

# UTJECAJ TEHNOLOGIJE NAVARIVANJA NA KVALITETU LEMEŠA

---

**Mazalović, Robert**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Slavonski Brod / Sveučilište u Slavonskom Brodu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:262:976316>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-21**



*Repository / Repozitorij:*

[repository.unisb.hr](https://repository.unisb.hr) - The digital repository is a digital collection of works by the University of Slavonski Brod.



SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU

**STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU**

# **DIPLOMSKI RAD**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Robert Mazalović**

0152209574

Slavonski Brod, 2024.

SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU

**STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU**

# **DIPLOMSKI RAD**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Robert Mazalović**

0152209574

Mentor diplomskog rada:

**Prof. dr. sc. Ivan Samardžić**

Slavonski Brod, 2024.

# I. AUTOR

Ime i Prezime: Robert Mazalović

Mjesto i datum rođenja: Vinkovci, 14.11.1998.

Adresa: Vladimira Nazora 34, Gunja

## STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

# II. DIPLOMSKI RAD

Naslov: Utjecaj tehnologije navarivanja na kvalitetu raonika

Naslov na engleskom jeziku: Influence of welding technology on quality of plowshares

Ključne riječi: raonik, materijal, tehnologija navarivanja, trošenje

Key words: plowshares, welding technology, expenditure, material

Broj stranica: 36 Slika: 31 Tablica: 8 Priloga: 0 Bibliografski izvora: 13

Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen: STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

Stečen akademski naziv: **Sveučilišni magistar inženjer Strojarsstva**

Mentor rada: **Prof. dr. sc. Ivan Samardžić**

Obranjeno na **Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu**

dana 06.09.2024

Oznaka i redni broj rada: SFSB-DSS-DD/2024

SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Slavonski Brod, 10. siječnja 2024.

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 2023-2024

Pristupnik: **Robert Mazalović (0152209574)**  
Studij: Strojstvo  
Smjer: Strojarske tehnologije

Zadatak: **UTJECAJ TEHNOLOGIJE NAVARIVANJA NA KVALITETU LEMEŠA**

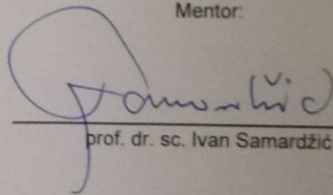
Opis zadatka:

1. UVOD. OPĆENITO O LEMEŠIMA (MATERIJAL IZRADE, TEHNOLOGIJA, PRIMJENA).
2. TROŠENJE LEMEŠA I UTJECAJ VRSTE TLA NA TROŠENJE.
3. ANALIZA PRIMJENE RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA LEMEŠA U CILJU PRODUŽENJA EKSPLOATACIJSKOG VIJEKA ISTOG.
4. ANALIZA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA LEMEŠA (KONTROLA KVALITETE, KONTROLA TROŠENJA NAVARENIH I ZORAKA).
5. ZAKLJUČAK.

Zadatak uručen pristupniku: 10. siječnja 2024.

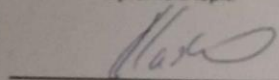
Rok za predaju rada: 10. srpnja 2024.

Mentor:

  
prof. dr. sc. Ivan Samardžić



Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

  
prof. dr. sc. Ivica Kladarić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem, literaturom i provedenim eksperimentima. Zahvaljujem se profesoru Ivanu Samardžić na strpljenu i savjetima u izradi diplomskog rada, te se zahvaljujem profesoru Dejanu Marić na pomoći i organiziranju ispitivanja.

*Nikola Samardžić*

## SAŽETAK

Prilikom obrade zemlje jedna od najbitnijih i najstarijih operacija je okretanje zemlje. Koje se obavlja uz pomoć radnog stroja zvanog plug. Njegova funkcija je da okrene zemlju te da zatrpava žetvene ostatke te restrese zemlju. Plug se sastoji od više dijelova: nosećeg tijela- koje je zaslužno da se radni stroj može prikopčati za traktor te se tim putem može transportirati do željne površine za obradu. Glava pluga je zaslužna za nošenje radnog dijela pluga koji se sastoje od daske pluga i raonika. Daska pluga treba zemlju koja je odvojene od drugog sloja preuzeti te ju okrenuti tako da se žetveni ostatci zatrpaju i ubrza process raspadanja. Raonik pluga je najbitnij dio cijelog pluga, njegova osnovna funkcija je da odvaja zemlju, jedan sloj od drugoga. U ovome diplomskom radu će se obraditi tema utjecaja tehnologije zavarivanja na svojstva raonika, na koji način možemo produjiti vijek trajanja raonika, koje su prednosti i mane ove tehnologije, te na temelju tih rezultata doći do rješenja kako da povećamo učinkovitost i isplativost.

Ključne riječi: raonik, materijal, tehnologija navarivanja, trošenje

## **ABSTRACT**

When cultivating the soil, one of the most important and oldest operations is turning the soil. Which is done with the help of a working machine called a plow. Its function is to turn the soil and to bury the harvest residues and to loosen the soil. The plow consists of several parts: the supporting body - which is responsible for the fact that the working machine can be attached to the tractor and thus can be transported to the desired surface for processing. The plow head is responsible for carrying the working part of the plow, which consists of the plow board and the coulters. The plow board needs to pick up the soil that is separated from the second layer and turn it over so that the harvest remains are buried and the decomposition process is accelerated. The ploughshare is the most important part of the entire plow, its basic function is to separate the soil, one layer from another. This thesis will deal with the topic of the influence of welding technology on the properties of the ploughshare, how we can extend the life of the ploughshare, what are the advantages and disadvantages of this technology, and based on these results, come to a solution on how to increase efficiency and profitability.

Key words: plowshares, welding technology, expenditure, material



# SADRŽAJ

1 UVOD.....	1
1.1 RAD PLUGA.....	2
1.2 OPĆENITO O RAONICIMA.....	2
1.3 Vrste raonika.....	4
2 TROŠENJE RAONIKA I UTJECAJ VRSTE TLA NA TROŠENJE .....	6
2.1 UTJECAJ TLA NA TROŠENJE RAONIKA .....	7
2.1.1 TEKSTURA TLA.....	7
2.1.2 STRUKTURA TLA .....	7
2.1.3 VLAŽNOST TLA.....	8
2.2 RAZLIKA IZMEĐU NOVIH I NAVARENIH RAONIKA.....	8
2.3 ANALIZA PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I NJIHOVA ZNAČAJNOST .....	9
3 ANALIZA PRIMJENE RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA RAONIKA U CILJU PRODULJENJA EKSPLOATACIJSKOG VIJEKA ISTOG.....	11
3.1 TEHNOLOGIJE NAVARIVANJA.....	11
3.1.1 Navarivanje (SMAW, GMAW, FCAW) .....	11
3.1.2 GMAW (Gas Metal Arc Welding) .....	12
3.1.3 FCAW (Flux-Cored Arc Welding) .....	14
3.1.4 Plazma navarivanje (PAW) .....	15
3.1.5 TIG navarivanje (GTAW).....	16
3.1.6 Laser navarivanje .....	17
3.1.7 Termičko prskanje.....	19
3.1.8 Materijali za Navarivanje.....	20
3.1.9 Prednosti i Nedostaci Tehnologija .....	21
3.1.10 Primjene i Rezultati .....	22
4. ANALIZA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA RAONIKA.....	23
4.1.1 NOVI RAONICI .....	23
4.1.1 IZREZIVANJE UZORKA ZA PROVODENJE TESTIRANJA.....	25
4.1.2 POTROŠENI RAONICI.....	28
4.1.3 POTROŠENI SAVIJENI RAONIK.....	29
4.1.4 NAVARENI RAONIK.....	30
4.1.5 NAVARENI RAONICI.....	31

4.1.5.1 NOVI RAONIK .....	31
4.1.5.2 POTROŠENI RAONIK.....	33
5 ZAKLJUČAK .....	36

## 1 UVOD

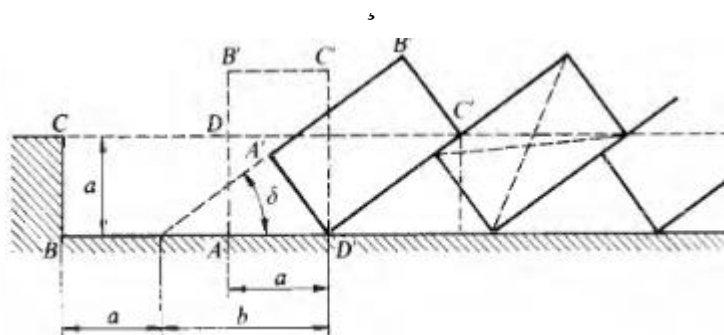
Iako je činjenica da je na tržištu plugova zabilježen sveukupan pad potražnje i prodaje, plug i dalje ostaje dominantno oruđe za osnovnu obradu tla. Prilikom rada pluga dolazi do trošenja radnih elemenata, ponajviše raonika, što je najviše izraženo kod oranja zemlji koja sadrže visoku količinu pijeska. Dijelovi raonika koji se najviše troše su vrh i oštrica, a trošenjem navednih dijelova dolazi do zatupljenja i promjene geometrije oštrice, stoga tijekom oranja zatupljenje ili potrošene raonike treba na neki način vratiti u prvo bitno stanje, bilo da je zamjenom novim raonicima ili nakivanjem starih. Zastoji zbog oštrenja, iskivanja ili zamjene raonika povećavaju troškove i smanjuju produktivnost, a uzrokuju poteškoće vezane za organizaciju rada u sezoni poljoprivrednih radova. Jedno od rješenja koje je moguće primjeniti je poboljšanje kakvoće raonika putem tehnologije navarivanja tvrdih metala otpornih na trošenje na vrh i ošticu lemeša. [1]



Slika 1.1 Prikaz pluga

## 1.1 RAD PLUGA

Rad raonog pluga zasniva se na okretanju plastice koju je horizontalno odsijekao raonik, a vertikalno crtalo ili ivica plužne daske ako nije postavljeno crtalo. Odsečena plastica klizi po površini raonika i plužne daske, pri čemu se ona podiže sve dok ne nalegne na već prevrnutu plastiku i dok se ne osloni na dno brazde. Pri tom se plastika si mi i rastresa, što joj povećava zapreminu najmanje za 30%. Zapremina teških zemljišta može se povećati i za 50%. Prevrnuta plastika sa dnom brazde zatvara ugao od 40—50°, već prema širini radnog zahvata i dubini oranja. Čistoća brazde zavisi od brzine pluga i oblika plužnog tijela. Brazda je čistija kad je veća radna brzina i kad je veći ugao rezanja. Brazda mora biti čista i dovoljno široka da točkovi traktora u narednom proходу ne bi sabijali zemljište. Širina gume na točku treba da bude za 2,5 -3 cm uža od brazde. [2]



Slika 1.2 Prikaz geometrije pluga [2]

## 1.2 OPĆENITO O RAONICIMA

Raonici se izrađuju od materijala C45 (AISI 1045). To je čelik kategorije srednje-visokouglični čelika, garantiranog kemijskog sastava. Poznat je po svojim izvrsnim svojstvima čvrstoće i tvrdoće. Ovu vrstu čelika se koristi gdje su potrebni čvrstoća i žilavost, kao što su zupčanci, koljenasta vratila i drugi dijelovi strojeva, kao i automobilske komponente do poljoprivredne opreme. Čelik AISI1045 ima dobra svojstva zavarljivosti i obradivosti. Može se toplinski obrađivati različitim metodama kako bi se postigle različite tvrdoće i ima dobre karakteristike zavarivanja kada se predhodno zagrije prije zavarivanja kako bi se spriječilo

pojavljivanje pukotina. Može se toplinski obrađivati i kaliti za veću čvrstoću, a također se lako obrađuje strojno i kovati. Široko se koristi u proizvodnji raznih strojnih dijelova. Može se isporučiti kao vruće valjane šipke, hladno vučene šipke, kovani ili normalizirani dijelovi te kaljene i poboljšanje komponente.

Tablica 1.1 *Prikaz kemijskog sastava čelika C45*

Kemijski sastav / %	
Ugljik	0,43 - 0,50
Mangan	0,60 - 0,90
Fosfor	0,04
Sumpor	0,05
Silicij	0,15 - 0,35

Mehanička svojstva čelika su dobra te su navedena u tablici dolje.

Tablica 1.2 *Prikaz mehanički svojstava čelika C45*

Mehanička svojstva	Vrijednost
Vlačna čvrstoća	565 MPa
Čvrstoća popuštanja	310 MPa
Elongacija	Minimalno 16%
Smanjenje površine	40%
Tvrdoća (Brinell)	163 HB

AISI 1045 može se lako obrađivati tradicionalnim metodama kao što su tokarenje bušenje brušenje, narezivanje navoja, glodanje. Srednje ugljični čelik koji se relativno lako obrađuje. Može se obrađivati u žarenim i normaliziranim uvjetima, iako je poželjna strojna obrada u normaliziranim uvjetima. Posjeduje dobru zavarljivost i može se zavarivati REL, TIG, MIG i drugim konvencionalnim postupcima zavarivanja. Zbog visokog sadržaja ugljika, treba primijeniti temperaturu predgrijavanja od oko 200 - 300 °C kako bi se izbjegli problemi sa pucanjem. Toplinska obrada čelika nakon zavarivanja provodi se na temperaturi od 550 - 660 °C. Za kaljeni i poboljšani čelik, PWHT temperatura mora biti niža od temperature kaljenja. Toplinska obrada moguća je normalizacijom žarenjem, kaljenjem i popuštanjem. Normalizacija se sastoji od zarijavanja čelika iznad njegove kritične temperature prije hlađenja u mirnom zraku na sobnoj

temperaturi. To rezultira poboljšanom obradivošću i duktilnošću materijala. Žarenje uključuje zagrijavanje čelika ispod njegove kritične temperature, a zatim ga se polagano hladi u peći za poboljšanje mekoće, tvrdoće ili rastezljivosti. Kaljenje se sastoji od kaljenja čelika u ulju ili vodi nakon zagrijavanja iznad njegove kritične točke za veću čvrstoću, ali manju rastezljivost što ga čini prikladnijim za primjene kao što su ležajevi ili zupčanci. Preporučena temperatura kaljenja je 820 - 850 °C, a preporučeni mediji za kaljenje je ulje. Čelik treba držati na željenoj temperaturi kaljenje najmanje jedan sat za svaki inč debljine. Također se koristi za izradu teških strojeva poput platformi za bušenje, naftnih platformi i rudarske opreme. [3]



Slika 1.3 Prikaz početnog stanja čelika C45 [3]

### 1.3 Vrste raonika

Raonik „A“ predstavlja klasičan pristup održavanju oštrice putem otkivanja. Ovaj tradicionalni metod zahtijeva skidanje raonika, zagrijavanje u kovačkoj vatri te obnovu oštrice iskivanjem. Ponovno oblikovanje raonika u prvobitni oblik zahtijeva upotrebu specijalnih modela.

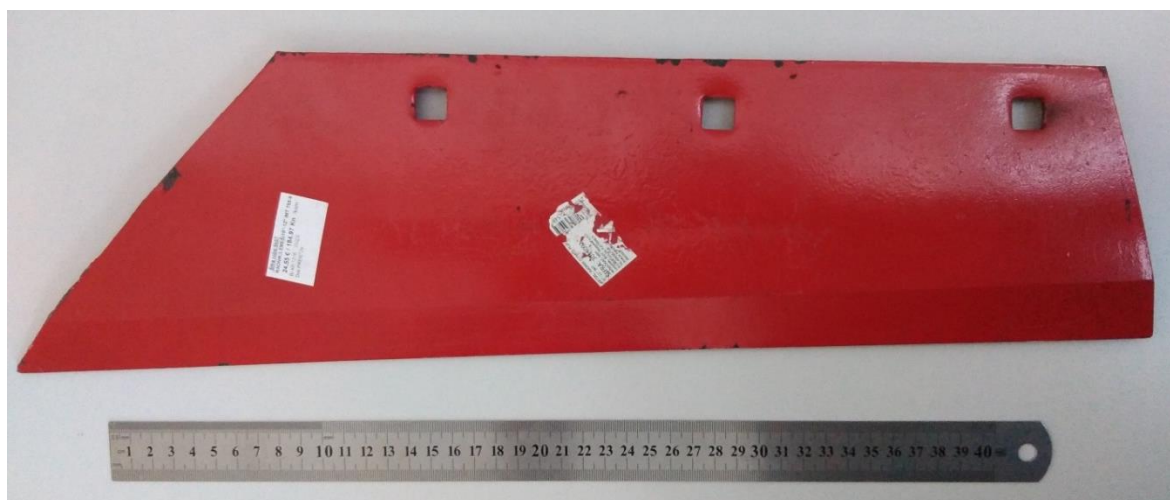


Slika 1.4 Prikaz raonika [1]

Nedostatak ovog postupka je dugotrajnost procesa, što dovodi do gubitka operativnog vremena i privremenog prestanka rada uređaja. Kako bi se izbjegli zastoji, često se koristi više setova raonika, što značajno povećava troškove. S porastom gospodarstava, korištenje plugova s više pluznih tijela postaje uobičajeno, što dodatno naglašava organizacijska i ekonomska ograničenja ovog tradicionalnog pristupa. Kao rezultat, razvijeni su raonici „B“ i „C“ kako bi se riješili navedeni nedostaci. Raonik „B“ je danas najčešće korišten, s navarenim slojem tvrdog metala na mjestima koja su izložena najvećem abrazivnom trošenju, poput oštrice i vrha lemeša. Iako je proizvodnja ovog tipa lemeša skuplja, cijena je opravdana jer su troškovi rada znatno niži. Prednosti uporabe navarenih lemeša uključuju: neovisnost o održavanju tijekom eksploatacije, dugi radni vijek oštrice koji može biti do pet puta duži nego kod otkivanog raonika, te brzu zamjenu neispravnog raonika izvan radne zone. Raonik „C“ je termički obrađen, često površinskim kaljenjem s dodatnim difuzijama bora ili mangana u površinski sloj. Ova vrsta raonika također ne zahtijeva održavanje, jer se zamjenjuje novim kad dođe do prekomjernog trošenja oštrice. Lemeši „B“ i „C“ često se nazivaju i samooštreći raonici zbog konstrukcije oštrice koja omogućuje efekt samooštrenja prilikom eksploatacije, što pridonosi dugotrajnosti i efikasnosti u radu. [1]

## 2 TROŠENJE RAONIKA I UTJECAJ VRSTE TLA NA TROŠENJE

Raonik na pluznom tijelu formira donju i postranu povijenost. Donja povijenost omogućava bolje prodiranje raonika u zemljište, a postrana omogućuje bolje podsecanje zemljišta i korova. Obe povijenosti utječu na kvalitet rada i stabilnost pluga. Zato je potrebno blagovremeno zamijeniti raonik poslje istrošenog vrha. Oštrica raonika treba da bude debela ~ 1 mm. Svako zadebljanje povećava otpor za 5 - 7 % po milimetru debljine. Osim toga, plug gubi stabilnost, povećava se potrošnja goriva, smanjuje se radna brzina i učinak. Oštrica se održava kovanjem i samooštrenjem. Pre iskivanja oštrica raonika se zagreva na temperaturu od 900 - 950 °C, zatim se kali na 820 °C po dužini oštrice u širini od 30 - 40 mm i popušta na temperaturi od 300 °C. Samooštreći raonici izrađuju se od dva metalna sloja (mekšeg i tvrđeg). Mekši se nalazi sa gornje strane raonika i troši se u radnom procesu, što utiče na održavanje oštrice. Veoma tanki raonici se ne oštire već se zamjenjuju novima. [2]



Slika 2.1 Prikaz novoga raonika

Trošenjem raonika dolazi do stanjivanja radne površine i pojava deformacija. Smanjenjem radne površine i zatupljivanjem dolazi do promijene geometrije oštrice i povećanja trenja između pluga i zemlje, što za rezultat daje lošiju kvalitetu obrade zemlje te veću potrošnju goriva. U poljoprivredi je jedan od bitnih faktora isplativost, ako se gubi više nego što je optimalno vremena na zastoje zbog ne pravovremenog održavanja gubi se efikasnost. Posljedica toga je kašnenje sa kao što su druge obrada, kašnenje sijetve, zaoravanje žetveni ostataka, omogućavanje raspadanja biljnih ostataka.





Slika 2.2 Prikaz potrošenog raonika

## 2.1 UTJECAJ TLA NA TROŠENJE RAONIKA

Utjecaj tla na trošenje raonika je kompleksan i ovisi o mnogim čimbenicima kao što su tip tla, vlažnost, prisutnost abrazivnih čestica i agronomske prakse

### 2.1.1 TEKSTURA TLA

Tekstura tla, koja se odnosi na relativni udio pijeska, mulja i gline, ima značajan utjecaj na trošenje raonika. Pješčana tla, zbog većeg udjela grubih čestica, uzrokuju veće abrazivno trošenje. Pijesak djeluje poput brusnog papira, ubrzavajući trošenje metalnih dijelova raonika. S druge strane, glinasta tla su manje abrazivna, ali mogu uzrokovati veće trenje zbog svoje ljepljive prirode, što također može utjecati na trošenje.

### 2.1.2 STRUKTURA TLA

Struktura tla odnosi se na način na koji su čestice tla međusobno povezane u agregate. Dobra struktura tla s velikim, stabilnim agregatima može smanjiti trošenje raonika jer omogućuje lakše prodiranje i smanjenje trenja. Loša struktura, s lomljivim i sitnim agregatima, može povećati abrazivnost tla.

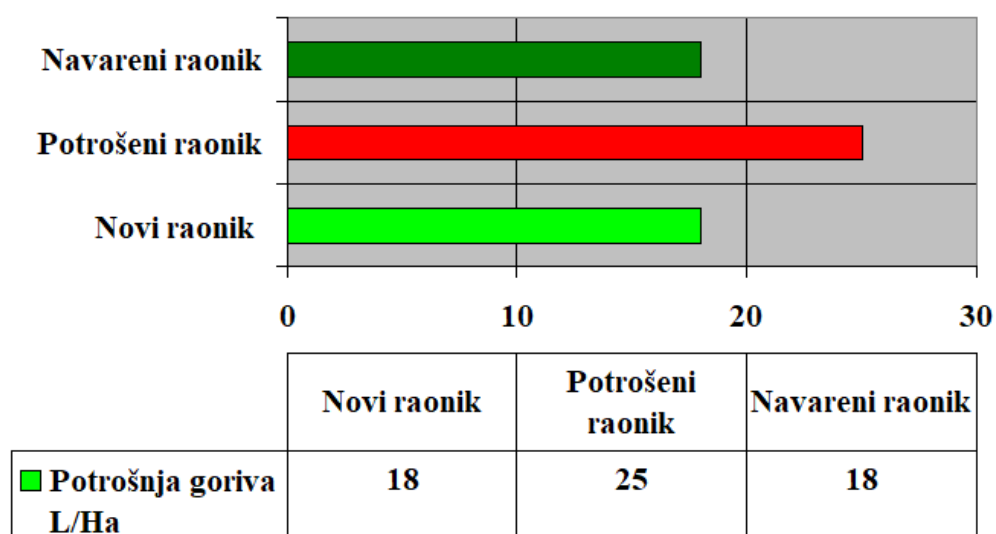
### 2.1.3 VLAŽNOST TLA

Prisutnost abrazivnih čestica poput kvarca, oksida željeza i drugih minerala značajno povećava trošenje raonika. Kvarc, koji je jedan od najtvrdih minerala, posebno je štetan jer njegova tvrdoća može brzo oštetiti metalne površine raonika. Stoga je prisutnost kvarca u tlu jedan od glavnih čimbenika koji ubrzavaju abrazivno trošenje.

Utjecaj tla na trošenje raonika je složen problem koji zahtijeva multidisciplinarni pristup. Razumijevanje svojstava tla, prisutnosti abrazivnih čestica i agronomskih praksi ključno je za razvoj strategija koje mogu smanjiti trošenje raonika. Korištenje kvalitetnih materijala, zaštitnih premaza, redovitog održavanja i optimizacije agronomskih praksi može značajno smanjiti trošenje raonika i time povećati učinkovitost i ekonomičnost poljoprivredne proizvodnje. Daljnja istraživanja i inovacije u materijalima i tehnologijama mogu dodatno poboljšati otpornost raonika na trošenje, čineći poljoprivredne strojeve još učinkovitijima i dugotrajnijima.

### 2.2 RAZLIKA IZMEĐU NOVIH I NAVARENIH RAONIKA

Novi raonici koji imaju pravilnu geometriju oštrice te su spremni za rad daju bolje rezultate i bolji učinak. Istraživanja su pokazala da novi raonici već nakon 7-8h rada zatupe. Dok navareni raonici kojima je rub oštrice otvrdnut uz pomoću tehnologije navarivanja tvrdim metalom su tek pokazali znakove zatupljenja pri 80h. Analizirajući rad sa zatupljenim raonicima, utvrđeno je da je došlo do povećanja otpora pluga i klizanja pognoski kotača traktora, te smanjena brzine oranja i učinka pluga.



Slika 2.3 Prikaz potrošnje goriva

Prilikom zatupljenja oštrice utvrđeno je da potrebna vučna sila za isti plug, može porasti čak za 80% da bi postigao istu učinkovitost. Otežanim uvjetima rada i povećanjem vučne sile porasla je i potrošnja goriva traktora te, je počelo dolaziti do prekomjernog proklizavanja pogonski kotača traktora. Sa povećanjem potrošnjem i početkom proklizavanja povislio je se i potrebno vrijeme za obradu iste parcele.

Prosječno vrijeme koje je potrebno za obradu parcele od 1 h (1000 m<sup>2</sup>) je 3.5 h sa novim raonicima, uz potrošnju od 18 litara goriva po hektaru. Sa traktorom od 45 konjski snaga sa pogonom na sva četiri točka, te plugom imt 755 - 6 visoki klirens. Dok je sa otupljenim raonicima potrošnja bila povećanja do 25 litara po hektaru, a vrijeme potrebno za obradu 1 hektara zemlje je se udvostručilo (7 h). Zbog visoke cijene goriva i činjenice da ga se najviše troši u svim obradama jako je bitna učinkovitost pluga.

### 2.3 ANALIZA PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I NJIHOVA ZNAČAJNOST

Jedan od prvih znanstvenika koji je se bavio temom problema trošenja dijelova oruđa je Richardson (1967). Na temelju njegovog istraživanja dođeno je do zaključka da su pojedini dijelovi tla tvrđi nego materijal od kojega su se tada izrađivali raonici. Sa rezultatima njegovog istraživanja uvrđeno je da je najbitnija stavka površinska tvrdoća raonika u borbi protiv njegove istrošenosti. 1970 godine su započeti prvi pokusi sa nanošenjem materijala povećane tvrdoće na oštrice dijelova oruđa za obradu tla. Moore (1975) je jedan od znanstvenika koji je nastavio istraživanje na ovu temu, te je došao do zaključka da na otpornost trošenja utiče ujedno i kemijski sastav i struktura materijal. Tek 1985.godine Tot i sur provode prva istraživanja u Hrvatskoj te dolaze do zaključka da navareni raonici su pokazali duži vijek trajanja nego standardni nenavareni raonici. Pogledom na prijašnja istraživanja možemo utvrditi da je postignut jako velik napredak u razumijevanju i poboljšanju raonika na trošenje kroz nekoliko desetljeća. Istraživanja su evoluirala od osnovnog razumijevanja važnosti površinske tvrdoće do uvažavanja kemijskog sastava i strukture materijala. Razvoj tehnologija za nanošenje tvrdih materijala na raonik značajno je povećao njihov vijek trajanja, što ima direktne koristi za poljoprivrednu proizvodnju, smanjujući troškove i vrijeme održavanja opreme. Posebno je značajan doprinos istraživanja iz Hrvatske, koja su potvrdila prednosti navarenih lemeša i prilagodila ih specifičnim uvjetima tla. Usporedba trajnosti standardnih i navarenih raonika naglašava praktičnu vrijednost ovih istraživanja, pokazavši da su navareni raonici deset puta trajniji od standardnih. Ovakvi nalazi imaju široku primjenu i mogu poslužiti kao temelj za

daljnji razvoj i optimizaciju poljoprivrednih alata, posebno u područjima s abrazivnim tipovima tla. Nadalje, ovi rezultati mogu potaknuti daljnje istraživanje i razvoj novih materijala i tehnologija za povećanje otpornosti na trošenje u različitim industrijama. [1]

### **3 ANALIZA PRIMJENE RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA RAONIKA U CILJU PRODULJENJA EKSPLOATACIJSKOG VIJEKA ISTOG**

Navarivanje (hardfacing) je tehnologija koja se koristi za poboljšanje otpornosti na habanje i trošenje različitih dijelova strojeva i alata. U kontekstu raonika, koji su ključni dijelovi plugova i drugih poljoprivrednih strojeva, navarivanje se primjenjuje kako bi se produljio njihov eksploatacijski vijek.

#### **3.1 TEHNOLOGIJE NAVARIVANJA**

##### **3.1.1 Navarivanje (SMAW, GMAW, FCAW)**

SMAW (Shielded Metal Arc Welding): Korištenje elektroda koje su obložene praškom. Koristi se u mnogim industrijama, uključujući građevinarstvo, brodogradnju, popravak i održavanje, proizvodnju i mnoge druge primjene gdje je potrebna čvrstoća i izdržljivost zavareni spojeva, zbog svoje jednostavnost, fleksibilnosti i pouzdanosti. Princip rada: kada se elektroda spoji sa radnim komadom, formira se električni luk koji top elektrodu i radni komad, omogućavajući formiranje zavarenog spoja. Izvor struje može biti jednosmjernan ili naizmjeničan. Izbor zavisi od tipa elektrode i materijala koji se zavaruje. Postoje različite vrste elektroda za različite materijale i zavarivačke pozicije. Elektrode su premazane praškom koji štiti zavar od oksidacije i kontaminacije. Prednosti SMAW tehnologije; fleksibilnost- može se koristiti na otvorenom i u različitim vremenskim uvjetima. Nije potrebna zaštitna atmosfera. Jednostavnost opreme- relativno jednostavna oprema koja je lako prenosiva što je čini pogodnom za terenski rad. Široka primjena- koristi se za zavarivanje različiti materijala, uključujući čelik nehrđajući čelik i drugi. Ekonomičnost- troškovi opreme i održavanja su relativno niski u usporedbi sa drugim metodama navarivanja. Svestranost- može se koristiti za zavarivanje u različitim položajima horizontalno, vertikalno, nadglavno. Glavne mane su produktivnost- Sporiji je proces u usporedbi sa automatskim metodama navarivanja, što može uticati na produktivnost. Kvaliteta zavarivanja- zahtijeva visoku viještinu zavarivača da bi se postigao kvalitetan navar. Greške poput poroznosti, pukotina i neadekvatne penetracije mogu biti česte. Količina dima i prskanja- proces proizvodi puno dima, prskanja i pare, što može biti štetno za zdravlje zavarivača i zahtijeva primjerenu ventilaciju. Potreba za čišćenjem i pripremom komada- potrebna je pažljiva priprema radnog komada i čišćenje zavara kako bi se

osigurao kvalitetan zavar. Ograničenja u debljini materijal- nije idealan za zavarivanje vrlo tanki ili vrlo debeli materijala bez specijalni tehnika ili višestrukiprolaza.



Slika 3.1 *Prikaz REL tehnologije zavarivanja*

### 3.1.2 GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Također poznato kao MIG/MAG zavarivanje. Koristi žičanu elektrodu i zaštitni plin. Ova metoda je poznata po svojoj efikasnosti, kvaliteti zavara i jednostavnosti upotrebe. MIG- koristi inertne plinove kao što su argon ili helij za zaštitu zavarenog spoja od oksidacije i kontaminacije. Obično se koristi za zavarivanje obojeni metala kao što su aluminij, bakar i legure bakra. MAG- koristi aktivni plin, kao što je ugljikov- dioksid ( $\text{CO}_2$ ) ili miješavina  $\text{CO}_2$  sa argonom, za zaštitu

zavarenog spoja. Ova metoda je pogodna za zavarivanje čelika i niskolegirani metala. Način rada MIG/MAG metode; Koristi se kontinuirani žičani elektrodni materijal koji se automatski uvodi u zavareni spoj kroz pištolj za zavarivanje. Istovremeno zaštitni plin teče kroz pištolj kako bi zaštitio zavarenu zonu. Obično se koristi jednosmjerna struja sa obrnutom polarnošću (pozitivan pol na elektrodi) , što omogućava stabilan luk i dobru penetraciju. Zaštitni plin- vrsta zaštitnog plina zavisi od materijala koji se zavaruje i željenog kvaliteta zavara. Inertni plinovi se koriste za MIG, dok se aktivni plinovi koriste za MAG. Prednosti MIG/MAG zavarivanja; visoka produktivnost- kontinuirani dovod žice omogućava brže zavarivanje u usporedbi sa ručnim metodama. Visok kvalitet zavara- Stabilan luk i konstantan dovod žice omogućavaju dosljedan i kvalitetan zavar. Jednostavnost upotrebe- relativno lako za naučiti i koristiti, što je pogodno za zavarivače različitih nivoa iskustava. Manje prskanja- u usporedbi sa drugim metodama, MIG/MAG zavarivanje proizvodi manje prskanja, što smanjuje potrebu za čišćenjem. Svestranost- može se koristiti za zavarivanje širokog spektra materijala i debljina. Mane MIG/MAG; oprema i troškovi- oprema za mig/mag zavarivanje može biti skuplja i složenij u poređenju sa nekim drugim metodama zavarivanja. Zaštitni plin- potreban je stalni dovod zaštitnog plina, što može povećati operativne troškove i zahtijeva ventilaciju u zatvorenim prostorima. Osjetljivost na uslove okoline- vjetar i propuh mogu uzrokovati manjak koncentracije plina na mjestu zavarivanja te za posljedicu lošiji kvalitet zavara. Potreba za čistim metalom- površine koje se zavaruju moraju biti očišćene od hrđe, ulja i drugih kontaminacija kako bi se postigao kvalitetan zavar



Slika 3.2 Prikaz MIG/MAG metode [4]

### 3.1.3 FCAW (Flux-Cored Arc Welding)

Slično GMAW-u, ali koristi cijevnu žicu s jezgrom od praška, što omogućava bolju kontrolu nad procesom. Ova metoda kombinira prednosti MIG/MAG metode sa dodatnim prednostima praška, omogućavajući zavarivanje u različitim uslovima. Način rada; žica koja se koristi u FCAW zavarivanju ima jezgru ispunjenu sa praškom, koji tokom zavarivanja stvara zaštitni plin i trosku koja prekriva zavareni spoj, štiteći ga od atmosferski kontaminacija. Izvor struje- kao i kod MIG/MAG zavarivanja, obično se koristi jednosmjerna struje (DC) sa obrnutom polarnošću. Zaštitni plin- u nekim izvedbama , dodatni zaštitni plin može se koristiti za poboljšanje zaštite zavarene zone, dok u drugim nije potreban jer ga stvara prašak iz žice. Prednosti FCAW; visoka produktivnost- kontinuirani dovod žice omogućava brže zavarivanje, smanjujući vrijeme zavarivanja u usporedbi s ručnim metodama. Fleksibilnost u uslovima rada- ne zahtijeva dodatni zaštitni plin što ju čini pogodnom za rad na otvorenom ili u vjetrovitim uvjetima. Duboka penetracija- ova metoda omogućava dobru penetraciju zavara, što je pogodno za deblje materijale. Sposobnost zavarivanja prljavi materijala- prašak pomaže u zavarivanju materijala koji nisu potpuno čisti, što može smanjiti vrijeme pripreme. Svestranost- može se koristiti za zavarivanje različiti materijala, uključujući ugljične čelike, nehrđajuće čelike i neke legure. Mane FCAW; dim i prskanje- proizvodi više dima i prskanja u usporebi sa MIG/MAG zavarivanjem, što zahtijeva dobru ventilaciju i zaštitu zavarivača. Troska- nakon zavarivanja, troska koja se stvara mora biti uklonjena, što povećava vrijeme i trud potreban za završavanje zavara. Oprema i troškovi- iako je oprema slična MIG/MAG metodi, može biti skuplja zbog specijalne žice punjene praškom. Potrebne vještine- zavarivač mora imati određene vještine i iskustvo za pravilno rukovanje FCAW metodom kako bi postigao kvalitetne zavare



Slika 3.3 Prikaz FCAW metode zavarivanja [5]



### 3.1.4 Plazma navarivanje (PAW)

Ova tehnologija koristi ionizirani plin (plazmu) za stvaranje visokotemperaturnog luka. Pogodna za precizno i visokokvalitetno navarivanje. visoko precizna metoda zavarivanja koja koristi plazma luk za stvaranje zavarenog spoja. Ova tehnologija je slična TIG- (Tungsten Inert Gas) zavarivanju, ali nudi određene prednosti, kao što su veća kontrola i bolja kvaliteta zavara. Način rada: plazma luk- se stvara prolaskom ioniziranog plina (obično argona) kroz malu sapnicu, što rezultira koncentriranim i stabilnim lukom. Plazma može biti kontrolirana preciznije nego konvencionalni lukovi. Kao i kod TIG zavarivanja, koristi se jednosmjerna struja (DC) s negativnim polom na volframovoj elektrodi. Zaštitni plin: Obično se koristi inertni plin (kao što je argon) za zaštitu zavarene zone od oksidacije i kontaminacije. Prednosti PAW zavarivanja; Visoka preciznost; plazma luk omogućuje vrlo preciznu kontrolu zavarivanja, što je idealno za tanke materijale i složene zavarene spojeve. Duboka penetracija; plazma luk može proizvesti duboku i usku penetraciju, omogućujući kvalitetne zavare s minimalnim deformacijama. Stabilan luk; plazma luk je vrlo stabilan, čak i pri nižim strujama, što smanjuje rizik od gašenja luka tijekom zavarivanja. Manje zavarivanja; plazma zavarivanje proizvodi manje zavarivanja u usporedbi s nekim drugim metodama, što smanjuje potrebu za čišćenjem i poboljšava estetski izgled zavara. Svestranost; Može se koristiti za zavarivanje širokog spektra materijala, uključujući visoko legirane čelike, aluminij i bakar.



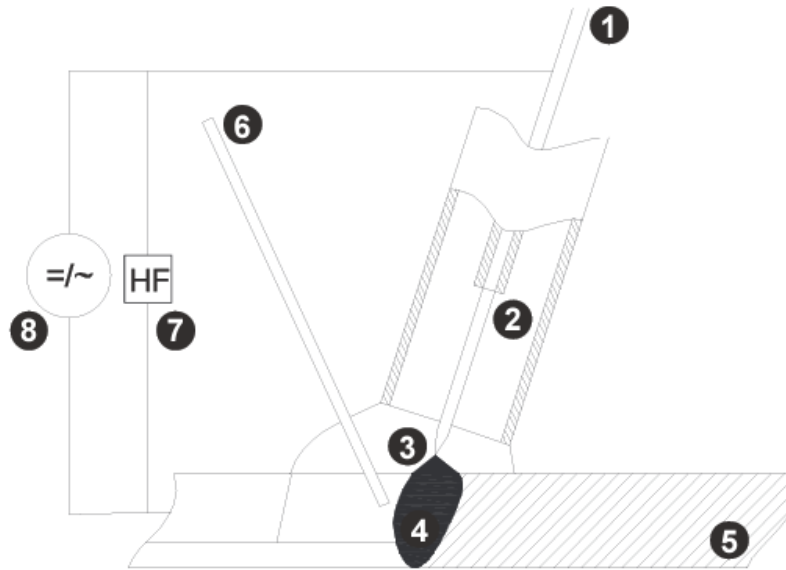
Slika 3.4 Izvor struje za plazma zavarivanje SBI 500 Varstroj s dodavačem žice [6]

### 3.1.5 TIG navarivanje (GTAW)

Gas Tungsten Arc Welding koristi netaljivu volframovu elektrodu i zaštitni plin. Prikladno za visokoprecizne aplikacije. TIG zavarivanje je vrlo svestrana i precizna metoda koja omogućuje stvaranje visokokvalitetnih zavara u različitim industrijama. Unatoč nekim nedostacima, njegova sposobnost da proizvede čiste i precizne zavare čini ga neophodnim alatom za mnoge profesionalne zavarivače. Način rada; netopiva elektroda: Koristi se volframova elektroda koja ne izgara tijekom zavarivanja. Luk između elektrode i radnog komada topi materijal, stvarajući zavar. Zaštitni plin: Inertni plin, poput argona ili helija, koristi se za zaštitu zavarene zone od oksidacije i kontaminacije. Dodavanje materijala: Dodavanje materijala može se obaviti ručno pomoću šipke za punjenje, koja se dodaje u rastaljeni bazen zavara. Prednosti TIG zavarivanja

Visoka kvaliteta zavara: TIG zavarivanje omogućuje stvaranje čistih, preciznih i visokokvalitetnih zavara s minimalnim prskanjem. Svestranost: Može se koristiti za zavarivanje širokog spektra materijala, uključujući čelike, aluminij, magnezij, bakar, nikal i njihove legure. Kontrola procesa: Zavarivač ima potpunu kontrolu nad lukom i dodavanjem materijala, što omogućuje precizno zavarivanje i minimalne deformacije. Čisti zavari: Zbog korištenja inertnog plina, zavarena zona je zaštićena od kontaminacije, što rezultira vrlo čistim zavarima. Mogućnost zavarivanja tankih materijala: TIG je idealan za zavarivanje tankih materijala i precizne komponente zbog svoje kontrolirane toplinske ulaznosti. Mane TIG zavarivanja

Spor proces: TIG zavarivanje je sporije u usporedbi s drugim metodama zavarivanja, što može utjecati na produktivnost. Potrebne vještine: Zavarivač mora imati visoku razinu vještine i iskustva kako bi pravilno koristio TIG metodu i postigao visokokvalitetne zavare. Troškovi opreme: Oprema za TIG zavarivanje može biti skuplja u usporedbi s drugim metodama zavarivanja, a također zahtijeva redovito održavanje. Zaštitni plin: Korištenje inertnog plina povećava operativne troškove i zahtijeva dobru ventilaciju u radnom prostoru.



Slike 3.5 Shematski prikaz procesa TIG zavarivanja: 1 - netaljiva elektroda, 2 - sapnica gorionika, 3 - električni luk, 4 - rastaljeni materijal, 5 - osnovni materijal, 6 - dodatni materijal, 7 - visokofrekventni generator, 8 - izvor struje; prema [7]

### 3.1.6 Laser navarivanje

Koristi laser za stvaranje koncentriranog izvora topline, omogućavajući vrlo precizno i kontrolirano navarivanje. Idealno za tanke slojeve i specijalne materijale. Ova metoda omogućuje visoku preciznost, brzinu i kvalitetu zavara, što je čini idealnom za različite industrijske primjene, posebno u situacijama gdje su potrebni precizni i čisti zavari. Način rada: Laserski snop: Laser generira visokointenzivni snop svjetlosti koji se fokusira na malu točku na površini materijala. Ova energija toplinski obrađuje materijal, uzrokujući njegovo topljenje i stvaranje zavara. Dodavanje materijala: Materijal za punjenje može se dodavati tijekom procesa, obično u obliku žice ili praha, kako bi se povećala količina materijala u zavaru. Zaštitni plin: Inertni plinovi, poput argona ili dušika, često se koriste za zaštitu zavarenog spoja od oksidacije i kontaminacije. Prednosti laserskog navarivanja Visoka preciznost: Laserski snop omogućuje vrlo preciznu kontrolu zavarivanja, idealno za zavarivanje malih i složenih komponenti. Brzina: Lasersko zavarivanje je vrlo brzo u usporedbi s tradicionalnim metodama, što povećava produktivnost. Minimalna deformacija: Zbog koncentrirane topline, zona toplinskog utjecaja je mala, što rezultira minimalnom deformacijom zavarenih materijala. Visoka kvaliteta zavara: Zavari su čisti, jaki i imaju minimalne nedostatke kao što su pore ili pukotine. Svestranost: Može se koristiti za zavarivanje širokog spektra materijala, uključujući metale, legure, keramiku i

plastiku. Automatizacija: Proces je lako automatizirati, omogućujući dosljednu kvalitetu i smanjenje potrebe za ručnim radom. Mane laserskog navarivanja: Visoki troškovi opreme: Laserski sustavi su skupi i zahtijevaju značajna početna ulaganja. Održavanje i složenost: Oprema zahtijeva redovito održavanje i kalibraciju, a rukovanje može biti složeno. Ograničena debljina materijala: Iako je lasersko navarivanje idealno za tanke i srednje debele materijale, može biti manje učinkovito za vrlo debele materijale. Sigurnosni rizici: Laserski snopovi mogu biti opasni za oči i kožu, što zahtijeva posebne sigurnosne mjere i opremu. Zahtjevi za pripremu površine: Površine koje se zavaruju moraju biti vrlo čiste i dobro pripremljene kako bi se osigurao kvalitetan zavar. Upotreba: Lasersko navarivanje se široko koristi u industrijama gdje su potrebni precizni i visokokvalitetni zavari. Neke od glavnih primjena uključuju: Automobilska industrija: Proizvodnja karoserija, šasija, motora i drugih komponenti. Zrakoplovna industrija: Zavarivanje visoko legiranih i egzotičnih materijala koji zahtijevaju visoku preciznost. Medicinska oprema: Proizvodnja medicinskih instrumenata i implantata koji zahtijevaju sterilnost i preciznost. Elektronika: Zavarivanje sitnih elektroničkih komponenti i senzora. Proizvodnja nakita: Zavarivanje dragocjenih metala gdje su potrebni fini i neprimjetni spojevi. Energetski sektor: Proizvodnja i popravak turbina, generatora i drugih energetskih uređaja. Lasersko navarivanje je napredna i vrlo učinkovita metoda koja pruža brojne prednosti u preciznosti, brzini i kvaliteti zavara. Unatoč visokim početnim troškovima i složenosti opreme, njegova sposobnost da proizvede visokokvalitetne zavare čini ga ključnim alatom u mnogim visokotehnološkim industrijama.

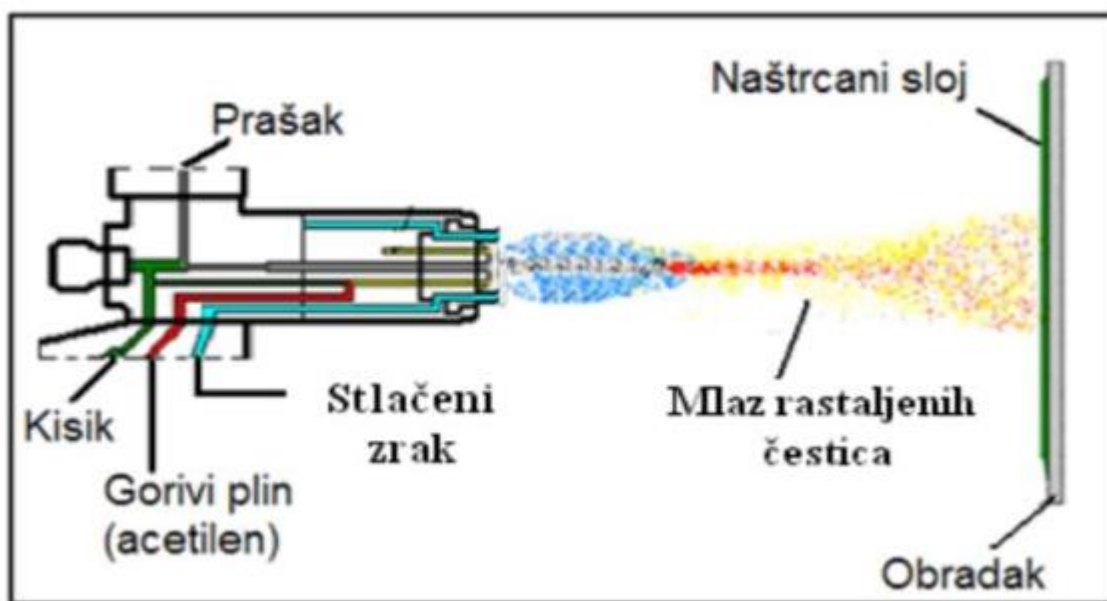


Slika 3.6 Prikaz laserskog zavarivanja

### 3.1.7 Termičko prskanje

Metoda koja uključuje taljenje i prskanje materijala na površinu lemeša, stvarajući zaštitni sloj. Metode uključuju plinsko prskanje, plazma prskanje i HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) prskanje. Termičko prskanje je tehnologija koja se koristi za nanošenje tankih slojeva materijala na površine radi poboljšanja njihovih svojstava kao što su otpornost na habanje, koroziju, toplinu i oksidaciju. Ova metoda uključuje taloženje rastaljenog ili djelomično rastaljenog materijala na površinu komponente kako bi se stvorio zaštitni ili funkcionalni sloj. Način rada; Izvor topline: Koristi se izvor topline (plinski plamen, električni luk, plazma ili laserski zrak) za rastaljivanje materijala za prskanje. Materijal za prskanje: Materijal koji se nanosi može biti u obliku praha, žice ili štapa. Materijal se rastali ili djelomično rastali u izvoru topline. Nanošenje: Rastali materijal se ubrzava pomoću plina ili zraka i prska na površinu podloge, gdje se stvrdnjava i formira premaz. Priprema površine: Površina koja se tretira mora biti čista i često hrapava kako bi se omogućilo bolje prijanjanje sloja. Vrste termičkog prskanja Plinsko plamen prskanje: Koristi plinski plamen za rastaljivanje materijala za prskanje. Električno luk prskanje: Koristi električni luk između dvije žice koje se rastaljuju i prskaju na površinu. Plazma prskanje: Koristi plazma zrak za postizanje vrlo visokih temperatura potrebnih za rastaljivanje visokotemperaturnih materijala. Hladno prskanje: Koristi komprimirani plin za ubrzavanje čestica praha koje se sudaraju s podlogom velikom brzinom, stvarajući premaz bez potrebe za rastaljivanjem. Prednosti termičkog prskanja Svestranost: Može se koristiti za širok spektar materijala, uključujući metale, keramiku, plastiku i njihove kompozite. Poboljšana svojstva površine: Povećava otpornost na habanje, koroziju, toplinsku otpornost i druge specifične karakteristike površine. Minimalna toplinska izobličenja: Proces nanosi minimalnu toplinu na podlogu, smanjujući rizik od izobličenja i oštećenja osnovnog materijala. Debljina sloja: Omogućuje kontrolu debljine sloja, od nekoliko mikrometara do nekoliko milimetara, ovisno o potrebama. Brzina: Relativno brzo nanošenje slojeva, što je pogodno za proizvodne procese velikih razmjera. Mane termičkog prskanja Priprema površine: Površina koja se tretira mora biti pažljivo pripremljena kako bi se osiguralo dobro prijanjanje sloja. Poroznost: Neki procesi termičkog prskanja mogu rezultirati poroznim slojevima, što može zahtijevati dodatne postupke za poboljšanje gustine sloja. Oprema i troškovi: Specijalizirana oprema može biti skupa, a potrebna su i znatna ulaganja u obuku operatera. Ograničenja u debljini: Iako se može kontrolirati debljina sloja, vrlo debeli slojevi mogu biti problematični zbog unutarnjih naprezanja i potencijalne delaminacije. Termičko prskanje se široko koristi u raznim industrijama zbog

svoje sposobnosti da poboljša performanse i dugovječnost komponenti. Neke od glavnih primjena uključuju: Zrakoplovna industrija: Zaštita dijelova motora, turbine i drugih komponenti od visokih temperatura i korozije. Automobilska industrija: Premazivanje klipova, cilindara i drugih dijelova za poboljšanje otpornosti na habanje i smanjenje trenja. Naftna i plinska industrija: Zaštita opreme od korozije i habanja u teškim radnim uvjetima. Medicinska oprema: Nanošenje biokompatibilnih slojeva na implantate i kirurške instrumente. Proizvodnja elektroničkih uređaja: Nanošenje zaštitnih i funkcionalnih slojeva na elektroničke komponente. Termičko prskanje je izuzetno korisna tehnologija koja omogućuje značajna poboljšanja svojstava površina, čineći je ključnom za mnoge napredne industrijske primjene.



Slika 3.7 Postupak plinskog (plamenog) naštrcavanja uz pomoć praška [8]

### 3.1.8 Materijali za Navarivanje

- **Tvrdokor (karbidni materijali):** Odnosi se na skupinu materijala koji se sastoje od karbida, kemijskih spojeva ugljika s metalima. Ovi materijali su poznati po svojoj izuzetnoj tvrdoći, otpornosti na habanje i visokoj otpornosti na toplinu. Najčešće korišteni karbidni materijali uključuju volfram karbid (WC), titan karbid (TiC), silicij karbid (SiC) i tantal karbid (TaC). Osnovne karakteristike karbidnih materijala Tvrdoća: Karbidni materijali su među najtvrdim materijalima dostupnim, često rangirajući vrlo

visoko na Mohsovoj skali tvrdoće. Otpornost na habanje: Imaju izvanrednu otpornost na habanje, što ih čini idealnima za primjenu u alatima i komponentama koje su podložne visokom trošenju. Visoka toplinska otpornost: Karbidi mogu izdržati vrlo visoke temperature bez gubitka svojih svojstava, što ih čini pogodnima za primjenu u ekstremnim uvjetima. Kemijska stabilnost: Mnogi karbidni materijali su kemijski inertni, što znači da su otporni na koroziju i kemijske reakcije u agresivnim okruženjima. Krutost i krhkost: Iako su vrlo tvrdi, karbidni materijali su također kruti, što znači da su skloni pucanju pod udarcem ili velikim opterećenjima.

- Austenitni mangan čelik: često poznat i kao Hadfieldov čelik, je vrsta čelika koji sadrži visok udio mangana, obično oko 12-14%. Ova vrsta čelika poznata je po svojoj izvanrednoj otpornosti na habanje i udarce, što ga čini idealnim za primjene u teškim uvjetima. Austenitni mangan čelik ima jedinstvene karakteristike zahvaljujući specifičnoj mikrostrukturi koja je austenitna pri sobnoj temperaturi. Prednosti austenitnog mangan čelika  
Izvanredna otpornost na habanje: Izuzetno otporan na habanje, osobito u aplikacijama s velikim udarcima ili abrazivnim uvjetima. Visoka žilavost: Održava visoku žilavost čak i pri niskim temperaturama, što smanjuje rizik od lomova. Radno otvrdnjavanje: Postaje tvrdi i otporniji na habanje s povećanjem opterećenja i udaraca, što ga čini idealnim za teške radne uvjete. Otpornost na koroziju: Relativno otporan na koroziju u mnogim industrijskim okruženjima.
- Kobaltne legure: Pružaju izvrsnu otpornost na habanje i koroziju, ali su skuplje. Skupina legura koje sadrže kobalt kao glavni element, obično u kombinaciji s drugim metalima kao što su nikal, krom, željezo i titan. Ove legure su poznate po svojim izvanrednim mehaničkim svojstvima, otpornosti na visoke temperature, otpornosti na koroziju i druge specifične karakteristike koje ih čine pogodnima za širok spektar primjena.

### 3.1.9 Prednosti i Nedostaci Tehnologija

- Elektrolučno navarivanje:
  - Prednosti: Fleksibilnost, dostupnost, širok raspon materijala.
  - Nedostaci: Može biti sporije, potreba za dodatnim radom na uklanjanju šljake.

- Plazma navarivanje:
  - Prednosti: Visoka kvaliteta zavarivanja, preciznost.
  - Nedostaci: Visoki troškovi opreme, potreba za kvalificiranim operaterima.
- Laser navarivanje:
  - Prednosti: Izuzetna preciznost, minimalna deformacija.
  - Nedostaci: Vrlo visoki troškovi opreme, osjetljivost na površinsku pripremu.

### 3.1.10 Primjene i Rezultati

Primjena navarivanja lemeša može značajno produžiti njihov vijek trajanja smanjenjem brzine habanja i povećanjem otpornosti na udarce. Poljoprivredni strojevi koji koriste navarene lemeše mogu raditi duže između servisa, smanjujući ukupne troškove održavanja i povećavajući produktivnost.



Slika 3.8 *Prikaz navarenih raonika [9]*



#### 4. ANALIZA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA RAONIKA

Zbog logističkih problema jedna od najčešće primjenivani tehnologija navarivanja je REL zavarivanje. Zbog svoje jednostavnosti i prenosivosti omogućuje brze popravke. Dostupan je velik izbor dodatnog materijala te se zbog toga mogu postići željeni rezultati. Zbog razvijenosti REL tehnologije dodatni materijal nije skup.



Slika 4.1 Prikaz REL tehnologije zavarivanja [10]

##### 4.1 EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Napravljeno je eksperimentalno istraživanje u kojem je prikazano stanje i učinkovitost novih, potrošenih, i navarenih raonika. Uzorci su isječeni pomoću tračne pile, zatim zaliveni u masu da bi se olakšalo njihovo rukovanje prilikom poliranja te su podvrgnuti ispitivanju tvrdoće uz pomoće metode mjerenja tvrdoće po Vickersu.

###### 4.1.1 NOVI RAONICI

Kupljeni su novi raonici da bi se utvrdila osnova za eksperimentalno istraživanje. Novi raonici su na temelju prošlih iskustava i zapažanja pokazali svoju učinkovitost do 20 radni sati. Nakon toga su pokazali značajan pad učinkovitosti.



Slike 4.2 *Prikaz novog raonika*

Prikazano na slici je novi raonik, koji posjeduje pravilnu geometriju te originalno stanje raonika. Raonici dolaze sa zaštitnim premazom boje koje spriječava oksidiranje materijal te se tim putem osigurava duži vijek trajanja raonika. Raonik se sastoj od tijela, špica i rezne oštrice. Tijelo raonika je zaslužno za podnošenje opterećenja i osiguravanja dugotrajnosti raonika. Rezna oštrica osigurava odvajanje jednog sloja zemlje od drugoga. Špic raonika je zaslužan za probijanje zemlje i podnosi najveća opterećenja.



Slika 4.3 *Prikaz uspravnog novoga raonika*

Priloženo iz slike se može zaključiti da raonik nije potpuno ravan, već da posjeduje zakrivljenje. Taj radijus je potreban da bi se osiguralo zaoravanje i probijanje u zemlju. Bez toga radijusa opterećenja bi bila prevelika i raonik ne bi bio učinkovit. Raonik je po cijeloj dužini jednake debljine.

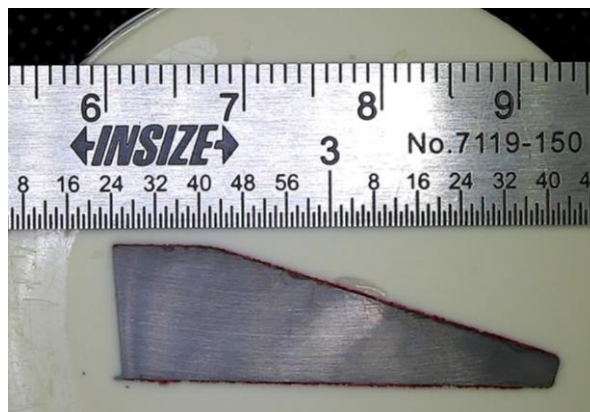
#### 4.1.1 IZREZIVANJE UZORKA ZA PROVODENJE TESTIRANJA

Od novoga raonika je izrezan je uzorak da bi se moglo provesti testiranje. Izrezivanje uzorka je se vršilo uz pomoć tračne pile sa hlađenjem. Bitna stavka prilikom izrezivanja uzorka je bila da se koristi obavezno rashladno sredstvo tako da ne bi došlo do promjene svojstava i strukture unutar materijala, da bi se osigurala točnost podataka.



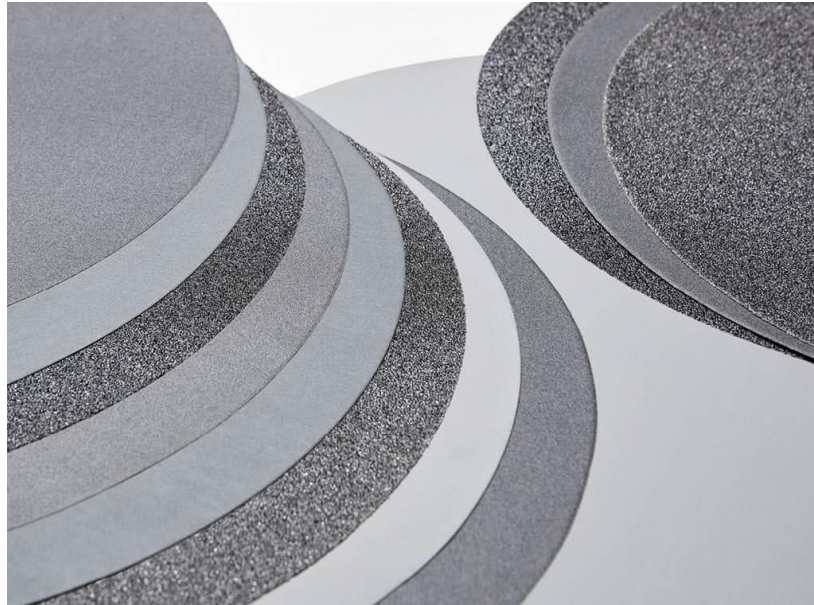
*Slika 4.4 Prikaz tračne pile [11]*

Nakon izrezivanja uzorka, uzorak je zaliven u polimernu masu da bi se olakšalo njego rukovanje.



*Slika 4.5 Prikaz zalivenog uzorka*

Nakon što je izrezan uzorak i zaliven. Obavljeno je poliranje materijal uz pomoć stroja za poliranje uz primjenu vode, te poliranje je vršilo u postupnim koracima. Poliranje je se sastojalo od poliranja uz pomoć papira P30, P60, P120, P240, P300, P600. Prilikom svake izmjene papira uzorak je se rotirao za 90° tako da se osigura jednakost pri poliranju bez da ostanu neravnine.



Slika 4.6 Prikaz brusnog papira [12]

Poliranje je se vršilo na radnom stroju koji je opremljen sa dostavom vode, da bi se osiguralo hlađenje materijala.



Slika 4.7 Prikaz stroja za poliranje [13]

Nakon što je uzorak prošao kroz sve faze poliranja. Provedeno je uslikavanje makro strukture te je potom izvršeno mjerenje tvrdoće uzorka. A ispitivanje tvrdoće je izvršeno na stroju Durimet „Leitz“ .



Slika 4.8 Prikaz stroja za slikanje INSIZE

Mjerenje tvrdoće je se vršilo na 0,5mm, 2mm, 4mm, 7mm, 9mm, od ruba oštice prema tijelu.

Te su dobivene vrijednosti raspona od 399-392 HV. Metoda ispitivanja tvrdoće je korištena prema Vickersu, a slika kojom je ispitivanje bilo izvršeno je HV5.

Tablica 4.1 *Prikaz dobivenih rezultata mjerenja tvrdoće.*

Ispitivanje tvrdoće novga raonika HV5				
0.5 mm	2 mm	4 mm	7 mm	9 mm
399 HV	375 HV	397 HV	395 HV	392 HV

#### 4.1.2 POTROŠENI RAONICI

Potrošeni raonici su proveli znatno vrijeme u radu te su zbog utjecaja zemlje i abrazivnosti i trenja, prošli određene toplinske ciklusa ugrijavanja i hlađenja. Prilikom ugrijavanja materijala, materijal postaje mekši te deformabilniji. Količina ugrijavanja i trenja ovisi o tipu zemlje koji se obrađuje, teksturi tla, sadržaju pijeska, vlažnosti tla. Taložna tlak kao što su crnica se teže obrađuju i uzrokuju veće trenje na raonicima, ali zbog svoje taložnosti ne ugrijavaju materijal toliko, dok kod zemlji koja sadrže veliku količinu pijeska trenje je manje ali je zato ugrijavanje materijala veće. Priliko obrade pijeskoviti zemlji dolazi do izrazitog trošenja raonika. Priliko provednog ispitivanja uočeno je da je rub jako zatuplje te da takav raonik više nije bio u mogućnosti orati zemlju. Uzorak je izrezan na isti način kao i kod novoga raonika, te su provedene iste mjere da se osigura da se ne unosi toplina prilikom izrezivanja i poliranja uzorka. Nakon poliranja provedeno je ispitivanje tvrdoće te je uočeno da je značajan pad tvrdoće ostvaren 130 - 180 HV.



Slika 4.9 Prikaz potrošenog raonika

Tablica 4.2 Prikaz podataka tvrdoće za potrošeni raonik

Ispitivanje tvrdoće potrošenog raonika HV5				
0.5mm	2mm	4mm	7mm	9mm
186HV	182HV	134HV	135HV	130HV

#### 4.1.3 POTROŠENI SAVIJENI RAONIK

Priliko eksploatacije raonika nakon određene istrošenosi materijal više nema snage da podnese opterećenja te se dogode deformacije koje oštete geometriju i naprave da raonik više nije upotrebljiv. Uzeti uzorak od deformiranog raonika i nakon provedenog ispitivanja dobiveni su rezultati tvrdoća raspona od 104 - 112HV.



Slika 4.10 Prikaz potrošenog savijenog raonika

Tablica 4.3 Prikaz tvrdoća potrošenog savijenog raonika.

Ispitivanje tvrdoće potrošenog savijenog raonika HV5				
0,5 mm	2 mm	4 mm	7 mm	9 mm
104HV	104HV	106HV	106HV	112

#### 4.1.4 NAVARENI RAONIK

Prilikom eksploatacije došlo je do zatupljivanja raonika. Sa ciljem produženja vijeka trajanja raonika, raonik je podvrgnut metodi navarivanja te zavarivanje. Metoda je se sastojala od korištenja potrošenih raonika na vraćanje prvobitnih dimenzija, uz pomoć zavarivanja i korištenja dijela izrezanog od tračne pile. Na dno rezne oštrice je zavarena traka širine 10 mm te dužine 300 mm te debljine 4 mm. Traka koja je navarena je od alatnog čelika za hladni rad koja je uzeta od čelične testere. Te su dijelovi rezani po potrebi da bi se raonik vratio u prvobitne dimenzije. Zavarivanje je vršeno uz primjenu bazične elektrode. Zbog njen poboljšane žilavosti i duktilnosti. Zavareni raonik je pokazao se jako učinkovit jer je nakon zavarivanja bio sposoban izvršiti još 80 - 100 radni sati bez da doživi deformacije koje bi ga napravile neupotrebljivim.





Slika 4.11 Prikaz zavarenog raonika

Iz zavarenog raonika je izrezan uzorak te je podvrgnut istim operacijama kao i predhodni raonici. Nakon provedenih svi operacija vršilo je se ispitivanje tvrdoće, pri kojem su rezultati bili raspona od 419 - 432 HV.

Tablica 4.4 Prikaz podataka tvrdoće zavarenog raonika

Ispitivanje tvrdoće azavarenog raonika HV5				
0,5 mm	2 mm	4 mm	7 mm	9 mm
432 HV	447 HV	455 HV	432 HV	419 HV

#### 4.1.5 NAVARENI RAONICI

Drugi dio istraživanja je se sastojao od uzimanja novoga raonika i potrošenog i vraćanja njih na originalne dimenzije. Cilj ovoga istraživanja je bio vidjeti utjecaje tehnologije navarivanja na karakteristike raonika i kako navarivanje utječe na njih.

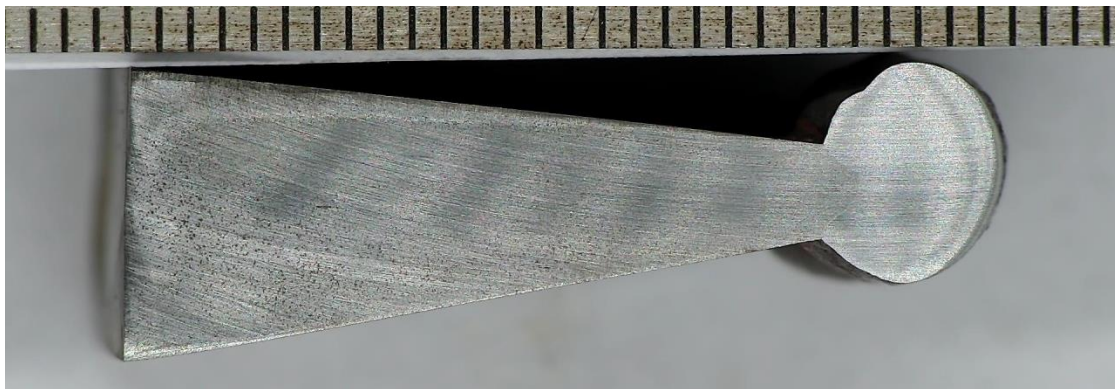
##### 4.1.5.1 NOVI RAONIK

Uzet je komad novoga raonika te je podvrgnut tehnologiji navarivanja. Tehnologija navarivanje je bila REL a elektroda je bila E-DUR 600. Navarivanje je se sastojalo od 5 prolaza na vrhu oštrice da bih se dobila otvrdnuta površina i da bi se produžio vijek trajanja raonika.



Slika 4.12 Prikaz navarenog novoga raonika

Nakon što je raonik navaren bilo je potrebno provjeriti njegove karakteristike. Te je zbog toga izrezan uzorak koji je podvrgnut operaciji poliranja i ispitivanja tvrdoće. Dobiveni rezultati su pokazali da je postignuta željene tvrdoća bez negativnih utjecaja na ostatak tijela raonika.



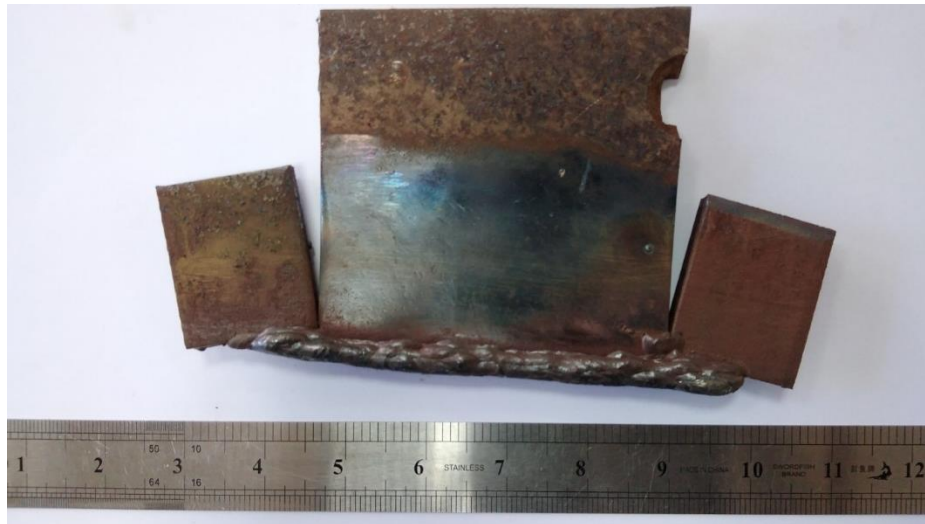
Slika 4.13 Prikaz novoga raonika navaren E-DUR 600 elektrodom

Tablica 4.5 Prikaz podataka novoga navarenog raonika E-DUR 600 elektrodom.

Ispitivanje tvrdoće novoga raonika navarenog E-DUR 600 elektrodom HV5				
0.5 mm	2 mm	4 mm	7 mm	9 mm
745,1 HV	761,1 HV	798,6 HV	542,6 HV	374,4 HV

#### 4.1.5.2 POTROŠENI RAONIK

Uzet je potrošeni raonik te je podvrgnut tehnologiji navarivanja. Navarivanje se vršilo u 10 prolaza. Bilo je potrebno 10 prolaza zbog istrošenosti raonika da bi se vratilo na prvobitne dimenzije i da bi se mogli dobiti točni rezultati mjerenja.



Slika 4.14 Prikaz potrošenog navarenog raonika E-DUR 600 elektrodom

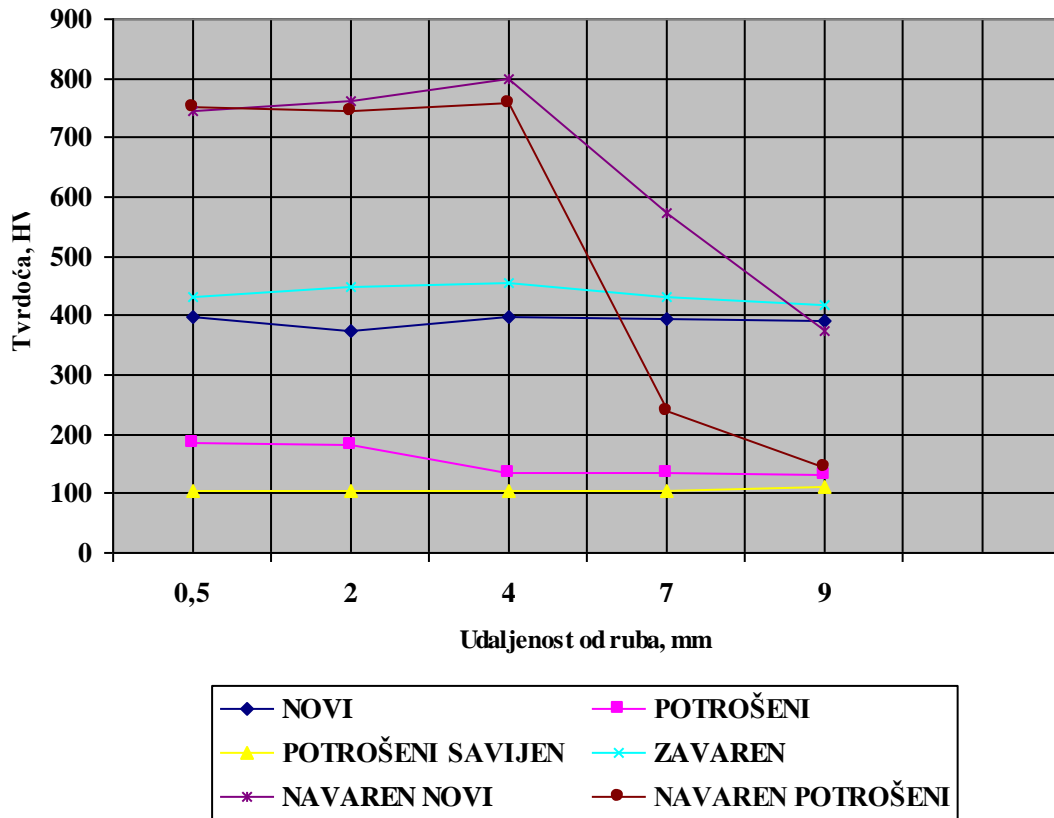
Nakon operacije navarivanja raonika, uzet je uzorak koji je podvrgnut poliranju i potom ispitivanju tvrdoće. Izmjerene tvrdoće su pokazale da je navarivanje bilo uspješno, a tvrdoće su bile u rasponu od 740 - 750HV.



Slika 4.15 Prikaz potrošenog raonika navarenog E-DUR 600 elektrodom

Tablica 4.6 Prikaz podataka tvrdoće za raonik potrošen navaren E-DUR 600 elektrodom.

Ispitivanje tvrdoće potrošenog navarenog E-DUR 600 elektrodom HV5				
0,5 mm	2 mm	4 mm	7 mm	9 mm
750,9HV	748,8HV	757,7	240,8	145,5



Slika 4.16 Izmjerene tvrdoće na uzorcima korištenim u eksperimentalnom radu

Iz priloženog grafa se može vidjeti da su obje metode postigle željeni efekat. Međutim kada se detaljnije prouči graf možemo zaključiti da je metoda zavarivanja postigla bolji utjecaj nego metoda navarivanja. Zbog toga što je na metodi zavarivanja dodan još jedan tvrdi element koji djeluje kao zaštita trošenja osnovnog materijal postiže se bolji i dugotrajni efekat. Iako su rezultati tvrdoće pokazali da je metoda navarivanja postigla bolje rezultate može se zapaziti veliki pad tvrdoće nakon 4 mm. Što znači čim se istroši navareni dio dobiti ćemo zatupljeni lemeš koji ćemo morati opet podvrgnuti metodi navarivanja.

## 5 ZAKLJUČAK

U prvome dijelu rada napravljen je opis i namjena raonika, te objašnjene njegove karakteristike. Proučena mehanička i kemijska svojstva, te napravljena analiza trošenja. U drugome dijelu rada obrađeno je 6 različitih varijanti raonika, od potpuno novih raonika do potrošenih, savijenih, navarenih, zavarenih uz dodatka tvrdog materijala. Svaka varijanta raonika je dala jako bitne rezultate za daljnje istraživanje. Nakon provedenih ispitivanja na svim varijantama raonika rezultati koji su dobiveni su pomogli donijeti zaključak. Osnovni raonici koji ni na koji način nisu doručeni pokazali su približno jednaku tvrdoću po cijelom prijeseku oštrice, te pokazuju nakon kratkog radnog vremena znakove zatupljivanja. Tvrdoća oštrice je najbitniji dio otpornosti na trošenje te s povećanjem njene tvrdoće produljujemo vijek trajanja raonika. Nakon što se prođe inicijalni dio oštice koji je otprilike 10 mm sirovi dio raonika je jako mekan te kao takav nema dobra svojstva na otpornost na trošenje. Dok kod navarenih raonika s posebnom tvrdom elektrodom E-DUR600, postignuta je veća tvrdoća čak do 770 HV do dubine 4 mm. Nakon 4 mm može se uočiti značajan pad tvrdoće čak ispod granica novoga raonika. Do pada tvrdoće dolazi zbog navarivanja. Navareni raonik uz dodatak tvrdoga metala je postigao nešto niže tvrdoće ali više od novog raonika, te je se kao takav pokazao najbolji. Zbog dodatka tvrdoga materijala po cijelom poprečnom presjeku raonici su izdržali čak do 3 puta više radnih sati sa malim znakovima zatupljivanja.

## 6 LITERATURA I IZVODI SLIKA

- [1] Horvat, Z.; Filipović, D.: Usporedba oranja standardnim i navarenim lemešima na pjeskovito-glinastom tlu u Baranji. Zagreb; Agronomski glasnik 6, 2006, str. 371-380, (15.05.2024)
- [2] Podhorsky R., Karabaić, V.: Poljoprivredne mašine, Tehnička enciklopedija, svezak 10, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1986., 681. Str (17.5.2024.)
- [3] Proinstal Škarec, *AISI 1045 Čelik S45C C45 Svojstva*, URL: <https://proinstal.hr/aisi-1045-celik-s45c-c45-svojstva/> (14.06.2024)
- [4] Pipe Masters, *Know More About Pipe Masters*. URL: <https://www.pipemasters.pt/u/cursos/curso-mig-mag-g00NAfESUi.jpg> (07.07.2024)
- [5] Make it from Metal, *Stainless FCAW: How-To and Tips*. URL: <https://makeitfrommetal.com/wp-content/uploads/2020/10/stainless-fcaw-Small.jpg> (07.07.2024)
- [6] Ivica GARAŠIĆ, Zoran KOŽUH, Slobodan KRALJ: *SPECIFIČNOSTI I PRIMJENA PLAZMA ZAVARIVANJA* 6. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2011 SUVREMENE TEHNOLOGIJE I POSTUPCI PRI IZRADI TLAČNE OPREME, ZAVARENIH METALNIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA Slavonski Brod, 26. – 28. listopad 2011
- [7] Horvat M., Kondić V., Brežovečki D.: *Teorijske i praktične osnove TIG postupka zavarivanja*. Tehnički glasnik 8, 4(2014), 426-432.
- [8] Filetin T., Grilec K.: *Postupci modificiranja i prevlačenja površina - priručnik za primjenu*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 16
- [9] Poljoprivredni forum, *Mehanizacija*. URL : <https://poljoprivreda.forumcroatian.com/t5787-picevi-za-plug-eberhardt> (16.06.2024)
- [10] Wikipedia, *Ručno elektrolučno zavarivanje*. URL : [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ru%C4%8Dno\\_elektrolu%C4%8Dno\\_zavarivanje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ru%C4%8Dno_elektrolu%C4%8Dno_zavarivanje) (16.06.2024)

- [11] Struers S.A.S., *SILICON CARBIDE FOILS AND PAPERS*. URL : <https://webshop.schachermayer.com/cat/hr-HR/product/imet-rucna-tracna-pila-tip-bs-300-60-1-5-1-8-kw/109964510> (16.06.2024)
- [12] URL : <https://www.struers.com/en/Products/Grinding-and-Polishing/Grinding-and-polishing-consumables/Silicon-Carbide-Foils-and-Papers#features>
- [13] Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, *ZIM Laboratorij*. URL : <https://sfsb.unisb.hr/zavod-za-inzenjerstvo-materijala/zim-laboratorij/> (20.06.2024)