

# Kontrola kvalitete u postupcima plazma rezanja

---

Križaj, Pavao

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:966460>

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

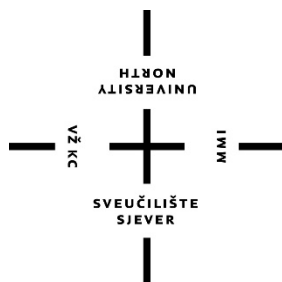
Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

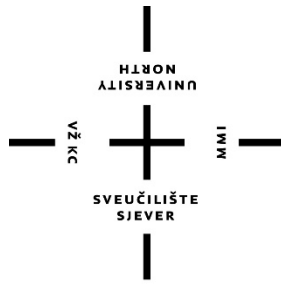
Završni rad br. 437/PS/2024

## Kontrola kvalitete u postupcima plazma rezanja

Pavao Križaj, 0069020569

Varaždin, rujan 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 437/PS/2024

## Kontrola kvalitete u postupcima plazma rezanja

### Student

Pavao Križaj, 0069020569

### Mentor

Doc. dr. sc. Amalija Horvatić Novak, mag. ing.

Varaždin, rujan 2024. godine



## **Predgovor**

*Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Amaliji Horvatić Novak, mag. ing. što mi je omogućila izradu završnog rada, te svim profesorima i asistentima Sveučilišta Sjever.*

*Također zahvaljujem svojoj obitelji na strpljenju i podršci koju mi je pružala tijekom studiranja.*

*Zahvaljujem se i EKO Međimurju d.d. na pomoći oko praktičnog dijela ovog završnog rada.*

## **Sažetak**

Kroz završni rad razrađena je kontrola kvalitete u postupku plazma rezanja.

U prvom dijelu rada obrađen je pojam kvalitete, definicija kvalitete te sustav upravljanja kvalitetom.

U drugom dijelu rada razrađen je pojam plazma rezanja, proces plazma rezanja, oprema za plazma rezanje, opisani su utjecajni parametri koji se javljaju kod procesa plazma rezanja te je razmatrana kvaliteta reza kao posljedice postupka plazma rezanja.

Praktični dio rada odrađen je u poduzeću Eko Međimurje d.d. U praktičnom dijelu rada proveden je postupak kontrole kvalitete rada stroja sukladno smjernicama proizvođača.

Ključne riječi: kvaliteta, kontrola kvalitete, plazma rezanje

## **Summary**

Through the final paper, quality control in the plasma cutting process was elaborated.

In the first part of the paper, the concept of quality, the definition of quality and the quality management system are discussed.

In the second part of the work, the concept of plasma cutting, the plasma cutting process, plasma cutting equipment is elaborated, the influential parameters that occur in the plasma cutting process are described, and the quality of the cut as a consequence of the plasma cutting process is considered.

The practical part of the work was done in the company Eko Međimurje d.d. In the practical part of the work, the quality control procedure of the machine was carried out in accordance with the manufacturer's guidelines.

Keywords: quality, quality control, plasma cutting

## **Popis korištenih kratica**

**CNC** – *Computer numerical control* – Računalno numeričko upravljanje

**CAD** – *Computer aided design* – Računalno potpomognuto projektiranje

**CAM** – *Computer aided manufacturing* – Računalno potpomognuta proizvodnja

**ZUT** – Zona utjecaja topline



# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Kvaliteta.....	2
2.1.	Pojam kvalitete.....	2
2.2.	Definicija kvalitete.....	2
2.3.	Sustav upravljanja kvalitetom.....	2
2.3.1.	Nadzor nad proizvodom i mjerenje proizvoda.....	4
2.4.	Pojam načela kvalitete.....	4
3.	Plazma rezanje.....	8
3.1.	Rezanje metala plazmom.....	8
3.2.	Proces plazma rezanja metala.....	8
3.3.	Oprema za strojno plazma rezanje.....	9
3.4.	Postupci i sustavi rezanja plazmom.....	9
3.4.1.	Sustav za plazma rezanje.....	10
3.4.1.1.	Izvor za plazma rezanje.....	11
3.4.1.2.	Sustav za vođenje.....	12
3.5.	Karakteristike plazma reza.....	13
3.6.	Kvaliteta plazma rezanja.....	15
3.6.1.	Izvor napajanja kao parametar koji utječe na kvalitetu reza.....	15
3.6.2.	Odabir kvalitetnih komponenti glave rezača.....	16
3.6.3.	Utjecaj CNC programiranja na kvalitetu rezanja metala plazmom.....	16
3.6.4.	Brzina i visina kao čimbenici kvalitete plazma rezanja.....	17
3.6.5.	Ostali čimbenici koji utječu na kvalitetu plazma rezanja.....	17
3.7.	Procjena kvalitete plazma rezanja.....	17
3.7.1.	Širina zareza kod rezanja plazmom.....	17
3.7.2.	Kosina kao važan čimbenik kvalitete rezanja.....	18
3.7.3.	Procjena kvalitete zaobljenja rubova.....	18
3.7.4.	Prskanje i troska kao važni čimbenici koji određuju kvalitetu rezanja.....	18
3.7.5.	Zaostale linije u rezu.....	19
3.8.	Prednosti i nedostaci rezanja plazmom.....	20
3.8.1.	Prednosti rezanja plazmom.....	20
3.8.2.	Nedostaci plazma rezanja.....	20
3.9.	Česte pogreške kod rezanja plazmom.....	21
3.10.	Zaštita na radu.....	22

3.11. Toplinsko rezanje – Kategorizacija toplinskih rezova – Geometrijska specifikacija proizvoda i dopuštena odstupanja kvalitete (HRN EN ISO 9013:2017).....	23
3.11.1. Područje primjene .....	23
3.11.2. Pojmovi i definicije objašnjeni slikama .....	23
3.11.3. Kvaliteta površine reza .....	25
4. Praktični rad .....	27
4.1. Uvod u praktični rad.....	27
4.2. Značajke korištenog stroja.....	27
4.3. Praktični rad – izvedba .....	31
5. Rezultat plazma rezanja .....	65
6. Zaključak.....	67
7. Literatura.....	68
8. Popis slika .....	69
9. Popis tablica .....	72
10. Prilozi.....	74
10.1. Izjava o autorstvu i suglasnost za javnu objavu .....	74
10.2. CD .....	75



# 1. Uvod

Osnova svake industrijske proizvodnje je proces proizvodnje koji podrazumijeva aktivnosti koje rezultiraju pretvaranjem ulaznih materijala (sirovina) u gotov proizvod. Proizvodni proces je proces rada kojim se djeluje na materijal ili obradak kako bi se povećala njegova vrijednost. Proces proizvodnje obuhvaća tehnološki proces, transportni proces, proces organizacije, tokovi informacija te predstavlja sintezu tehnike, tehnologije, organizacije i ekonomije.

Tehnološki proces predstavlja obradu sirovina u skladu s unaprijed definiranim tehničkim zahtjevima. Njime se određuje način i redoslijed izvođenja tehnoloških operacija kojima se iz polaznog materijala, pod određenim uvjetima, izrađuje dio, sklop ili proizvod s određenim alatima i napravama na određenim strojevima u određenom vremenu.

Postupak rezanja u metalnoj industriji osnovni je proces u tehnološkom nizu operacija izrade nekog proizvoda koji zahtijeva određenu tehnologiju rada i proizvodnju koja se obavlja bez prekida i u predviđenom vremenskom periodu. Kako bi se izbjegle dodatne tehnološke operacije, koje predstavljaju dodatan trošak, važno je voditi računa o kvaliteti reza. Samo pravilna upotreba određene tehnologije rezanja omogućava konkurentnost poduzeća na tržištu. Cijenu izabranog postupka rezanja određuju svi čimbenici koji utječu na troškove rezanja jer samo tako se može dobiti stvarna cijena postupka rezanja iskazana u vidu rezanja po satu ili po metru reza.

Velika konkurencija na tržištu iziskuje veću ekonomičnost proizvodnje ali i zadovoljavanje tražene kvalitete proizvoda.

Analizom rezultata procesa proizvodnje ponekad se dolazi do zaključka da dodatne operacije toliko poskupljuju postupak, da jeftiniji postupak rezanja po metru reza može na kraju cijelog procesa izrade proizvoda biti skuplji.

## **2. Kvaliteta**

### **2.1. Pojam kvalitete**

Pojam kvaliteta je kroz povijest poprimao različita značenja. Riječ kvaliteta potječe od latinske riječi „qualitas“, što u prijevodu znaci kakvoća, svojstvo, vrsnoća neke stvari, vrednota, odlika, značajka, sposobnost. Značenje pojma kvalitete uključuje proizvodnju bez pogrešaka, kontinuirano poboljšavanje i usmjerenost prema kupcima.

Kvalitetom se uglavnom označava veličina nekog svojstva što ga posjeduje neki proizvod ili usluga. Ovisno o veličini promatranog svojstva sadržanog u tom proizvodu ili usluzi, kvaliteta određenog svojstva može se i stupnjevati. U tom kontekstu proizvođači na kvalitetu gledaju kao na odnos veličine svojstva sadržanog u proizvodu prema veličini svojstva koji je zadan propisima o kvaliteti, odnosno tehničkim specifikacijama ili konkretnim zahtjevima kupca.

S druge strane, korisnici i kupci na kvalitetu gledaju kao na pokazatelj koji govori u kojoj je mjeri proizvod ispunio njihove zahtjeve, potrebe i očekivanja.

### **2.2. Definicija kvalitete**

Postoji više načina definiranja kvalitete.

Definicija kvalitete prema normi HRN EN ISO 9000:2015 glasi: „Kvaliteta je stupanj do kojeg skup svojstvenih karakteristika ispunjava zahtjeve“ [1]. S gledišta potrošača povezuje se s korisnošću ili cijenom, s gledišta proizvođača povezuje se s oblikovanjem i izradom proizvoda. Kvalitetu nekog proizvoda ili usluge određuje odnos želja i potreba korisnika i njihove realizacije od proizvođača. Kontrola kvalitete je dio sustava upravljanja kvalitetom fokusiran na ispunjavanje osnovnih zahtjeva vezanih za kvalitetu.

U današnje vrijeme „kupci očekuju proizvode visoke kvalitete i da proizvođači osiguraju stalno visoku razinu kvalitete putem unaprijedenog sustava kvalitete“. [2]

### **2.3. Sustav upravljanja kvalitetom**

Sustav upravljanja kvalitetom je sustav usmjeren prema kupcu koji uključuje sve aktivnosti planiranja kvalitete, izrade proizvoda, kontrole kvalitete i provedbe mjera poboljšanja.

Uvjeti za efikasan sustav upravljanja kvalitetom su:

- postojanje sustava
- operativnost sustava (održavanje) i

- efikasnost sustava (poduzimanje mjera za poboljšanje).

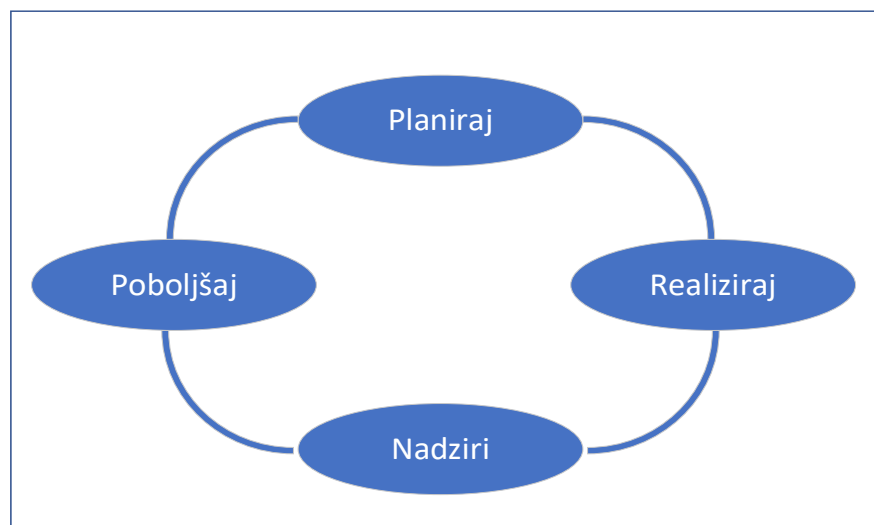
Sustav upravljanja kvalitetom nije dovoljno samo implementirati, već je potrebno provoditi postupke njegovog održavanja putem provođenja mjera kontrole, nadzora i analiza, kako bi se održala efikasnost dobro ustrojenog sustava.

Uspješnost sustava upravljanja kvalitetom ovisi o sustavnim, formalnim, stalnim i dokumentiranim nadzorima koji se poduzimaju s ciljem uočavanja potrebe za poduzimanjem preventivnih ili korektivnih mjera te ocjenom njihove učinkovitosti kako bi bili uspješni. Na taj način se uočene nepravilnosti neće ponavljati te će se spriječiti pojava novih mogućih nesukladnosti. Osim preventivnih i korektivnih mjera, za osiguravanje sustava upravljanja kvalitetom, prema zadnjoj reviziji norme HRN EN ISO 9001:2015, organizacije bi trebale implementirati procesni pristup upravljanja temeljen na procjeni rizika i prilika u organizaciji.

Nadzorom se prikupljaju informacije i podatci koji se temelje na stvarnim i nepristranim činjenicama u svrhu postizanja sljedećeg:

- osiguranja konkretnih i objektivnih informacija o proizvodima, procesima i djelovanju sustava
- poboljšanja komunikacije te organizacije rada
- poboljšanja postupaka pokretanja preventivnih i korektivnih mjera kako bi se spriječila pojava nepravilnosti na proizvodima ili procesima
- djelovanja na problematična mjesta u sustavu
- stvaranja percepcije o unapređenju kvalitete kod svih radnika i dr.

Slika 2.3. prikazuje krug kvalitete. Njegova vrlo važna funkcija je nadziranje sustava kvalitete i ukazivanje na njegove manjkavosti radi poduzimanja mjera poboljšanja.



Slika 2.3. Krug kvalitete [3]

### 2.3.1. Nadzor nad proizvodom i mjerenje proizvoda

Nadzor nad proizvodima predstavlja sve radnje mjerenja, ispitivanja i kontrole. Pri razmatranju pojma nadzora nad proizvodima važno je percipirati da je pojam kvalitete proizvoda usko povezan s postupcima nadzora. Nadzor je važan u kontroli kvalitete. Nadzorom proizvoda se postiže tražena kvaliteta proizvoda, a za to nam je potrebna provedba mjerenja.

Nadzoru se podvrgavaju:

- materijali
- pozicije
- podsklopovi
- sklopovi
- niže ili više modularne cjeline i
- gotov proizvod.

U ovom završnom radu, u praktičnom dijelu, prikazan je nadzor nad kvalitetom reza dobivenog postupkom plazma rezanja.

## 2.4. Pojam načela kvalitete

Suvremeni pristup kvaliteti proizvoda i usluga te sustavima upravljanja kvalitetom podrazumijeva njegovu gradnju na temeljima modernih načela menadžmenta (principi ili načela kvalitete), statistici, mjeriteljstvu i međunarodnim normama.

Opće prihvaćena pravila za upravljanje kvalitetom proizvoda dugotrajno usmjerena na poboljšanje njegovih značajki vodeći računa o zadovoljenju potreba kupca i smanjenju troškova nazivaju se principi ili načela kvalitete.

Statistika je grana znanosti koja proučava načine sakupljanja, sažimanja i prikazivanja zaključaka iz različitih podataka. Statistički podaci u slučaju upravljanja kvalitetom predstavljaju izmjerena, opažena svojstva proizvoda, serija, odnosno skupova proizvoda nad kojima se promatraju odabrane karakteristike. [4]

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju. Obuhvaća teoriju i praksu mjerenja, odnosno:

- mjerne jedinice
- mjernu opremu
- mjerne metode
- umjeravanje

- načine iskazivanja mjernog rezultata
- procjenu mjerne nesigurnosti i
- cjelovito iskazivanje mjernog rezultata.

Normom se definiraju dimenzije proizvoda, karakteristike materijala i kvaliteta raznih proizvoda ili postupci ispitivanja kvalitete, odnosno svojstava proizvoda. Propisane su nacionalnim, regionalnim i međunarodnim standardima.

U nastavku su pobrojana i opisana načela upravljanja kvalitetom definirana normom za sustave upravljanja kvalitetom, HRN EN ISO 9000:2015 [1].

Načela kvalitete:

### 1. Načelo – Usmjerenost na kupce

Organizacije ovise o svojim kupcima i moraju razumjeti njihove potrebe, trenutne i buduće, jer o tome ovisi uspješnost organizacije. Organizacija prikuplja informacije o zadovoljstvu kupaca kako bi postigla zadovoljenje njegovih potreba čak ih pokušava i nadmašiti. Usmjerenost na kupca organizaciji donosi veće zadovoljstvo kupca, vjernost kupca, povećanje broja kupaca, bolji ugled organizacije i njezin financijski rast.

### 2. Načelo – Vodstvo

Rukovoditelji definiraju jedinstvenu svrhu, usmjeravaju organizaciju te stvaraju uvjete u kojima se radnici uključuju u ostvarivanje ciljeva kvalitete u organizaciji. Dobro vodstvo dovodi do veće učinkovitosti u realizaciji ciljeva, bolje komunikacije među svim razinama u organizaciji te u konačnici do razvoja i rasta organizacije u svim segmentima.

### 3. Načelo – Uključenost ljudi

Ljudi na svim razinama su bit organizacije, a njihovo potpuno uključivanje omogućuje da se njihove sposobnosti iskoriste u korist organizacije. Ljude treba uključiti u rješavanje problema, donošenje odluka, predlaganje poboljšanja, definiranje planova, te ostale aktivnosti organizacije koje odgovaraju njihovim mogućnostima. Uključenost ljudi dovodi do boljeg razumijevanja ciljeva organizacije, veću motivaciju radnika, poticanje osobnog razvoja radnika, većeg zadovoljstva radnika te bolje suradnje i povjerenja ljudi unutar organizacije.



#### 4. Načelo – Procesni pristup

Sustav upravljanja kvalitetom predstavlja niz međusobno povezanih procesa. Sustav i njegova učinkovitost se mogu poboljšati razumijevanjem načina na koji on postiže rezultate. Potrebno je odrediti ciljeve i procese sustava, odrediti odgovornosti za upravljanje procesima, definirati ograničenja resursa, odrediti međusobnu ovisnost pojedinih procesa i istražiti učinak promjena u pojedinim procesima na sustav kao cjelinu. Također je potrebno upravljati i koordinirati procesima, osigurati raspoloživost informacija i kontrolirati rizike koji mogu utjecati na kvalitetu.

#### 5. Načelo – Poboljšavanje

Zbog velike konkurencije i sve većih zahtjeva kupaca svaka organizacija mora biti trajno usmjerena na poboljšanje sustava da bi bila učinkovita i profitabilna. Rad na unapređenju učinkovitosti sustava upravljanja kvalitetom dovodi do poboljšanja aktivnosti, procesa a samim time i poboljšanja proizvoda. Poboljšanjem se postiže veća sposobnost organizacije, poticanje inovacija, istraživanje glavnih uzroka problema i pronalaženje rješenja za njih, te viša razina zadovoljstva kupca.

#### 6. Načelo – Donošenje odluka na temelju činjenica

Donošenje odluka je složen proces. Racionalno donošenje odluka temelji se na činjeničnom pristupu te analizi i vrednovanju točnih i pouzdanih podataka i informacija kako bismo došli do željenih rezultata. Proces donošenja odluka zahtijeva oprezno pristupanje, razmatranje činjenica i analizu ulaznih informacija pomoću prikladnih metoda uz razumijevanje uzročno posljedičnih veza. Važno je uzeti u obzir i mogućnost nastupanja nepredviđenih posljedica donesenih odluka. Najlakši način prikupljanja podataka i činjenica temeljem kojih se donose kvalitetne odluke je primjena statističkih metoda jer se takvim pristupom postiže objektivnost i pouzdanost pri donošenju odluka.

## 7. Načelo – Upravljanje odnosima

Partnerski odnos između proizvođača i dobavljača važan je za ostvarivanje cilja dugoročnog uspjeha. Obje zainteresirane strane moraju razumjeti ciljeve i vrijednosti koji se žele postići. Potrebno je pribavljati i razmjenjivati informacije, znanje i resurse s zainteresiranim stranama, te uspostaviti strategije za poticanje razvoja i poboljšanja suradnje.

Za kvalitetan proces proizvodnje proizvođač mora osigurati kvalitetu ulaznog materijala, a odabir kvalitetnih dobavljača osigurava kvalitetan partnerski odnos.

### **3. Plazma rezanje**

Plazma rezanje je vrsta toplinskog rezanja. Rezanje plazmom je tehnološki proces koji, zbog svojih mogućnosti, primjenu nalazi u rezanju čelika i ostalih metala.

#### **3.1. Rezanje metala plazmom**

Pedesetih godina prošlog stoljeća razvija se plazma rezanje kao rješenje problema koji su se javljali prilikom rezanja kisikom. Rezanje kisikom, uvelike utječe na svojstva rezanog materijala, međutim kvaliteta rezanja kisikom nije davala zadovoljavajuće rezultate.

Plazma rezanje omogućilo je rezanje metala poput aluminijskog i nehrđajućeg čelika uz zadovoljavajuću kvalitetu reza. Dodatno, plazma rezanje omogućuje rezanje metala velikih poprečnih presjeka te zbog navedenog, plazma rezanje, ima čestu primjenu u industriji.

Plazma je četvrto agregatno stanje. To je plin koji je električki provodljiv, disociran i visoko ioniziran. Broj pozitivnih i negativnih naboja je jednak pa je plazma kao cjelina električki neutralna.

Plazma se dobiva zagrijavanjem plina koji se provodi kroz jako električno polje tokom čega dolazi do ionizacije plina i pretvaranja u plazmu koja ima temperaturu oko 22000 °C.

#### **3.2. Proces plazma rezanja metala**

Plazma rezanje je postupak rezanja metodom taljenja metala. Materijal koji se reže zahtijeva električnu provodljivost, što nije slučaj kod drugih toplinskih tehnika rezanja, poput laserskog rezanja. Uspostavljanjem električnog luka stvara se plazma, prilikom čega se oslobađa visoka temperatura koja tali metal.

Većina plazma rezača danas su računalno upravljani, što ima mnogobrojne prednosti. U procesu plazma rezanja, vrlo važnu ulogu ima plin. Različite vrste plinova za rezanje različito utječu na kvalitetu reza. Pojedini plinovi znatno utječu na cijenu rezanja plazmom.



*Slika 3.2. CNC plazma rezanje [5]*

### **3.3. Oprema za strojno plazma rezanje**

Oprema koja se koristi za plazma rezanje ima komponente koje se ovisno o svrsi mogu kategorizirati na sljedeći način [5]:

- Izvor energije: vanjska jedinica koja daje izvor električne energije, a koristi se za generiranje plazme. Izvor električne energije napona u rasponu od 240 V do 400 V.
- Plazma rezač: sastoji se od elektroda, mlaznica, plazma pištolja i ostalih dijelova važnih za rad plazma rezača. Poželjno je odabrati optimalnu mlaznicu, odnosno elektrodu jer se upotrebom krive smanjuje vijek trajanja plazma rezača, a time i kvaliteta reza.
- Plinovi: za stvaranje plazme koriste se razni plinovi, a kvaliteta plazma rezanja ovisi o plinu koji se izabere.
- Radni stol: metalna ploča koja se reže stavlja se na radni stol, a dimenzije radnog stola variraju ovisno o vrsti plazma rezača.
- Sustav ventilacije: rješava problem isparavanja koje se javlja u procesu rezanja.

### **3.4. Postupci i sustavi rezanja plazmom**

U današnjoj metalnoj industriji prioriteti koji su postavljeni tijekom razvoja plazma rezanja nisu se previše promijenili. Unaprjeđenja se svode na bolju kvalitetu reza, veću brzinu rezanja, duži vijek trajanja potrošnih dijelova i slično. Tijekom početnih petnaestak godina razvitka plazma rezanja uvedena su poboljšanja i veliki broj inovacija, kao što su povećanje stabilnosti i gustoće

električnog luka, poboljšanje sustava hlađenja, unapređenje raznih plazma mješavina, te mogućnost primjene rezanja za različite materijale.

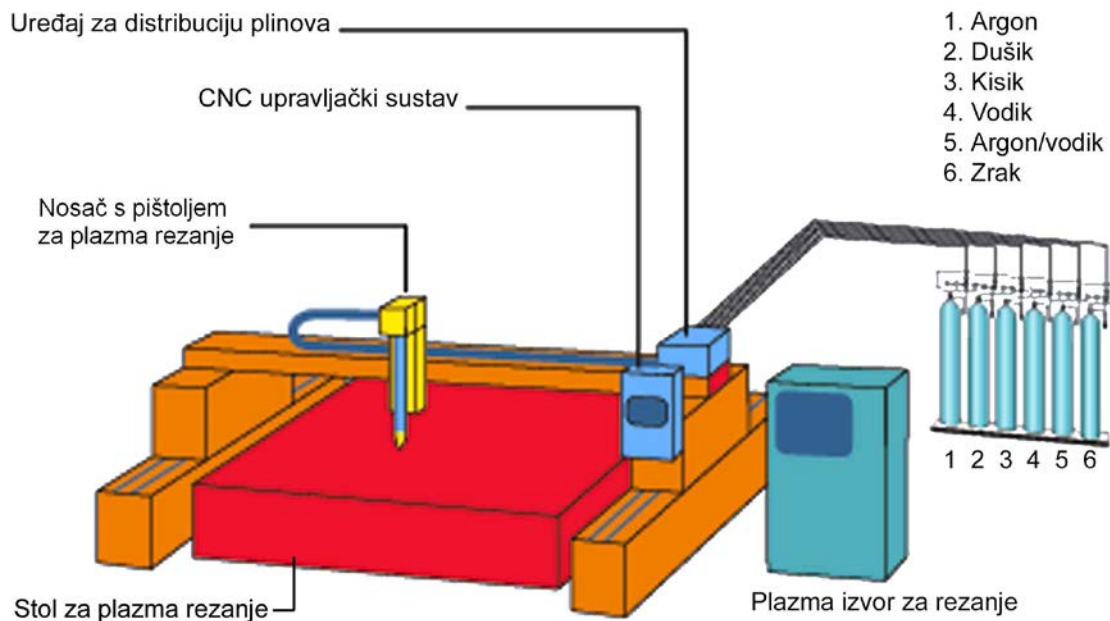
Kasnije je došlo do razvoja visoko preciznih jedinica za plazma rezanje, te razvoja rezanja ugljičnog i niskolegiranog čelika. Plazma rezanje je danas sve više automatizirano. Značajnu promjenu u proizvodnji donijela je pojava i korištenje CNC sustava upravljanja, što je uzrokovalo znatno smanjenje prisustva čovjeka u procesu rezanja. Ujedno se povećala automatizacija proizvodnje, poboljšana je kvaliteta reza te je značajno smanjen broj pogrešaka. CNC sustavi omogućuju postizanje većih brzina rezanja i bolju kvalitetu rezanja.

Dovođenjem energije izvana postiže se potrebna energija za plazma rezanje kojom se stvara plazma potrebna za taljenje radnog komada. U procesu plazma rezanja nastala talina izbacuje se mlazom plinova koji se koriste za stvaranje plazme.

Stvaranjem električnog luka i tlačenjem određenog plina dobiva se plazmeni mlaz. Električni luk se uspostavlja između volframove elektrode spojene na negativan pol izvora struje i radnog komada (preneseni luk) ili sapnice pištolja uređaja (nepreneseni luk). Nepreneseni luk je pogodan za rezanje predmeta koji nisu električki vodljivi (npr. polimera) te za paljenje električnog luka (pilot luk). Za sve druge materijale primjenjuje se preneseni luk kod kojeg se ostvaruje puno veći unos toplinske energije u radni komad koji je u ovom slučaju dio strujnog kruga [2].

#### **3.4.1. Sustav za plazma rezanje**

Postizanje što niže cijene rezanja u sa što manjim utroškom vremena, a sa što višom kvalitetom rezanja cilj je sustava za plazma rezanje. Kod uspostave ili nadogradnje učinkovitosti sustava za rezanje, moguća je pojava nekoliko problema: kvaliteta reza, brzina rezanja i troškovi rezanja. Pri korištenju sustava za plazma rezanje važno je dobro razumijevanje njegovih funkcija. Proizvod visoke kvalitete sa što manjim troškovima rezanja može se postići optimizacijom svojstava svakog elementa sustava za rezanje. Slika 3.4.1. prikazuje sustav strojnog rezanja plazmom.



Slika 3.4.1. Sustav strojnog rezanja plazmom [2]

#### 3.4.1.1. Izvor za plazma rezanje

Jedan od najbitnijih dijelova strojnog plazma sustava je izvor. Odabir izvora za plazma rezanje diktira tip zaštitnog plina koji će se koristiti pri plazma rezanju. Pri proizvodnji nekog proizvoda presudna je kvaliteta reza radnog komada pa je potrebno utvrditi koji plinovi se koriste s određenim izvorom električne energije za plazma rezanje. Izmjena jakosti struje ili protoka plina tijekom procesa rezanja može negativno utjecati na dugotrajnost sustava te na kvalitetu samog rezanja. Plazma izvori sa mikroprocesorskim kontrolerima koji mogu podešavati struju i tlak plina tijekom procesa rezanja, značajno doprinose produženju vijeka trajanja potrošnih dijelova, kao i poboljšanju ukupne efikasnosti i kvaliteta rezanja. Što su komponente sustava koje se troše dulje neoštećene to se dobiva kvalitetniji rez u duljem vremenu tijekom trajanja procesa.

Mikroprocesorski kontroler nudi sljedeće mogućnosti [2]:

- precizno upravljanje mješavinom ( $O_2 + N_2$ ) plinova pri paljenju električnog luka čini proces paljenja bržim i stabilnijim, smanjujući naprezanje elektrode, čime se produžuje njen vijek trajanja i smanjuje potreba za čestom zamjenom
- kontrola povećanja električne struje rezanja i jačine protoka plina putem mikroprocesorskog kontrolera ima ključnu ulogu u smanjenju toplinskog opterećenja katode što doprinosi produženju vijeka trajanja katode

- kontrolu smanjenja električne struje rezanja i jakost protoka plina na kraju procesa plazma rezanja što olakšava skrućivanje oksida katode prije njihovog „uklanjanja“ s površine katode.

#### 3.4.1.2. Sustav za vođenje

Ovaj sustav ima također značajni utjecaj na kvalitetu reza. Za postizanje visoke kvalitete reza upotrebljava se računalno upravljanje. Sustav za vođenje iziskuje pogone koji mogu u što kraćem vremenu ostvariti traženu brzinu rezanja.

Od posebne važnosti je egzaktno upravljanje ovim stadijima rezanja:

- početak i kraj rezanja, osobito kod unutarnjih kontura
- pri prelasku preko reza
- kretanje po kutovima.

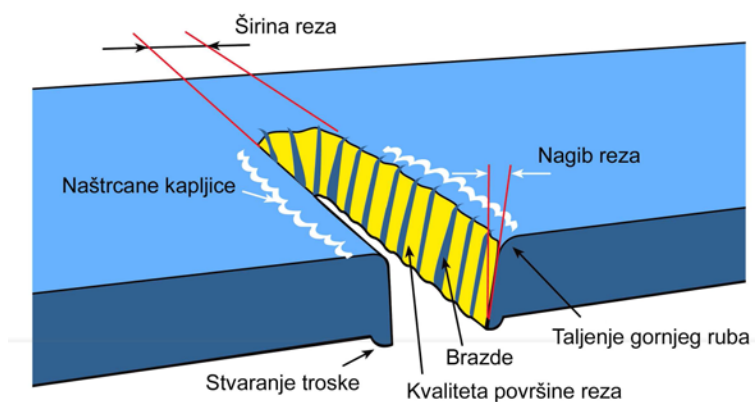
Sustav za vođenje i plazma uređaj izmjenjuju informacije preko sučelja. U kompletno automatiziranom pogonu treba napraviti datoteku s podacima za automatsko određivanje tehnoloških parametara koji se temelje na vrsti i debljini materijala. U memoriji računala već se nude programi često upotrebljivanih oblika predmeta koji se planiraju izrezati. Najprije je potrebno odabrati geometrijski oblik predmeta, a zatim unijeti brzinu rezanja, dimenzije predmeta, lokaciju započinjanja reza te želi li se izrezati provrt ili vanjska kontura. Kada se reže više jednakih komada, potrebno je optimalno iskoristiti površinu ploče. Uvjeti rezanja mogu se i automatski podesiti. Određivanje kompenzacije širine reza potrebna je radi dobivanja točnih dimenzija uzorka. Ovisno o debljini lima bitna je kompenzacija rezanja u kutovima i radijusima kako ne bi došlo do pada kvalitete rezanja na tim mjestima uslijed propaljivanja. Geometrijski oblici složenih kontura programiraju se suvremenim programskim paketima za CAD/CAM pripremu programa koji se koriste u toplinskom rezanju. Tako programirane konture mogu se pohranjivati na računalu, odnosno učitati se u upravljačku jedinicu stroja.

Na sustav vođenja i upravljanja imaju utjecaj sljedeći čimbenici: brzina kretanja pištolja (precizno upravljanje ubrzanjem i usporenjem pomaže u održavanju kvalitete reza), oscilacije pištolja tijekom rezanja (stabilizacija pištolja i korištenje sustava za smanjenje vibracija mogu poboljšati točnost), visina između pištolja i radnog komada (automatski sustavi za regulaciju visine mogu pomoći u održavanju optimalne udaljenosti), programiranje procesa rezanja (pažljivo

programiranje početka i kraja rezanja može smanjiti probleme s stabilnošću plazmenog luka), stanje površine radnog komada i potencijalna kolizija rezne glave i radnog komada (oštećenja ili neravnine na površini radnog komada mogu uzrokovati nepredviđene kolizije pištolja, što može rezultirati oštećenjem opreme i smanjenjem kvalitete reza).

### 3.5. Karakteristike plazma reza

Neophodno je poznavati utjecaj pojedinih parametra na kvalitetu rezanja, jer loša kvaliteta reza traži naknadnu obradu i dodatno povisuje troškove proizvodnje. Slika 3.5. a) predočava izgled plazma reza sa svim parametrima koji djeluju na kvalitetu reza.



Slika 3.5. a) Izgled plazma reza sa svim parametrima [2]

Širina reza predstavlja količinu metala koja se uklanja tijekom plazma rezanja i ključno je svojstvo koje utječe na kvalitetu i preciznost rezanja. Ako se koristi sapnica većeg promjera, širina reza će biti proporcionalno veća, što može biti korisno za brže rezanje debljih materijala, ali može rezultirati većim otpadom. Manje sapnice omogućuju užu rez, što je korisno za precizniju primjenu i smanjenje materijalnog otpada. Čimbenici o kojima ovisi širina reza, a uzimajući u obzir i veličinu sapnice su jakost struje rezanja, visina sapnice i brzina kojom se reže.

Dodatna važna karakteristika kvalitete reza je kut reza. Kut reza jednak je nuli, ako je površina reza od gornje do donje površine radnog komada točno pod pravim kutem. Kod manje visine sapnice od površine radnog komada javlja se manji kut reza. Također, kut reza može se smanjiti i ukoliko je brzina rezanja manja.

O izboru postupka plazma rezanja i zaštitnog plina, te debljini materijala, ovisi zakrivljenost gornjeg ruba reza. Plazmeni mlaz ima najvišu temperaturu na izlazu iz sapnice, što može uzrokovati toplinsko širenje materijala i, kao rezultat, zakrivljenost ruba. Ova zakrivljenost može



biti izraženija kod debljih materijala. Zakrivljenost se može svesti na najmanju moguću mjeru korištenjem zaštitne atmosfere (plin ili voda).

Srh najčešće nastaje na dnu reza te ovisi o brzini rezanja, struji rezanja i vrsti i debljini materijala. Nastajanje srha mogu uzrokovati prevelika, ali i premala brzina rezanja. Nastajanje srha stvara dodatne troškove uklanjanja. Namještanjem optimalnih parametara rezanja srh se može svesti na minimum. Posljedica male brzine rezanja, istrošenosti sapnice ili prevelikog razmaka sapnice od radnog komada je nakupljanje male količine srha (naštrcane kapljice) uz sam vrh reza.

Područje oko površine reza koje je uslijed procesa rezanja došlo pod utjecaj topline naziva se zona utjecaja topline (ZUT) pri plazma rezanju. Širina zone utjecaja topline pri plazma rezanju je relativno mala, prvenstveno zbog brzine procesa i uskog fokusa plazmenog mlaza. Kod plazma rezanja pod vodom smanjuje se zona utjecaja topline.

Na kvalitetu plazma reza kod primjene plazma postupka utječu sljedeći parametri:

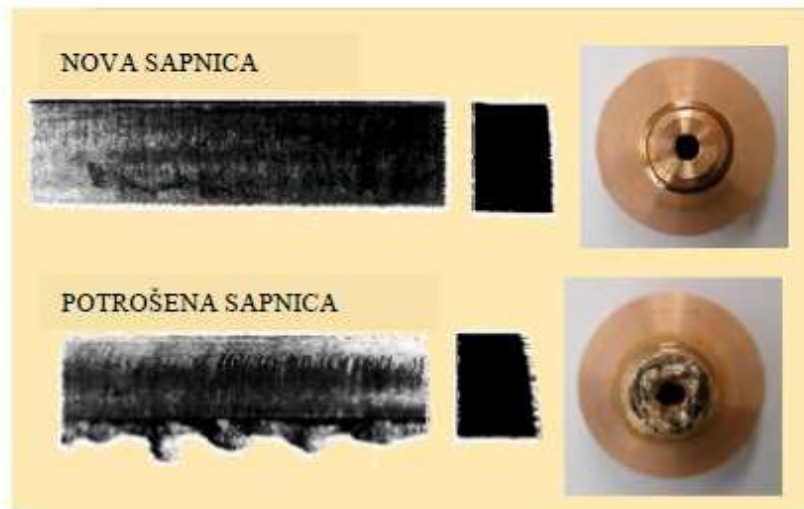
- jakost struje, oznaka  $I$ , mjerna jedinica A
- brzina rezanja, oznaka  $v$ , mjerna jedinica mm/min
- tlak plina, oznaka  $p$ , mjerna jedinica Pa

Veličina sapnice određena je s obzirom na jakost struje i materijalom koji se reže. Korištenjem najveće sapnice te najveće struje koju sustav vođenja sapnice dozvoljava povećava se brzina i produktivnost rezanja. Rezanje manjim brzinama, manjom jakosti struje i sa manjom sapnicom daje ravniji (s malim nagibom) i kvalitetniji rez. Ako pak je prevelika jakost struje, odnosno izlazna snaga, posljedica je jači plazma luk i grublja površina reza.

Loša kvaliteta reza pojavljuje se kad je brzina rezanja premala ili prevelika. Ako je brzina rezanja prevelika, plazma luk zaostaje i oscilira, što uzrokuje stepeničaste brazde (velike hrapavosti površine), veći nagib reza i stvaranje srha na donjoj strani. Takav srh je teško ukloniti i zahtijeva dodatno brušenje. S druge strane, premala brzina rezanja uzrokuje širenje reza i skupljanje rastaljenog materijala na dnu, stvarajući srh koji je lakši za ukloniti. Optimalna brzina je ključna za postizanje ravnog reza bez srha, a najbolji način za procjenu brzine je promatranje plazma luka, koji bi trebao biti vertikalalan u odnosu na materijal. Kapacitet proizvodnje ovisi o brzini rezanja i obično se izražava u metrima reza po satu.

Najveći utjecaj na toleranciju nagiba, okomitost plazma reza te nastajanje srha na rubu reza imaju istrošene sapnice. Slika 3.5. b) prikazuje kakav učinak ima istrošenost sapnice na površinu koja se reže te na pojavu srha. Na drugom su mjestu istrošene katode. Razmatranjem interakcija

između parametara možemo zaključiti utjecaj jakosti struje i brzine rezanja na okomitost reza te njegovu širinu.



Slika 3.5. b) Učinak istrošenosti sapnice na površinu koja se reže te na pojavu srha [2]

### 3.6. Kvaliteta plazma rezanja

Kvaliteta plazma reza postiže se dobrom podešavanjem parametara plazma rezanja (podešavanje brzine rezanja i jakosti struje, dobro programiranje i računalno numeričko upravljanje strojem, itd.) ali i redovnim servisiranjem i zamjenom potrošnih dijelova plazma rezača (izvora električne energije, sapnice, kontrolom plinova, itd.). Na kvalitetu plazma rezanja utječe i debljina materijala koji se reže.

#### 3.6.1. Izvor napajanja kao parametar koji utječe na kvalitetu reza

Osnovni dio plazma rezača je izvor električne energije. U ovisnosti o izvoru napajanja odabiru se inertni plinovi, točnije plinovi koji se koriste za stvaranje plazme.

Kod plazma rezanja metala moraju se definirati plinovi koji se mogu koristiti, jer su ti plinovi u direktnoj vezi sa snagom izvora napajanja.

Kvalitetan i stabilan izvor napajanja omogućuje dosljednu i pravilnu isporuku struje, što osigurava stabilan plazma luk. Stabilnost plazma luka je neophodna za postizanje preciznog i ravnog reza bez nepravilnosti i smanjenje stvaranja srha.

Nekvalitetan ili nestabilan izvor električne energije može uzrokovati varijacije u intenzitetu struje, što rezultira oscilacijama plazma luka, nejednakom rezanom površinom i povećanim

trošenjem sapnice. Stoga je odabir izvora električne energije s pouzdanim regulatorom struje i napona ključan za postizanje visokokvalitetnog reza te dugotrajnost opreme za plazma rezanje.

Redovitim održavanjem izvora napajanja osigurava se pravilan način rada plazma rezača.

### **3.6.2. Odabir kvalitetnih komponenti glave rezača**

Odabir kvalitetnih komponenti glave rezača ključan je za postizanje preciznog i kvalitetnog plazma reza. Komponente poput sapnice, elektrode, difuzora plina i zaštitne kapice moraju biti izrađene od visokokvalitetnih materijala kako bi izdržale rad pri visokim temperaturama i dugotrajnu upotrebu.

Kvalitetne sapnice osiguravaju stabilan i koncentriran plazma luk, dok dobre elektrode omogućuju dosljedan prijenos struje. Difuzor plina mora ravnomjerno raspodijeliti plin kako bi se osigurala pravilna zaštita reza, a zaštitna kapica štiti komponente od oštećenja i produljuje njihov vijek trajanja.

Upotrebom kvalitetnih komponenti smanjuje se trošenje i potreba za čestim zamjenama, osigurava se ravnomjeran rez bez srha, i povećava se učinkovitost cijelog postupka rezanja.

### **3.6.3. Utjecaj CNC programiranja na kvalitetu rezanja metala plazmom**

Drugi čimbenik koji utječe na kvalitetu plazma rezanja materijala je znanje operatera koji upravlja CNC plazma rezačem, odnosno način programiranja. Razvojem tehnologije CNC-a mijenjaju se brzina i vrijeme rezanja.

Programer koji provodi postupak programiranja mora poznavati ograničenja plazma rezača. Jedna od čestih pogrešaka je situacija u kojem put rezanja u kojem plazma luk prolazi preko mjesta gdje je rez već napravljen. Ovakav događaj može uzrokovati ozbiljna oštećenja za rezač i rezani komad.

Kada plazma rezač pokušava održati električnu provodljivost na mjestu gdje više nema materijala, dolazi do velikih opterećenja i naprežanja glave rezača. U takvoj situaciji, plazma luk gubi stabilnost jer nema dovoljno materijala da bi se zatvorio električni krug, što uzrokuje neregularno osciliranje plazma luka. Ovo može dovesti do pregrijavanja glave rezača, ubrzanog trošenja sapnice i elektrode čime se povećava rizik od oštećenja unutar rezača. Takvim postupkom/procesom rezanja značajno se skraćuje vijek trajanja komponenti rezača.

### **3.6.4. Brzina i visina kao čimbenici kvalitete plazma rezanja**

Uz naprijed navedene čimbenike, kvalitetu rezanja definiraju udaljenost između plazma rezača i materijala koji režemo te brzina rezanja. Brzina rezanja također utječe i na cijenu plazma rezanja.

Kut reza definiran je visinom plazma rezača u odnosu na rezani materijal što utječe na konačnu kvalitetu proizvoda. Tako na primjer veća visina rezultira pozitivnim kutom reza, a manja visina rezultira negativnim kutom reza.

Brzina rezanja ima značajan utjecaj na količinu i vrstu troske koja se stvara tijekom plazma rezanja, a time i na dodatne operacije obrade (poput brušenja) potrebne za postizanje željene kvalitete reza. Navedeno utječe na povećanje ukupne cijene plazma rezanja.

### **3.6.5. Ostali čimbenici koji utječu na kvalitetu plazma rezanja**

Uz sve dosad navedene, preostali čimbenici koji imaju utjecaj na kvalitetu i cijenu plazma rezanja, valja izdvojiti pravilan izbor plinova, odnosno njihovu mješavinu. Komprimirani zrak, posebno kisik, najčešće se koristi u plazma rezanju za rezanje materijala debljine do 35 mm. Dušik se koristi za rezanje većine metala, a mješavina argona i vodika se primjenjuje za rezanje nehrđajućeg čelika i aluminijske legure. Mješavina argona i vodika pokazala se najboljom opcijom za postizanje najviše kvalitete reza.

## **3.7. Procjena kvalitete plazma rezanja**

Kod plazma rezanja kvaliteta reza može varirati. Postoji mnogo varijabli koje utječu na kvalitetu plazma reza, a pravilno razumijevanje i upravljanje njima ključno je za postizanje optimalnog rezultata.

### **3.7.1. Širina zarez kod rezanja plazmom**

Procesom plazma rezanja materijala talina koja se uklanja iz obratka, naziva se zarez. Ovisno o jačini struje prilikom plazma rezanja javlja se različita širina reza. Uži rez javlja se kod manje jakosti struje, te suprotno širi rez kod veće jakosti struje. Ovisno o širini zarez za postizanje najbolje kvalitete, u odnosu na debljinu materijala, odabirom manje jakosti struje dobivamo kvalitetni plazma rez.

Ovisno o jakosti struje plazma rezača, širina reza kod plazma rezanja može oscilirati od 0,4 mm do 10 mm.

### **3.7.2. Kosina kao važan čimbenik kvalitete rezanja**

Koso plazma rezanje je svako rezanje koje ne čini pravi kut s površinom rezanog materijala. U slučaju da donji rub reza strši radi se o pozitivnoj kosini, dok kod negativne kosine strši gornji rub reza. Najčešći uzrok neželjene kosine kod plazma rezanja je neodgovarajuća visina reza. Kod prevelike visine reza dolazi do pozitivne kosine, a kod premale visine reza, pojavljuje se negativna kosina.

Kod kompjuterski upravljano rezanja (CNC) glava rezača mora biti pod pravim kutom u odnosu na materijal koji se reže kako bi se izbjeglo neželjena kosina. Kod kosog plazma rezanja može se javiti i potkopavanje u slučaju kada je preniska visina reza, na što ukazuje konkavnost ruba na rezanom dijelu, koji je često bliži gornjem rubu.

### **3.7.3. Procjena kvalitete zaobljenja rubova**

Blago taljenje na rubu odrezanog dijela materijala naziva se zaokruživanje ruba. Zaokruženi rub koji ima zaobljen oblik, za razliku od oštrog ruba koji se javlja kod kosog rezanja.

Kod previsoke visine reza često dolazi do zaobljenja gornjeg ruba. Kod plazma rezanja može doći do zaobljenja gornjeg ruba, međutim postoje čimbenici koji dovode do zaobljenja gornjeg ruba u prevelikoj mjeri. Neki od tih čimbenika su: neodgovarajuća visina reza, istrošeni potrošni dijelovi i neadekvatni tlakovi plina. Na zaokruživanje gornjeg ruba utječe i gustoća luka, odnosno što je plazma luk gušći, rjeđe se javlja zaobljenje gornjeg ruba.

Odabirom procesa manje jakosti struje može se izbjeći zaobljenost i gornjeg i donjeg ruba materijala koje se javlja zbog prevelike jakosti struje.

### **3.7.4. Prskanje i troska kao važni čimbenici koji određuju kvalitetu rezanja**

Troska je ostatak materijala koji nastaje kao posljedica toplinskog rezanja. Troska stvara dodatan trošak jer zahtijeva dodatnu operaciju njezinog uklanjanja. S obzirom na brzinu rezanja, razlikuju se dvije vrste troske: troska velike brzine i troska male brzine

Troska kod velike brzine:

- Karakteristike: Tvrda, lagana i nakuplja se na gornjem rubu materijala
- Uzrok: Pojavljuje se kada je brzina rezanja prevelika, što uzrokuje da plazma luk zaostaje i ostavlja trag materijala na površini
- Problemi: Teže se uklanja, obično zahtijeva dodatne operacije kao što je brušenje.

Troska kod male brzine:

- Karakteristike: Gusta, ispunjena mjehurićima, nakuplja se na donjem rubu
- Uzrok: Javlja se kada je brzina rezanja preniska, što dovodi do širenja plazma luka i nakupljanja rastaljenog materijala
- Problemi: Iako je nepoželjna, lakše se uklanja u usporedbi sa troskom velike brzine.

Prskanje se javlja kada rastaljeni materijal izlazi iz plazma reza uslijed vrtloženja plina koji pada na vrh rezanog materijala ili ulazi u sapnicu glave rezača. Prskanje se može lako ukloniti nakon što se ohladi. Da bi se spriječilo prskanje koristi se otopina protiv prskanja na materijalu koji se reže ili reznoj glavi. Na taj način je prskanje lakše i ukloniti ako se zalijepi na površinu materijala.

### 3.7.5. **Zaostale linije u rezu**

Zaostale linije, poznate i kao „stepenaste brazde“ ili „nepravilnosti reza“, predstavljaju vidljive nepravilnosti na rezanoj površini koje se javljaju tijekom plazma rezanja. Kretanjem plazma luka kroz materijal možemo vidjeti putanju zaostalih linija od vrha do dna reza. Rezanjem zrakom te linije su skoro okomite, a kod rezanja kisikom linije zaostajanja može doći do laganog vođenja, što znači da izvedba reza može biti blago nagnuta. Dušik se također često koristi kao plin za rezanje jer pomaže u smanjenju oksidacije. Ipak, može izazvati lagano povlačenje linija zbog svoje sposobnosti da stvara manje intenzivan plazma luk u usporedbi s kisikom. Rezovi mogu biti nešto "mekši" s blagim nagibom. Pri kombinaciji plina argon/vodik također se mogu pojaviti lagano vučene zaostale linije. Vodik povećava temperaturu plazma luka i poboljšava kvalitetu reza, ali može stvoriti manje stabilan luk, što uzrokuje povremene oscilacije i povlačenje linija.

## **3.8. Prednosti i nedostaci rezanja plazmom**

### **3.8.1. Prednosti rezanja plazmom**

Plazma rezanje razvijeno je pedesetih godina prošlog stoljeća te se od tada stalno unapređuje i primjenjuje u sve širem volumenu. Unapređenjem tehnologije postepeno su se ispravljali nedostaci kod plazma rezanja. Smanjena je veličina uređaja za plazma rezanje što je posljedično dovelo do novih načina primjene plazma rezanja.

Prednosti plazma rezanja svrstavamo u sljedeće kategorije:

- brzina plazma rezanja: u odnosu na druge postupke rezanja, kao kod rezanja kisikom, rezanje plazmom obavi se dvaput brže. Ako uzmemo za primjer rezanje debljine 15 mm, plazmi treba 2 sekunde za penetraciju, dok je kod rezanja kisikom potrebno 30 sekundi.
- područje primjene plazma rezanja: kao što je već bilo spomenuto, kako je tehnologija napredovala otkrivala su se nova područja primjene plazma rezanja. Primjenom drugih metoda rezanja moguće je isključivo rezati samo obojene metale, dok kod plazma rezanja područje primjene uključuje rezanje obojenih i neobojenih metala. Kod plazma rezanja metal se može kvalitetno rezati do 80 mm debljine.
- jednostavna upotreba plazma rezanja: danas se plazma rezači pojavljuju u različitim oblicima. Današnje izvedbe uključuju velike CNC upravljane rezače ili prijenosne plazma rezače. Usporedbom plazma rezanja s laserskim rezanjem ili rezanja metala vodom, optimizacija plazma rezača je značajno jednostavnija.

### **3.8.2. Nedostaci plazma rezanja**

Osim prednosti koje su razrađene u prethodnoj cjelini, plazma rezanje ima i svoje nedostatke kao i sve druge tehnike rezanja. Svi ti nedostaci su podijeljeni u nekoliko kategorija:

- održavanje: uspoređujući plazma rezanje s drugim tehnikama rezanja, može se konstatirati kako u odnosu na druge tehnologije, potrošni dijelovi kod plazma rezača zahtijevaju učestaliju zamjenu (sapnice, elektrode, itd.) Vrijeme potrebno za zamjenu navedenih potrošnih dijelova u velikoj mjeri ovisi o kompetentnosti operatera.

- proces rezanja i utjecaj na materijale: prilikom plazma rezanja, pogotovo kad se režu deblji materijali, iza plazmenog mlaza ostaju specifični tragovi koji se vide na površini reza. Plazma rezanje nije primjenjivo na materijalima koji nemaju dobru provodljivost električne energije. Uspoređujući plazma rezanje s drugim tehnikama rezanja, ovisnost plazma rezača o električnoj energiji limitira ga na mogućnost korištenja na mjestima gdje je električna energija dostupna.
- ekologija: plazma rezanje stvara visoke razine buke zbog intenzivnog plazma luka i vibracija. Ova buka može biti štetna za radnike, pa je važno koristiti zaštitne slušalice i druge mjere zaštite sluha. Tokom rezanja, određena količina plinova, uključujući štetne tvari, može se osloboditi zbog isparavanja i kemijskih reakcija. Ovi plinovi mogu biti opasni ako se ne upravlja pravilno. Zbog toga je nužno osigurati protok zraka.
- troškovi: s aspekta troškova, plazma rezanje ima i prednosti i nedostatke. Jedan od nedostataka javlja se zbog manje učinkovitosti rezanja debljih materijala što dovodi do većih troškova zbog dodatnih postupaka. Nabava plazma rezača je veliki početni trošak, koji se dodatno povećava uslijed zamjene potrošnih dijelova rezača.

### 3.9. Česte pogreške kod rezanja plazmom

Pogreške kod plazma rezanja dovode do produljenja cjelokupnog postupka i povećanja troškova. Izvrstan operater koji radi na dobro servisiranom stroju za plazma rezanje može uštedjeti poduzeću u kojem radi mnogo radnih sati, koji predstavljaju trošak, a ujedno stvara stalan prihod svojim kvalitetnim radom.

Česte pogreške kod plazma rezanja:

- Korištenje potrošnih dijelova kada su već jako istrošeni i zahtijevaju zamjenu. Takva praksa uzrokuje smanjene kvalitete reza i škartiranja dobrog materijala, te može dovesti do ozbiljnijih tehničkih problema glavnih dijelova stroja. Redovitom provjerom kvalitete rezanog ruba radnog materijala i detaljnim pregledom dijelova glave rezača, te praćenjem pogoršanja kvalitete reza, izbjegavaju se ovakve pogreške.

Praćenje prosječnog vijeka trajanja dijelova CNC plazma rezača ključno je za održavanje optimalne učinkovitosti i kvalitete rezanja. Ova evidencija omogućuje operaterima da bolje planiraju zamjenu potrebnih dijelova, čime se smanjuje rizik od zastoja i neplaniranih troškova.



- Upotrebom potrošnih dijelova koji nisu adekvatni. Potrošni dijelovi plazma rezača odabiru se temeljem potrebne jakosti struje i plazma plina koji se koristi te debljine materijala. Potrošni dijelovi koji će se koristiti definirani su u smjernicama za rad stroja. Odabir pogrešnih potrošnih dijelova uzrokuje kraći vijek trajanja dijelova i lošiju kvalitetu rezanja.

- Neispravno montiranje glave plazme. Prije početka rada, provjera CNC plazma glave je ključna za osiguravanje pravilnog funkcioniranja opreme. Ova provjera osigurava da su svi dijelovi plamenika ispravno poravnati. Time se osigurava dobar električni kontakt, uklanjaju smetnje u radu te se omogućuje ispravan protok rashladne tekućine i plina kroz glavu plazme.

- Nedostatak provjere protoka plina ili rashladne tekućine. Periodična provjera protoka i tlaka plina i rashladne tekućine neizostavan su dio procesa rada, budući da neadekvatan protok dovodi do smanjenja vijeka trajanja dijelova uslijed toga što se potrošni dijelovi ne rashlađuju dovoljno.

- Neadekvatna brzina rezanja. Prevelika ili premala brzina rezanja dovodi do problema s kvalitetom plazma rezanja. Kod premale brzine rezanja, rezultat je troska s mjehurićima na donjem rubu obratka. To ujedno može dovesti do šireg reza i jačeg prskanja. Kod prevelike brzine rezanja javljaju se linije zaostajanja u rezu u vidu malih tvrdih tragova na rubu rezanog materijala.

- Istezanje luka. Istezanje luka plazma rezača je važan čimbenik koji može značajno utjecati na kvalitetu reza. Pravilno centriranje plazma luka izravno na radni komad pri pokretanju ključno je za optimalan rad. Ako luk nije pravilno centriran, može doći do rastezanja kako bi se dosegao radni komad. Ovo može uzrokovati promjene u stabilnosti luka, što može negativno utjecati na proces rezanja. Ako je luk pomaknut, može doći do kontakta između plazma luka i bočne stijenke mlaznice, što može uzrokovati oštećenje mlaznice i smanjenje njene učinkovitosti.

Izbjegavanjem naprijed navedenih pogrešaka, mogu se izbjeći smetnje u procesu rezanja, što dovodi do vremenskih i materijalnih ušteda.

### **3.10. Zaštita na radu**

Prilikom plazma rezanja razvijaju se visoke temperature pa posebnu pažnju treba posvetiti osobnim sredstvima zaštite na radu radnika. Ako operater ne rukuje plazma strojem oprezno može se dogoditi da zadobije teške opekline oka, ali i drugih dijelova tijela.

Zbog znatne količine buke i isparavanja koje se javljaju kod rezanja metala plazmom, važno je da operater koristi propisana osobna zaštitna sredstva. Također je važno da se osigura slobodan protok zraka zbog isparavanja i njegovih nepoželjnih posljedica za okolinu.

### 3.11. Toplinsko rezanje – Kategorizacija toplinskih rezova – Geometrijska specifikacija proizvoda i dopuštena odstupanja kvalitete (HRN EN ISO 9013:2017)

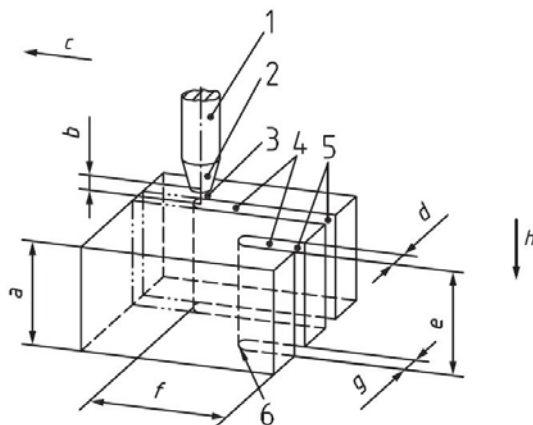
#### 3.11.1. Područje primjene

HRN EN ISO 9013:2017 je norma koja predstavlja geometrijske specifikacije proizvoda i dopuštena odstupanja kvalitete za klasifikaciju toplinskih rezova u materijalima prikladnim za plinsko rezanje s kisikom, plazma rezanje i rezanje laserom. Primjenjuje se za plinsko rezanje debljine materijala od 3 mm do 300 mm, plazma rezanje od 0,5 mm do 150 mm i rezanje laserom rezove od 0,5 mm do 32 mm.

Ova norma pruža smjernice za procjenu kvalitete rezanih površina i preciznost rezanja te pomaže u standardizaciji procesa i postizanju željene razine kvalitete.

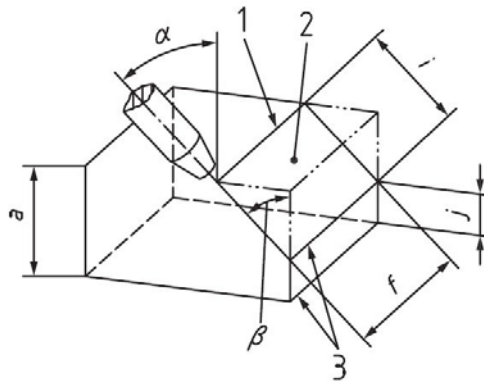
#### 3.11.2. Pojmovi i definicije objašnjeni slikama

Slika 3.11.2. a) pokazuje pojmove koji se odnose na proces rezanja radnog komada nakon što je proces rezanja započeo. Slika 3.11.2. b) označava pojmove za izrezani radni komad, a slika 3.11.2.1 prikazuje okomiti i kosi rez.



Slika 3.11.2. a) Pojmovi koji se odnose na proces rezanja izratka [6]

1 – Rezna glava; 2 – Mlaznica; 3 – Zraka/Plamen/Električni luk; 4 – Širina reza; 5 – Početak reza; 6 – Kraj reza;  $a$  – Debljina obratka;  $b$  – Udaljenost mlaznice od radnog komada;  $c$  – Smjer napredovanja reza;  $d$  – Gornja širina reza;  $e$  – Debljina reza;  $f$  – Duljina reza;  $g$  – Donja širina reza;  $h$  – Smjer rezanja.

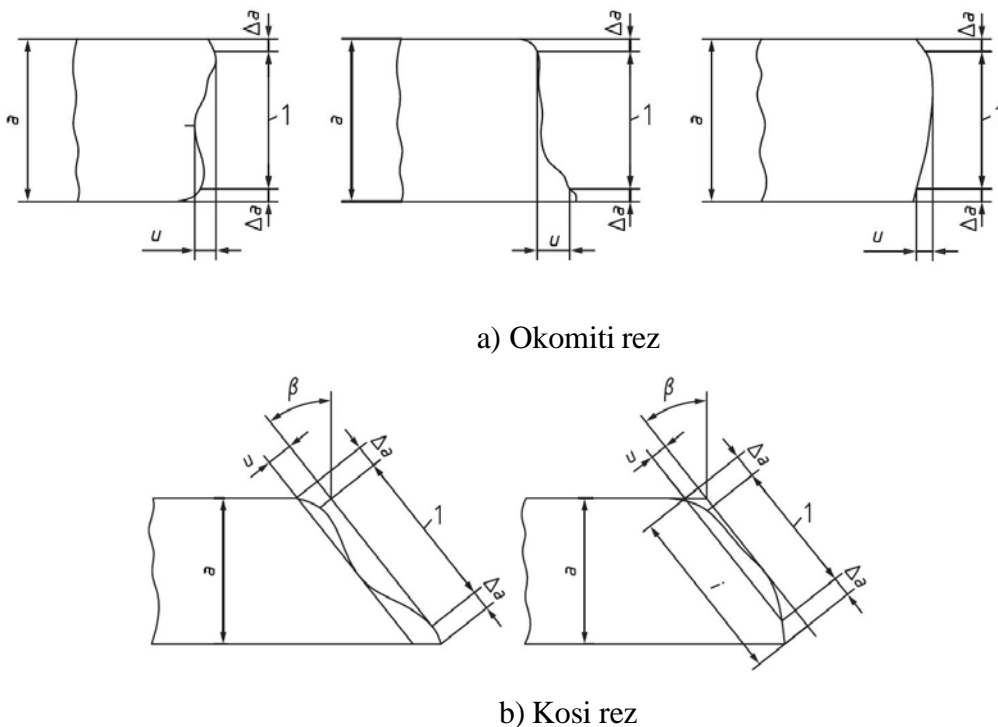


Slika 3.11.2. b) Pojmovi na izrezanom radnom komadu [6]

1 – Gornji rub reza; 2 – Površina reza; 3 – Donji rub reza;  $a$  – Debljina obratka;  $i$  – Debljina reza;  $j$  – Dubina lica korijena;  $f$  – Duljina reza;  $\alpha$  – Kut položaja pištolja;  $\beta$  – Kut reza.

### 3.11.2.1. Tolerancija okomitosti ili kutnosti

Udaljenost između dvije paralelne linije (tangente) između kojih se nalazi upisan profil površine reza unutar postavljenog kuta (npr.  $90^\circ$  u slučaju okomitih rezova) naziva se tolerancija okomitosti ili kutnosti ( $u$ ) prikazane na slici 3.11.2.1. Tolerancija okomitosti ili kutnosti uključuje ne samo okomitost, već i odstupanje od ravnosti. Slika 3.11.2.1. prikazuje područja na rezanoj površini koja treba uzeti u obzir za mjerenje tolerancija okomitosti ili nagiba,  $u$ , ovisno o korištenom procesu rezanja.



a) Okomiti rez

b) Kosi rez

Slika 3.11.2.1 Definicija raspona mjerenja za tolerancije okomitosti ili kutnosti [6]

1 – Udaljenost za izračun površine za određivanje tolerancije okomitosti ili kutnosti;

$a$  – Debljina obratka;  $\Delta a$  – Smanjenje debljine;  $i$  – Debljina reza;  $u$  – Tolerancija okomitosti ili kutnosti;  $\beta$  – Kut reza.

Područje za određivanje tolerancije okomitosti ili kutnosti određuje se množenjem udaljenost 1 s duljinom reza.

Karakteristična vrijednost tolerancije okomitosti ili kutnosti,  $u$ , bit će određena samo u ograničenom području rezane površine. Površina se umanjuje za dimenziju  $\Delta a$  prema tablici 3.11.2. od gornjeg i donjeg ruba površine reza (vidi sliku 3.11.2.1.).

Tablica 3.11.2. Dimenzije za  $\Delta a$  [6]

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

### 3.11.3. Kvaliteta površine reza

Kvaliteta površina reza toplinski obradivih rezanih materijala opisana je slijedećim karakterističnim vrijednostima:

- tolerancija okomitosti ili kutnosti,  $u$
- srednja visina neravnina,  $Rz5$ .

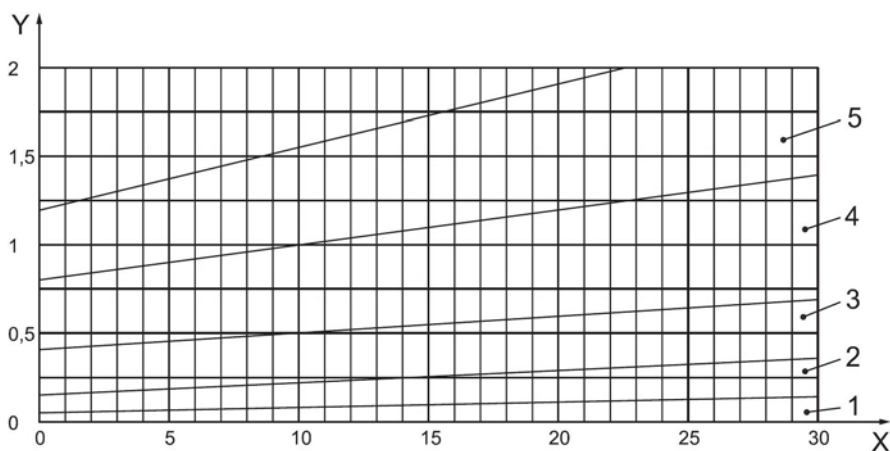
#### *Mjerni rasponi*

Za procjenu kvalitete reza, rasponi za toleranciju okomitosti ili kutnosti,  $u$ , i srednju visinu neravnina,  $Rz5$ , bit će naznačen redom  $u$ ,  $Rz5$ . Ako nijedna vrijednost nije utvrđena, bit će naznačena „0“ (nula).

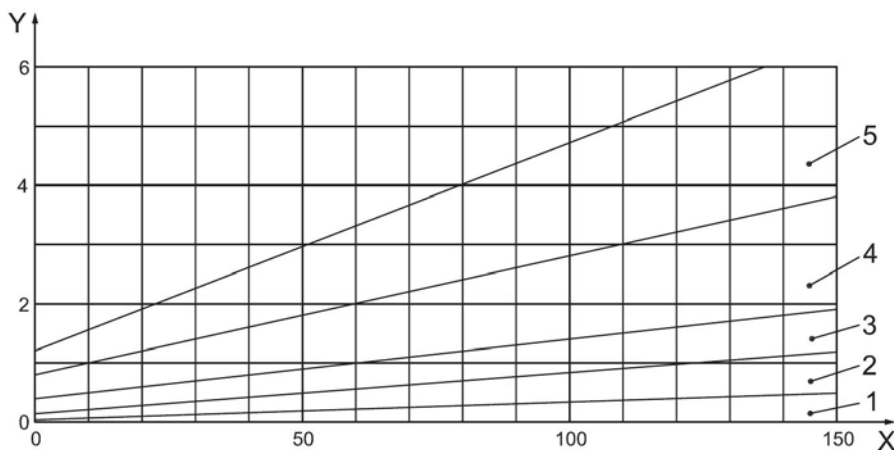
Rasponi za toleranciju okomitosti ili kutnosti,  $u$ , podijeljeni su u klase i prikazani su u tablici 3.11.3. te na slikama 3.11.3. a) i 3.11.3. b).

Tablica 3.11.3. Rasponi tolerancija okomitosti ili kutnosti,  $u$  [6]

Klasa	Tolerancije okomitosti ili kutnosti, $u$ , mm
1	$0,05 + 0,003a$
2	$0,15 + 0,007a$
3	$0,4 + 0,01a$
4	$0,8 + 0,02a$
5	$1,2 + 0,035a$



Slika 3.11.3. a) Tolerancija okomitosti ili kutnosti,  $u$  – debljine radnog komada do 30 mm [6]



Slika 3.11.3. b) Tolerancija okomitosti ili kutnosti,  $u$  – debljine radnog komada do 150 mm [6]

Ključ:

1 – 5 – klasa, (vidi tablicu 3.12.3.)

X – debljina reza,  $a$ , mm

Y – tolerancija okomitosti ili kutnosti,  $u$ , mm

## **4. Praktični rad**

### **4.1. Uvod u praktični rad**

Praktični rad temelji se na ispitivanju kvalitete rezanja plazma stroja u poduzeću Eko Međimurje d.d. na stroju Eckert plazma 3D, tip Onyx.

Povijesni razvoj tvrtke Eko Međimurje d.d. krenuo je još od 1910. godine, a posljednjih 25 godina tvrtka uspješno surađuje sa renomiranim svjetskim proizvođačima građevinskih strojeva čime dokazuje svoju stručnost i velike mogućnosti u izradi metalnih i polimernih konstrukcija, naročito kabina i rezervoara. Također, tvrtka izrađuje i uređaje za prehrambenu industriju.

Proizvodni je proces u tvrtki Eko Međimurje d.d. u potpunosti usklađen s europskim standardima i zahtjevima norme HRN EN ISO 9001:2015. Tvrtka je nosilac Svjedodžbe o klasifikaciji proizvođača za zavarene čelične konstrukcije po standardu DIN 18800-7. Izuzetna pažnja usmjerena je i na očuvanje okoliša te je certificiran Sustav upravljanja okolišem po standardu HRN EN ISO 14001:2015. [7]

U ovom Završnom radu analizirana je kvaliteta reza dobivenih plazma rezanjem. Ispitivanja su se provela u poduzeću Eko Međimurje d.d. Ispitivanja su provedena u sklopu uobičajenog postupka ispitivanja i provjere značajki rezanja nakon provedbe većih zahvata popravaka na stroju. Naime, početkom 2024. godine došlo je do kvara na disku upravljačke jedinice plazma stroja. Nakon svakog većeg zahvata na stroju (popravka ili značajnije zamjene dijelova) stroj treba proći testiranje i kontrolu kvalitete reza prije puštanja u rad. Testiranje i kontrola provode se prema uputi proizvođača primjenom tehnoloških tablica programa za rezanje definiranih i osiguranih od strane proizvođača.

Važnost ispitivanja kvalitete reza provodi se s ciljem postizanja zahtijevane kvalitete proizvoda od strane kupaca.

### **4.2. Značajke korištenog stroja**

Za potrebe izvedbe ovog Završnog rada koristio se stroj Eckert plazma 3D, tip Onyx koji je u vlasništvu poduzeća Eko Međimurje d.d. Na slikama u nastavku rada dan je shematski prikaz stroja (slika 4.2. a) te fotografija stroja (slika 4.2.b) na kojem je proveden praktični dio ovog rada.





*Slika 4.2. b) Slika stroja [8]*

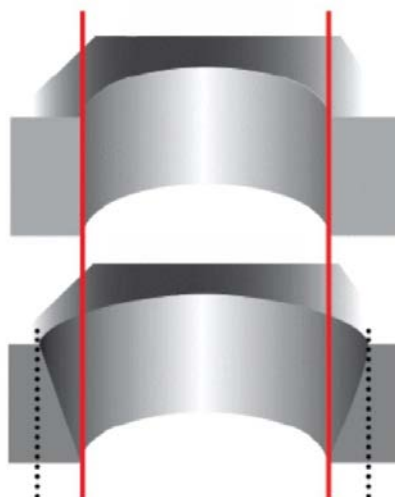
Poduzeće Eckert i njihov stroj plazma 3D tip Onyx koristi Hyperthermov izvor napajanja. Hypertherm je vlasnik SureCut™ tehnologije, u kojoj se nalazi True Hole® tehnologija za meki čelik koja je ekskluzivno dostupna za korištenje u kombinaciji s Hyperthermovim HPRXD® automatskim plazma sustavima. Softver za izradu programa za rezanje ili CNC softver na stroju automatski primjenjuje True Hole na provrtu promjera do 25 mm i omjere promjera provrta i debljine od 2,5 do čak 1:1.

Tehnologija True Hole je specifična kombinacija: vrste plina za rezanje, protoka plina, jakosti struje, tehnologije probijanja, vrste ulaza / izlaza, brzine rezanja, smanjenog vremena za optimizaciju samog procesa rezanja (koji su povezani s danom jakošću struje, vrstom materijala, debljinom materijala i veličinom provrta).

True Hole tehnologija – patentirani postupak za čelik koji praktički eliminira sužavanje provrta i poboljšava zaobljenost – proizvodi znatno bolju kvalitetu provrta nego što je prije bilo moguće korištenjem plazme.



### S True Hole tehnologijom



### Bez True Hole tehnologije

Slika 4.3.1. Razlika reza korištenjem True Hole tehnologije i bez True Hole tehnologije [8]

U tablicama 4.3.1. i 4.3.2. prikazano je koju jakost struje rezanja zahtijeva pojedina debljina materijala da bi se moglo uspješno rezati True Hole tehnologijom.

Tablica 4.3.1. True Hole procesi kod reza okomitog na ploču

Jakost struje rezanja	Debljina ploče										
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	8 mm	10 mm	12 mm	15 mm	20 mm	22 mm	25 mm
30 A	▪	▪	▪								
50 A	▪	▪	▪	▪							
80 A			▪	▪							
130 A					▪	▪	▪				
200 A						▪	▪	▪			
260 A							▪	▪	▪		
400 A									▪	▪	▪

Tablica 4.3.2. True Hole procesi kod reza pod kutom u odnosu na ploču

Jakost struje rezanja	Debljina ploče										
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	8 mm	10 mm	12 mm	15 mm	20 mm	22 mm	25 mm
80 A			▪	▪							
130 A						▪	▪				
260 A							▪	▪	▪		
400 A									▪	▪	▪

### 4.3. Praktični rad – izvedba

U ovom praktičnom radu prikazani su testovi kvalitete reza za različite debljine materijala, različite objekte rezanja (ravna ploča, cijev...) i s obzirom na različite načine rezanja (okomito na ploču, pod kutem u odnosu na ploču).

Materijal koji se koristio za rezanje uzoraka je S355J2G3 (ST52-3), a debljine su u rasponu od 2 mm do 40 mm. Plinovi korišteni za plazma rezanje su bili kisik kao plazmeni plin, a zrak kao zaštitni plin.

Provedeni su sljedeći testovi:

A – test kutnosti stroja – X, Y osi, debljine uzorka od 8 mm

B (B1 – B12) – testovi koji kontroliraju kvalitetu reza s gornje i donje strane na debljinama uzorka od 3 mm do 40 mm

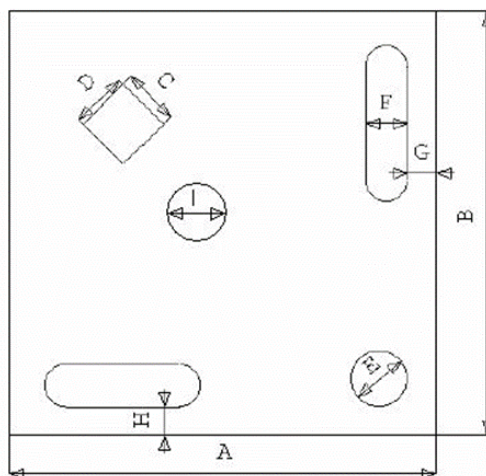
C (C1– C2) – testovi koji kontroliraju kvalitetu reza provrta različitih promjera sa i bez True Hole tehnologije na debljinama uzorka od 6 mm i 10 mm

D (D1 – D4) – testovi koji kontroliraju kvalitetu reza pod kutem u odnosu na ploču s debljinama uzorka od 10 mm, 15 mm, 20 mm i 30 mm

E (E1 – E3) – testovi koji kontroliraju kvalitetu reza cijevi na različitim promjerima i debljinama stijenki uzorka od  $\varnothing 42$  mm x 3 mm,  $\varnothing 101$  mm x 2 mm i  $\varnothing 419$  mm x 20 mm.

Na slici 4.3.1. je prikazana skica pločastog uzorka prema kojoj su provedena rezanja uzoraka. Na pločastim uzorcima dimenzija A x B rezana su dva provrta (promjera I, E), jedan kvadrat (C x D) te dva ovalna oblika.

Na uzorcima testiranja provrta I rezana je i testirana bez True Hole tehnologije isključivo radi usporedbe s provrtom E koja predstavlja True Hole tehnologiju.



Slika 4.3.2. Skica s kotama i oznakama mjerenog uzorka

Oznake sa slike 4.3.2. (A, B, C, D, E, F, G, H, I i J) su „oznake mjerene pozicije ili uzorka“. Izmjerene vrijednosti prikazane su u tablicama koje slijede. Ispod svake oznake (A-J) navedene su zahtijevane vrijednosti.

Za sva dimenzijska mjerenja korištena su sljedeća mjerila:

1. Digitalno pomično mjerilo: (0 – 150 mm) / 0,01 mm
2. Kutomjer digitalni: (0 – 360°) / 0,05°
3. Kutnik 90°

Digitalno pomično mjerilo korišteno je za mjerenje izmjerenih vrijednosti na gornjoj i donjoj strani plazma reza, a mjerilo se: vanjske mjere stranica uzorka, provrti, kvadrat te ovalni oblici. Digitalni kutomjer uz pomoć kutnika se koristio za mjerenje nagiba reza.

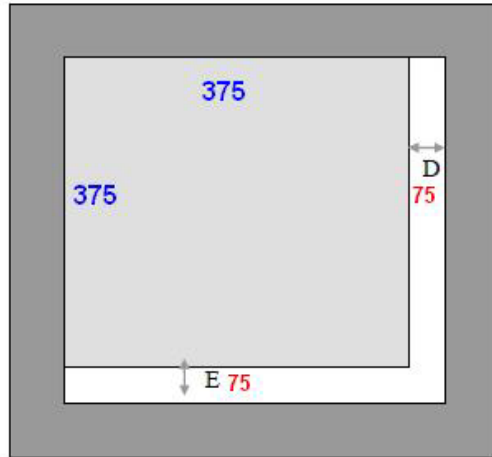
U nastavku rada prikazani su rezultati testova.

## Test A1: provjera kutnosti stoja - X, Y osi

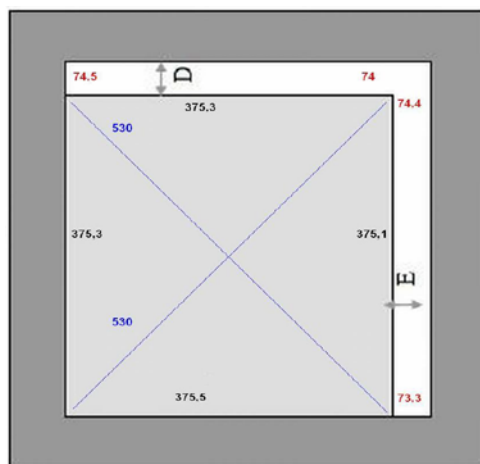
Slike 4.3.3. – 4.3.5. prikazuju uzorak i dobivene rezultate kutnosti stroja.

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

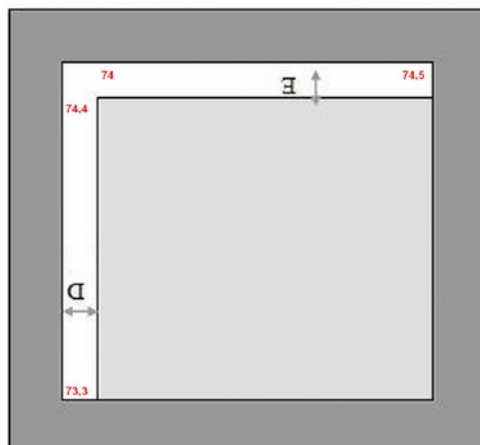
Debljina: 8 mm



Slika 4.3.3. Skica mjenog uzorka za ispitivanje kutnosti



Slika 4.3.4. Rezultati mjerenja uzorka debljine 8mm s gornje strane



Slika 4.3.5. Rezultati mjerenja uzorka debljine 8mm s donje strane

## Test B1:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 3 mm

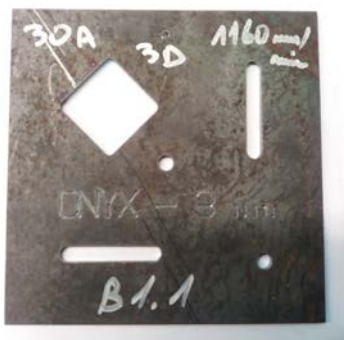
Tablica 4.3.3. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 3 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B1.1	30	1160
B1.2	50	1800

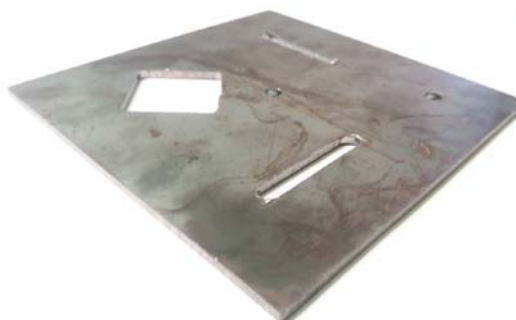
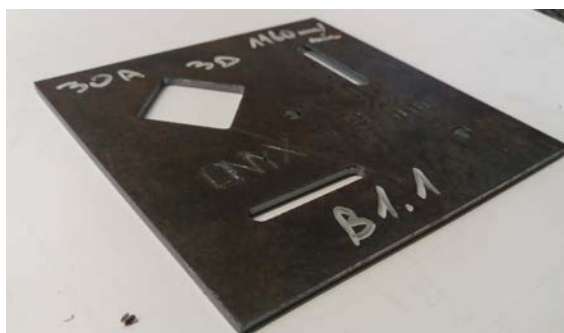
Tablica 4.3.4. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 3 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A 130 mm	B 130 mm	C 30 mm	D 30 mm	E 6 mm	F 6 mm	G 25 mm	H 25 mm	I 6 mm	Kutnost
B1.1	gornji	129,9	129,8	30,2	30,1	6,0	6,2	24,9	24,75	6,1	90,5°
	donji	129,8	130,05	30,0	30,1	6,0	6,2	24,95	24,8	6,0	
B1.2	gornji	130,05	130,0	30,1	30,1	5,9	6,1	25,0	24,95	6,1	88,8°
	donji	130,1	130,2	29,9	29,8	6,5	5,9	25,2	25,1	6,4	

### Uzorak B1.1

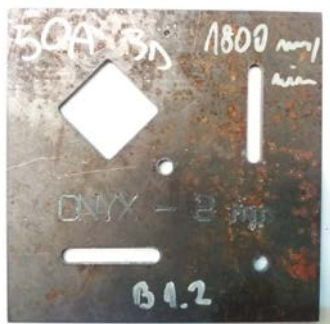


Slika 4.3.6. Uzorak B1.1 debljine 3 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.7. Uzorak B1.1 debljine 3 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B1.2



Slika 4.3.8. Uzorak B1.2 debljine 3 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.9. Uzorak B1.2 debljine 3 mm slikan s gornje i donje strane

### Test B2:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 4 mm

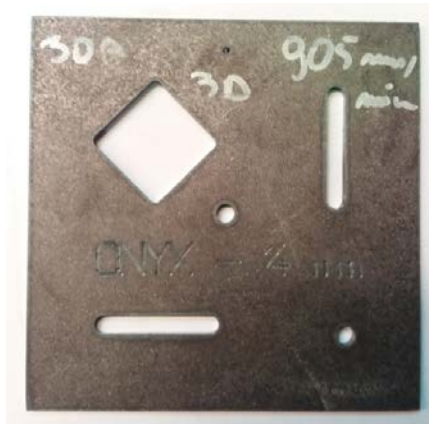
Tablica 4.3.5. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 4 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B2.1	30	905
B2.2	50	1400

Tablica 4.3.6. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 4 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		130 mm	130 mm	30 mm	30 mm	6 mm	6 mm	25 mm	25 mm	6 mm	
B2.1	gornji	129,7	129,8	30,2	30,1	6,0	6,25	24,8	24,9	5,9	90,5°
	donji	129,7	129,8	30,25	30,1	6,0	6,25	24,85	24,8	6,3	
B2.2	gornji	129,9	129,95	30,2	30,1	6,0	6,2	24,9	24,8	6,0	89,5°
	donji	129,9	129,95	30,15	30,1	<u>6,6</u>	6,1	25,0	24,9	<u>6,6</u>	

## Uzorak B2.1

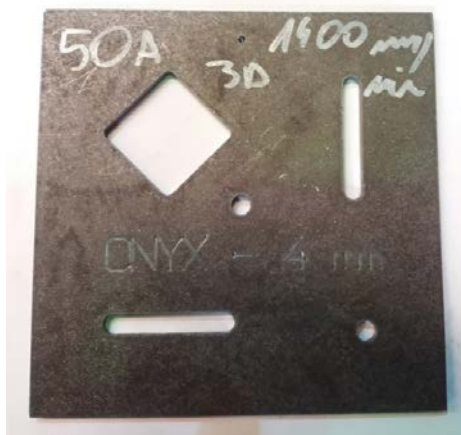


Slika 4.3.10. Uzorak B2.1 debljine 4 mm s podacima o rezanju

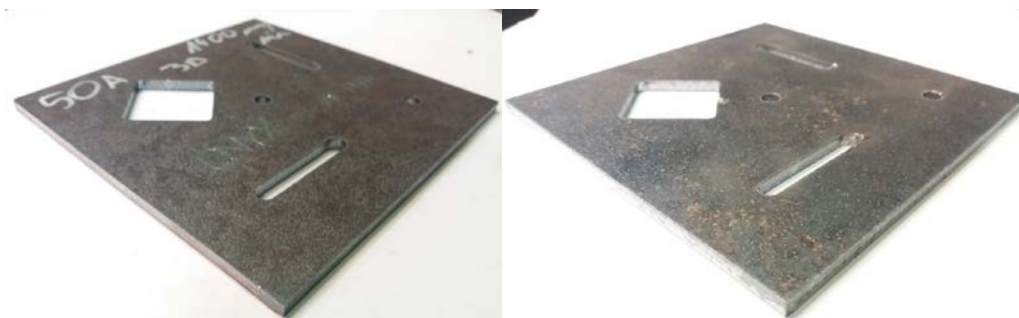


Slika 4.3.11. Uzorak B2.1 debljine 4 mm slika s gornje i donje strane

## Uzorak B2.2



Slika 4.3.12. Uzorak B2.2 debljine 4 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.13. Uzorak B2.2 debljine 4 mm slika s gornje i donje strane

**Test B3:**

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

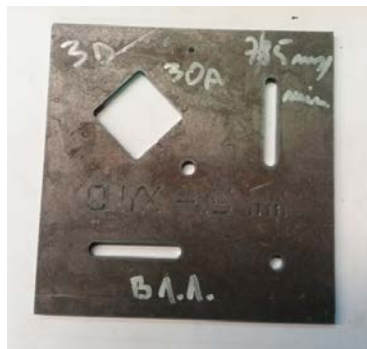
Debljina: 5 mm

Tablica 4.3.7. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 5 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B3.1	30	785
B3.2	50	1200

Tablica 4.3.8. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 5 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		130 mm	130 mm	30 mm	30 mm	6 mm	6mm	25 mm	25 mm	6mm	
B3.1	gornji	130	130	30,1	30,1	6,1	6,1	25	25,05	6,1	88,2°
	donji	129,9	129,95	30,15	30	6,0	6,15	25	25,00	<u>6,2</u>	
B3.2	gornji	129,95	130,0	30,0	30,0	6,15	6,05	25,05	24,95	6,2	90,2°
	donji	129,95	129,9	30,0	30,0	6,6	6,0	25,0	24,9	<u>6,2</u>	

**Uzorak B3.1**

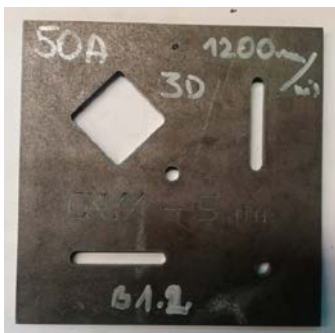
Slika 4.3.14. Uzorak B3.1 debljine 5 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.15. Uzorak B3.1 debljine 5 mm slikan s gornje i donje strane



## Uzorak B3.2



Slika 4.3.16. Uzorak B3.2 debljine 5 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.17. Uzorak B3.2 debljine 5 mm slika s gornje i donje strane

### Test B4:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 6 mm

Tablica 4.3.9. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 6 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B4.1	30	665
B4.2	50	950
B4.3	80	3045

Tablica 4.3.10. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 6 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		130 mm	130 mm	30 mm	30 mm	6 mm	6mm	25 mm	25 mm	6mm	
B4.1	gornji	129,9	129,85	30,25	30,1	6,3	6,25	24,8	24,85	6,35	89,7°
	donji	129,8	129,85	30,1	30,0	6,7	6,05	24,9	24,8	<u>7,0</u>	
B4.2	gornji	129,65	129,85	30,25	30,1	5,9	6,2	24,8	24,9	5,8	88,5°
	donji	129,5	129,55	30,1	30,3	6,25	6,25	24,65	24,65	<u>6,5</u>	
B4.3	gornji	129,9	129,9	30,2	30,3	5,90	6,2	24,8	24,7	5,85	89°
	donji	129,95	130,05	30,4	30,2	<u>6,8</u>	6,2	24,8	24,9	<u>6,9</u>	

### Uzorak B4.1



Slika 4.3.18. Uzorak B4.1 debljine 6 mm s podacima o rezanju

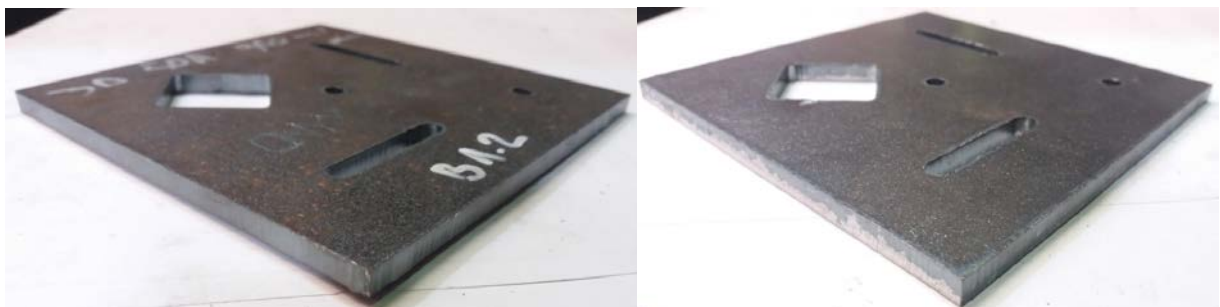


Slika 4.3.19. Uzorak B4.1 debljine 6 mm slika s gornje i donje strane

### Uzorak B4.2



Slika 4.3.20. Uzorak B4.2 debljine 6 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.21. Uzorak B4.2 debljine 6 mm slika s gornje i donje strane

### Uzorak B4.3



Slika 4.3.22. Uzorak B4.3 debljine 6 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.23. Uzorak B4.3 debljine 6 mm slikan s gornje i donje strane

### Test B5:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 8 mm

Tablica 4.3.11. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 8 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B5.1	80	2430
B5.2	130	3360

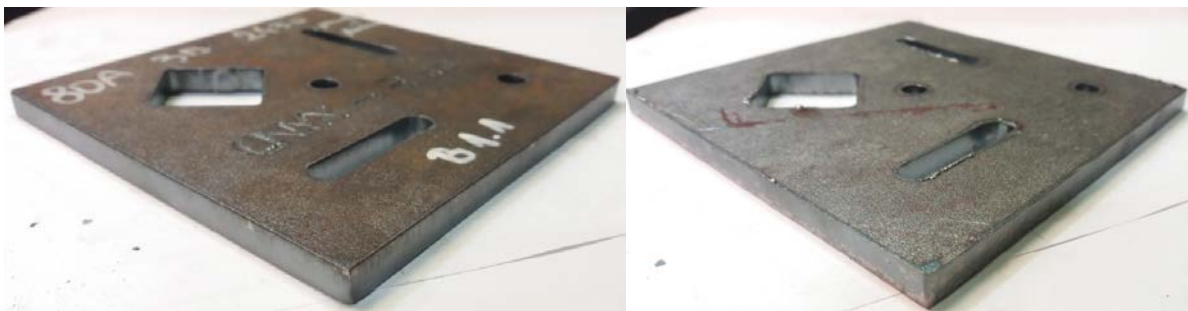
Tablica 4.3.12. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 8 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		130 mm	130 mm	30 mm	30 mm	8 mm	8 mm	24 mm	24 mm	8 mm	
B5.1	gornji	129,8	129,9	30,35	30,2	8,0	8,2	23,9	23,9	8,2	90,5°
	donji	129,9	130,0	30,7	30,25	<u>8,55</u>	8,35	23,8	23,95	7,8	
B5.2	gornji	130,1	129,9	30,2	30,35	7,9	8,05	23,9	23,9	8,45	89,5°
	donji	130,0	130,1	30,3	30,25	7,5	8,35	23,9	23,95	<u>7,65</u>	

## Uzorak B5.1



Slika 4.3.24. Uzorak B5.1 debljine 8 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.25. Uzorak B5.1 debljine 8 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B5.2



Slika 4.3.26. Uzorak B5.2 debljine 8 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.27. Uzorak B5.2 debljine 8 mm slikan s gornje i donje strane

## Test B6:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 10 mm

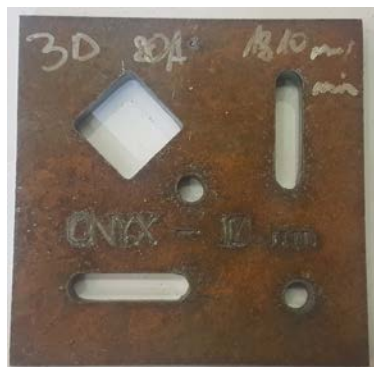
Tablica 4.3.13. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B6.1	80	1810
B6.2	130	2680

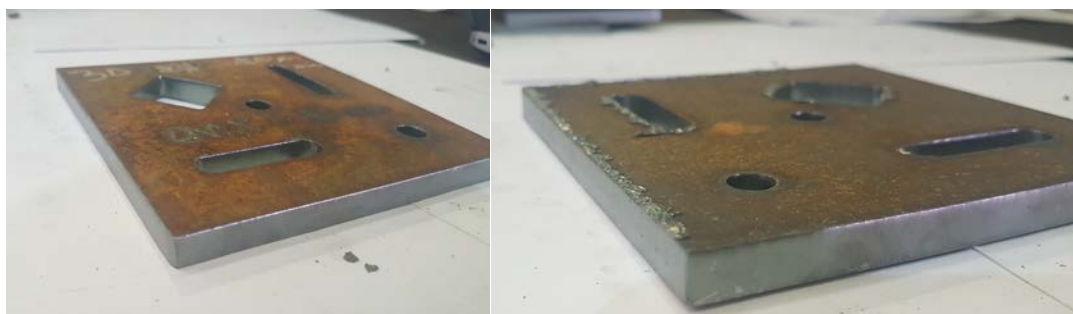
Tablica 4.3.14. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 10 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		130 mm	130 mm	30 mm	30 mm	10 mm	10 mm	23 mm	23 mm	10 mm	
B6.1	gornji	129,95	129,95	30	30	10,3	10,05	23,05	22,95	10,25	90,2°
	donji	129,65	129,65	30	30,4	9,85	10,4	22,7	22,7	9,85	
B6.2	Gornji	130,1	130,1	30	29,9	10	9,95	23,1	23,05	10,15	89,5°
	donji	129,95	130,1	30,05	29,95	<u>10,85</u>	10,05	22,90	23,1	<u>11,2</u>	

### Uzorak B6.1



Slika 4.3.28. Uzorak B6.1 debljine 10 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.29. Uzorak B6.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B6.2



Slika 4.3.30. Uzorak B6.2 debljine 10 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.31. Uzorak B6.2 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane

## Test B7:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 12 mm

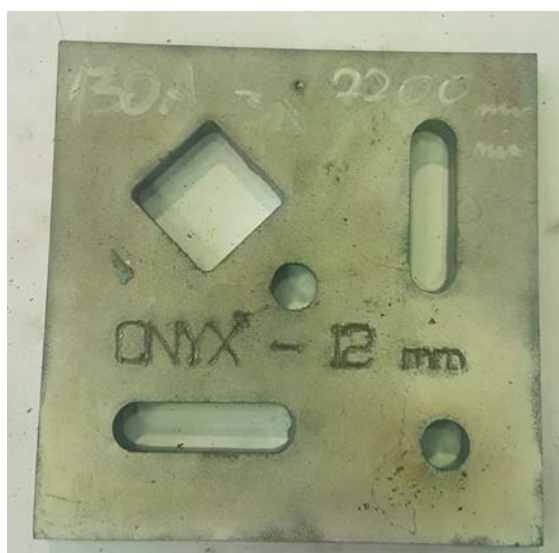
Tablica 4.3.15. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 12 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B7.1	130	2200
B7.2	200	3061
B7.3	260	3850

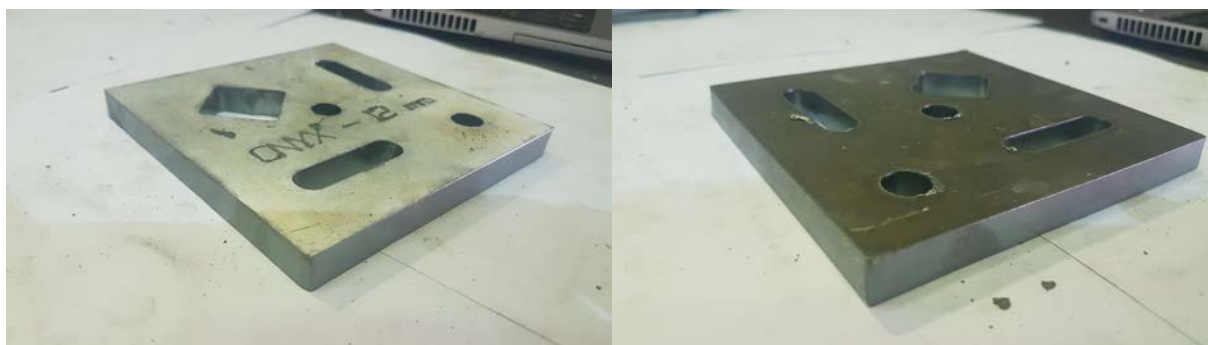
Tablica 4.3.16. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 12 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A 130 mm	B 130 mm	C 30 mm	D 30 mm	E 12 mm	F 12mm	G 22 mm	H 22 mm	I 12 mm	Kutnost
B7.1	gornji	129,95	129,9	30,25	30,1	12,45	12,2	21,85	21,8	12,3	90,5°
	donji	129,5	129,7	30,7	30	<u>13,45</u>	12,6	21,55	21,75	12,3	
B7.2	Gornji	130,2	130	30,45	30,2	11,9	12	22	22,2	12	89,6°
	donji	130,2	130,2	<u>29,6</u>	29,9	<u>12,9</u>	11,65	<u>22,55</u>	22,4	<u>12,55</u>	
B7.3	Gornji	129,6	129,5	31	30,85	<u>13</u>	12,45	<u>21,6</u>	<u>21,3</u>	<u>13,5</u>	89,7°
	Donji	129,5	131	<u>30,4</u>	30,4	12,1	12,7	21	22,1	<u>12,6</u>	

### Uzorak B7.1



Slika 4.3.32. Uzorak B7.1 debljine 12 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.33. Uzorak B7.1 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane

**Uzorak B7.2**



*Slika 4.3.34. Uzorak B7.2 debljine 12 mm s podacima o rezanju*



*Slika 4.3.35. Uzorak B7.2 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane*

**Uzorak B7.3**



*Slika 4.3.36. Uzorak B7.3 debljine 12 mm s podacima o rezanju*



*Slika 4.3.37. Uzorak B7.3 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane*



**Test B8:**

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 20 mm

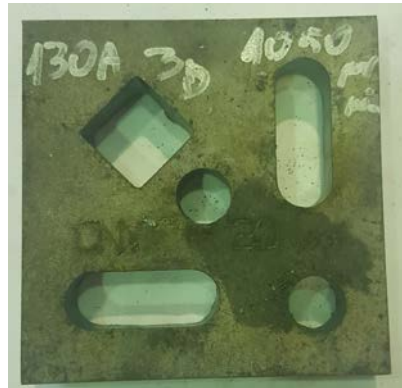
Tablica 4.3.17. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 20 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B8.1	130	1050
B8.2	200	1582
B8.3	260	2170
B8.4	400	2805

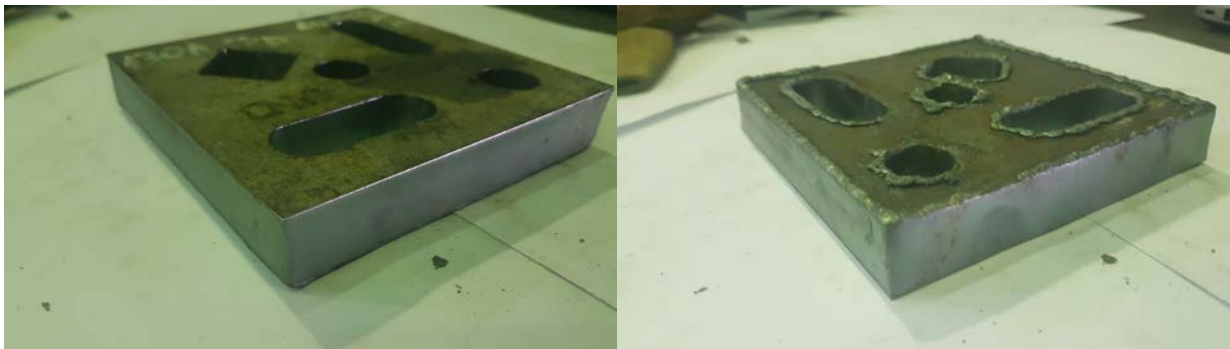
Tablica 4.3.18. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 20 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A 130 mm	B 130 mm	C 30 mm	D 30 mm	E 20 mm	F 20mm	G 18 mm	H 18 mm	I 20 mm	Kutnost
B8.1	gornji	129,8	129,8	30,05	30	20,25	20	18	17,95	20,3	90,6°
	donji	<u>129</u>	<u>129</u>	30,5	30,2	20,1	<u>20,95</u>	<u>17,3</u>	<u>16,85</u>	20,6	
B8.2	gornji	129,85	129,8	30	30,35	20	20,3	20	17,7	20,45	91°
	donji	130,3	130,05	29,75	<u>29,3</u>	20	19,75	19,5	<u>18,4</u>	20	
B8.3	gornji	130	130	30,45	30,4	20,35	20,2	18,2	18	20,5	89,8°
	donji	129,5	<u>131</u>	30,2	<u>29,4</u>	20,4	20,5	17,9	<u>19,1</u>	20,5	
B8.4	gornji	129,8	129,9	30,3	30,3	19,7	20,5	18	17,95	19,9	89,2°
	donji	<u>130,65</u>	130	<u>29,3</u>	<u>29,6</u>	<u>21,4</u>	<u>19,2</u>	<u>19</u>	18,4	20,3	

**Uzorak B8.1**



*Slika 4.3.38. Uzorak B8.1 debljine 20 mm s podacima o rezanju*

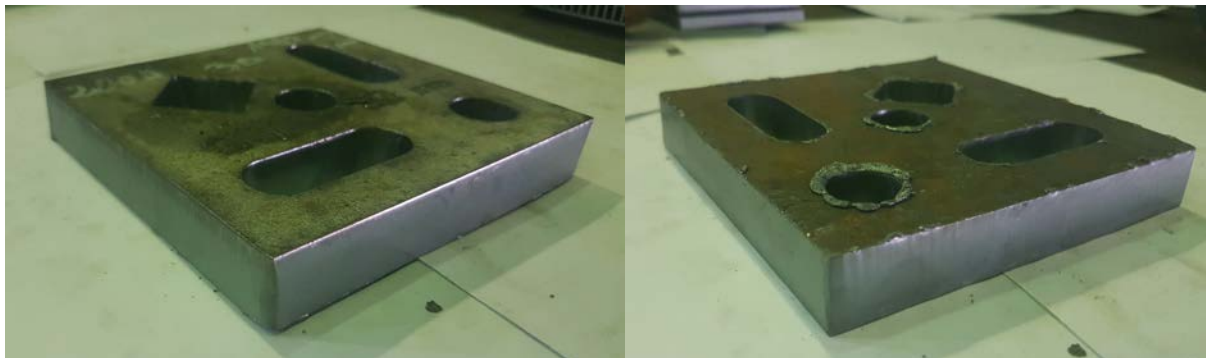


*Slika 4.3.39. Uzorak B8.1 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane*

**Uzorak B8.2**

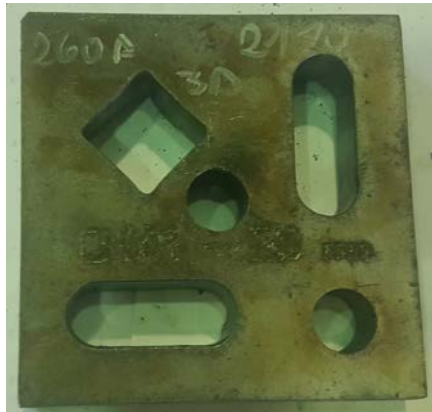


*Slika 4.3.40. Uzorak B8.2 debljine 20 mm s podacima o rezanju*

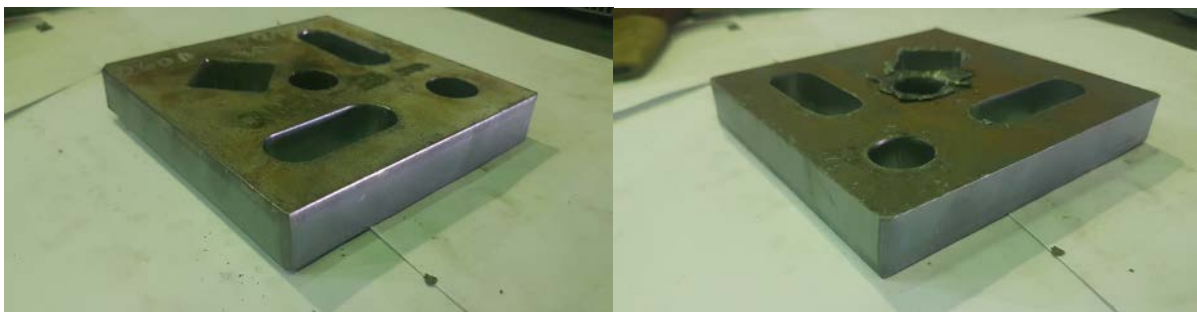


*Slika 4.3.41. Uzorak B8.2 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane*

### Uzorak B8.3



Slika 4.3.42. Uzorak B8.3 debljine 20 mm s podacima o rezanju

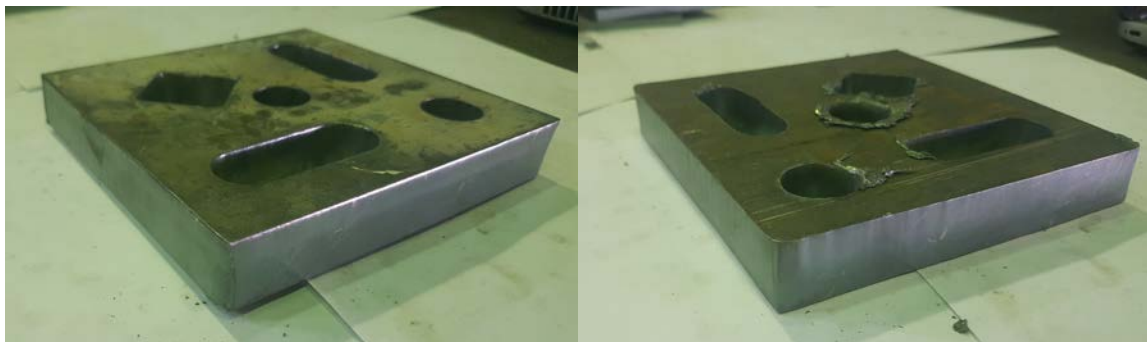


Slika 4.3.43. Uzorak B8.3 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane

### Uzorak B8.4



Slika 4.3.44. Uzorak B8.4 debljine 20 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.45. Uzorak B8.4 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane

**Test B9:**

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 25 mm

Tablica 4.3.19. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 25 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B9.1	200	1178
B9.2	260	1685
B9.3	400	2210

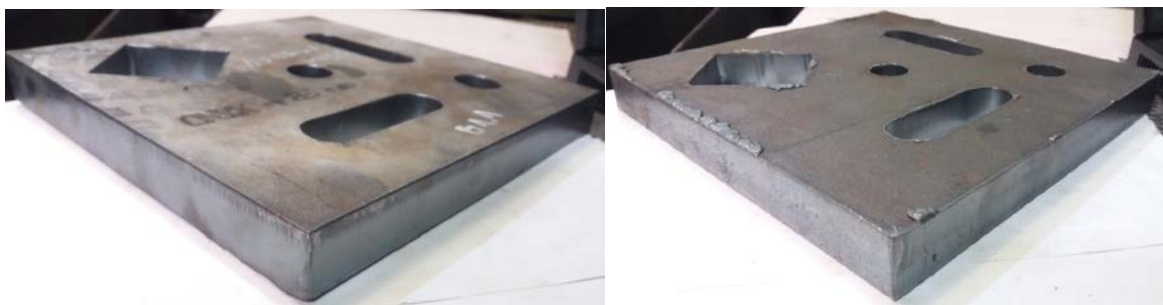
Tablica 4.3.20. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 25 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A 230 mm	B 230 mm	C 60 mm	D 60 mm	E 25 mm	F 25mm	G 37,5mm	H 37,5mm	I 25 mm	Kutnost
B9.1	gornji	230,2	230,1	60	60,1	24,9	24,9	37,8	37,7	24,95	90,2°
	donji	230,3	230,3	59,7	59,5	<u>22,8</u>	24,7	38	37,95	<u>23</u>	
B9.2	gornji	229,9	229,7	60,65	60,4	25,45	24,4	37,5	37,4	25	89°
	donji	229,6	<u>230,6</u>	60,6	<u>59,5</u>	<u>24,25</u>	24,15	<u>38,3</u>	37	<u>24</u>	
B9.3	gornji	229,9	229,75	60	59,9	25,1	25,3	37,3	37,5	24,8	90,3°
	donji	230,2	<u>230,6</u>	60	60,1	<u>23,1</u>	<u>24,6</u>	38	38,1	<u>23,2</u>	

## Uzorak B9.1



Slika 4.3.46. Uzorak B9.1 debljine 25 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.47. Uzorak B9.1 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B9.2



Slika 4.3.48. Uzorak B9.2 debljine 25 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.49. Uzorak B9.2 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B9.3



Slika 4.3.50. Uzorak B9.3 debljine 25 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.51. Uzorak B9.3 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane

## Test B10:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 30 mm

Tablica 4.3.21. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 30 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B10.1	260	1283
B10.2	400	1790

Tablica 4.3.22. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 30 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		230 mm	230 mm	60 mm	60 mm	30 mm	30mm	35 mm	35 mm	30 mm	
B10.1	gornji	230	229,8	60,4	60,7	30,35	30,5	35,4	34,6	30,3	89,4°
	donji	230,3	<u>230,8</u>	60,4	<u>59,4</u>	<u>28,7</u>	30,5	34,8	<u>36,6</u>	<u>29,1</u>	
B10.2	gornji	229,9	229,3	60,3	60,6	30,1	30,4	34,8	34,65	29,8	91,2°
	donji	229,6	<u>230,6</u>	60,4	<u>58,8</u>	<u>29,2</u>	30	34,2	35,4	29,7	

Za ovu debljinu ne postoji TH opcija za mjerenje potrebno rezati 2 x fi provrta od debljine materijala.

## Uzorak B10.1



Slika 4.3.52. Uzorak B10.1 debljine 30 mm s podacima o rezanju

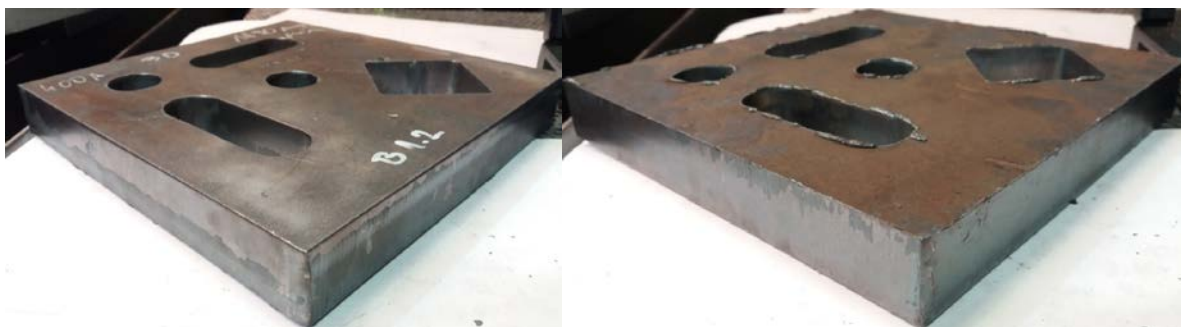


Slika 4.3.53. Uzorak B10.1 debljine 30 mm slikan s gornje i donje strane

## Uzorak B10.2



Slika 4.3.54. Uzorak B10.2 debljine 30 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.55. Uzorak B10.2 debljine 30 mm slikan s gornje i donje strane

## Test B11:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 35 mm

Tablica 4.3.23. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 35 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
B11.1	400	1430

Tablica 4.3.24. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 35 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A 230 mm	B 230 mm	C 60 mm	D 60 mm	E 35 mm	F 35mm	G 32,5 mm	H 32,5 mm	I 35 mm	Kutnost
B11.1	gornji	229,95	230,1	60,25	60,2	35,2	35,4	32	32,5	35,35	89.9°
	donji	229,95	230,4	59,7	60	<u>33,5</u>	34,7	<u>32,85</u>	32,6	<u>33,1</u>	

Za ovu debljinu ne postoji TH opcija za mjerenje potrebno rezati 2 x fi provrta od debljine materijala.

### Uzorak B11.1



Slika 4.3.56. Uzorak B11.1 debljine 35 mm s podacima o rezanju



Slika 4.3.57. Uzorak B11.1 debljine 35 mm slikan s gornje i donje strane



### Test B12:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 40 mm

Tablica 4.3.25. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 40 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
B12.1	400	1160

Tablica 4.3.26. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 40 mm s gornje i donje strane

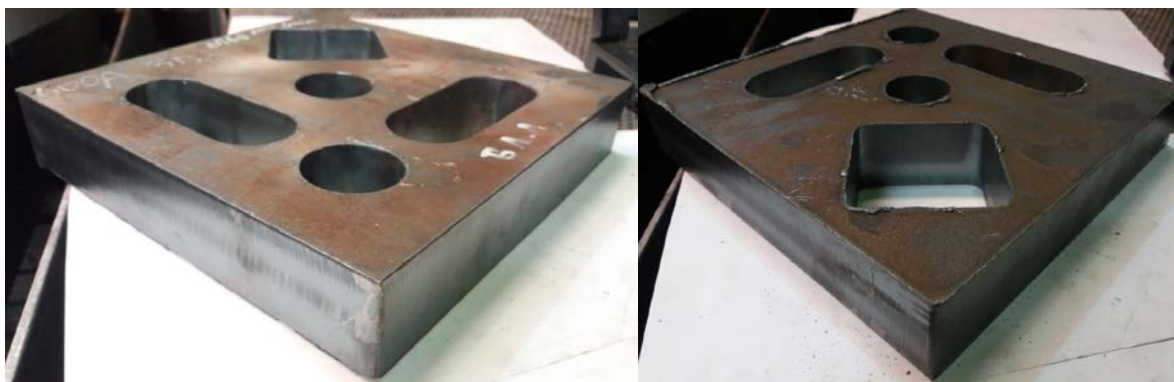
UZORAK		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Kutnost
		230 mm	230 mm	70 mm	70 mm	40 mm	40 mm	30 mm	30 mm	40 mm	
B12.1	gornji	229,4	229,9	70,1	70	39,9	40,4	30	29,65	40,2	90,1°
	donji	229,4	230,1	70,1	69,4	<u>38,7</u>	39,8	30	30,3	<u>38,8</u>	

Za ovu debljinu ne postoji TH opcija za mjerenje potrebno rezati 2 x fi provrta od debljine materijala.

### Uzorak B12.1



Slika 4.3.58. Uzorak B12.1 debljine 40 mm s podacima o rezanju

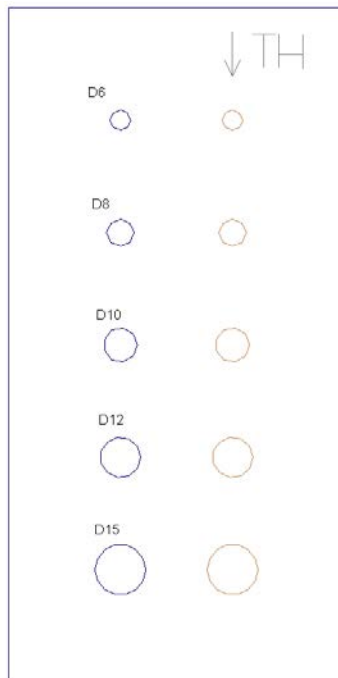


Slika 4.3.59. Uzorak B12.1 debljine 40 mm slikan s gornje i donje strane

**Test C1:**

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 6 mm



Slika 4.3.60. Skica uzorka 6 mm s označenim promjerima

Tablica 4.3.27. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 6 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
C1.1	80	3045

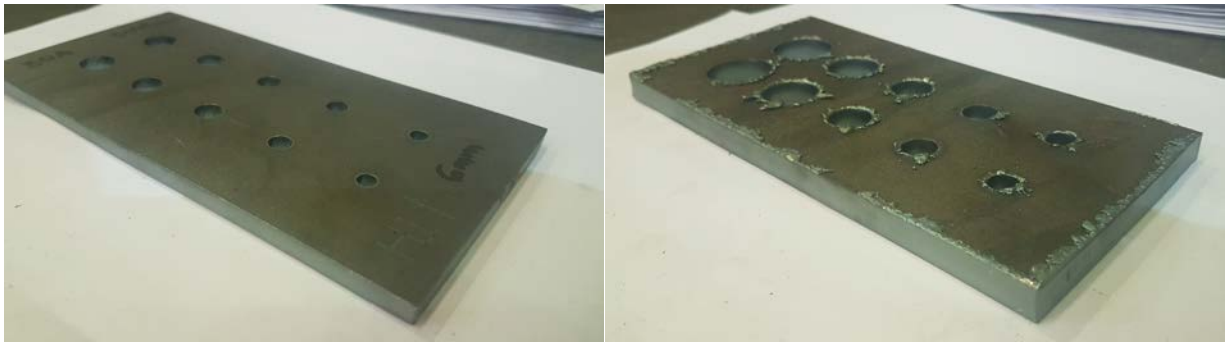
Tablica 4.3.28. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 6 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	A TH	B	B TH	C	C TH	D	D TH	E	E TH
		6 mm	6 mm	8 mm	8 mm	10 mm	10 mm	12 mm	12 mm	15 mm	15 mm
C1.1	gornji	6,2	6,05	8	8	10,15	10,05	12,1	12,1	15,05	15,05
	donji	6,7	6,55	8,75	8,6	10,7	10,35	12,65	12,45	15,6	15,5

## Uzorak C1.1



Slika 4.3.61. Uzorak C1.1 debljine 6 mm s podacima o rezanju

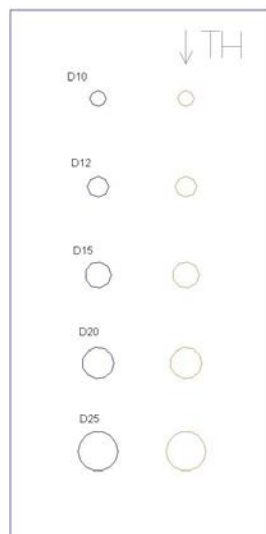


Slika 4.3.62. Uzorak C1.1 debljine 6 mm slika s gornje i donje strane

## Test C2:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 10 mm



Slika 4.3.63. Skica uzorka 10 mm s označenim promjerima

Tablica 4.3.29. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja A	Brzina rezanja mm/min
C2.1	80	1810

Tablica 4.3.30. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 10 mm s gornje i donje strane

UZORAK		A	A TH	B	B TH	C	C TH	D	D TH	E	E TH
		10 mm	10 mm	12 mm	12 mm	15 mm	15 mm	20 mm	20 mm	25 mm	25 mm
C2.1	gornji	10	10	12,05	12,05	14,9	14,95	20	20	25	25
	donji	9,55	9,45	11,55	11,5	15,2	15,2	20,2	20,2	25,5	25,45

### Uzorak C2.1



Slika 4.3.64. Uzorak C2.1 debljine 10 mm



Slika 4.3.65. Uzorak C2.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane

### Test D1:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 10 mm

Tablica 4.3.31. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
D1.1	80	1810

Tablica 4.3.32. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 10 mm

UZORAK		A1	A2	A3	B1	B2	B3
D1.1	gornji	- 44°	45°	44°	44°	44°	- 45°

### Uzorak D1.1



Slika 4.3.66. Uzorak D1.1 debljine 10 mm s podacima o rezanju i oznakama



Slika 4.3.67. Uzorak D1.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama

### Test D2:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)  
 Debljina: 15 mm

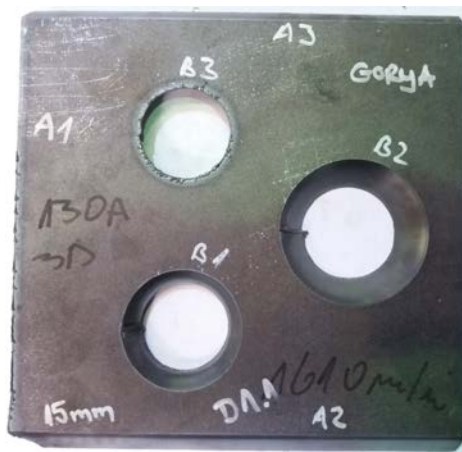
Tablica 4.3.33. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 15 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
D2.1	130	1610

Tablica 4.3.34. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 15 mm

UZORAK		A1	A2	A3	B1	B2	B3
D2.1	gornji	- 44°	43,5°	44°	44°	43,5°	-43,5°

**Uzorak D2.1**



Slika 4.3.68. Uzorak D2.1 debljine 15 mm s podacima o rezanju i oznakama



Slika 4.3.69. Uzorak D2.1 debljine 15 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama

### Test D3:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 20 mm

Tablica 4.3.35. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 20 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
D3.1	200	1575

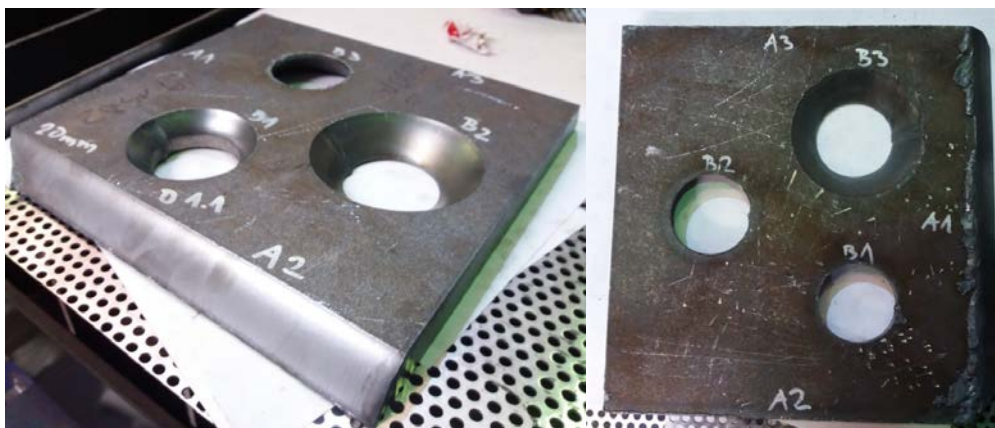
Tablica 4.3.36. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 20 mm

UZORAK		A1	A2	A3	B1	B2	B3
B3.1	Gornji	- 44,5°	44°	44°	44,5°	43,5°	- 44°

### Uzorak D3.1



Slika 4.3.70. Uzorak D3.1 debljine 20 mm s podacima o rezanju i oznakama



Slika 4.3.71. Uzorak D3.1 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama

### Test D4:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Debljina: 30 mm

Tablica 4.3.37. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 30 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
D4.1	400	1790

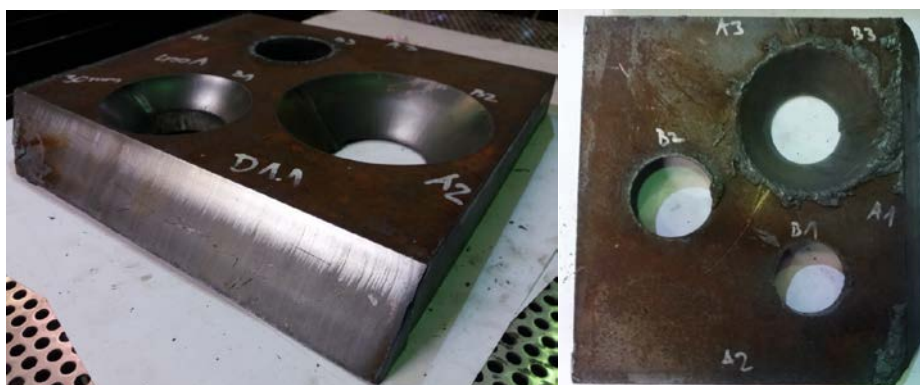
Tablica 4.3.38. Izmjereni stupnjevi na kosini uzorka debljine 30 mm

UZORAK		A1	A2	A3	B1	B2	B3
D4.1	gornji	- 45,5°	45,5°	44°	45°	43,5°	- 44°

### Uzorak D4.1



Slika 4.3.72. Uzorak D4.1 debljine 30 mm s podacima o rezanju i oznakama



Slika 4.3.73. Uzorak D4.2 debljine 30 mm slikana s gornje i donje strane s oznakama



## Test E1:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Cijev: Ø42 mm x 3 mm

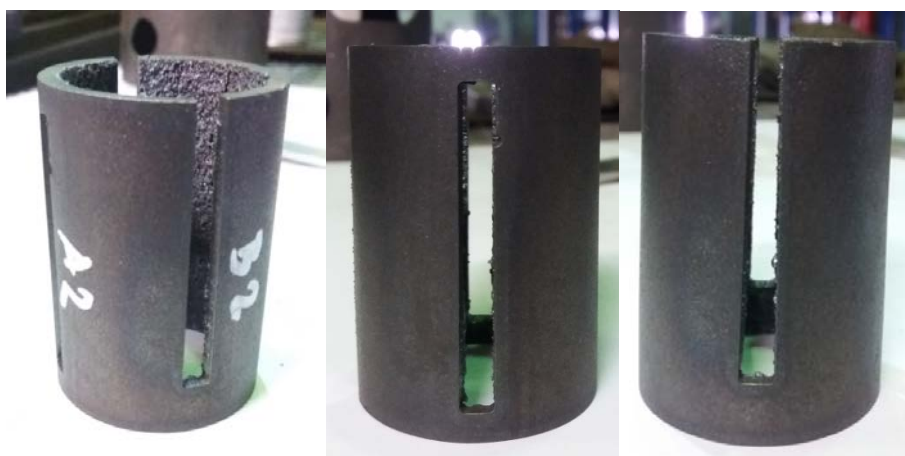
Tablica 4.3.39. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 3 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
E1.1	30	1160

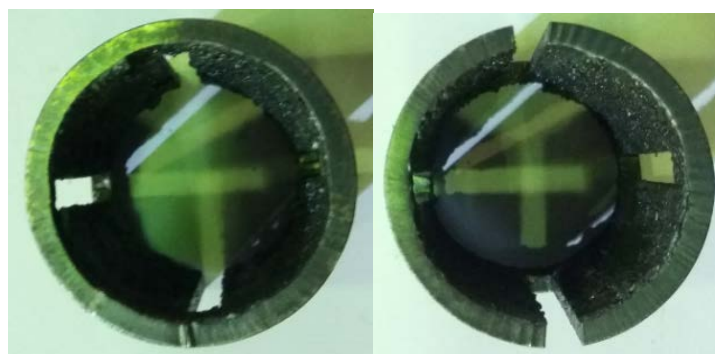
Tablica 4.3.40. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 3 mm

UZORAK		A1	A2	B1	B2
		mm	mm	mm	mm
E1.1	Početak	5,25	5,2	5,1	5,2
	Kraj	5,2	5,2	4,9	4,9

## Uzorak E1.1



Slika 4.3.74. Uzorak E1.1 cijevi debljine stijenke 3 mm s oznakama



Slika 4.3.75. Uzorak E1.1 cijevi debljine stijenke 3 mm slikana s gornje i donje strane

## Test E2:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Cijev: Ø101 mm x 2 mm

Tablica 4.3.41. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 2 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
E2.1	30	1490

Tablica 4.3.42. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 2 mm

UZORAK		A1 mm	A2 mm	A3 mm	A4 mm	B1 mm	B2 mm	C1 mm	C2 mm
E2.1	a	50,15	50,15	50,15	50,15	24,9	24,8	24,9	24,8
	b	49,5	49,9	49,9	49,5				

## Uzorak E2.1



Slika 4.3.76. Uzorak E2.1 cijevi debljine stijenke 2 mm s oznakama

### Test E3:

Materijal: S355J2G3 (ST52-3)

Cijev: Ø419 mm x 20 mm

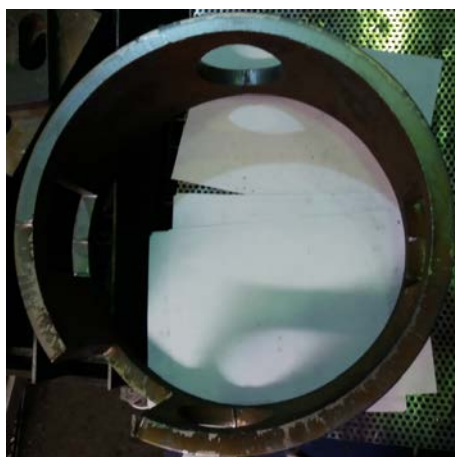
Tablica 4.3.43. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 20 mm

UZORAK	KORIŠTENE VRIJEDNOSTI	
	Jakost struje rezanja	Brzina rezanja
	A	mm/min
E3.1	260	2170

Tablica 4.3.44. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 20 mm

UZORAK		A1 mm	A2 mm	B1 mm	B2 mm
E3.1	a	100,5	100,5	100,5	10,55
	b	101,5	101,5		

### Uzorak E3.1



Slika 4.3.77. Uzorak E3.1 cijevi debljine stijenke 20 mm



Slika 4.3.78. Uzorak E3.1 cijevi debljine stijenke 20 mm slikan s boka

## 5. Rezultat plazma rezanja

U prostorima EKO Međimurja d.d. nakon kvara i popravka stroja Eckert plazma 3D, tip Onyx, odrađena su probna testiranja i rezanja na stroju.

Prilikom samog testiranja provodili su se testovi da se dokažu maksimalne mogućnosti stroja, te su tako rezani minimalni promjeri provrta, minimalni utori, po pojedinoj debljini. Za pojedine debljine koristilo se više tehnologija kako bi se dokazala brzina i kvaliteta reza stroja. Prilikom testiranja stroja korišten je materijal EKO Međimurja d.d.

Za postizanje kvalitete reza ISO rang 4 korištena je ThruHole tehnologija do debljina materijala kod kojih je navedena tehnologija podržana.

Presjek testiranja i rezultata je u tablici niže za Eckert 3d, serijski broj: 1364

U dolje prikazanoj tablici prikazani su rezultati testiranja kvalitete reza kod plazma rezanja. Stupac „OCJENA“ odnosi se na internu ocjenu poduzeća EKO Međimurje d.d., a ima sljedeće značenje:

- **Zadovoljava** – rezultat plazma rezanja zadovoljava zahtijevanu kvalitetu reza.
- **Ne zadovoljava** – rezultat plazma rezanja ne zadovoljava zahtijevanu kvalitetu reza

Tablica 5.1. Rezultati plazma rezanja

TEST 3D				OCJENA	RUPE	KUTNOST
Test A	Provjera kutnosti stoja X, Y osi			Zadovoljava	prema normi HRN EN ISO 9013:2017	
Test B1	S355J2G3 (ST52-3) 3mm	A	mm/min			
	B1.1	30	1160	Zadovoljava	ISO rang 2	ISO rang 2
	B1.2	50	1800	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
Test B2	S355J2G3 (ST52-3) 4mm	A	mm/min			
	B2.1	30	905	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B2.2	50	1400	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 3
Test B3	S355J2G3 (ST52-3) 5mm	A	mm/min			
	B3.1	30	785	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 3
	B3.2	50	1200	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
Test B4	S355J2G3 (ST52-3) 6mm	A	mm/min			
	B4.1	30	665	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B4.2	50	950	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 3
	B4.3	80	3045	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
Test B5	S355J2G3 (ST52-3) 8mm	A	mm/min			
	B5.1	80	2430	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
	B5.2	130	3360	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
Test B6:	S355J2G3(ST52-3) 10mm	A	mm/min			
	B6.1	80	1810	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B6.2	130	2680	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2

Test B7:	S355J2G3(ST52-3) 12mm	A	mm/min			
	B7.1	130	2200	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
	B7.2	200	3061	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
	B7.3	260	3850	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 3
Test B8:	S355J2G3(ST52-3) 20mm	A	mm/min			
	B8.1	130	1050	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B8.2	200	1582	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B8.3	260	2170	Zadovoljava	ISO rang 3	ISO rang 2
	B8.4	400	2805	Zadovoljava	ISO rang 5	ISO rang 2
Test B9:	S355J2G3(ST52-3) 25mm	A	mm/min			
	B9.1	200	1178	<b>Ne zadovoljava</b>	<b>ISO rang 5 nema</b>	ISO rang 2
	B9.2	260	1685	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
	B9.3	400	2210	<b>Ne zadovoljava</b>	<b>ISO rang 5 nema</b>	ISO rang 2
Test B10:	S355J2G3(ST52-3) 30mm	A	mm/min			
	B10.1	260	1283	<b>Ne zadovoljava</b>	<b>ISO rang 5 nema TH</b>	ISO rang 2
	B10.2	400	1790	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
Test B11:	S355J2G3(ST52-3) 35mm	A	mm/min			
	B11.1	400	1430	<b>Ne zadovoljava</b>	<b>ISO rang 5 nema TH</b>	ISO rang 2
Test B12:	S355J2G3(ST52-3) 40mm	A	mm/min			
	B12.1	400	1160	Zadovoljava	ISO rang 4	ISO rang 2
Test C1	S355J2G3 (ST52-3) 6mm	A	mm/min			
	C1.1	80	3045	Zadovoljava	ISO rang 3	
Test C2	S355J2G3(ST52-3) 10mm	A	mm/min			
	C2.1	130	2680	Zadovoljava	ISO rang 3	
Test D1	S355J2G3(ST52-3) 10mm	A	mm/min			
	D1.1	80	1810	Zadovoljava		
Test D2	S355J2G3(ST52-3) 15mm	A	mm/min			
	D2.1	130	1610	Zadovoljava		
Test D3	S355J2G3(ST52-3) 20mm	A	mm/min			
	D3.1	200	1575	Zadovoljava		
Test D4	S355J2G3(ST52-3) 30mm	A	mm/min			
	D4.1	400	1790	Zadovoljava		
Test E1	Cijev: Ø42 x 3	A	mm/min			
	E1.1	30	1160	Zadovoljava		
Test E2	Cijev: Ø101 x 2	A	mm/min			
	E2.1	30	1490	Zadovoljava		
Test E3	Cijev: Ø419 x 20	A	mm/min			
	E3.1	260	2170	Zadovoljava		

## 6. Zaključak

U prvom dijelu rada opisan je sustav kontrole kvalitete i postupci plazma rezanja, njegove inačice te prednosti i nedostaci pojedinih postupaka rezanja. Opisana je i pripadajuća oprema za plazma rezanje te utjecaj parametara na kvalitetu plazma rezanja. Isto tako, objašnjena je i norma HRN EN ISO 9013:2017 prema kojoj se određivala kvaliteta reza.

U praktičnom dijelu rada provedeno je plazma rezanje materijala određenih debljina na plazma sustavu za rezanje Eckert plazma 3D, tip Onyx. Razmatran je utjecaj brzine rezanja na različite debljine materijala, kvaliteta reza na provrtima, kut rezanja te kvaliteta reza na cijevima, a kvaliteta površine reza je klasificirana prema normi HRN EN ISO 9013:2017.

Uvidom u dobivene rezultate plazma rezanja moguće je zaključiti kako kod rezanja materijala pojedinih debljina materijala stroj ne zadovoljava traženu kvalitetu. Kao što se vidi iz tablica dimenzija mjerenih uzoraka u postupku opisanom u praktičnom dijelu ovog rada, javilo se odstupanje od zadanih mjera. Moguće je zaključiti da rad plazma stroja nije u cijelosti zadovoljio kriterije kontrole kvalitete te je nužno dodatno podešavanje stroja od strane proizvođača.

S ciljem poboljšanja kvalitete reza plazma stroja trebalo bi poduzeti sljedeće korake:

- Redovito servisiranje i održavanje plazma rezača.
- Kupnja kvalitetnih zamjenskih dijelova i njihova redovita zamjena.
- Zapošljavanje kvalitetnih, stručnih i educiranih operatera.
- Dobro programiranje programa za rezanje.
- Stručno upravljanje CNC strojem.
- Dobra optimizacija parametara rezanja – brzina rezanja, visina rezanja, jakost struje rezanja, pravilan izbor plinova, kut rezanja i dr.

## 7. Literatura

- [1] HRN EN ISO 9000:2015, Sustavi upravljanja kvalitetom – Temeljna načela i terminološki rječnik (ISO 9000:2015; EN ISO 9000:2015), norma
- [2] J. Mioč: Optimizacija parametara pri rezanju plazmom, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2011.
- [3] Živko Kondić, Leon Maglić, Duško Pavletić, Ivan Samardžić: Kvaliteta 3, knjiga, ISBN: 978-953-6048-84-7, Varaždin, 2018.
- [4] Živko Kondić, Leon Maglić, Duško Pavletić, Ivan Samardžić: Kvaliteta 1, knjiga, ISBN: 978-953-6048-81-6, Varaždin, 2018.
- [5] <https://www.laser-ing.hr/tag/plazma-rezanje/>, posjećeno 03. srpnja 2024.
- [6] HRN EN ISO 9013:2017, Toplinsko rezanje – Kategorizacija toplinskih rezova – Geometrijska specifikacija proizvoda i dopuštena odstupanja kvalitete (HRN EN ISO 9013:2017), norma
- [7] <https://www.eko.hr/>, posjećeno 12. svibnja 2024.
- [8] <https://eckert-cutting.com/>, posjećeno 13. svibnja 2024.
- [9] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kvaliteta>, posjećeno 22. kolovoza 2024.
- [10] <https://aparatzavarenje.com/kako-procijeniti-kvalitetu-plazma-rezanja/>, posjećeno 03. srpnja 2024.
- [11] Tonći Lazibat: Upravljanje kvalitetom, knjiga, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [12] Stoja Rešković i Tin Brlić: Upravljanje kvalitetom, knjiga, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2019.
- [13] HRN EN ISO 9001:2015, Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi (ISO 9001:2015; EN ISO 9001:2015), norma
- [14] HRN EN ISO 14001:2015, Sustavi upravljanja okolišem – Zahtjevi s uputama za uporabu (ISO 14001:2015; EN ISO 14001:2015), norma

## 8. Popis slika

Slika 2.3. Krug kvalitete [3].....	3
Slika 3.2. CNC plazma rezanje [5].....	9
Slika 3.4.1. Sustav strojnog rezanja plazmom [2].....	11
Slika 3.5. a) Izgled plazma reza sa svim parametrima [2].....	13
Slika 3.5. b) Učinak istrošenosti sapnice na površinu koja se reže te na pojavu srha [2].....	15
Slika 3.11.2. a) Pojmovi koji se odnose na proces rezanja izratka [6].....	23
Slika 3.11.2. b) Pojmovi na izrezanom radnom komadu [6].....	24
Slika 3.11.2.1. Definicija raspona mjerenja za tolerancije okomitosti ili kutnosti [6].....	24
Slika 3.11.3. a) Tolerancija okomitosti ili kutnosti, u – debljine radnog komada do 30 mm [6].....	26
Slika 3.11.3. b) Tolerancija okomitosti ili kutnosti, u – debljine radnog komada do 150 mm [6].....	26
Slika 4.2. a) Shematski prikaz stroja - tlocrt [8].....	28
Slika 4.2. b) Slika stroja [8].....	29
Slika 4.3.1. Razlika reza korištenjem True Hole tehnologije i bez True Hole tehnologije [8].....	30
Slika 4.3.2. Skica s kotama i oznakama mjerenog uzorka.....	31
Slika 4.3.3. Skica mjerenog uzorka za ispitivanje kutnosti.....	33
Slika 4.3.4. Rezultati mjerenja uzorka debljine 8mm s gornje strane.....	33
Slika 4.3.5. Rezultati mjerenja uzorka debljine 8mm s donje strane.....	33
Slika 4.3.6. Uzorak B1.1 debljine 3 mm s podacima o rezanju.....	34
Slika 4.3.7. Uzorak B1.1 debljine 3 mm slikan s gornje i donje strane.....	34
Slika 4.3.8. Uzorak B1.2 debljine 3 mm s podacima o rezanju.....	35
Slika 4.3.9. Uzorak B1.2 debljine 3 mm slikan s gornje i donje strane.....	35
Slika 4.3.10. Uzorak B2.1 debljine 4 mm s podacima o rezanju.....	36
Slika 4.3.11. Uzorak B2.1 debljine 4 mm slikan s gornje i donje strane.....	36
Slika 4.3.12. Uzorak B2.2 debljine 4 mm s podacima o rezanju.....	36
Slika 4.3.13. Uzorak B2.2 debljine 4 mm slikan s gornje i donje strane.....	36
Slika 4.3.14. Uzorak B3.1 debljine 5 mm s podacima o rezanju.....	37
Slika 4.3.15. Uzorak B3.1 debljine 5 mm slikan s gornje i donje strane.....	37
Slika 4.3.16. Uzorak B3.2 debljine 5 mm s podacima o rezanju.....	38
Slika 4.3.17. Uzorak B3.2 debljine 5 mm slikan s gornje i donje strane.....	38
Slika 4.3.18. Uzorak B4.1 debljine 6 mm s podacima o rezanju.....	39
Slika 4.3.19. Uzorak B4.1 debljine 6 mm slikan s gornje i donje strane.....	39
Slika 4.3.20. Uzorak B4.2 debljine 6 mm s podacima o rezanju.....	39



Slika 4.3.21. Uzorak B4.2 debljine 6 mm slikan s gornje i donje strane.....	39
Slika 4.3.22. Uzorak B4.3 debljine 6 mm s podacima o rezanju.....	40
Slika 4.3.23. Uzorak B4.3 debljine 6 mm slikan s gornje i donje strane.....	40
Slika 4.3.24. Uzorak B5.1 debljine 8 mm s podacima o rezanju.....	41
Slika 4.3.25. Uzorak B5.1 debljine 8 mm slikan s gornje i donje strane.....	41
Slika 4.3.26. Uzorak B5.2 debljine 8 mm s podacima o rezanju.....	41
Slika 4.3.27. Uzorak B5.2 debljine 8 mm slikan s gornje i donje strane.....	41
Slika 4.3.28. Uzorak B6.1 debljine 10 mm s podacima o rezanju.....	42
Slika 4.3.29. Uzorak B6.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane.....	42
Slika 4.3.30. Uzorak B6.2 debljine 10 mm s podacima o rezanju.....	43
Slika 4.3.31. Uzorak B6.2 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane.....	43
Slika 4.3.32. Uzorak B7.1 debljine 12 mm s podacima o rezanju.....	44
Slika 4.3.33. Uzorak B7.1 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane.....	44
Slika 4.3.34. Uzorak B7.2 debljine 12 mm s podacima o rezanju.....	45
Slika 4.3.35. Uzorak B7.2 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane.....	45
Slika 4.3.36. Uzorak B7.3 debljine 12 mm s podacima o rezanju.....	45
Slika 4.3.37. Uzorak B7.3 debljine 12 mm slikan s gornje i donje strane.....	45
Slika 4.3.38. Uzorak B8.1 debljine 20 mm s podacima o rezanju.....	47
Slika 4.3.39. Uzorak B8.1 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane.....	47
Slika 4.3.40. Uzorak B8.2 debljine 20 mm s podacima o rezanju.....	47
Slika 4.3.41. Uzorak B8.2 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane.....	47
Slika 4.3.42. Uzorak B8.3 debljine 20 mm s podacima o rezanju.....	48
Slika 4.3.43. Uzorak B8.3 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane.....	48
Slika 4.3.44. Uzorak B8.4 debljine 20 mm s podacima o rezanju.....	48
Slika 4.3.45. Uzorak B8.4 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane.....	48
Slika 4.3.46. Uzorak B9.1 debljine 25 mm s podacima o rezanju.....	50
Slika 4.3.47. Uzorak B9.1 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane.....	50
Slika 4.3.48. Uzorak B9.2 debljine 25 mm s podacima o rezanju.....	50
Slika 4.3.49. Uzorak B9.2 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane.....	50
Slika 4.3.50. Uzorak B9.3 debljine 25 mm s podacima o rezanju.....	51
Slika 4.3.51. Uzorak B9.3 debljine 25 mm slikan s gornje i donje strane.....	51
Slika 4.3.52. Uzorak B10.1 debljine 30 mm s podacima o rezanju.....	52
Slika 4.3.53. Uzorak B10.1 debljine 30 mm slikan s gornje i donje strane.....	52
Slika 4.3.54. Uzorak B10.2 debljine 30 mm s podacima o rezanju.....	52

Slika 4.3.55. Uzorak B10.2 debljine 30 mm slikan s gornje i donje strane.....	52
Slika 4.3.56. Uzorak B11.1 debljine 35 mm s podacima o rezanju.....	53
Slika 4.3.57. Uzorak B11.1 debljine 35 mm slikan s gornje i donje strane.....	53
Slika 4.3.58. Uzorak B12.1 debljine 40 mm s podacima o rezanju.....	54
Slika 4.3.59. Uzorak B12.1 debljine 40 mm slikan s gornje i donje strane.....	54
Slika 4.3.60. Skica uzorka 6 mm s označenim promjerima.....	55
Slika 4.3.61. Uzorak C1.1 debljine 6 mm s podacima o rezanju.....	56
Slika 4.3.62. Uzorak C1.1 debljine 6 mm slikan s gornje i donje strane.....	56
Slika 4.3.63. Skica uzorka 10 mm s označenim promjerima.....	56
Slika 4.3.64. Uzorak C2.1 debljine 10 mm.....	57
Slika 4.3.65. Uzorak C2.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane.....	57
Slika 4.3.66. Uzorak D1.1 debljine 10 mm s podacima o rezanju i oznakama.....	58
Slika 4.3.67. Uzorak D1.1 debljine 10 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama.....	58
Slika 4.3.68. Uzorak D2.1 debljine 15 mm s podacima o rezanju i oznakama.....	59
Slika 4.3.69. Uzorak D2.1 debljine 15 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama.....	59
Slika 4.3.70. Uzorak D3.1 debljine 20 mm s podacima o rezanju i oznakama.....	60
Slika 4.3.71. Uzorak D3.1 debljine 20 mm slikan s gornje i donje strane s oznakama.....	60
Slika 4.3.72. Uzorak D4.1 debljine 30 mm s podacima o rezanju i oznakama.....	61
Slika 4.3.73. Uzorak D4.2 debljine 30 mm slikana s gornje i donje strane s oznakama.....	61
Slika 4.3.74. Uzorak E1.1 cijevi debljine stijenke 3 mm s oznakama.....	62
Slika 4.3.75. Uzorak E1.1 cijevi debljine stijenke 3 mm slikana s gornje i donje strane.....	62
Slika 4.3.76. Uzorak E2.1 cijevi debljine stijenke 2 mm s oznakama.....	63
Slika 4.3.77. Uzorak E3.1 cijevi debljine stijenke 20 mm.....	64
Slika 4.3.78. Uzorak E3.1 cijevi debljine stijenke 20 mm slikan s boka.....	64

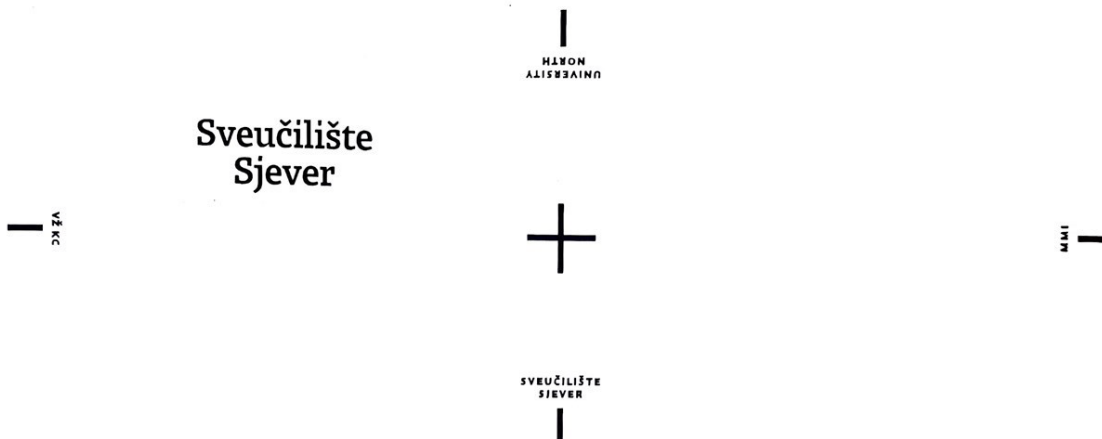
## 9. Popis tablica

Tablica 3.11.2. Dimenzije za $\Delta a$ [6].....	25
Tablica 3.11.3. Rasponi tolerancija okomitosti ili kutnosti, u [6].....	26
Tablica 4.3.1. True Hole procesi kod reza okomitog na ploču.....	30
Tablica 4.3.2. True Hole procesi kod reza pod kutom u odnosu na ploču.....	30
Tablica 4.3.3. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 3 mm.....	34
Tablica 4.3.4. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 3 mm s gornje i donje strane.....	34
Tablica 4.3.5. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 4 mm.....	35
Tablica 4.3.6. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 4 mm s gornje i donje strane.....	35
Tablica 4.3.7. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 5 mm.....	37
Tablica 4.3.8. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 5 mm s gornje i donje strane.....	37
Tablica 4.3.9. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 6 mm.....	38
Tablica 4.3.10. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 6 mm s gornje i donje strane.....	38
Tablica 4.3.11. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 8 mm.....	40
Tablica 4.3.12. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 8 mm s gornje i donje strane.....	40
Tablica 4.3.13. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm.....	42
Tablica 4.3.14. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 10 mm s gornje i donje strane.....	42
Tablica 4.3.15. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 12 mm.....	43
Tablica 4.3.16. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 12 mm s gornje i donje strane.....	44
Tablica 4.3.17. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 20 mm.....	46
Tablica 4.3.18. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 20 mm s gornje i donje strane.....	46
Tablica 4.3.19. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 25 mm.....	49
Tablica 4.3.20. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 25 mm s gornje i donje strane.....	49
Tablica 4.3.21. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 30 mm.....	51
Tablica 4.3.22. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 30 mm s gornje i donje strane.....	51
Tablica 4.3.23. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 35 mm.....	53
Tablica 4.3.24. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 35 mm s gornje i donje strane.....	53
Tablica 4.3.25. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 40 mm.....	54
Tablica 4.3.26. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 40 mm s gornje i donje strane.....	54
Tablica 4.3.27. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 6 mm.....	55
Tablica 4.3.28. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 6 mm s gornje i donje strane.....	55
Tablica 4.3.29. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm.....	57
Tablica 4.3.30. Izmjerene vrijednosti uzorka debljine 10 mm s gornje i donje strane.....	57

Tablica 4.3.31. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 10 mm.....	58
Tablica 4.3.32. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 10 mm.....	58
Tablica 4.3.33. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 15 mm.....	59
Tablica 4.3.34. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 15 mm.....	59
Tablica 4.3.35. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 20 mm.....	60
Tablica 4.3.36. Izmjereni stupnjevi kosine uzorka debljine 20 mm.....	60
Tablica 4.3.37. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak debljine 30 mm.....	61
Tablica 4.3.38. Izmjereni stupnjevi na kosini uzorka debljine 30 mm.....	61
Tablica 4.3.39. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 3 mm....	62
Tablica 4.3.40. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 3 mm.....	62
Tablica 4.3.41. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 2 mm....	63
Tablica 4.3.42. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 2 mm.....	63
Tablica 4.3.43. Jakost struje i brzina rezanja za mjereni uzorak cijevi debljine stijenke 20 mm...	64
Tablica 4.3.44. Izmjerene vrijednosti uzorka cijevi debljine stijenke 20 mm.....	64
Tablica 5.1. Rezultati plazma rezanja.....	65

## 10. Prilozi

### 10.1. Izjava o autorstvu i suglasnost za javnu objavu



#### IZJAVA O AUTORSTVU

I

#### SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, PAVAO KRIŽAJ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE U POSTUPcima PLAZMA REZANJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Pavao Križaj  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, PAVAO KRIŽAJ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE U POSTUPcima PLAZMA REZANJA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Pavao Križaj  
(vlastoručni potpis)

## 10.2. CD