stabilnost, temperatura plazme je nešto veća a cijena mu je velika.

**DUŠIK**- disocijacija od 5 – 9000 K, a ionizacija od 8 – 22000 K. Iznad 7000 K mlaz ima više energije nego kod drugih plinova za istu temperaturu i duži i „tvrđi“ plazmeni mlaz. Ovaj plin zahtjeva veći napon el. struje kod prelaska u plazma stanje, ali mu je zato sadržaj energije velik.

Daje izvrsnu kvalitetu reza na aluminiju i nehrđajućem čeliku, dok je na većini ugljičnih čelika kvaliteta reza marginalna, zbog pojave nitracije na površini i formiranja šljake. Vijek trajanja potrošnog materijala je izvrstan.

Brzina mlaza je veća, pištolj se drži dalje od radnog komada nego kod postupka s argonom. Ne smije biti prisutan kisik zbog oksidacije katode.

**VODIK** - Najčešće se koriste mješavine plinova iz razloga što se gušći plinovi kao što je npr. dušik, zahtjeva veći napon ionizacije dok s druge strane dobro ispuhuje rastaljeni metal.

**ZRAK** – Često se koristi kao plazmeni plin, jer je relativno lako dostupan.

Vijek trajanja potrošnih materijala je prihvatljiv. Kvaliteta reza je prihvatljiva za većinu materijala, iako kod ugljičnih čelika može doći do pojave nitracije, ili oksidacije koja se obično javlja na aluminiju i nehrđajućem čeliku.

**KISIK** – Koristi se za dobivanje najbolje kvalitete reza na ugljičnim čelicima. Ivice reza su bez dušika, i imaju dobru zavarljivost, deformabilnost i strojnu obradivost.

Kao vrtložni plinovi koriste se : dušik, zrak, mješavina dušik/ vodik

Do nedavno vijek trajanja dodatnih materijala je bio u granici prihvatljivosti, dok je danas trajanje potrošnih materijala produljeno.

## 2.4. SMJERNICE ZA IZBOR PLAZMENOG PLINA:

1. Ugljični čelici: koristimo zrak i kisik kao plazmeni plin.

Ako koristimo zrak za rezultat imamo visoku produktivnost, manje onečišćenje dušikom i oksidima na površini reza, a ako koristimo kisik kao plazmeni plin tada također imamo visoku produktivnost i reznu površinu bez onečišćenja dušikom.

2. Cr–Ni čelici: koristimo zrak i mješavinu Argon/vodik, Argon/vodik /dušik

Postupak sa zrakom je visoko produktivan, prihvatljiva je kvaliteta reza, a potrebna je naknadna obrada ako slijedi zavarivanje.

Ako koristimo navedene mješavine kao plazmeni plin dobijemo veoma čistu površinu reza.

3. Aluminij: koristi se zrak kao plazmeni plin i mješavina Argon /vodik

Ako koristimo zrak, rezultat je visoka produktivnost te prihvatljiva kvaliteta reza, a ako imamo navedenu mješavinu dobijemo izuzetnu kvalitetu reza.

**FineFocus i HiFocus tehnologija**

Gas Combinations for Dry Plasma Cutting		
Material	Plasma gas	Swirl-gas
Mild steel	Oxygen, Air	Air
Stainless steel	Ar/H <sub>2</sub> , Ar/N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Aluminium	Ar/H <sub>2</sub>	Air, N <sub>2</sub>

Gas combinations for Under Water Plasma Cutting		
Material	Plasma gas	Swirl-gas
Mild steel	Oxygen, Air	Air
Stainless steel	Ar/H <sub>2</sub> , Ar/N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Air, N <sub>2</sub>

[www.servus.hr](http://www.servus.hr)  
[www.kjellberg.de](http://www.kjellberg.de)

SVEUČILIŠTE U OSJEKU – STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU  
Katedra za tehnologije

sl.14. HiFocus i FineFocus tehnologija- kombinacije plinova

## 2.5. TEHNIKE PLAZMA REZANJA:

1. Plazma rezanje argon/vodik
2. Plazma rezanje dušikom
3. Plazma rezanje zrakom
4. Plazma rezanje kisikom
5. Plazma rezanje kisikom ili dušikom uz dodatno injektiranje mlaza vode u električni luk
6. Plazma rezanje tzv. finim mlazom - HiFocus
7. Plazma rezanje tzv. hyDefinition

Ovo rezanje može biti strojno i ručno.

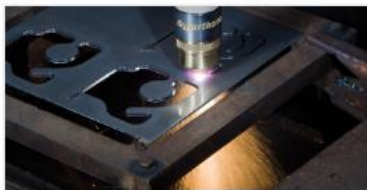
Ako je rezanje strojno u tom slučaju se strojevima za plinsko rezanje dodaje plamenik za plazma rezanje, izvor struje i odgovarajući plinovi. Navedena tehnika osobito je pogodna za rezanje tankih limova, tanjih od 5 mm, kod čega se ostvaruju velike brine rezanja do 10 m/min i zadovoljavajuća kvaliteta koja također ovisi o korektnom namještanju parametara rezanja.

### CNC REZANJE PLAZMOM

Naziv pogona	CNC rezanje plazmom
Opis pogona	CNC rezanje plazmom.
Značajke pogona	→ Debljina od 1,0 do 50,0 mm → Područje rezanja 2 * 6 m → Izrezivanje svih vrsta metala



sl. 15. CNC rezanje plazmom



REZANJE INOXA  
PLAZMOM

- max. veličina radnog stola: 12 x 2,5 m
- max. debljina: 130 mm
- napredna tehnologija, vrhunska kvaliteta rezanja i mala tolerancija za tanke ploče i ploče velike gustoće
- smanjen rok isporuke zbog velike brzine rezanja
- podvodno plazma rezanje do 50 mm debljine



REZANJE INOXA  
VODENIM MLAZOM

- max. veličina radnog stola: 6 x 2,5 m
- max. debljina: 130 mm
- tri kvalitete reza
- precizno rezanje na zahtjev, tolerancija +/-0,1 mm je moguća
- bez utjecaja topline, bez izobličenja materijala



REZANJE INOXA  
LASEROM

- max. veličina radnog stola: 6 x 2,5 m
- max. debljina: 15 mm
- minimalna hrapavost površina reza: niža od 100 um tako da nije potrebna ponovna završna obrada izratka
- pomoću laserskog snopa mogu se izrezati veliki rezovi svih oblika, ali ujedno i male precizne konture

sl.16. Usporedba postupaka rezanja

## 2.6. PREDNOSTI PLAZMA REZANJA NAD PLINSKIM REZANJEM

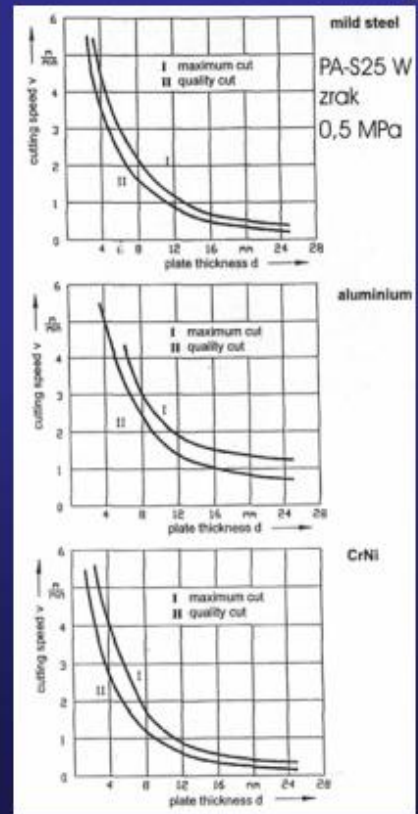
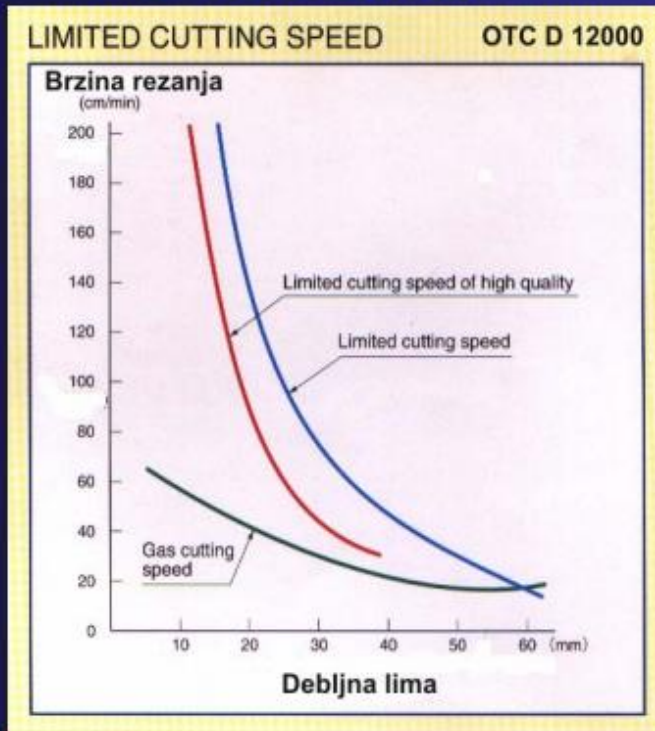
1. Velike brzine rezanja na limovima do 15 mm debljine
2. Manje toplinske deformacije
3. Manji problemi kod rezanja pocinčanih limova

Primjer: rezanje plazmom pod vodom u odnosu na plinsko ako je materijal nelegirani čelik – lim debljine 16 mm

U ovom slučaju brzina rezanja plazmom je 2300mm/min dok je plinom 600 mm/min.

Postupkom plazma rezanja mogu se rezati i materijali koji ne provode električnu struju.

# Brzina rezanja



SVEUČILIŠTE U OSIJEKU – STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

Katedra za tehnologije

sl. 17. Dijagram brzina rezanja u ovisnosti o debljini lima

Iz dijagrama možemo zaključiti da sa porastom debljine lima brzina rezanja pada.

## 2.7. NEDOSTACI PLAZMA REZANJA:

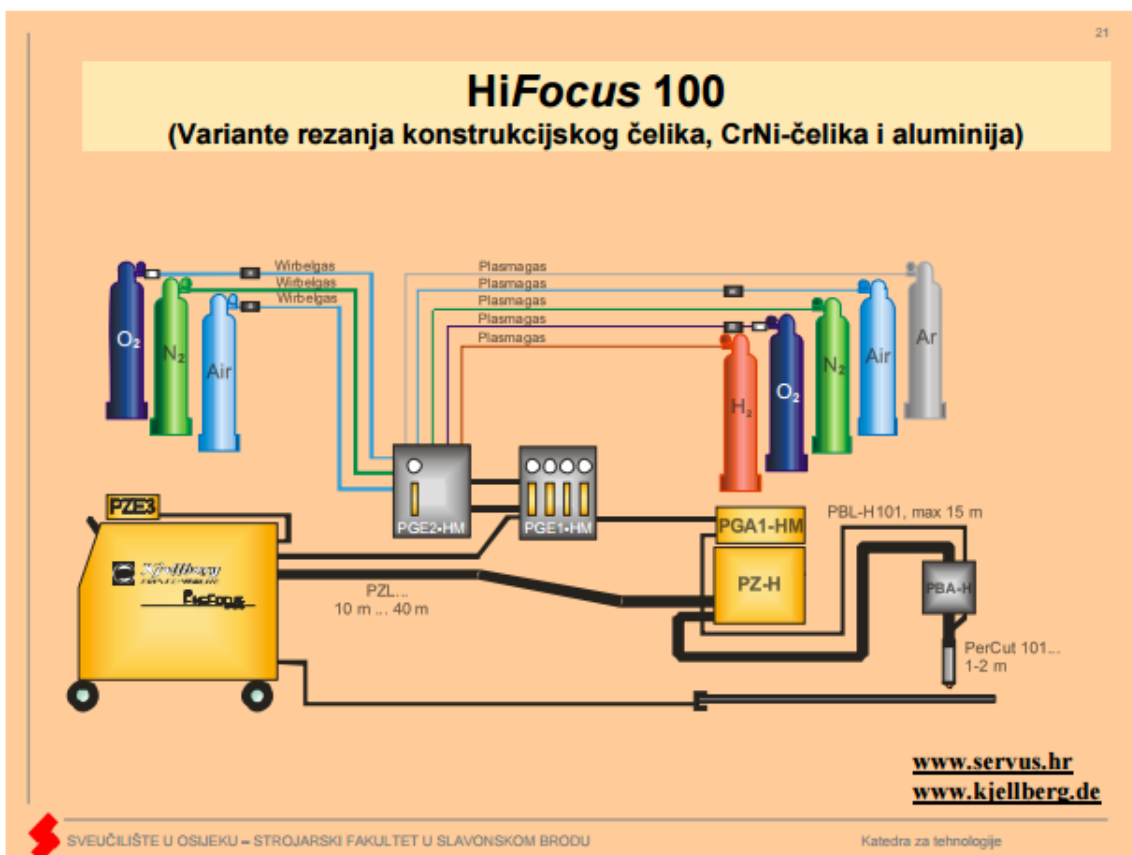
1. Povećano onečišćavanje metalnim parama, prašinom i dimovima ( dolazi do nastajanja toksičnih plinova, metalnih oksida )
2. Velika buka u rezanju, bljeskovi

Ovi nedostaci rješavaju se plazma rezanjem pod vodom (razvijene su nove tehnologije), čime se smanjuje unos topline u materijal a time i deformacije kod rezanja.

## 2.8. TEHNOLOGIJE PLAZMA REZANJA

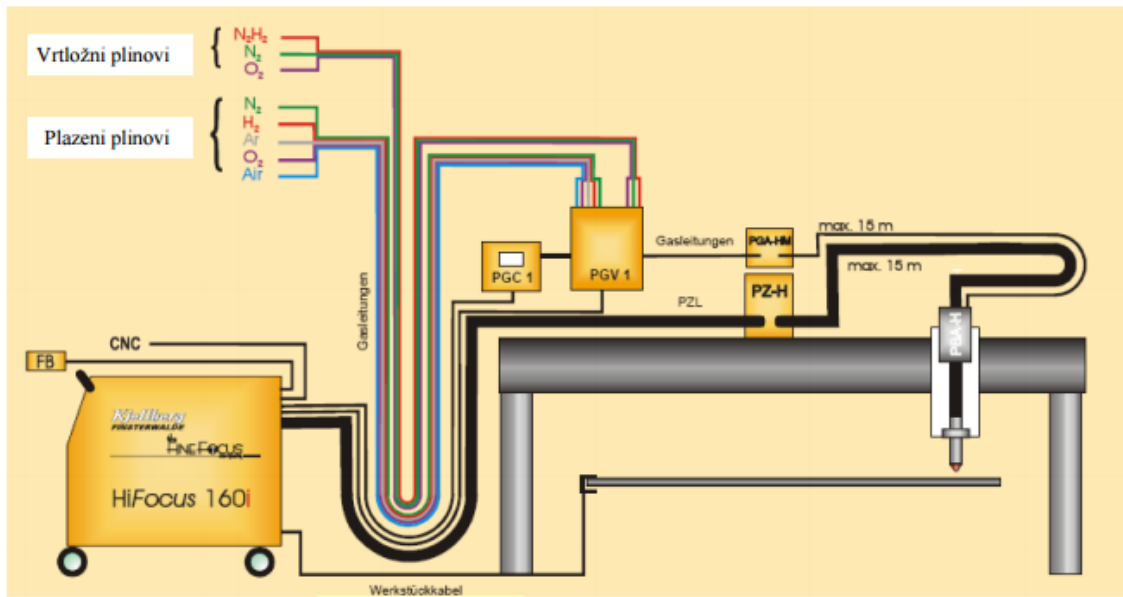
Tehnologije plazma rezanja FineFocus i HiFocus i HiFinox daju dobru kvalitetu reza uz velike brzine i prihvatljivu cijenu po metru reza i u području rezanja tankih limova sve više istiskuju laser.

Također povećanje efikasnosti i kvalitete reza omogućava uporabu plazma tehnologije i za rezanje Cr-Ni limova i preko 200 mm debljine.



Sl.18. - Tipičan koncept HiFocus plazma rezača za konstrukcijski Cr-Ni čelik i aluminij (Kjellbergov koncept).

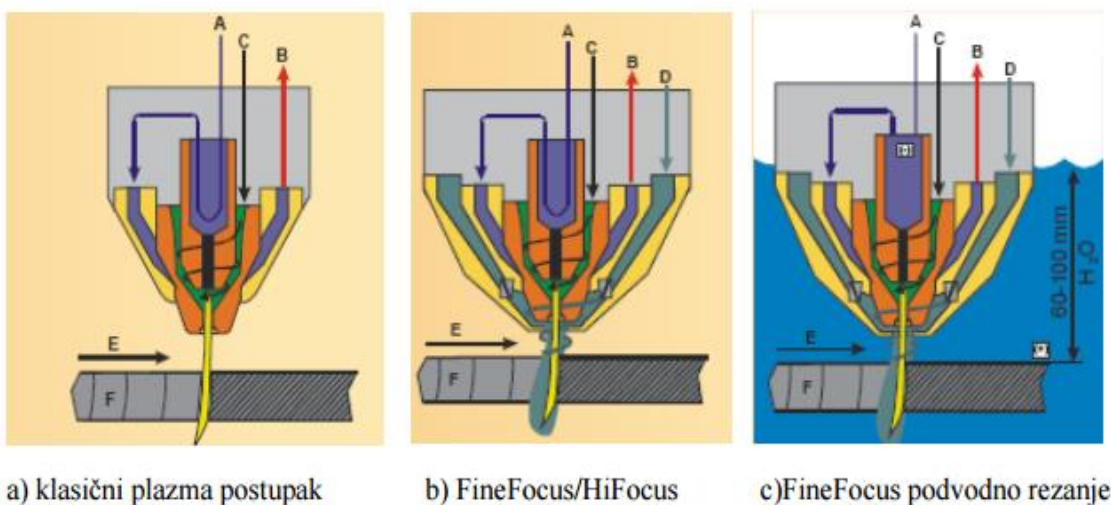




Sl.19.- Tipičan koncept HiFocus plazma rezača pločastih Cr-Ni čelika

Ovaj sustav konceptualno je gotovo identičan sustavima FineFocus i HiFinox istog proizvođača. U odnosu na klasične plazma rezače ovdje su tehnološki unaprijeđeni izvor plazme i upravljanje, naročito u dijelu koji se odnosi na korištenje tehničkih plinova u procesu rezanja bilo sa se radi o plazmenim ili vrtložnim plinovima.

### 2.8.1. Varijante plazma postupka



Sl.20. Varijante plazma rezanja Cr-Ni čelika

Na slici 20 je prikazana građa gorionika i čimbenika koji stvaraju plazmeni luk i njegovu zaštitnu atmosferu, te utječu na svojstva rezanja i na konačnu kvalitetu reza.

Oznake na slici:

A - dovod vode za hlađenje

B - odvod vode za hlađenje

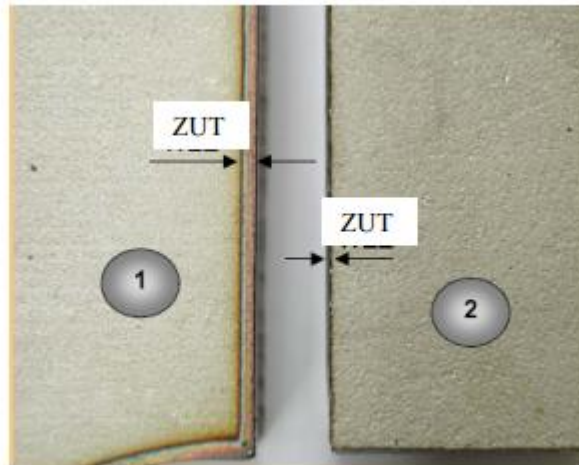
C - dovod plazmenog plina

D – dovod vrtložnog plina

E – smjer rezanja

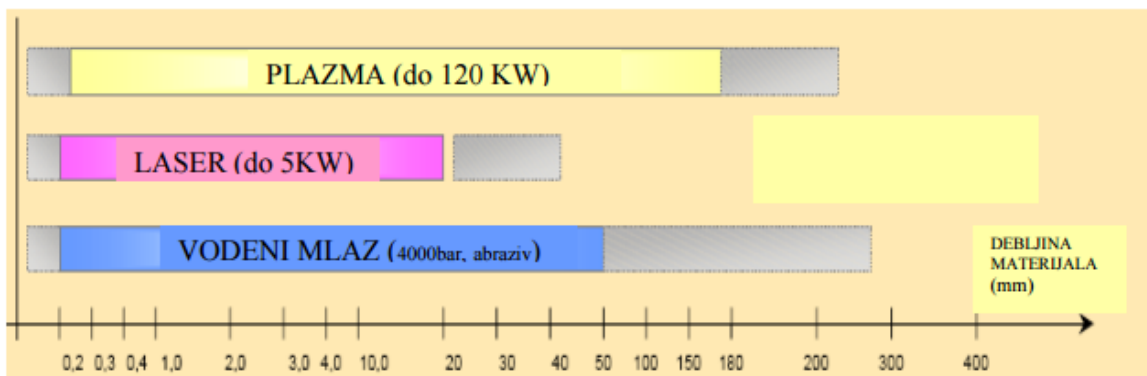
F – površina reza.

- a) Klasičan plazma postupak rezanja – plazmeni luk ostvaren je preko plazmenih plinova , a gorionik se hladi vodom.
- b) Razlika gorionika FineFocus/ HiFocus u odnosu na klasični plazma postupak – plazmeni luk ostvaren je preko plazmenih plinova , a stabilnost luka i brzina rezanja pospješeni su vrtložnim plinovima. Gorionik se hladi vodom.
- c) Primjena gorionika FineFocus/HiFocus pod vodom – materijal koji se reže potapa se pod vodu na dubinu 60 – 100mm. Rezanje pod vodom daje u odnosu na rezanje na zraku s istim izvorom nekoliko prednosti:
  - Vodeni pokrov se koristi kao alternativa odsisu štetnih plinova i prašine koja se nužno javlja kod plazma rezanja. Ovakvo rješenje je bitno jeftinije od klasičnog sustava odsisa s filterima kod instalacije i kasnije u primjeni.
  - Smanjena je buka koju stvara plazmeni luk i pod vodom se njen intenzitet prigušuje ispod 85 dB.
  - Manji je unos topline u toplinski osjetljive materijale i manja je zona utjecaja topline (slika 22) zbog prijelaza najvećeg dijela oslobođene topline u procesu na okolni medij – vodu.



Sl. 21. Usporedba veličine zone utjecaja topline kod plazma rezanja na suho (1) i pod vodom (2)

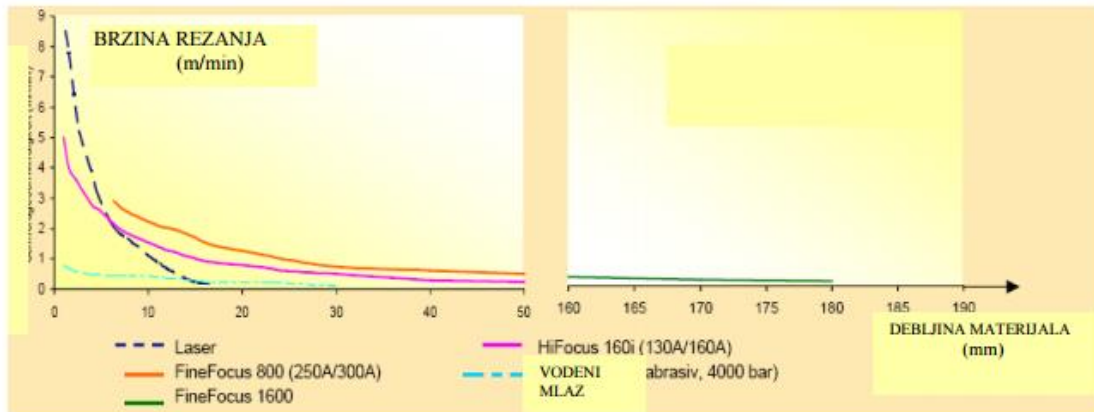
### 2.8.2. Raspon područja rezanja i brzine rezanja Cr-Ni za plazmu, laser i vodeni mlaz



Sl.22. Područja rezanja Cr-Ni čelika

Na gornjoj slici dan je raspon granica područja rezanja Cr – Ni čelika za plazmu, laser i vodeni mlaz.

Evidentno je da plazma postupak učinkovito pokriva rezanje ovih metala od 0,3 do gotovo 200 mm debljine što je ujedno i najšire područje debljina u ovoj usporedbi, a također je i investicija u plazma sustav višestruko manja nego u laser ili vodeni mlaz.



Sl.23.- Brzine rezanja Cr – Ni čelika različitim postupcima

Na sl.23 prikazan je dijagram brzina rezanja različitih debljina Cr – Ni čelika laserom, plazmom i vodenim mlazom. Iz dijagrama možemo zaključiti da je kod rezanja najtanjih limova (do 6 mm) najbrži laser. Plazma tehnologija je brža već od debljine 7 mm, a ovisno o izvoru zadovoljavajuće brzo reže i do debljine 50 mm, dok FineFocus reže do debljine 180 mm.

Rezanje vodenim mlazom primjenjuje se do debljine limova 30 mm ali je i višestruko sporije od bilo kojeg drugog načina rezanja.

## 2.9. OSNOVNI PARAMETRI KOJI UTJEČU NA REZANJE PLAZMOM:

- Jakost struje
- Vrste plinova
- Udaljenost sapnice od radnog komada
- Brzina rezanja

### Kako izabrati plazmeni plin?

Koji plin izabrati uglavnom ovisi o tome kakovu kvalitetu reza želimo postići, te kakovu želimo ekonomičnost i produktivnost.

Pa tako ako režeme npr.:

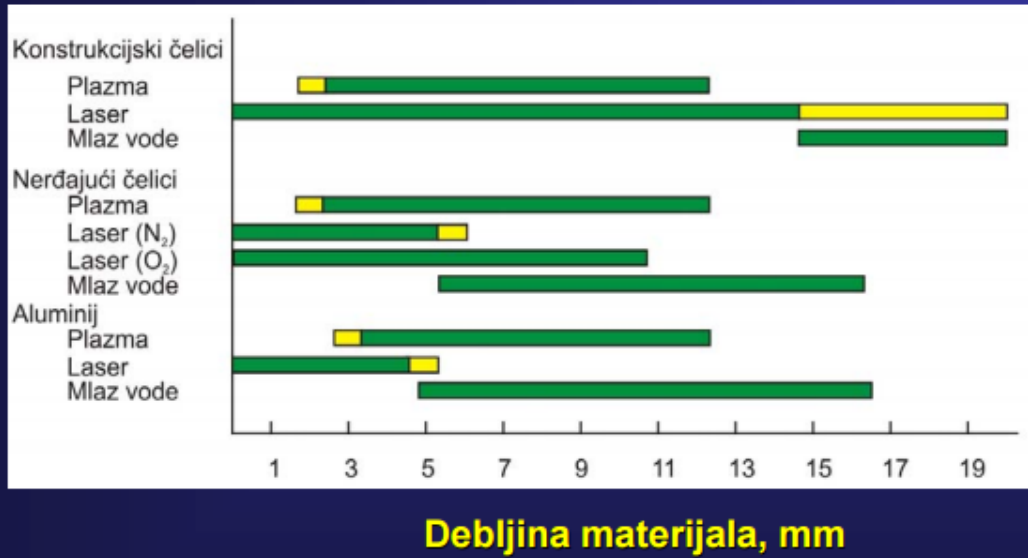
- meke čelike (uglične) – kao plazmeni plin ćemo izabrati kisik i zrak kao zaštitni plin, ako želimo postići najbolju kvalitetu reza, najmanje troske, i minimalnu naknadnu obradu reza. Također ovom kombinacijom plinova postići ćemo najveće brzine rezanja i najveću produktivnost.
- nehrđajuće čelike i aluminij ispod ½ inča - uzeti ćemo dušik kao plazmeni plin i zrak kao zaštitni što omogućava dobar balans između zadovoljavajuće kvalitete reza i dostupnosti. Za malo bolje i brže rezanje koristi se kao zaštitni plin CO<sub>2</sub>, a ako sustav omogućuje vodenu zaštitu onda će se na taj način dobiti najbolja kvaliteta reza.
- za najveću ekonomičnost plazma rezanja koristiti ćemo čisti suhi zrak što je najbolji izbor za plazmeni plin ako režeme meke (uglične) čelike, nehrđajuće čelike i aluminij.

### **Kako izabrati odgovarajući plazmeni plin ako imamo višeplini plazma rezač?**

Mnogi proizvođači biraju plazma sisteme za rezanje s dualnim plinom. To znači da se mogu koristiti različite kombinacije plazmenog i zaštitnog plina za različite postupke rezanja na istom stroju.

Ovakvi sistemi plazma rezalica s dualnim plinom najfleksibilnije su i najpraktičnije u postrojenima gdje se režu veoma velike količine različitih vrsta materijala. Koriste se različiti plinovi, izbor kombinacije plinova ovisi o vrsti materijala koji se reže, o debljini materijala, o nastojanju da se postigne optimalni omjer između kvalitete reza, potrošnje potrošnog materijal (sapnice, elektrode), produktivnosti i ukupne cijene procesa rezanja.

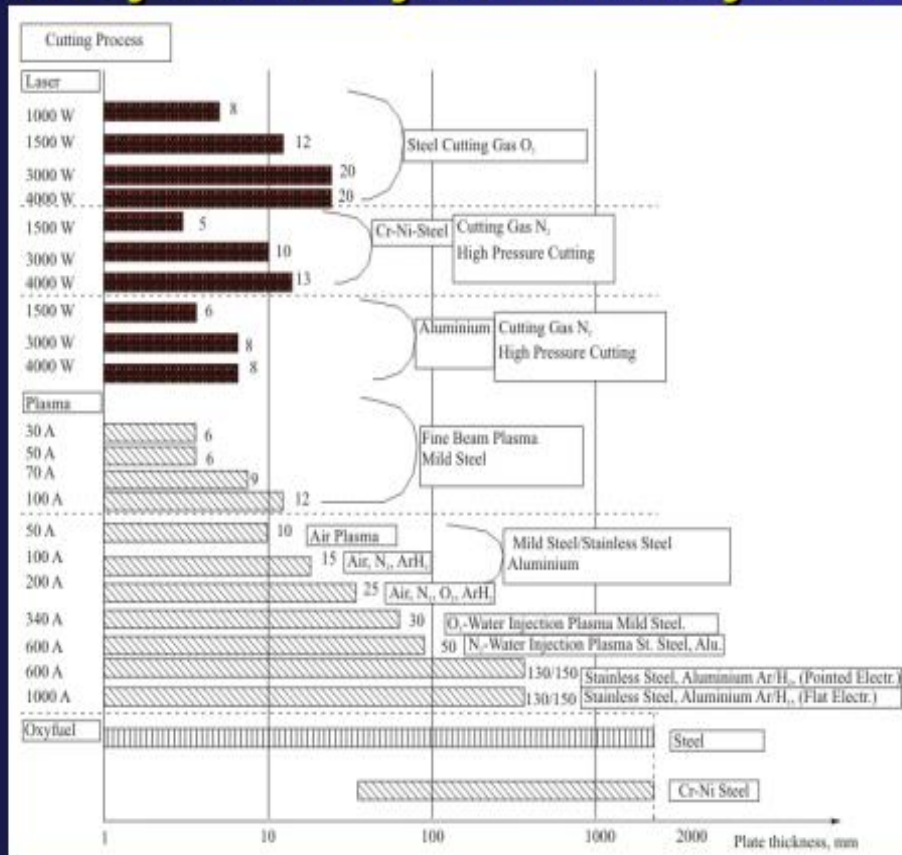
## Područje učestalije primjene pojedinih postupaka rezanja



... Schneiden mit Wasserstrahlen, Werkstatt und Betrieb, 3/1994, str. 16.

sl.24. Područje učestalije primjene pojedinih postupaka rezanja

# Uobičajena debljina lima koji se reže



... Svetsarsen, A welding review published by Esab Group, Vo. 54, No.1-2, 1999., pg 34.



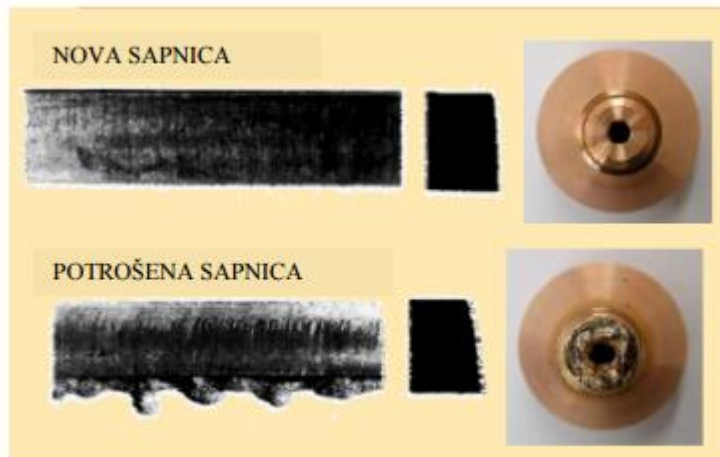
sl.25. Uobičajene debljine lima koji se režu

## 2.9.1. Čimbenici koji utječu na kvalitetu reza:

Ako govorimo o rezanju plazmom nehrđajućih čelika tada razlikujemo nekoliko utjecajnih čimbenika:

- a) Čimbenici koji utječu na stabilnost plazmenog luka
  - Stanje potrošenosti sapnice – dokazano je da potrošenost sapnice četiri puta više utječe na svojstva plazmenog luka od istovjetne potrošenosti katode

- Struja i brzina rezanja – direktno utječu na pravokutnost odnosno nagib reza te širinu reza
- Odabir i doziranje plazmenih i vrtložnih plinova – direktno utječu na pojavu srha, hrapavost površine reza i istaljenost gornjeg ruba reza
- Položaj materijala koji se reže i geometrija gorionika- direktno utječu na pravokutnost odnosno nagib reza te širinu reza i istaljenost gornjeg ruba reza.



sl.26. Utjecaj stanja potrošenosti sapnice na stanje rezne površine i pojavu srha s naličja reza

#### b) Čimbenici koji utječu na sustav vođenja i upravljanja

- Visoka dinamika gibanja gorionika- ubrzanja i usporenja utječu na ispravnost kontura reza
- Njihanje gorionika – utječe na konstantnost širine reza i hrapavost rezne površine
- Udaljenost gorionika od radnog komada – konstantna udaljenost utječe na smanjenje odstupanja u mjerama i pojavu srha
- Programiranje procesa rezanja – bitan je i utjecaj početka i kraja reza te broj prolazaka preko reza na samu stabilnost plazmenog luka i ujednačenost rezne površine
- Stanje površine radnog komada i potencijalna kolizija gorionika i radnog komada.



### 2.9.2. HRN EN ISO 9013 – norma prema kojoj se određuje kvaliteta reza

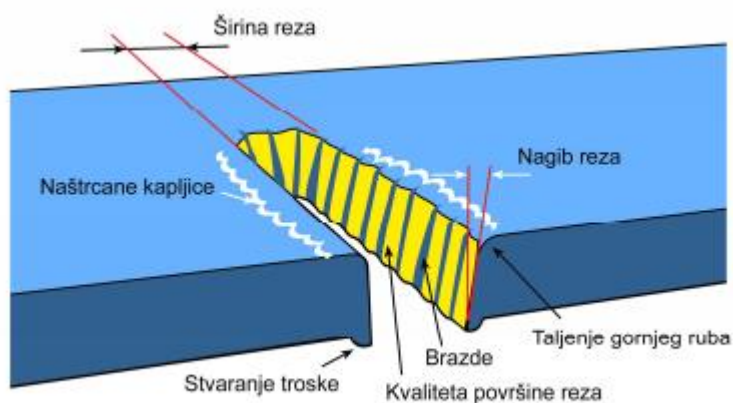
Mjerenja koja se provode nakon rezanja provode se na uzorcima koji su sačinjeni kod različitih vrsta materijala ( npr. nelegirani čelik i nehrđajući čelik), te se također režu na različitim brzinama.

Mjerenjem se utvrđuju pojedine značajke kvalitete reza, te se vrši svrstavanje u pojedine klase rezanja.

Na uređaju za mjerenje hrapavosti površina (perthometer S8P), mjere se veličine hrapavosti površine dok se tolerancija okomitosti ili kutnosti mjere uz pomoć kutomjera. Veličine hrapavosti Rz, prosječne visine neravnina te vrijednosti tolerancija okomitosti ili kutnosti klasificirane su prema normi HRN EN ISO 9013, a također i utjecaj plazmenog plina na kvalitetu reza i brzinu rezanja svih upotrijebljenih osnovnih materijala.

### 2.9.3. Izgled reza:

- izgled reza definiran je njegovom:
  - a) širinom
  - b) nagibom
  - c) pojavom srha
  - d) hrapavosti



sl. 27 . Izgled reza

Kada govorimo o širini reza, mislimo na količinu metalnog materijala koju je uslijed svog prolaska kroz radni materijal uklonio mlaz plazme. Budući da su sapnice različitog promjera, širina reza je u pravilu uvijek 1 do 2 puta veća od promjera sapnice koja se koristi u postupku rezanja.

- čimbenici koji utječu na kvalitetu reza su:
  - a) brzina rezanja
  - b) jakost struje
  - c) udaljenost sapnice od radnog komada

Kao bi se postigla zadovoljavajuća kvaliteta reza preporučljivo je rezati manjim brzinama, sapnicom manjeg promjera pri manjoj jakosti struje.

Potrebno je da jakost struje bude takovog intenziteta da omogućuje 95 % izlazne snage na sapnici. U slučaju manje jakosti struje od one za koju je predviđena sapnica, kao posljedica će se pojaviti nefokusirani mlaz te prljav rez.

Srh se javlja kao posljedica izostanka optimalnih uvjeta rezanja, koji direktno utječu na kvalitetu reza. Istrošenosti sapnice i/ili katode imaju direktan utjecaj na okomitost reza i toleranciju nagiba a samim time i na pojavu srha po reznom rubu.

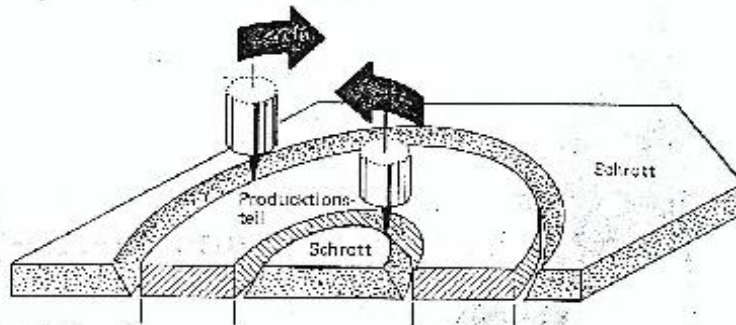


Abb. 4 Schneidrichtung

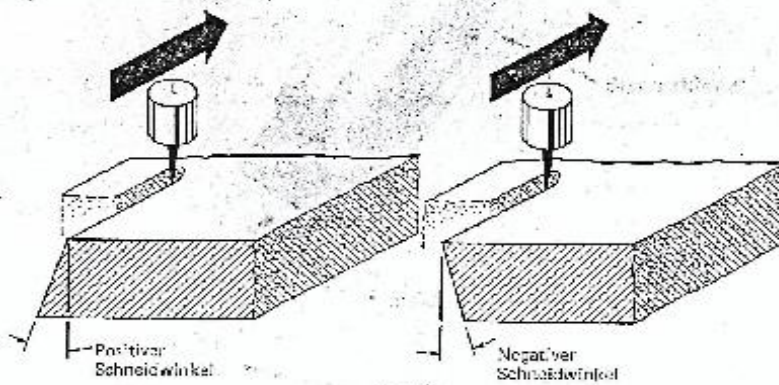


Abb. 5 Schneidwinkel

Sl. 28. Pozitivan i negativan kut rezanja

Prilikom procesa rezanja izradak mora uvijek biti desno, gledano u smjeru rezanja.

Nepravilnosti	Vrste materijala		
	Konstruktivski čelik	Nehrđajući čelik	Al – legura
Zaobljen gornji rub	Prevelika brzina, Preveliki razmak	Prevelika brzina, Preveliki razmak	Rijetko se javlja
Srh na gornjem rubu	Preveliki razmak, Lako otklanjanje	Preveliki razmak, Lako otklanjanje, Pogrešna koncentracija vodika	Preveliki razmak, Lako otklanjanje
Hrapavost na gornjem rubu	Rijetko se javlja	Pogrešna koncentracija vodika, Razmak i brzina	Premali protok vodika
Nagib (pozitivan)	Prevelika brzina, Preveliki razmak	Prevelika brzina, Preveliki razmak, Premalo vodika	Prevelika brzina, Premali protok vodika
Nagib (negativan)	Rijetko se javlja	Rijetko se javlja	Previše vodika
Neravnine blizu donjeg ruba	Rijetko, ponekad kod prebrzog starta	Samo na granici optimalnih parametara	Rijetko se javlja
Neravnine blizu gornjeg ruba	Previše vodika	Previše vodika	Premala brzina, Premalo vodika
Konkavne stranice	Rijetko se javlja	Previše vodika	Previše vodika, Premala brzina
Konveksne stranice	Prevelika brzina	Prevelika brzina, Premalo vodika	Rijetko se javlja
Zaobljen donji rub	Prevelika brzina	Rijetko se javlja	Rijetko se javlja
Srh na donjem rubu	Previše vodika, Prevelika brzina	Previše vodika, Premala brzina	Prevelika brzina
Hrapavost na donjem rubu	Premali razmak	Rijetko se javlja	Premalo vodika

Tabela br. 1 . – nepravilnosti kod rezanja (konstrukcijski čelik, nehrđajući i Al – legure)

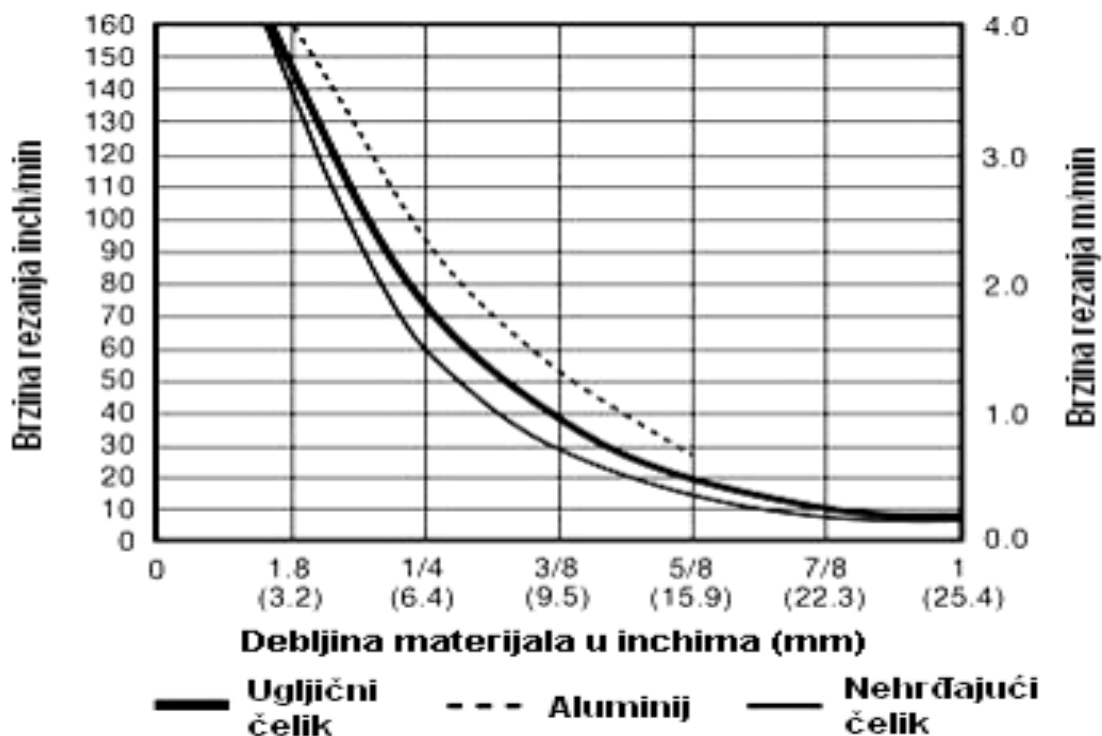
## 2.9.4. Procjena brzine rezanja

### Kako procijeniti koja je optimalna brzina rezanja ?

Brzina rezanja također jedan je od najbitnijih faktora koji utječu na kvalitetu reza i pojavu srha.

- **brzina rezanja prevelika** :- nastaju stepeničaste brazde u obliku slova S, veliki je nagib reza, te se javlja srh na donjoj strani reza.
- ovakav srh je veoma teško ukloniti te je neizostavno naknadno brušenje.
- **brzina rezanja premala:**
  - u ovom slučaju širina reza je veća
  - rastaljeni materijal ostaje neispuhan, te se nakuplja na dnu reza
  - za razliku od slučaja a) ovakav srh se veoma lako uklanja.

Procjenu optimalne brzine rezanja najbolje je provesti na način da se promatra nagib luka u odnosu na radni materijal. Nagib luka bi trebao na izlaznom bridu biti jednak nuli tj. luk treba biti vertikalan u odnosu na izradak.



sl.29. Dijagram - brzina rezanja u ovisnosti o debljini materijala

### 2.9.5. Mjerenje hrapavosti

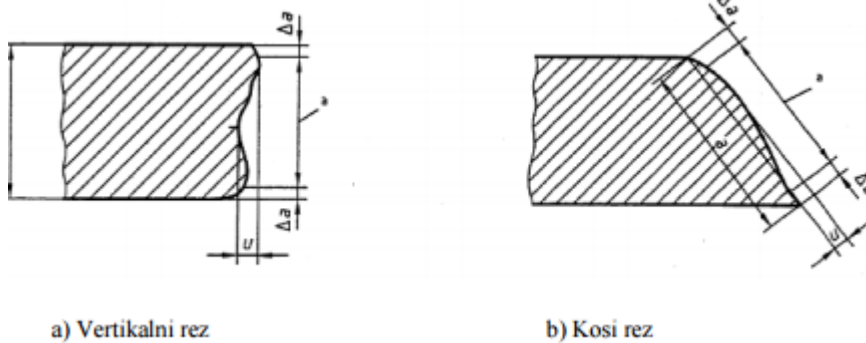
Površina reza nije idealno glatka ploha, već je to, mikroskopski gledano hrapava ploha s specifičnim neravninama, koje se razlikuju po obliku, veličini i rasporedu.

Intenzitet hrapavosti može štetno djelovati na:

- smanjenje dinamičke izdržljivosti / odnosno čvrstoće
- izazvati pojačano trenje i trošenje tribološki opterećenih površina
- ubrzati pojavu korozije

Hrapavost mjerimo pomoću specijaliziranog mjernog uređaja a prosječna visina neravnina Rz standardiziran je normom HRN EN ISO 9013 kao i uređaj za mjerenje. Broj i položaj točaka mjerenja ovisi o obliku i veličini radnog komada (izradak).

Rezne površine se klasificiraju prema maksimalnim izmjerenim vrijednostima i svrstavaju u polja tolerancija. Točke mjerenja se obično postavljaju na mjestima na radnom komadu gdje se očekuje maksimalna izmjerena vrijednost.



sl. 30. Vertikalni i kosi rez

Mjerenje debljine reza za plazma rezanje kao i za plinsko radi se s udaljenosti od oko 2/3 debljine reza od gornjeg ruba reza, a ako se radi o debljinama manjim od 2 mm onda se radi s udaljenosti od 1/2 debljine.

Rz5 – karakteristična vrijednost prosječne visine neravnina :

- određuje se u graničnom području površine reza
- mjeri se u točki maksimalne hrapavosti u skladu s normom ISO 4288
- mjeri se svakih 15 mm debljine reza u smjeru rezanja
- ispitivač je opisan u normi ISO 3274.

Debljina reza, a mm	$\Delta a$ , mm
$\leq 3$	0,1 a
$> 3 \leq 6$	0,3
$> 6 \leq 10$	0,6
$> 10 \leq 20$	1
$> 20 \leq 40$	1,5
$> 40 \leq 100$	2
$> 100 \leq 150$	3
$> 150 \leq 200$	5
$> 200 \leq 250$	8
$> 250 \leq 300$	10

tabela br. 2. – Debljine reza

### 2.9.6. Određivanje kvalitete reza:

Kod izbora mjernih instrumenata moramo voditi računa da moguće greške ne prelaze 20 % vrijednosti karakterističnih vrijednosti koje trebaju biti izmjerene.

Oznaka	Granice greške	Primjeri
u	0,02 mm	Vođenje uređaja u smjeru rezanja pod određenim kutem s mjernom urom Kut kontaktne točke igle $\leq 90^\circ$ Polumjer kontaktne točke igle $\leq 0,1$ mm
Rz5	0,002 mm	Točnost mjernog instrumenta, npr. električna kontaktna igla instrumenta za kontinuirano skeniranje u smjeru rezanja

tabela br. 3 – Utjecaj kvalitete preciznih mjernih instrumenata na izmjerene vrijednosti reznih površina

Oznaka	Granice greške	Primjeri
u	0,1 mm	Tro-kutnik (postoji mogućnost mjerenja pravog kuta prema tri površine u odnosu na kladu mjernog instrumenta), za kose rezove, za ovu namjenu koristi se i mjerni uređaj s točkom osjeta za mjerenje dubine
Rz5	-	

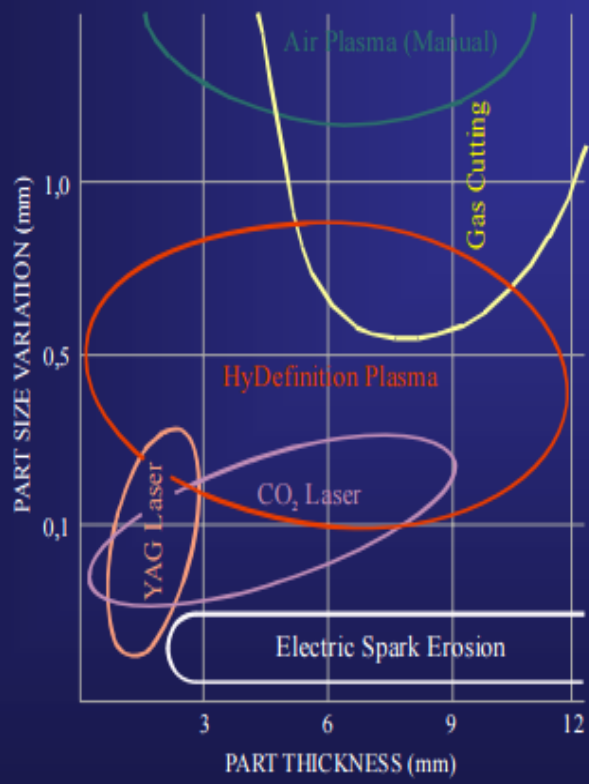
tabela br. 4. – utjecaj kvalitete hrapavih mjernih instrumenata na izmjerene vrijednosti reznih površina

### 2.9.7. Uvjeti mjerenja

1. mjerenje se mora provesti na brušenoj i od oksida očišćenoj površini
2. referentni element je gornja i donja površina reza radnog komada (one također moraju biti očišćene)
3. za definiranje ravnoće referentni element i ravna linija trebaju biti centrirani jedan s drugim, maksimalna udaljenost mjernih linija i stvarne površine treba biti minimalna.



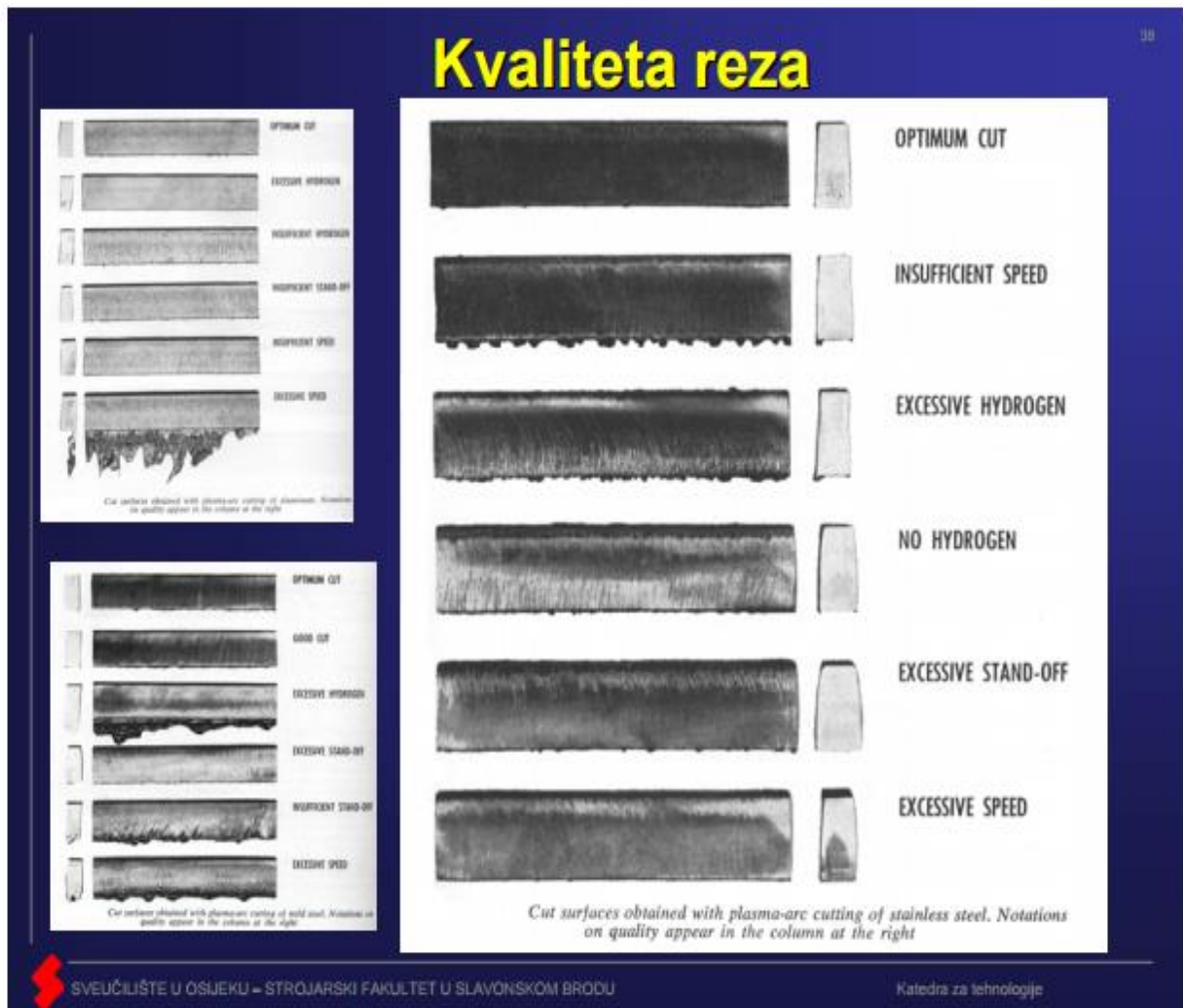
# Tolerancije



... Svetsarsen, A welding review published by Esab Group, Vo. 54, No.1-2, 1999., pg 34.



sl: 31 . Tolerancije



Sl. 32: Kvaliteta reza

### 2.9.8. Neki od najzastupljenijih proizvođača izvora plazmi

- Hyperherm (SAD)
- ESAB
- Thermal Dynamics
- KJELLBERG
- OTC (Japan)



sl.33. HT 2000 Hyperterm

### 2.9.9. Neki od najzastupljenijih proizvođača CNC rezalica

- MESSER, ESAB, SATO (Njemačka)
- VARSTROJ (Slovenija)
- ESPRIT ( UK)
- UNICUT (Hrvatska)



Slika 34 : CNC rezanje plazmom - Varstroj ( Lendava, SLO)

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO:**

#### **3.1. SAŽETAK IZRADE EKSPERIMENTALNOG DIJELA**

Eksperimentalni dio ovoga rada izveden je na CNC portalnoj plazma rezalici – Messer Cortina s izvorom plazme tipa: HT 2000 – tvrtke Hyperterm.

Izrađen je plan rezanja prema nacrtu za :

- REBRO dimenzija 6 x 100 x 100 izrađeno od čelika oznake S235JRG2 ( plan rezana PLRPOZ1) i
- PRIRUBNICU Ø100 / Ø 50 x 8 izrađenu od čelika oznake X6CrNiTi18-10 (plan rezanja PLRPOZ2).

I nacrt i plan rezanja izrađeni su u Auto –Cad programu u mjerilu 1:1.

CNC program za rezanje izrađen je u CADREZ-u.

#### **3.2. PLAZMENI I ZAŠTITNI PLINOVI KORIŠTENI U POSTUPKU REZANJA**

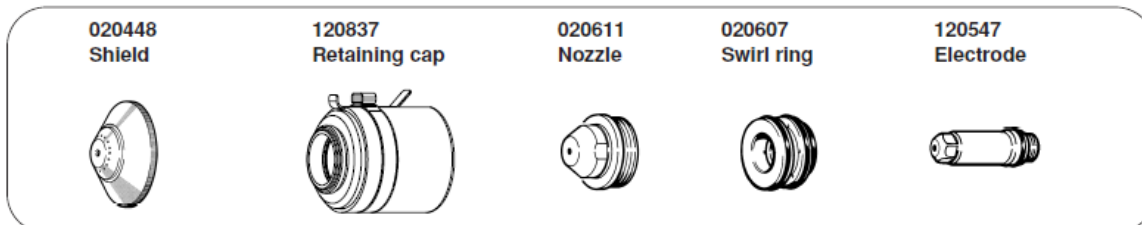
##### **A) izradak br. 1 - REBRO (uglični čelik – oznake S235JRG2)**

- plazmeni plin – ZRAK
- zaštitni plin – ZRAK
- proces rezanja proveden je prema vrijednostima iz tabele u prilogu za debljinu materijala 6 mm.

## Mild Steel

100\* amps • Air Plasma / Air Shield

This gas combination gives good cut speed, low dross levels and is very economical. Some surface nitriding can occur. While this process may be used on thicker materials, optimal recommended range is to 3/8" (10mm).



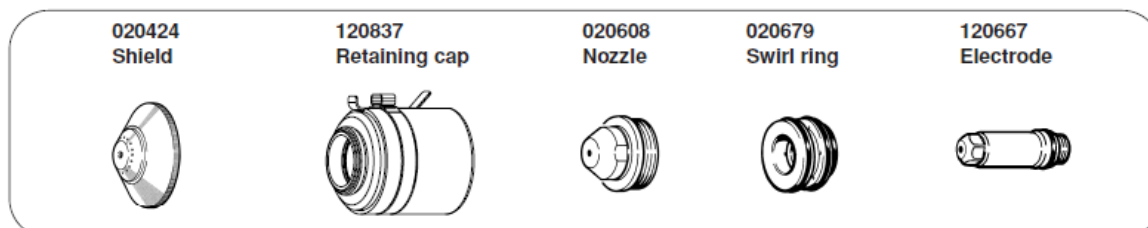
### Above Water

Material Thickness (Inches) (mm)	Plasma Gas Flow Rate %		Shield Gas (Air) Pressure (psi)	Torch-to-work Distance (Inches) (mm)		Initial Torch Piercing Height (Inches) (mm)		Arc Voltage Setting (volts)	Travel Speed (ipm) (mm/min.)		Approx. Motion Delay Time (sec)
	Preflow (Air %)	Cutflow (Air %)									
.075*	2	48	60	3/32	2.5	3/16	5	120	235	6050	
1/8	3	(55.3)	(270)	3/32	2.5	3/16	5	125	185	4700	0.5
3/16	5	SCFH)	SCFH)	1/8	3	1/4	6	125	175	4450	0.5
1/4	6			1/8	3	1/4	6	130	125	3175	0.5
3/8	10			1/8	3	1/4	6	135	50	1270	1.0
1/2	12			1/8	3			140	35	890	
5/8	15			.157	4			145	25	635	
3/4	20			3/16	5			150	20	510	

## Mild Steel

200 amps • Air Plasma / Air Shield

This gas combination gives good cut speed, low dross levels and is very economical. Some surface nitriding can occur.



### Above Water

Material Thickness (Inches) (mm)	Plasma Gas Flow Rate %		Shield Gas (Air) Pressure (psi)	Torch-to-work Distance (Inches) (mm)		Initial Torch Piercing Height (Inches) (mm)		Arc Voltage Setting (volts)	Travel Speed (ipm) (mm/min.)		Approx. Motion Delay Time (sec)
	Preflow (Air %)	Cutflow (Air %)									
3/16	5	54	60	1/8	3	1/4	6	130	200	5080	
1/4	6	(62.3)	(270)	1/8	3	1/4	6	130	135	3400	0.5
.315	8	SCFH)	SCFH)	1/8	3	1/4	6	135	115	2900	0.5
3/8	10			1/8	3	1/4	6	135	100	2540	1.0
1/2	12			.157	4	.314	8	140	80	2030	2.0
5/8	15			.157	4	.314	8	145	60	1520	2.0
3/4	20			3/16	5	3/8	10	150	45	1140	2.5
7/8	22			1/4	6	1/2	12	155	30	760	2.5
1	25			1/4	6	1/2	12	160	25	635	2.5
1-1/4	32			1/4	6			165	15	380	
1-1/2	38			1/4	6			170	10	250	
1-3/4	44			5/16	8			180	7	180	
2	50			5/16	8			185	5	130	

tabela br.5. parametri za plazmeni i zaštitni plin kod rezanja ugljičnog čelika- 100 A i 200A

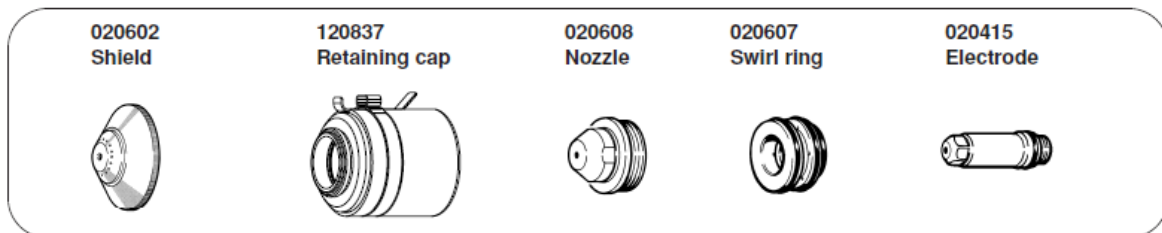
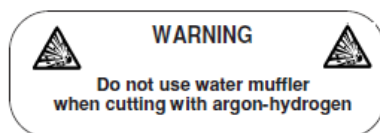
## B) izradak br.2 - PRIRUBNICA ( nehrđajući čelik – oznake X6CrNiTi18-10)

- plazmeni plin – H 35 - mješavina 35% H<sub>2</sub> i 65 % Ar
- zaštitni plin – DUŠIK
- proces rezanja proveden je prema vrijednostima iz tabele u prilogu za materijal debljine 8 mm.

### Stainless Steel

200 amps • H35 Plasma / N<sub>2</sub> Shield

This gas combination (Hypertherm recommends a mixture of 35% hydrogen and 65% argon for the plasma gas) gives maximum thickness cutting capability, minimum dross levels, minimum amount of surface contamination, excellent weldability and excellent cut quality on thicknesses greater than 1/2". On thicknesses less than 1/2", excessive dross levels may be experienced. Electrode life is extended when this combination is used.

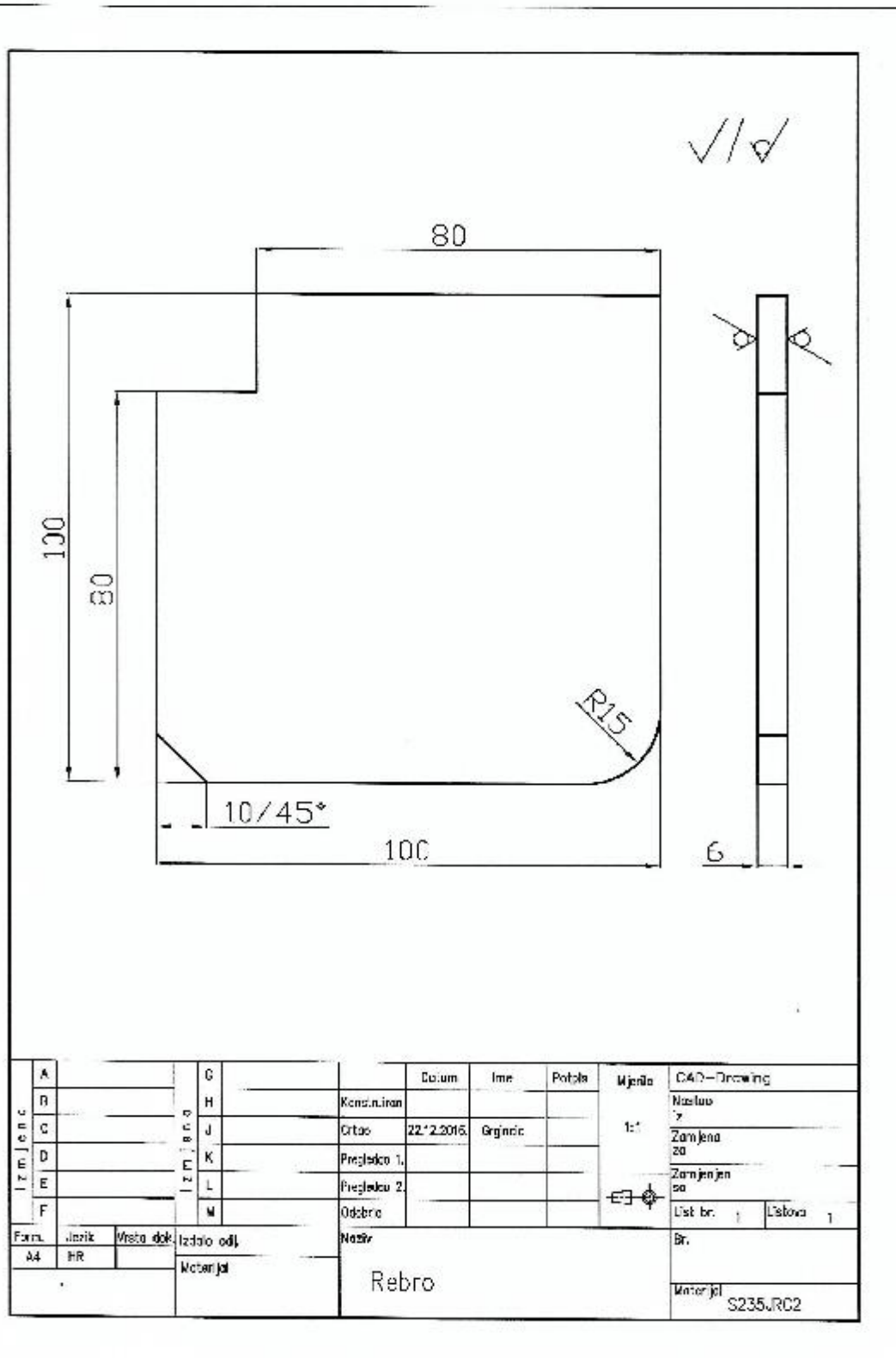


### Above Water Only

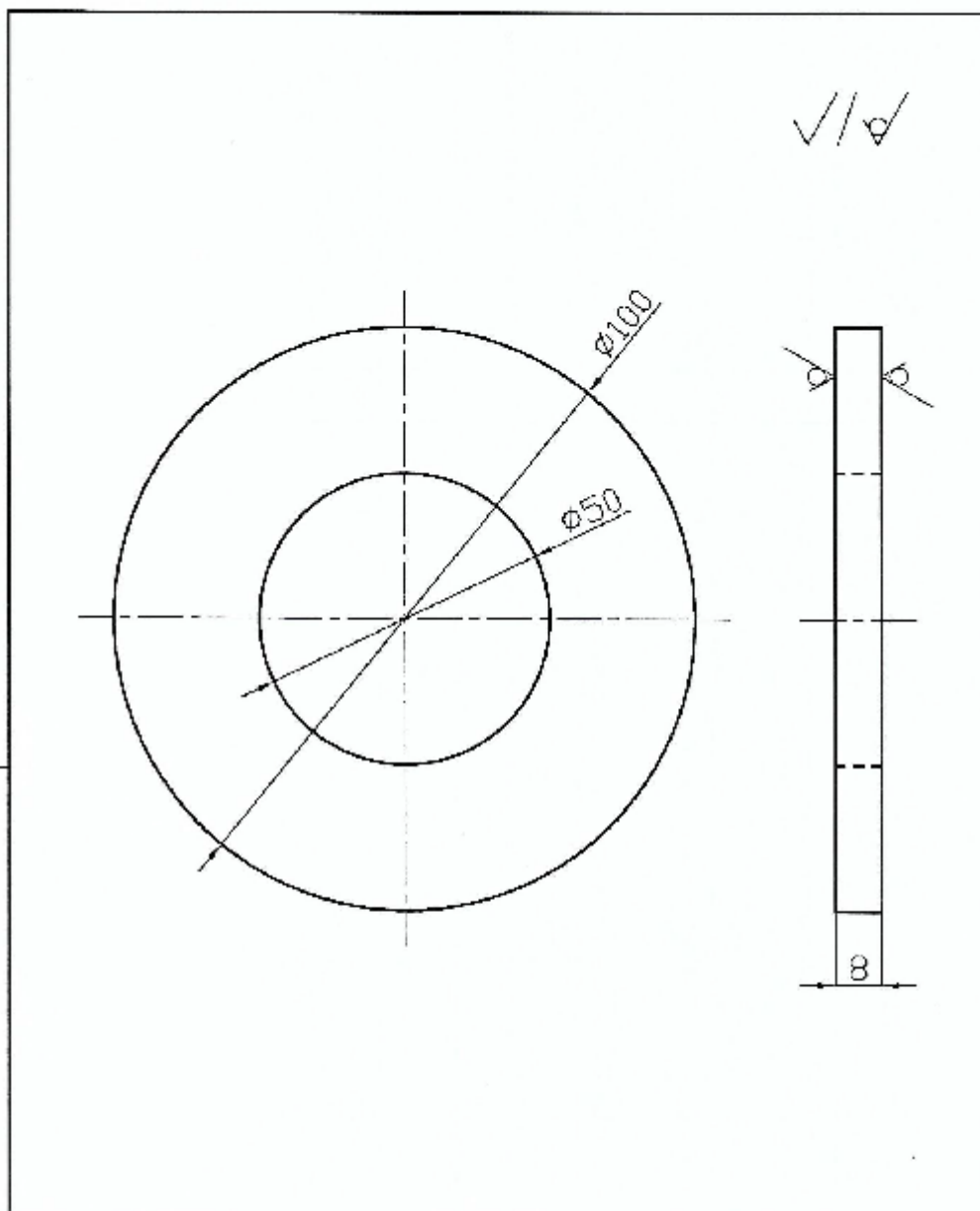
Material Thickness (inches) (mm)		Plasma Gas Flow Rate %		Shield Gas (N <sub>2</sub> ) Pressure (psi)	Torch-to-work Distance (inches) (mm)		Initial Torch Piercing Height (inches) (mm)		Arc Voltage Setting (volts)	Travel Speed (ipm) (mm/min.)		Approx. Motion Delay Time (sec)
		Preflow (H35 %)	Cutflow (H35 %)		(inches)	(mm)	(inches)	(mm)		(ipm)	(mm/min.)	
1/4	6	25	25	60	3/16	5	3/8	10	135	62	1600	1.0
3/8	10	(89.9	(89.9	(275	3/16	5	3/8	10	140	52	1300	1.0
1/2	12	SCFH)	SCFH)	SCFH)	3/16	5	3/8	10	140	42	1100	2.0
5/8	15	S			1/4	6	1/2	12	145	37	940	2.0
3/4	20				1/4	6	1/2	12	150	32	810	2.5
7/8	22				5/16	8	5/8	16	155	27	690	2.5
1	25				5/16	8			155	22	560	
1-1/4	32				5/16	8			165	16	400	
1-1/2	38				5/16	8			170	11	280	
1-3/4	44				5/16	8			180	8	200	
2	50				5/16	8			185	6	150	

tabela br.6 - parametri za plazmeni i zaštitni plin za rezanje nehrđajućeg čelika -200 A

### 3.3. NACRTI I PLANOVI REZANJA



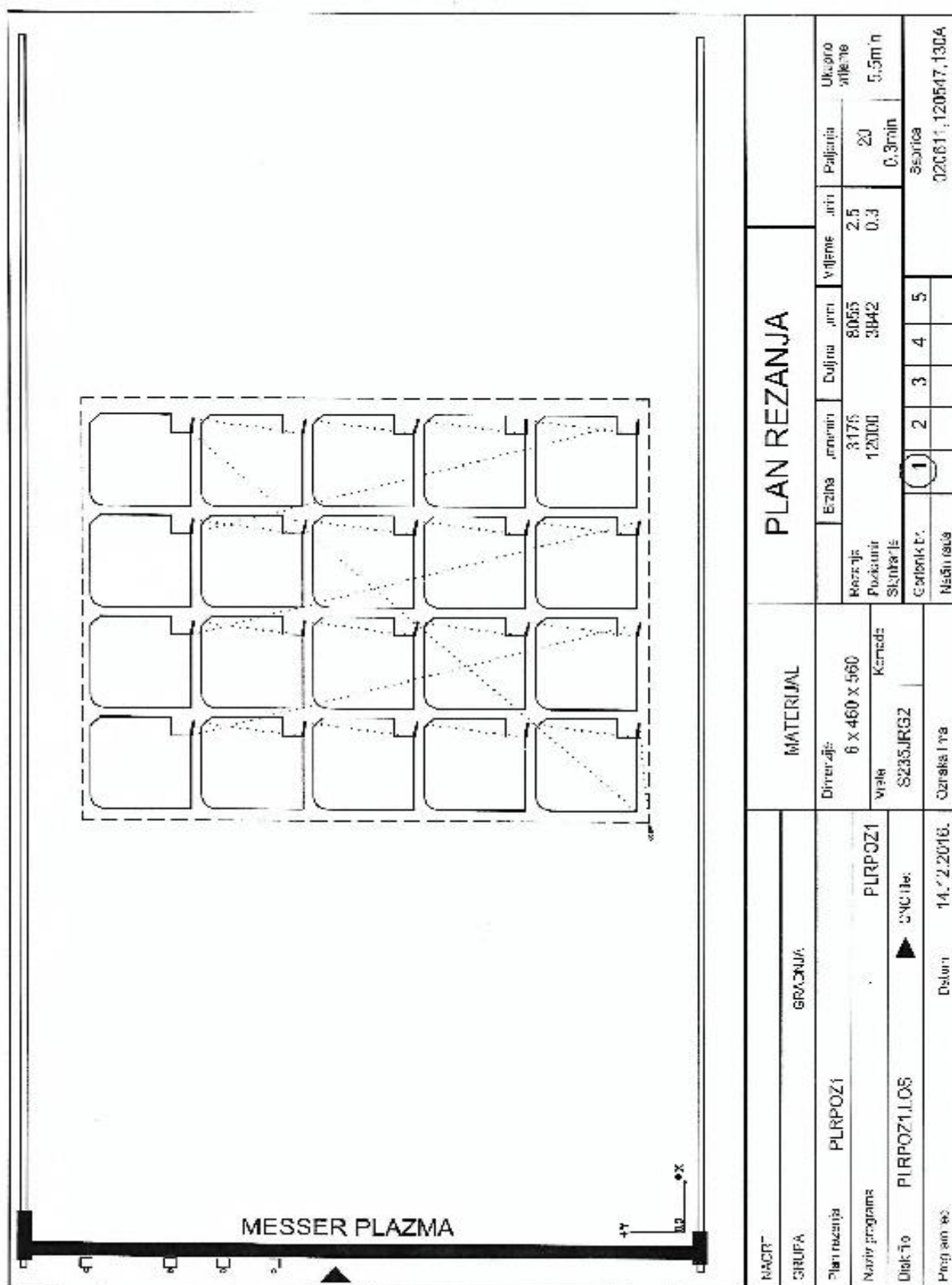
sl.35. Nacrt za izradak br.1- REBRO



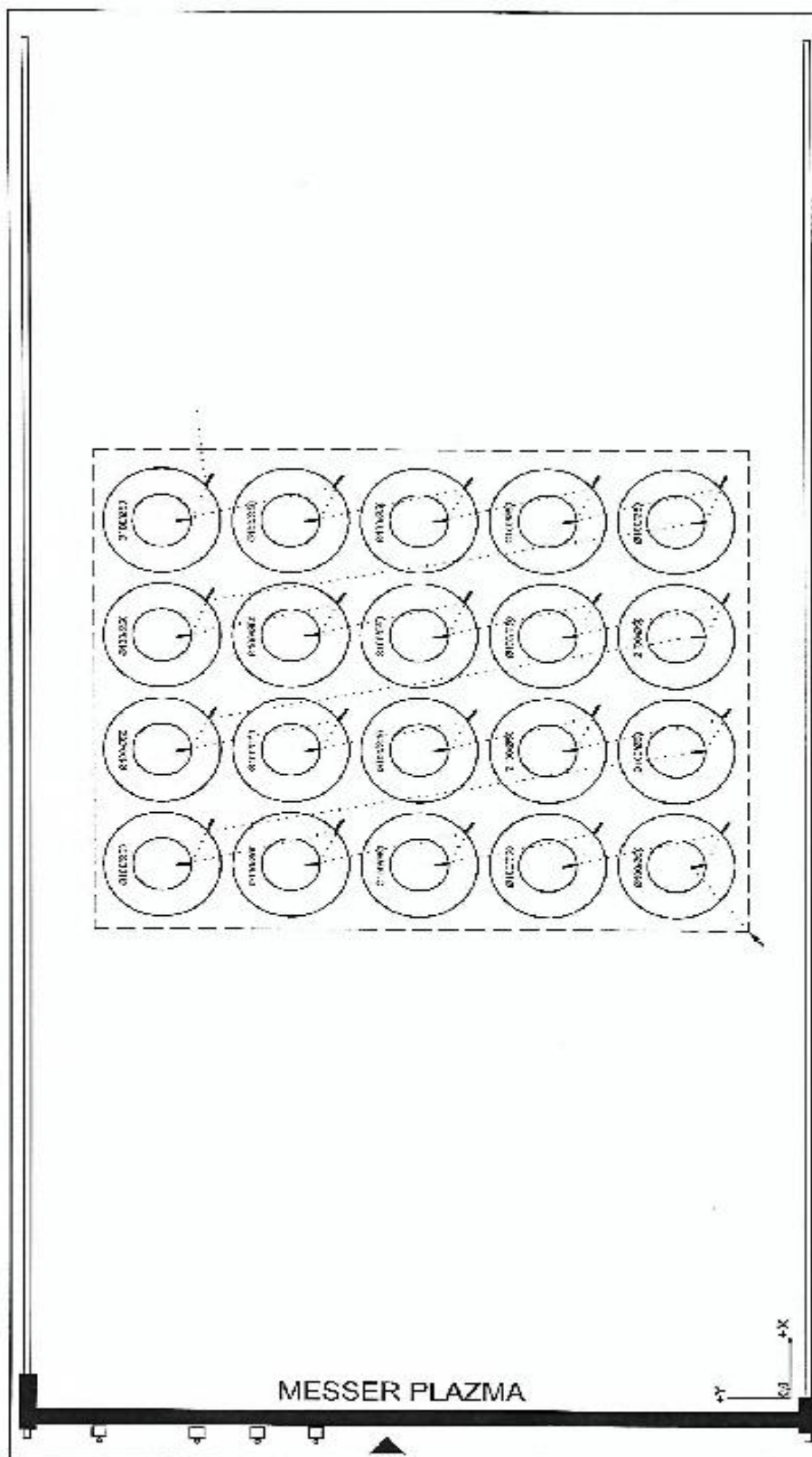
I Z M E N E	A		I z m e n e	G		Datum	Ime	Polje	Mjerilo	CAD—Drawing		
	B			H	Konstruirao					1:1	Nastao iz	
	C			J	Crtao	22.12.2016.	Grigic				Zamjena za	
	D			K	Projekat 1.						Zamjenjiva	
	E			L	Projekat 2.						sa	
	F			M	Decirao						1:1	List br. 1
Form.	Jezik	Mesto dok.	Izdati odj.	Naziv			Pr.					
A1	HR		Materijal	Prirubnica $\phi 100/\phi 50 \times 8$			Materijal		X6CrNiTi18-10			

sl. 36. Nacrt za izradak br.2. - PRIRUBNICA





Sl. 37. Plan rezanja – izardak br.1. – REBRO



NACRT		MATERIJAL		PLAN REZANJA							
GRUPA	G-ADKAW	Dimenzije	6 x 480 x 580	Rezanja	4350	Duljina	10080	Viterna	2.3	Poljnoj	UK 2103
Plan rezanja	PLRPOZZ	Vrsta	Konfusa	Konfuzir	12000		4562	5.4		40	veličina
Naziv program	PLRPOZZ			Signific						0.3mm	7.4mm
Dis. file	PLRPOZZ.LOS	▲	XCRNTT1817	Gonak br.	1	2	3	4	5		
Programirao	Jotum	14.12.2016.	Šenka Ibra	Yach. mca							Suprta
											020808,120667,200A

Sl. 38. Plan rezanja – izradak br.2. - PRIRUBNICA

### 3.4. FOTO SNIMKA IZREZANIH POZICIJA:



sl.39. Izradak br. 1. – REBRO (ugljični čelik S235JRG2)



sl.40. Izradak br.2. – PRIRUBNICA (nehrđajući čelik X6CrNiTi18-10)

Nakon završetka procesa rezanja zadanih pozicija (izradak br.1 i izradak br.2) pristupamo postupcima kontrole kvalitete.

Kontrola se provodi vizualnim pregledom i pomoću različite opreme za precizno mjerenje.

### **3.5. SUSTAV ZA REZANJE PLAZMOM – na kojem je odrađen eksperimentalni dio rada**

Eksperimentalni dio ovoga rada izveden je na sustavu za rezanje plazmom koji se sastoji od:

1. **portalna rezalica Messer s CNC upravljanjem OMNICOM 50**
2. **izvor plazme HT 2000 tvrtke Hyperterm**
3. **stola za rezanje tvrtke Messer s odsisom**
4. **sistema filtera**

## **CNC REZALICA**



sl. 41. – CNC portalna rezalica – Messer Cortina

CNC rezalice spadaju u grupu strojeva za najzahtjevnija rezanja plazmom i plinom. Imaju CNC upravljanje a radna dužina stroja iznosi do 12000 mm.

Odlikuju se točnošću i preciznosti u radu, dugotrajne su i pouzdane, upotrebljavaju se za rezanje metala debljine od 1 mm do 130 mm. Cijena im je povoljna.

Rezalica je opremljena slijedećom opremom:

- duplim obostranim vodilicama kaljenim i brušeni 60+/-2HRC na čeličnim gredama
- sva kretanja stroja ostvaruju se pomoću kugličnog sustava vođenja
- stol za rezanje odvojen je od stroja
- aktivnim servo pogonima na oba kraja
- automatsko praćenje površine materijala
- upravljački program prilagođen je korisniku
- priprema i izrada u potpunosti integrirani u CAD-CAM-CNC sustavu
- posjeduje dodatne funkcije, označavanje, graviranje, bušenje.

#### **IZVOR PLAZME HT 2000 tvrtke Hyperterm**



sl. 42.- HT 2000 – Hyperterm



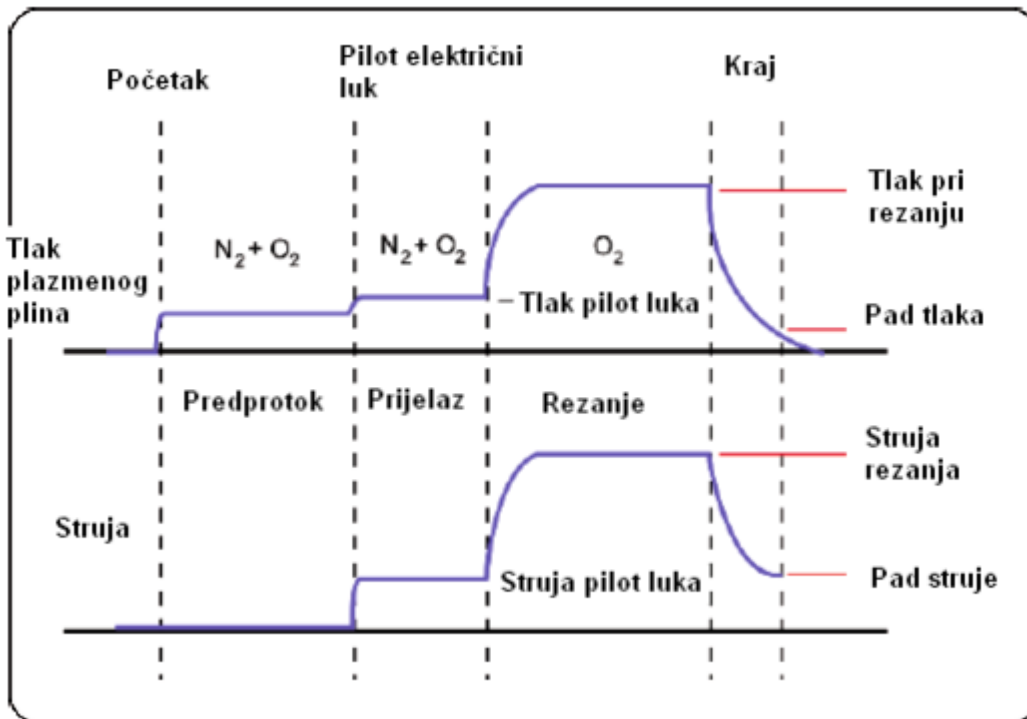
sl. 43 .- gorionik HT 2000

Izvor plazme za rezanje plazmom je najbitniji dio cijelog sustava, jer on određuje vrstu kako plazmenog tako i zaštitnog plina koji ćemo koristiti u procesu rezanja.

Novija generacija ovih izvora je opremljena mikroprocesorskim kontrolerom pomoću kojega se regulira povećanje struje i tlaka na početku odnosno njihovo smanjenje na kraju rezanja. Ovakvom regulacijom se produljuje vijek trajanja potrošnog materijala ( elektrode, sapnica).

Mikroprocesorski kontroler omogućava :

- da mješavina plinova (koja se koristi) počinje teći u trenutku paljenja električnog luka, čime se ubrzava paljenje luka i smanjuje trošenje elektrode
- kontrolu povećanja struje i intenzitet protoka plina, rezultat toga je produljenje vijeka trajanja elektrode
- kontrolu smanjenja struje i intenziteta protoka plina – a rezultat je skrućivanje oksida katode prije njihova uklanjanja s površine.



sl.44. Algoritam mikroprocesorskog kontrolera

Najmodernija tehnologija omogućava velike mogućnosti integriranja s modernim CNC sustavima.

**HT 2000** je konvencionalni plazma sistem za rezanje čelika, spada u sam vrh u svojoj klasi, ostvaruje velike brzine rezanja kao i zavidnu kvalitetu reza. Vijek trajanja potrošnog materijala je zadovoljavajući. Optimizacija parametara rezanja se automatski podešava i kontrolira. Iako kvalitetan relativno brzo je dobio zamjenu u vidu MAX PRO 200.

### 3.6. KARAKTERISTIKE PROGRAMA CADREZ

**CADREZ** je programski paket za izradu CNC programa za rezanje bilo da se radi o plinskom, plazma ili laserskom rezanju.

Omogućava automatsku izradu programa u CNC kodu, pomoću koje upravljačka jedinica na stroju za rezanje numerički vodi proces rezanja. Ovaj programski paket predviđen je za rad na IBM PC osobnom računalu ili odgovarajućem kompatibilnom,

pod operativnim sustavom Windows. CADREZ se redovito usuglašava sa novim verzijama tog operativnog sustava.

### **3.7. POSTUPAK IZRADE CNC PROGRAMA:**

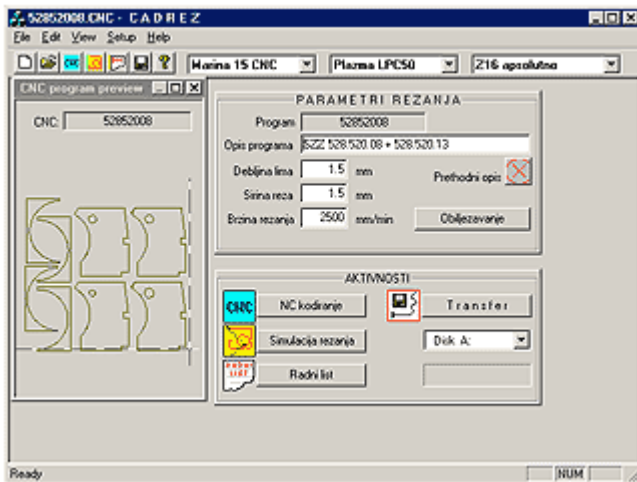
1. Predmet ili grupu predmeta koji želimo izrezati iz neke ploče potrebno je nacrtati pomoću grafičkog programa Auto CAD (napraviti nacrt).
2. U Auto CAD-u se nacrtaju likovi i potom se ručno slože u najpogodniji razmještaj.
3. Auto CAD sadrži menu pod nazivom CADREZ u kojem se nalaze prikladne naredbe za pripremu nacрта odnosno plana rezanja.
4. Pozivom programa CADREZ obavlja se pretvorba Auto CAD nacрта u CNC program za rezanje.  
Prije toga je samo potrebno odrediti tehnologiju rezanja (plinsko, plazma, laser) i debljinu materijala koji se reže.

Naredba „LIM“ – služi za crtanje konture lima

Naredba „VEZNI PUT“ – njome se određuje mjesto ulaska u svaki lik, smjer rezanja svakog lika pojedinačno i redosljed obilaska likova.

- nije potrebno naknadno dodavati posebne tehnološke oznake u nacrt, jer CADREZ sam iz različitosti upotrijebljenih „layera“ određuje mjesta paljenja (probijanja), rezanja i pozicioniranja te gašenja plamena.





sl. 45. Glavni menu CADREZ-a

- Brzine rezanja i širinu reza CADREZ će uzeti iz tabela (tabele se mogu prilagoditi našim uvjetima i iskustvenim podacima).
- CADREZ ignorira grafičke elemente Auto CAD-a koji nisu predviđeni za crtanje nacrt / plana rezanja.
- Sam obrađuje cijeli nacrt / plan rezanja i iz osnovnih parametara , ne iziskuje naknadnu intervenciju u tijeku procesa rezanja.
- Također nas sam upozorava ma postojanje greške kod crtanja nacrt.
- „Razmišlja“ na način stroja za rezanje pa je nemoguće da se potkrade nekakva pogreška u programu rezanja.
- Prepoznaje linije obilježavanja kao i tekstove.
- Automatski kreira „Plan rezanja“ koji možemo nadopuniti svim potrebnim komentarima ili porukama operateru i nakon toga ga tiskati na listu A4.
- Kreira tzv. završni izvještaj u kojem se navode podaci o ukupnoj duljini reza , o pozicioniranju, vremenu potrebnom za rezanje, probijanje i obilježavanje. Ti podaci se također mogu dalje koristiti kod planiranja proizvodnje.

Tabela rezanja

HARRIS-LINCOLN propan-butan

Debljina lima (mm)	Brzina rezanja (mm/min)	Sirina reza (mm)	Vrijeme grijanja (s)	Velicina saprice (oznaka)
1.0 - 4.0	710 ... 520	1.3	4	5/0 VVC
4.0 - 6.0	670 ... 490	1.5	8	4/0 VVC
6.0 - 9.0	620 ... 460	1.8	10	000 VVC
9.0 - 12.4	600 ... 430	1.8	13	00 VVC
12.5 - 20.0	570 ... 390	2.0	20	0 VVC
20 - 35	520 ... 340	2.0	28	0-1/2 VVC
35 - 60	380 ... 210	2.3	40	1 VVC
60 - 75	290 ... 190	2.8	50	1-1/2 VVC
75 - 100	260 ... 180	3.0	60	2 VVC
100 - 125	230 ... 170	3.0	0	2 VVC
125 - 150	190 ... 150	3.3	0	2-1/2 VVC

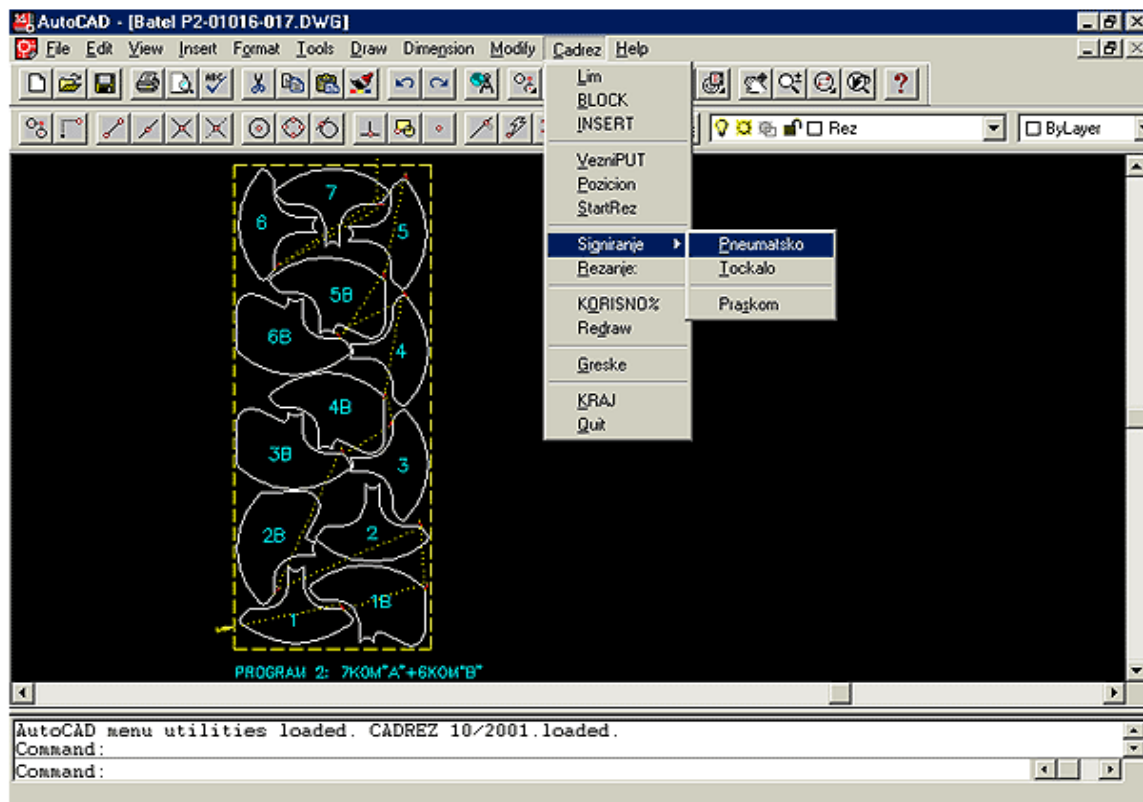
Izmjena

20 520 2 28 0-1/2 VVC

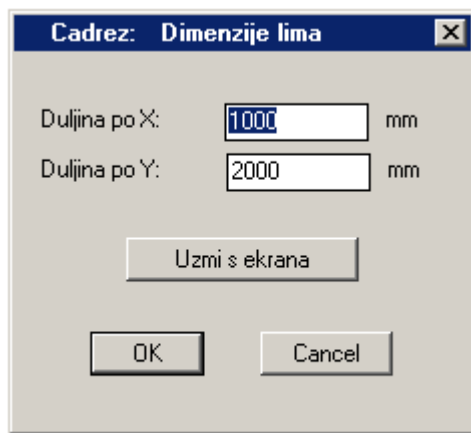
35 340

OK Cancel

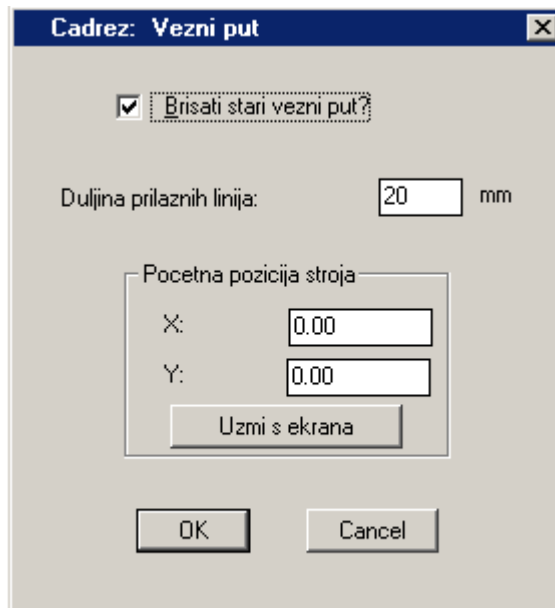
sl.46. Tabela rezanja



sl.47. Menu CADREZ u Auto CAD-u



Upis dimenzija lima



Parametri puta obilaska likova

sl. 48. Odabir dimenzija lima i određivanje veznog puta (karakterističan izgled ekrana u CADREZ-u-

Prije prijenosa CNC programa na stroj za rezanje isti se može testirati tako da koristimo grafičku simulaciju rezanja na ekranu svog računala.

Program se na stroj prenosi USB-om ili direktnom komunikacijskom linijom.

Ako programer ima iskustvo u korištenju Auto CAD-a ona će obuka za izradu CADREZ-a biti veoma jednostavna i brza.

Ovaj programski paket se stalno unapređuje i prilagođava novim verzijama operativnih sustava kao i izmjenama u Auto CAD-u.

### 3.8. OPREMA ZA PRECIZNO MJERENJE:

U opremu za precizna mjerenja spadaju: precizni šestari, pomična mjerila s displayem, mikrometri, univerzalna pomična mjerila, radionička mjerila sa i bez mikropodešivača, mjerila za unutarnje žljebove, visinomjeri, mikrometar, kontrolni listići, mjerne trake, dubinomjeri i .... sl. uređaji.



sl.49 . Metar za mjerenje



sl.50 . – Pomično mjerilo



sl. 51. Kutnik

### 3.9. ZAŠTITA NA RADU – TOPLINSKO REZANJE METALA

Sigurnost i zaštita djelatnika koji operativno provode proces rezanja bilo da je riječ o ručnom rezanju ili strojnom, ovisi prije svega o njihovoj obučenosti, vještini, znanju te fizičkoj i psihičkoj sposobnosti, kao i o nizu drugih faktora.

Kod obavljanja poslova kao što je toplinsko rezanje metala u našem slučaju „Plazma rezanje“ za koje znamo da se kao popratna pojava javlja buka, bljeskovi, dim, metalne pare i čestice metalne prašine, neophodno je zaštititi oči, uši, dišne putove, kožu.

Uz svjetlosnu i toplinsku emisiju luka pri rezanju kao i kod zavarivanja dolazi do izgaranja i isparavanja metala, uslijed čega dolazi do špricanja taline ( sitne kapljice) a sve je popraćeno konstantnom bukom (šumovi). Sve ove navedene popratne pojave u postupku rezanja direktno narušavaju zdravlje operatera i ostalog osoblja koje se nalazi u pogonu.



sl.52. Ručno rezanje plazmom



sl.53. Strojno rezanje plazmom

## ZAŠTITA OČIJU

Zaštiti očiju pridaje se najveća pažnja, one moraju biti u potpunosti zaštićene a da pritom operater jasno vidi kako teče proces rezanja i kakovi su rezultati (kako izgleda rez).

Najveću opasnost predstavlja :

- ultravioletno zračenje valne duljine 100 do 400 nm
- visoki intenzitet svjetlosti u vidnom području valne duljine 380 do 780 nm
- infracrveno zračenje valne duljine 770 do 10 000 nm
- vrlo opasne leteće čestice i kapljice rastaljenog metala, koje su izrazito opasne ne samo za oči već i za druge dijelove tijela.

Zaštita se provodi nošenjem adekvatnih zaštitnih maski, koje u potpunosti štite lice operatera.

## **ZAŠTITA KOŽE**

Najveću opasnost za kožu predstavlja ultravioletno i toplinsko zračenje.

Ultravioletno zračenje kod duže izloženosti uzrokuje trajne posljedice dok toplinsko bez obzira na vremensko trajanje izloženosti ima za posljedice opekline.

Nošenjem specijaliziranih zaštitnih odjela i rukavica, te postavljanjem zavarivačkih zavjesa i sl. pomagala također se može osigurati adekvatna razina zaštite operatera.

## **ZAŠTITA DIŠNOG SUSTAVA**

S obzirom da su operateri u procesu rezanja izloženi nastajanju otrovnih dimova i metalnih para kao i djelovanju letećih metalnih čestica ( kapljice taline), posljedice za dišni sustav mogu biti trajne i veoma teške.

Iz tog razloga razvijene su zaštitne maske koje kao dodatak na sebi imaju filter, te su one pogodne za nošenje ne samo kod rezanja i zavarivanja već i kod brušenja metala.

## **ZAŠTITA SLUHA**

Iako nastala buka kod rezanja plazmom nema tako veliki intenzitet ali je konstatna izaziva trajne posljedice tj. dolazi do oštećenja sluha.

Kao zaštitno sredstvo postoje tzv. čepići za uši kojima se smanjuje intenzitet buke ali se pritom jasno čuju zvukovi ( šumovi) nastali u procesu rezanja i zavarivanja a koji operateru služe za ocjenu toka samog procesa (ispravnosti).

## OSOBNNA ZAŠTITNA SREDSTVA

U osobna zaštitna sredstva spadaju:

- suvremena automatska zaštitna maska ( sli. xx ) koja u potpunosti štiti oči, lice, uši te omogućava kristalno čist pogled na mjesto rezanja odnosno zavarivanja.
- zaštitna odjela, rukavice, obuća,



sl. 54 . suvremena automatska zaštitna maska



sl. 55 . suvremena automatska zaštitna maska s filterom



## OSTALA ZAŠTITNA SREDTVA

Osim suvremenih osobnih zaštitnih sredstava danas se koriste i drugi načini zaštite na radnom mjestu kao što su:

- dobra ventilacija u radnim prostorima ( pogoni, radionice)
- postavljanje zavarivačkih zavjesa
- korištenje odsisnih stolova za rezanje i sl.

Odsisni sustavi u pogonima odnosno radionicama gdje se provodi toplinsko rezanje metala iznimno su važni, iz razloga jer odvede iz radnog prostora otrovne dimove , metalne pare, metalnu prašinu.

Kombinacijom svih raspoloživih mjera zaštite na radu, njihovim poštivanjem moguće je postići zadovoljavajuću razinu zaštite u postupcima rezanja i zavarivanja.



sl.56. - stol za rezanje s odsisom



sl. 57. – klasični stol bez odsisa

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezanje metala jedan je od temeljnih postupaka obrade metala o kojem ovisi daljnji razvoj proizvoda. Iz tog razloga ovaj postupak treba biti precizno i profesionalno odrađen.

Plazma postupkom rezanja reže se široka paleta metalnih materijala kao što su ugljični čelici, nehrđajući čelici, konstrukcijski čelici i aluminij i Al legure, bakar i bakrene legure. Debljine materijala koje se mogu rezati ovim postupkom ovise o jakosti izvora plazme a mogu iznositi do 130 mm, ako se radi o rezanju pod vodom do 50 mm.

Ovakav postupak rezanja koristi se kada se teži smanjenju troškova rezanja, povećanju kvalitete, preciznosti, ekonomičnosti i zbog toga je CNC plazma rezanje najbolji izbor ako to sve to želimo postići.

Postupci rezanja plazmom od svog postanka do danas neprestano podliježu različitim inovacijskim rješenjima, različitim prilagodbama naprednim tehnologijama, koje imaju za cilj povećanje brzine rezanja, kvalitete reza , sigurnosti u radu , ekonomičnosti.

Iz svega navedenog u ovom radu, možemo zaključiti da je postupak rezanja metala plazmom postupak sadašnjosti i budućnosti.

## 5. LITERATURA

1. Milan Živčić: Toplinsko rezanje metala, Univex d.o.o. Zagreb,1998.
2. Josip Mioč: Optimizacija parametara pri rezanju plazmom (Diplomski rad), FSB Zagreb, 2011.
3. Prof.dr. sc. Ivan Samardžić ,Rezanje plazmom – prezentacija, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu
4. Vjeran Panić, Plazma rezanje nehrđajućih čelika 1. i 2. dio, SERVUS d.o.o. Čakovec
5. Internet stranice vezane uz temu rezanja plazmom.

