

# Elektrootporno zavarivanje žičanih konstrukcija

---

Vugrinec, Lea

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:540382>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 387/PS/2022**

## **Elektrootporno zavarivanje žičanih konstrukcija**

**Lea Vugrinec, 2087/336**

Varaždin, rujan 2022. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 387/PS/2022

## Elektrootporno zavarivanje žičanih konstrukcija

### Student

Lea Vugrinec, 2087/336

### Mentor

doc.dr.sc. Matija Bušić

Varaždin, rujan 2022. godine

## Prijava završnog rada

### Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Lea Vugrinec	IMBAG	2087/336
DATUM	29.08.2022.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Elektrotopno zavarivanje žičanih konstrukcija		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Electric resistance welding of wire constructions		
MENTOR	dr. sc. Matija Bušić	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Jasna Leder Horina, predsjednica povjerenstva		
	2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva		
	3. dipl. ing. stroj. Marko Horvat, član povjerenstva		
	4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, zamjenski član povjerenstva		
	5. _____		

### Zadatak završnog rada

BR. 387/PS/2022

OPIS

U završnom radu potrebno je prikazati proces elektrotopnog točkastog zavarivanja žičanog proizvoda u proizvodnji namještaja. U uvodnom dijelu rada, na temelju dostupne literature, potrebno je opisati postupak elektrotopnog točkastog zavarivanja. Navesti parametre koji utječu na postupak zavarivanja, opisati strojeve i elektrode koje se primjenjuju. Opisati tipične primjere primjene elektrotopnog točkastog zavarivanja u suvremenoj proizvodnji.

U praktičnom dijelu rada opisati stroj i tehnologiju koja se primjenjuje za izradu žičane mreže zavarivanjem. Opisati parametre postupka i slijed rada stroja. Na kraju donijeti zaključak o odabranom slijedu proizvodnje, korištenim tehnologijama te samoj ekonomičnosti proizvodnje. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK USUČEN

31.08.2022.



M. Bušić

# **Predgovor**

Zahvaljujem svom mentoru doc.dr.sc. Matiji Bušiću na korisnim savjetima, pruženom znanju i pomoći tijekom pisanja završnog rada.

Zahvaljujem se djelatnicima poduzeća Sobočan d.o.o. na pruženoj pomoći i provedbi eksperimentalnog dijela rada.

Posebno se zahvaljujem mojim roditeljima, sestri, dečku Marku te prijateljima na strpljenju, vjeri u mene i neizmjerne podršci tijekom studiranja.

## **Sažetak**

U ovom završnom radu obrađena je tema elektrootpornog točkastog zavarivanja. Teorijski dio obrađuje postupak točkastog zavarivanja, parametre koji su bitni za sam proces zavarivanja. Navedene su i vrste elektroda te strojevi. Obrađeni su režimi zavarivanja.

U eksperimentalnom dijelu, koji je proveden u poduzeću Sobočan d.o.o., praćen je proizvodni proces izrade žičane mreže. Objasnjen je proces rada na stroju za elektrootporno točkasto zavarivanje.

Ključne riječi: elektrootporno točkasto zavarivanje, parametri točkastog zavarivanja, žičana mreža

## Summary

In this final thesis, the discussed topic is electric resistance spot welding. The theoretical part deals with the spot welding process, the parameters that are important for the welding process. The types of electrodes and machines are explained, and the welding regimes are also covered.

In the experimental part, which was tested in the company „Sobočan“, the production process of making wire mesh was monitored. The working process of the electric resistance spot welding machine is explained,

Keywords: electric resistance spot welding, spot welding parameters, wire mesh



## Popis korištenih kratica

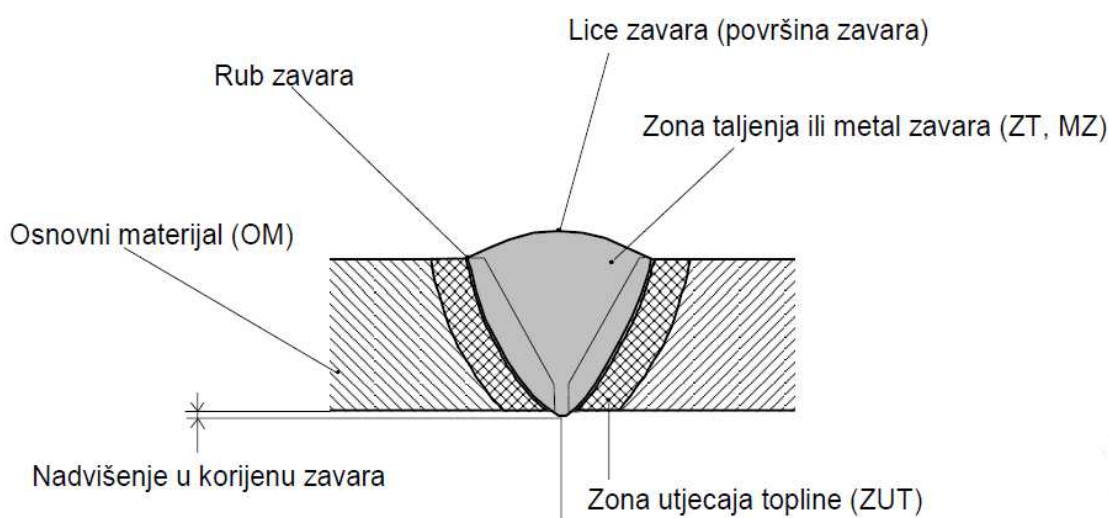
Oznaka	Mjerna jedinica	Opis oznake
ZT	-	zona taljenja
ZUT	-	zona utjecaja topline
$Q$	J	količina topline
$I$	A	jakost struje
$R$	$\Omega$	električni otpor
$t$	S	vrijeme
$R_1$ i $R_2$	$\Omega$	vlastiti otpori materijala
$R_{1-E}$	$\Omega$	otpor materijala-gornja elektroda
$R_{2-E}$	$\Omega$	otpor materijala-donja elektroda
$R_{k12}$	$\Omega$	kontaktni otpor-materijal-materijal
$l$	mm	duljina
$S$	$\text{mm}^2$	poprečni presjek
$\rho$	$\Omega_{\text{mm}^2} / m$	specifični električni otpor
$F$	N	sila
$d$	mm	promjer

# Sadržaj

1.	Uvod .....	6
2.	Elektrootporno zavarivanje .....	8
2.1.	Elektrootporno točkasto zavarivanje.....	9
2.2.	Jouleov zakon .....	9
2.3.	Parametri elektrootpornog točkastog zavarivanja.....	11
2.3.1.	<i>Sila pritiska elektrode.....</i>	<i>11</i>
2.3.2.	<i>Promjer kontaktne površine elektrode.....</i>	<i>12</i>
2.3.3.	<i>Vrijeme stiskanja elektrode.....</i>	<i>12</i>
2.3.4.	<i>Vrijeme zavarivanja .....</i>	<i>12</i>
2.3.5.	<i>Vrijeme zadržavanja sile pritiska.....</i>	<i>13</i>
2.3.6.	<i>Struja zavarivanja .....</i>	<i>14</i>
2.4.	Režimi zavarivanja.....	15
2.5.	Proces spajanja metala elektrootpornim zavarivanjem.....	15
2.6.	Vrste elektroda.....	16
2.7.	Strojevi i vrste strojeva za elektrootporno zavarivanje .....	18
2.7.1.	<i>Vrste strojeva.....</i>	<i>19</i>
2.8.	Konfiguracije točkastih zavara .....	21
2.9.	Nedostaci i primjena elektrootpornog zavarivanja .....	25
2.10.	Robotizacija elektrootpornog zavarivanja.....	26
3.	Proces izrade žičane mreže pomoću elektrootpornog točkastog zavarivanja.....	28
3.1.	Priprema .....	28
3.2.	Parametri zavarivanja .....	33
3.3.	Početak rada mreže .....	34
4.	Zaključak.....	42
5.	Literatura.....	43
6.	Popis slika .....	44

# 1. Uvod

Zavarivanje je moderan način spajanja koji omogućuje nastajanje materijalnog kontinuiteta između spojenih materijala, čime je izbjegnuto slabljenje materijala rupama za zakivanje. Općenito, zavarivanje je spajanje dvaju ili više metalnih dijelova u jednu cjelinu, bilo taljenjem ili pritiskom. Kod zavarivanja potrebno je imati osnovni materijal, to je materijal koji se zavaruje te dodatni materijal (žice) koji ne pripada dijelovima koji se zavaruju nego se dodaje pri procesu zavarivanja i zajedno se tali osnovnim materijalom, a rezultat toga je zavar. Zona taljenja (ZT) i zona utjecaja topline (ZUT) dijelovi su zavarenog spoja.



Slika 1. Elementi zavarenog spoja dobiveni taljenjem u jednom prolazu[2]

Zona taljenja može se sastojati samo od osnovnog materijala ili mješavine osnovnog s dodatnim materijalom. Za vrijeme zavarivanja taj dio spoja je rastaljen te dolazi do kristalizacije i skrućivanja materijala.

Zona utjecaja topline nalazi se uz rastaljenu zonu, a dio je osnovnog materijala. U zoni dolazi do promjene kristalne strukture i mehaničkih svojstava zbog topline unesene zavarivanjem.

Danas postoji i primjenjuje se više od 80 različitih postupaka i varijanti postupaka za zavarivanje materijala, najviše metala ali i plastičnih materijala. Najveći dio proizvodnje zavarivanjem obavlja se sa sljedećih pet 5 postupaka zavarivanja:

1. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama (REL)

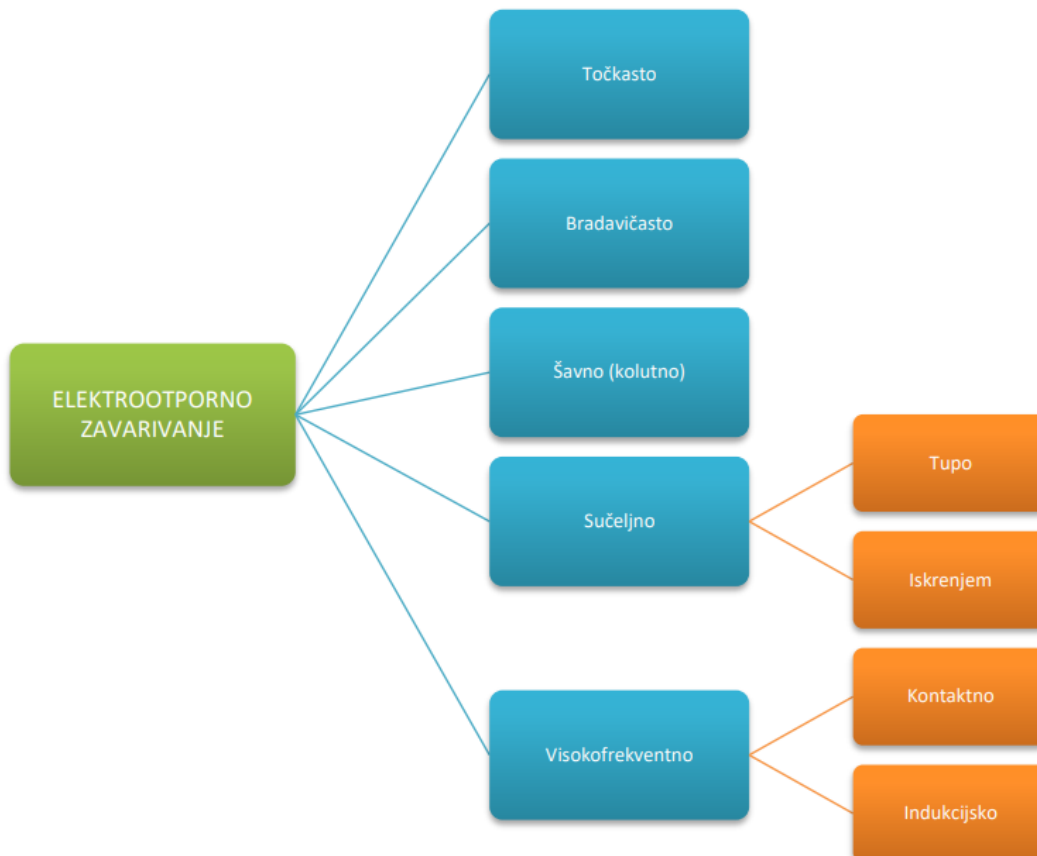
2. Zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina ili plinskih mješavina (MIG/MAG)
3. Zavarivanje netaljivom elektrodom od volframa u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (TIG)
4. Zavarivanje pod praškom (EPP)
5. Elektrootporno zavarivanje (EO) [1,2]

## 2. Elektrootporno zavarivanje

Elektrootporno zavarivanje spada u grupu postupaka kod kojih se materijal zagrijava toplinom koju stvara električni otpor, a zavareni spoj stvara dodatna sila pritiska između dvije elektrode. Toplina se stvara električnim otporom koja se onda koristi za zagrijavanje određene količine materijala na temperaturu zavarivanja kao i za zagrijavanje materijala u okolnoj zoni radi lakšeg plastičnog deformiranja.

Prednosti ovog zavarivanja su velika proizvodnost i mogućnost automatizacije i robotizacije, dok su osnovne mane ograničenja vezana za geometriju dijelova za zavarivanje te nemogućnost postizanja hermetičkog spoja posebno kod točkastog zavarivanja.[3]

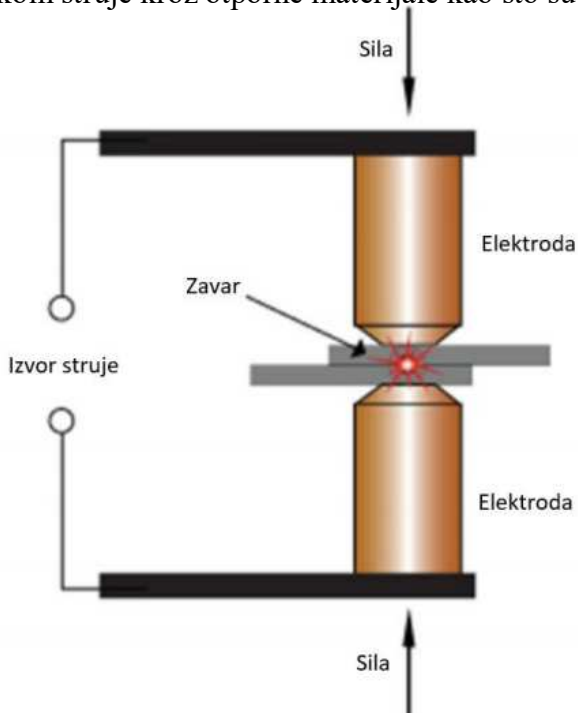
Vrste elektrootpornog zavarivanja prikazane su na slici ispod.



Slika 2 Prikaz vrsta elektrootpornog zavarivanja [6]

## 2.1. Elektrootporno točkasto zavarivanje

Točkasto zavarivanje je postupak elektrootpornog zavarivanja, koristi se prvenstveno za zavarivanje dva ili više metalnih limova zajedno primjenom pritiska i topline koja nastaje radi otpora prolasku električne energije kroz materijale na područje zavara. Djeluje dodirom elektroda od legure bakra s površinama ploča, pri čemu se primjenjuje pritisak i električna struja, a toplina se stvara prolaskom struje kroz otporne materijale kao što su niskouglični čelici. [4]



Slika 3. Opći prikaz točkastog elektrootpornog zavarivanja [2]

## 2.2. Jouleov zakon

Toplina koja se stvara točkastim zavarivanjem u osnovi ovisi o električnoj struji i električnom otporu radnog materijala između elektroda, a nastaje prolaskom električne struje kroz vodič. Količina proizvedene topline je funkcija struje, vremena i otpora između elektroda. Upravo ta toplina koja se stvara kod elektrootpornog točkastog zavarivanja prema Jouleovom zakonu izražava se jednadžbom:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t [J] \quad (1)$$

gdje  $I$  označava jakost struje zavarivanja,  $R$  električni otpor zavarenih dijelova izražen u omima i  $t$  vrijeme trajanja protoka struje u sekundama. Ukupni omski otpor dobiva se zbrajanjem pojedinih otpora:

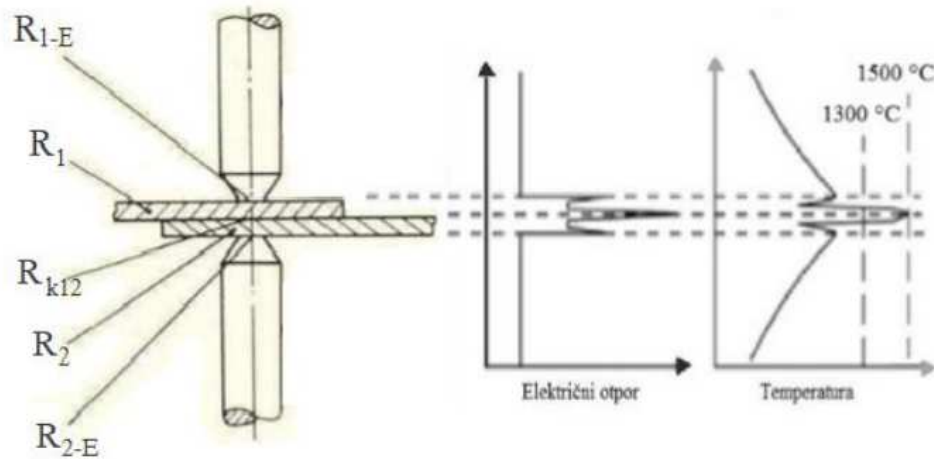
$$R_u = R_{1-E} + R_1 + R_{k12} + R_2 + R_{2-E} \quad (2)$$

gdje vrijedi:  $R_1$  i  $R_2$  - vlastiti otpori materijala

$R_{1-E}$  - otpor materijal - gornja elektroda

$R_{2-E}$  - otpor materijal - donja elektroda

$R_{k12}$  - kontaktni otpor – materijal - materijal



Slika 4. Prikaz električnih otpora kod točkastog zavarivanja u ovisnosti o temperaturi [6]

Najveći kontaktni otpor  $R_{k12}$  ostvaruje se na početku zavarivanja između radnih komada uslijed nehomogenosti i hrapavosti dodirnih površina. Kontakt se ostvaruje na mjestu dodira, odnosno lokalnih ispupčenja, što bi značilo da struja teče samo kroz mali dio presjeka. Upravo se zbog toga stvara veliki kontaktni otpor na mjestu dodira.

Djelujemo li istovremeno odgovarajućom silom pritiska, kontaktni otpor se znatno smanjuje, a površina kontakta povećava. Rast specifičnog otpora sloja metala uz kontakt, smanjenje otpora oksidnog sloja te povećanje broja i površine fizičkih kontakata između elektrode i plastične deformacije zagrijanog metala, posljedica je povišenja temperature i značajnog smanjenja kontaktnog otpora.

Kontaktni otpori materijal - elektroda  $R_{1-E}$  i  $R_{2-E}$  za vrijeme zavarivanja zadržavaju konstantne vrijednosti, također znatno su manji od kontaktnog otpora  $R_{k12}$  zbog elektroda koje dobro provode električnu energiju.

Vlastiti otpori materijala ( $R_1$  i  $R_2$ ) određuju se Ohmovim zakonom za električni otpor:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} [\Omega] \quad (3)$$

gdje je  $l$  duljina električnog vodiča  $[mm]$ ,  $S [mm^2]$  ploština njegovog poprečnog presjeka. Specifični električni otpor  $\rho [\Omega_{mm^2} / m]$  raste porastom temperature, a najvažnija je termofizička karakteristika materijala kod elektrootpornog zavarivanja, jer omogućuje da se izvor topline od pretežno površinskog u početnoj fazi promjeni na kraju u zapreminski. Specifični otpor legura određen je njihovim sastavom, koji je veći nego kod čistih metala i termomehaničkom obradom, a u manjoj mjeri i mikrostrukturom.

Dakle, kontaktni otpor djeluje kratkotrajno i brzo opada do zanemarive vrijednosti, kada je ukupni otpor minimalan, dok se vlastiti otpor povećava do maksimalne vrijednosti, poslije čega se njegova vrijednost smanjuje. [5]

### 2.3. Parametri elektrootpornog točkastog zavarivanja

Parametri procesa točkastog zavarivanja imaju vlastitu važnost, a mala promjena jednog od parametra utjecat će na sve ostale parametre. Odgovarajuća kombinacija parametra točkastog zavarivanja proizvest će čvrst spoj i dobru kvalitetu zavarivanja. [5]

Parametri točkastog zavarivanja:

1. sila pritiska elektrode  $F, [N]$
2. promjer kontaktne površine elektrode  $d_e, [mm]$
3. vrijeme prijanjanja elektrode  $t_p [s]$
4. vrijeme zavarivanja  $t_z [s]$
5. vrijeme zadržavanja sile pritiska  $t_d [s]$
6. struja zavarivanja  $I_z [A]$

#### 2.3.1. Sila pritiska elektrode

Svrha sile pritiska elektrode je spojiti dijelove koje treba zavariti, odnosno držati dijelove kako bi se osigurao tijesan kontakt dijelova na spojnoj površini. Kad se sila elektrode poveća, toplinska energija će se smanjiti, a visoki tlak koji djeluje na zavareni spoj, smanjit će otpor na točki kontakta između vrhova elektroda i površine dijelova. Dakle, veća sila elektrode, veća sila zavarivanja. Preslab pritisak na vrhove ili kada struja zavarivanja bude previsoka imat će posljedicu taljenja zavara, dok će prejak pritisak uzrokovat mali točkasti zavar. Stoga, poveća li pritisak električnu struju i naknadna toplina se prenosi na šire područje, penetracija i površina zavara će se smanjiti. [5]



### 2.3.2. Promjer kontaktne površine elektrode

Kontaktne površine ili vrhovi elektroda služe za dovođenje struje zavarivanja na radni komad te postavljanje žarišne točke zavarenog spoja i odvođenje topline s površine radnog komada. Vrhovi elektroda zadržavaju svoj prvobitni oblik i svojstva toplinske i električne provodljivosti tokom zavarivanja, a također i kontroliraju veličinu zavarenog spoja. Upravo radi toga je važno da promjer kontaktne površine bude nešto malo veći od potrebnog promjera zavara. Ukoliko bi promjer vrha elektrode bio premalen, površina spoja bila bi još manja i krhka, a isto tako postoji opasnost od pregrijavanja metala te stvaranja praznina i plinskih džepova u zavarenom spoju u slučaju većeg promjera elektrode od potrebnog.

Postoji opća formula za pravilan odabir promjera vrha elektrode, iz razloga što svojstva različitih metala utječu na odabir veličine vrha elektrode.

Opća formula glasi:

$$d_t = 5 \cdot t^{\frac{1}{2}} \text{ [mm]} \quad (4)$$

$d_t$  označava promjer točke zavarivanja, a  $t$  je oznaka za debljinu radnog materijala koji se zavaruje.

Zavaruju li se dva komada debljine 1 mm točkastim zavarivanjem proizvest će se zavareni spoj promjera 5 mm. Potrebna je elektroda promjera 6 mm kontaktne površine, tj. vrha. U proizvodnji elektroda promjera 6 mm kontaktne površine koristi se za materijale debljine od 0,5 do 1,25 mm. [6]

### 2.3.3. Vrijeme stiskanja elektrode

Vrijeme stiskanja je vremenski interval između početka pritiska elektroda na radni komad i početka propuštanja struje kroz radni komad. Ovaj parametar je bitan jer je potreban za odgodu struje zavarivanja dok sila elektrode ne postigne željenu razinu. [5]

### 2.3.4. Vrijeme zavarivanja

Vrijeme zavarivanja je vrijeme tijekom kojeg struja zavarivanja prolazi kroz elektrode i radni komad. Vrijeme zavarivanja se mjeri i podešava u ciklusima mrežnog napona kao i sve funkcije mjerenja vremena, dakle jedan ciklus je 1/50 sekunde u sustavu napajanja od 50Hz. Teško je odrediti točnu vrijednost optimalnog vremena zavarivanja jer ovisi o više čimbenika.

Na primjer:

- vrijeme zavarivanja trebalo bi biti što kraće
- struja zavarivanja treba dati najbolju moguću kvalitetu zavarivanja
- parametri trebaju biti odabrani tako da trošenje elektroda bude što manje, vrijeme zavarivanja - kratko
- dulje vrijeme zavarivanja uzrokovat će veći promjer zavarenog spoja
- vrijeme zavarivanja će se morati prilagoditi opremi za zavarivanje u slučaju da ne ispunjava zahtjeve za struju zavarivanja i silu elektrode, radi toga moguće je dulje vrijeme zavarivanja
- vrijeme zavarivanja mora biti prilagođeno zavarivanju s automatskim podešavanjem vrha, gdje se veličina kontaktne površine elektrode može održavati na konstantnoj udaljenosti, vrijeme zavarivanja - kratko [7]

U slučaju ako je vrijeme zavarivanja predugo, mjesto zavarivanja može prijeći točku taljenja materijala i može uzrokovati neispravan zavareni spoj zbog nastajanja poroznosti plina. Isto tako, izbacivanje rastaljenog metala iz zavarenog spoja može smanjiti poprečni presjek i oslabiti zavar. Kako bi se smanjio pretjerani prijenos topline u radnom komadu te minimalizirala promjena oblika zavarenog spoja i da bi zona zahvaćena toplinom oko zavarenog mjesta bila znatno manja koristi se kraće vrijeme zavarivanja. [6]

Ovisno o debljini metala, sile na elektrodama i promjeru samih elektroda, optimalno vrijeme zavarivanja nalazi se u rasponu od 0,1 do 0,63 sekunde. [8]

### **2.3.5. Vrijeme zadržavanja sile pritiska**

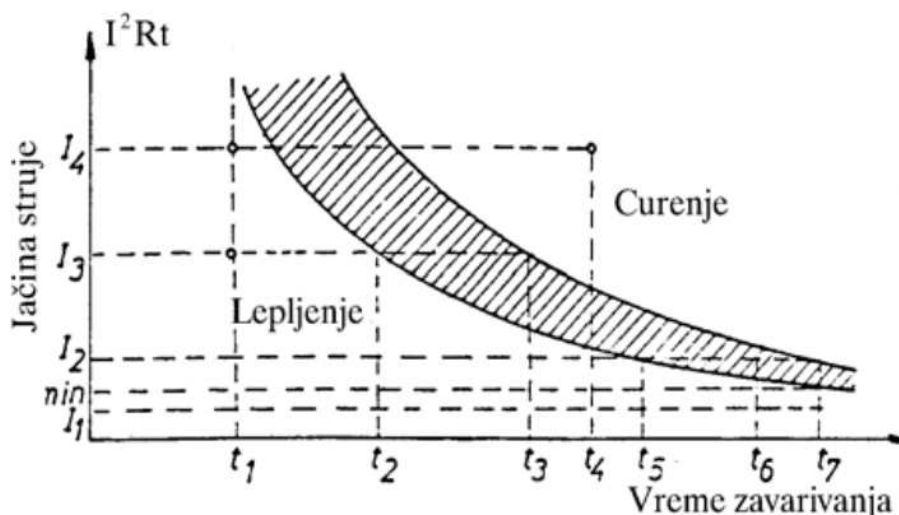
Vrijeme zadržavanja je vrijeme nakon zavarivanja, između završetka prolaska električne energije kroz radni komad i otvaranja elektroda. S tehničkog stajališta zavarivanja, vrijeme zadržske je najzanimljiviji parametar zavarivanja. Vrijeme zadržavanja potrebno je kako bi se zavareni spoj mogao skruti prije nego što se radni komadi oslobode, ali ne smije biti predugo kako se ne bi zagrijavala elektroda, a tada će ona biti više izložena trošenju. Nadalje, ako je vrijeme zadržavanja predugo, a sadržaj ugljika u materijalu visok (viši od 0,1%) postoji rizik da će zavar postati lomljiv, a kod zavarivanja pocinčanog čelika preporučuje se dulje vrijeme zavarivanja. [5]

### 2.3.6. Struja zavarivanja

Struja zavarivanja je struja u strujnom krugu tijekom izrade zavara. Količina struje zavarivanja kontrolira se pomoću dvije stvari:

- postavka prekidača transformatora određuje maksimalnu dostupnu količinu struje zavarivanja
- postotak kontrole struje određuje postotak raspoložive struje koja će se koristiti za izradu zavara.

Obično se ne preporučuju postavke niskog postotka struje jer to može narušiti kvalitetu zavara. Treba zadržavati struju zavarivanja što je moguće nižom. Pri određivanju struje koja će se koristiti, struja postoji i povećava se postepeno sve dok se između radnih komada ne pojavi taljenje tj. „curenje“ zavara. Kada dođe do taljenja znači da je postignuta ispravna struja zavarivanja. [7]



Slika 5. Prikaz ovisnosti jačine struje i vremena zavarivanja [6]

Jačina struje i vrijeme zavarivanja međusobno su povezani parametri. Uvijek postoji minimalna jačina struje potrebna za dobivanje zavarenog spoja, a vrijeme zavarivanja se ne može povećati preko neke vrijednosti. Minimalna vrijednost jačine struje ovisi o karakteristikama osnovnog materijala, debljini limova i stanja njihovih površina, dimenzija vrha elektrode i sile pritiska, kao i temperaturi metala na mjestu gdje se te površine dodiruju. Šrafirani dio pokazuje vrijednost jačine struje i vremena zavarivanja pri kojima je moguće dobiti zavareni spoj. No, zavareni spoj neće nastati ako se odaberu vrijednosti jačine struje i vremena zavarivanja koje se nalaze lijevo od šrafiranog dijela, već će se tada pojaviti efekt „ljepljenja“ spojeva. S desne strane od

šrafiranog dijela, uslijed prekomjerne topline, nastaje prskanje, tj. „curenje“ ili izbacivanje rastopljenog metala, što također pogoršava kvalitetu zavara. [3]

## **2.4. Režimi zavarivanja**

Kako bi se postigao kvalitetan točkasti zavareni spoj potrebno je definirati optimalni režim zavarivanja, što uključuje i izbor osnovnih parametara zavarivanja. Režimi zavarivanja prema jačini struje i vremenu mogu se podijeliti na:

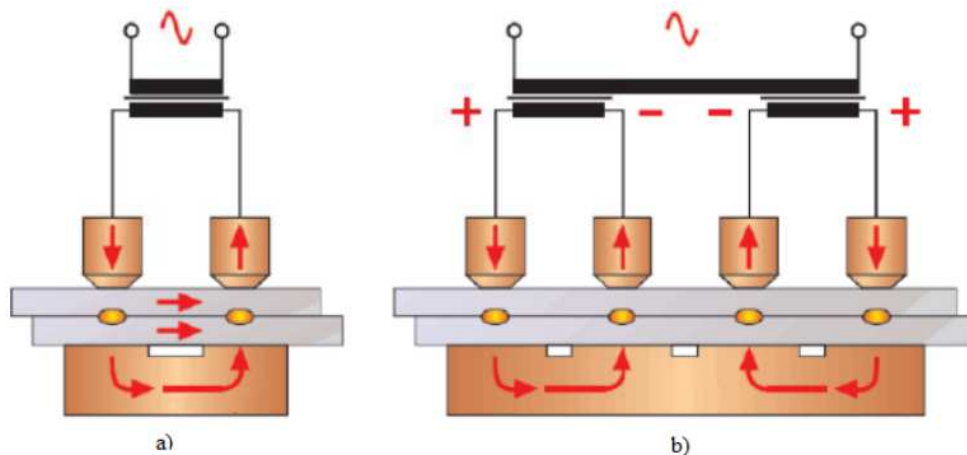
- „oštre“ - jačina struje velika, a vrijeme zavarivanja kratko
- „meke“ - jačina struje mala, a vrijeme zavarivanja dugo. [8]

Manji toplinski gubici i deformacija te bolja kvaliteta zavara karakteriziraju oštri režim. Oštri režim najčešće se koristi za zavarivanje aluminija i bakra, a mana mu je to što je oprema skuplja. Kod mekog režima nastaju veliki toplinski gubici i deformacije te duboki otisak elektroda. Režimi se odražavaju na oblik zavarene točke. Ispupčenje na rubovima karakterizira oštri režim, dok kod mekog režima oblik zavarene točke je gotovo eliptičan. [2]

## **2.5. Proces spajanja metala elektrootpornim zavarivanjem**

Kod elektrootpornog točkastog zavarivanja toplina se razvija zbog otpora tijekom struje između kontaktnih površina radnih komada pritisnutim bakrenim elektrodama. Radni komadi postavljaju se jedan na drugi i polažu između elektroda. Struja prolazi kroz gornju elektrodu, kroz radni komad te sve do donje elektrode. Kontaktni otpor manji je između elektroda i lima, a veći između limova, pa se volumen između limova rastali. Kad struja prestane teći, točka se skrutne, a pritisak elektroda se zadržava do hlađenja. Kod točkastog zavarivanja zavar je lećastog oblika.

Točkasto zavarivanje ovisno o broju točaka može biti jednotočkasto ili višetočkasto. Jednotočkasto zavarivanje je zavarivanje gdje se elektrode nalaze s obje ili s jedne strane zavarenog spoja, dok kod višetočkastog zavarivanja struja istodobno prolazi kroz više točaka, što daje rezultat više zavarenih mjesta. [9]



Slika 6. Primjer indirektnog zavarivanja s jednom ili više elektroda [6]

## 2.6. Vrste elektroda

Sekundarni dio strujnog kruga su elektrode. Žele li se postići najbolji rezultati potrebno je koristiti odgovarajuće elektrode. Izbor elektrode prikladne legure od iznimne je važnosti iz razloga jer može pomoći u postizanju ravnotežnije izmjene topline ili smanjiti trošenje vrha elektrode. One su tijekom procesa zavarivanja izložene visokim strujnim, toplinskim i mehaničkim opterećenjima. Elektrode se radi toga najčešće izrađuju od legura bakra jer moraju imati što veću električnu provodljivost te otpornost na trošenje pri povišenim temperaturama.

Najčešće korišteni materijal za izradu elektroda je legura bakra s kromom (0,3-1,2% Cr), kadmijem (0,7-1,3 Cd) ili legura triju elemenata Cu-Cr-Zr (0,5-1,4%Cr, 0,02-0,2% Zr), također za neke specijalne slučajeve koriste se volframove legure (najčešće s bakrom) koje imaju manju provodljivost od legure bakra, ali tvrdoća im je veća.

Trajnost elektroda ovisi od njihovog materijala i konstrukcije, režima zavarivanja i uvjeta hlađenja. Osnovni uvjet za dobivanje kvalitetnog zavarenog spoja je visoka kvaliteta elektroda.

Elektrode za elektrootporno zavarivanje u najširem značenju obavljaju funkcije:

1. provode struju zavarivanja na radne komade
2. prenose potrebnu silu na radne komade u svrhu dobivanja kvalitetnog zavarenog spoja
3. odvođe toplinu iz zone zavarivanja i poslije njenog isključenja

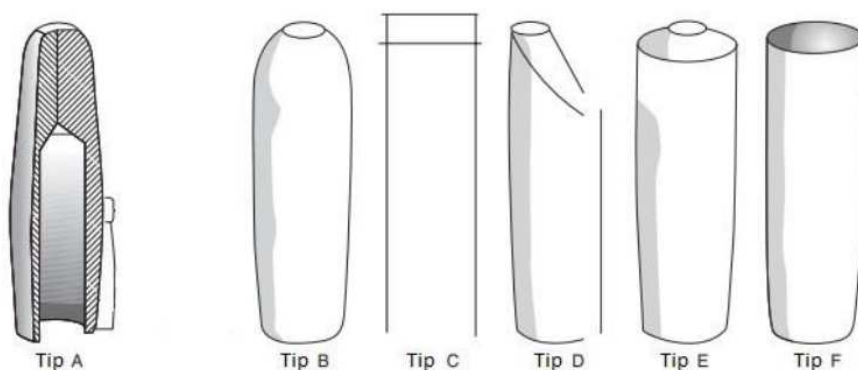
Materijali za izradu elektroda trebaju imati ove karakteristike:

- visoku električnu i toplinsku provodljivost
- visoku tvrdoću kod radne temperature
- visoku mehaničku otpornost

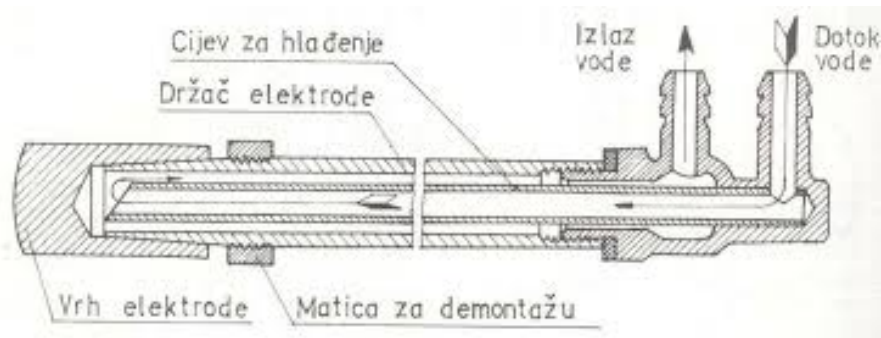
- homogenost
- postojana mehanička i električna svojstva.

Postoji mnogo vrsta elektroda, različitih oblika i veličina, koje su dostupne, ali postoji šest standardnih konfiguracijskih vrha elektroda. Najčešće korišteni oblici elektroda kod točkastog zavarivanja su: ravni, konični i kupolasti oblik.

Elektroda tipa A koristi se u primjenama za koje su vrhovi punog promjera preširoki, tip D koristi se u uglovima ili blizini prevrnutih prirubnica. Kupola (tip B) i krnji konus (tip E) koriste se u automobilskoj industriji.[10]



*Slika 7. Prikaz vrsta elektroda [10]*



*Slika 8. Shematski prikaz cilindrične zaobljene elektrode [6]*



*Slika 9. Prikaz elektroda za elektrootporno zavarivanje [2]*

## **2.7. Strojevi i vrste strojeva za elektrootporno zavarivanje**

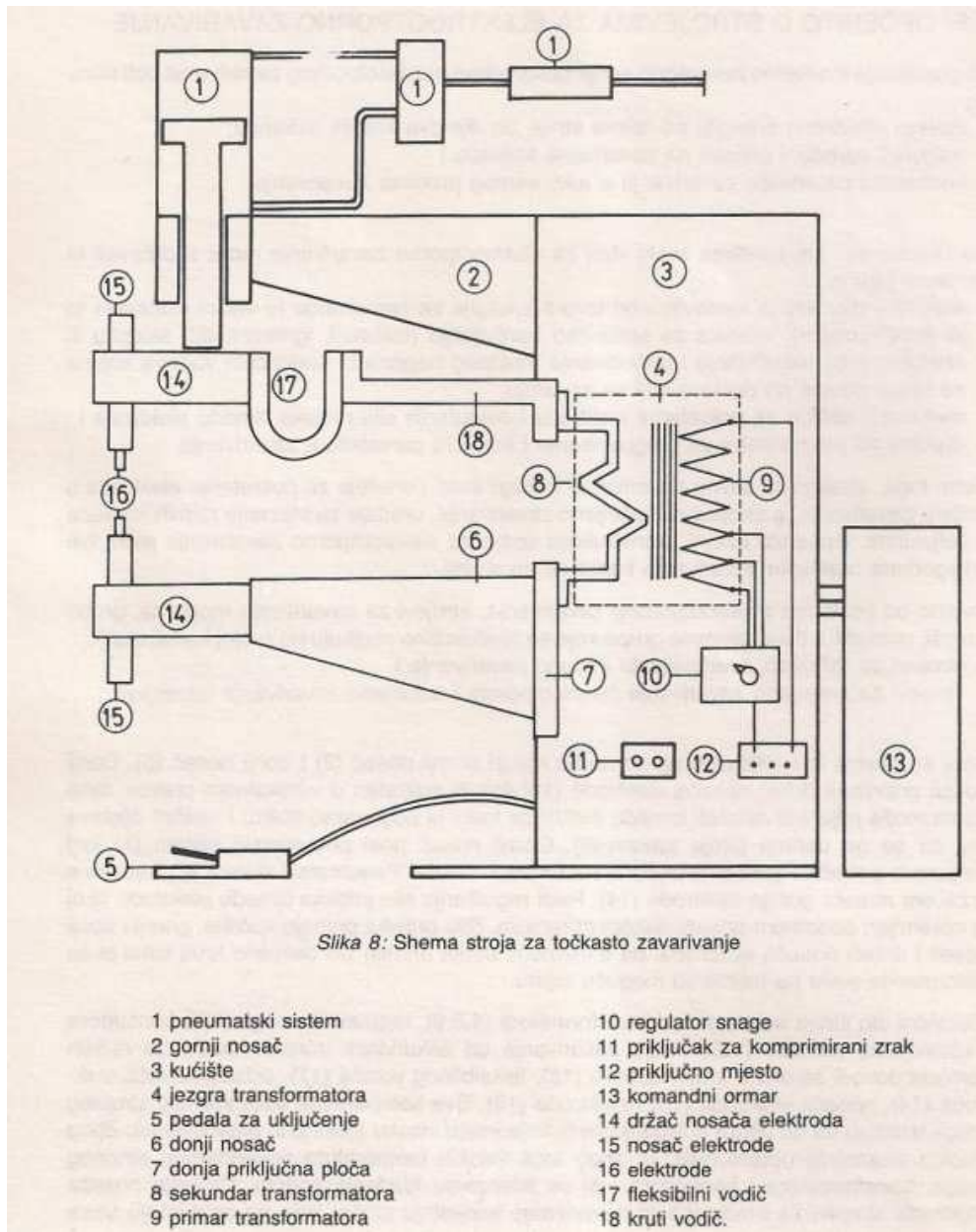
Strojevi za točkasto zavarivanje sastoje se od tri osnovne cjeline:

- strujni krug - sastoji se od transformatora i prekidača sekundarnog kruga
- upravljački krug - pokreće i regulira struju zavarivanja te određuje vrijeme trajanja protoka struje
- mehanički sustav - sastoji se od fiksatora, okvira i drugih uređaja koji drže i stežu obradak te koriste silu tokom zavarivanja.

Na slici ispod prikazan je shematski prikaz stroja za elektrootporno zavarivanje. Stroj za elektrootporno zavarivanje sastoji se od kućišta (3) na kojem se nalazi gornji (2) i donji (6) nosač. Držać elektrode (14) pridržava donji nosač i pokretan je u vertikalnom smjeru, tako da može mijenjati razmak između elektroda kako bi odgovarao obliku i veličini radnom komadu. Pritisak elektroda na radne komade osigurava pneumatski sistem (1) koji nosi gornji nosač. Dodatnu pneumatsku opremu ima stroj radi reguliranja sile pritiska između elektroda. Elementi stroja, kućište, gornji i donji nosač te držači nosača elektroda primaju silu pritiska i moraju biti dovoljno kruti kako bi se deformacije svele na najmanju moguću mjeru. Pokretanje stroja izvodi se mehanički, pomoću pendale (5).

Transformator (4,8,9), regulator snage (10), kontaktor i upravljačka jedinica (13) električni su dio stroja. Elektromagnetni prekidači koji imaju sposobnost da izvrše uključenje ili isključenje kruga pri višim opterećenjima nego releji nazivaju se kontaktori. Struja se od sekundara transformatora do radnih komada dovodi preko krutih vodova (18), fleksibilnog vodiča (17),

držača nosača elektroda (14), nosača elektroda (15) i elektroda (16). Hlađenje se vrši radi visokih strujnih opterećenja, a samim time i visokih temperatura sekundarnog strujnog kruga. [2]



Slika 10. Shema stroja za točkasto zavarivanje [2]

### 2.7.1. Vrste strojeva

Strojevi za elektrootporno zavarivanje s obzirom na vrstu struje mogu biti istosmjerni, izmjenični (frekvencija od 50Hz i niskofrekventni) i kondenzatorski (strojevi s akumulacijom).

Dakle, za elektrootporno zavarivanje potrebne su struje vrlo visoke jakosti i malog napona čija je proizvodnja otežana. Uglavnom se koristi izmjenična struja koja ima veliki nedostatak u odnosu na istosmjernu jer ima veliki induktivni otpor koji može utjecati na proces zavarivanja.



Pomoću stacionarnih transformatora moguća je proizvodnja izmjenične struje malog napona i velike jakosti. Uloga transformatora je da izmjeničnu struju transformira u također izmjeničnu s karakteristikama pogodnima za zavarivanje.

Osim vrste struje, razlikuju se također po načinu montiranja, po broju spojeva koji se zavaruju itd.

Što se tiče načina montiranja, razlikujemo strojeve u stabilnoj (fiksnoj) i prenosivoj (ručnoj) izvedbi. Veću snagu i mogućnost programiranja imaju stabilni strojevi, dok mogućnost zavarivanja teže dostupnih mjesta radi mogućeg manevriranja imaju prenosivi strojevi.

Po broju spojeva, strojevi mogu biti jednotočkasti ili višetočkasti. Podjela prema putanji elektrode zavarivanja može biti linearno ili škarasto. Škarasto zavarivanje je kada je put elektrode u obliku kružnog luka, dok je kod linearnog put elektrode linearan. Sila na elektrode može se postići na hidraulički, pneumatski, električni ili mehanički način. [10]



*Slika 11. Prikaz prenosivog stroja za elektrootporno točkasto zavarivanje*



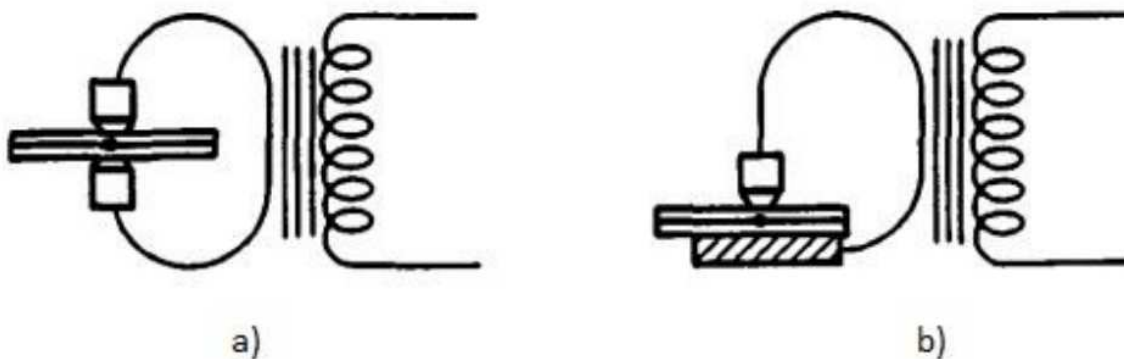
*Slika 12. Prikaz stabilnog stroja za elektrootporno točkasto zavarivanje*

## 2.8. Konfiguracije točkastih zavara

Elektrootporni točkasti zavareni spojevi podijeljeni su u četiri osnovne skupine koje su standardizirane i precizno definirane. Četiri skupine su: direktno, indirektno, paralelno i serijsko elektrootporno točkasto zavarivanje. Razlika između njih je uglavnom posljedica struje puta kroz raspored i oblik elektroda te zavar.

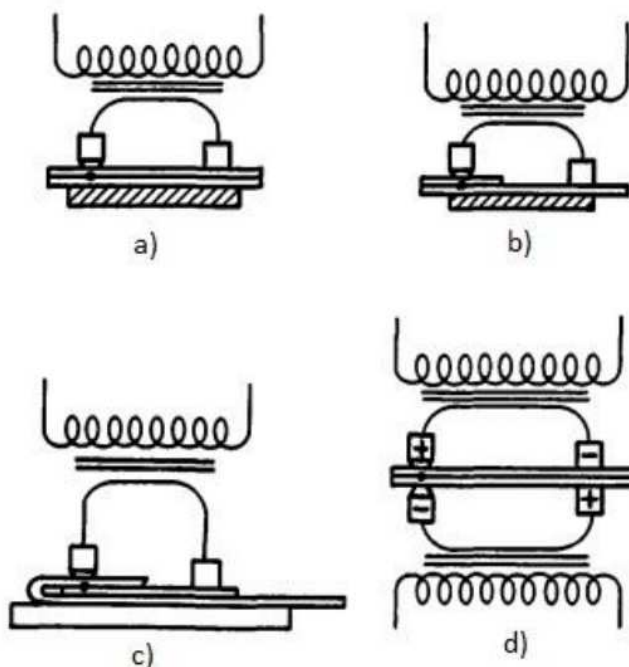
**1. Direktno zavarivanje** - Kod ovog zavarivanja tok struje prolazi direktno kroz radni komad između nasuprotnih elektroda. Prikazane su dvije vrste direktnih zavara, na slici a) prikazuje se osnovni točkasti zavar koji je i najlakše proizvesti, jer elektrode mogu biti optimalnog promjera i oblika. Upravo se većina konfiguracija elektrootpornog zavarivanja temelji na ovoj vrsti zavarivanja. Ukoliko je raspored elektroda odgovarajući te odabran korektan oblik gornje elektrode, donja elektroda može biti blok elektro provodljivog materijala. Površina u dodiru s radnim komadom može biti ravna ili cilindrična. Na slici b) prikazana je elektroda s

ravnom površinom. Raspodjela topline nije tako dobra kao na slici a) zbog razlike u geometriji područja kontakta elektrode i podložnog trna s radnim komadom. Metoda na slici b) koristi se za smanjenje unosa topline u materijal koji je u dodiru sa podložnim trnom, te može biti potrebna radi oblika sklopa ili u svrhu dobivanja zavara nevidljivog na površini.



Slika 13. Prikaz direktnog režima zavarivanja [10]

2. **Serijsko zavarivanje**- Na slici su prikazane dvije varijacije serijskog točkastog zavarivanja.



Slika 14. Prikaz serijskog režima zavarivanja [10]

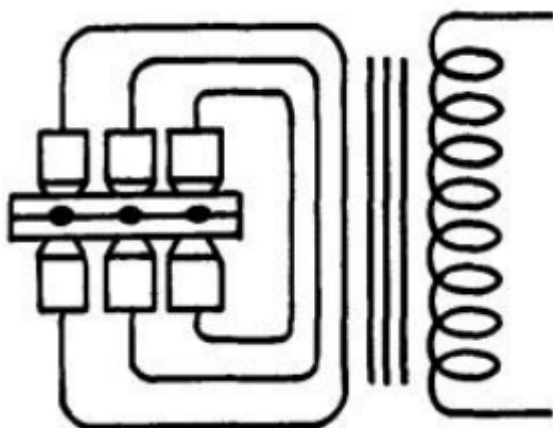
Sekundarni krug povezan je s dvije elektrode koje su u kontaktu s izratkom s iste strane, a pomoćno podložni trn provodi električnu struju, pa stoga zavar nastaje na svakoj strani

elektroda. Osnovnu konfiguraciju serijskog zavarivanja prikazuje slika a). Postoje tri paralelne putanje struje između elektroda, prva prolazi kroz gornji obradak i vrlo malo doprinosi stvaranju topline na kontaktnim površinama. Međutim, stvara toplinu u materijalu na kontaktnoj površini elektrode i obratka, rezultat je veći otisak i vidljivi zavar, nego što bi to bilo da je zavar izrađen direktnim zavarivanjem. Smanjuje li se razmak elektroda i/ili povećava debljina gornjeg radnog komada iznos struje postat će sve veći. Stoga, ovaj efekt ograničava minimalni razmak između elektroda i debljinu materijala koji je u dodiru s elektrodom. Smanjenjem otpora podložnog trna struja će se blago smanjivati. Druga putanja prolazi kroz donji radni komad, a treća kroz podložni trn. Povećanje struje na toj putanji i poboljšanje rezultata zavarivanja moguće je ako uz povećanje površine poprečnog presjeka trna ili njegove vodljivosti. Potrebna toplina za zavarivanje između obradaka ostvaruju obje ove struje jer prolaze kroz kontaktne površine.

Zavar kod kojeg gornji obradak nije kontinuiran između elektroda radi čega se eliminira pojava skretanja struje prikazan je na slici b). Uvjeti zavarivanja slični su onim za indirektno zavarivanje. Prednost u serijskom zavarivanju je sposobnost izrade zavara s elektrodama i sekundarnim krugom samo s jedne strane zavara, dok je kod direktnog točkastog zavarivanja otisak elektrode izraženiji, a raspodjela topline lošija zbog ravne površine podložnog trna. Push-pull zavarivanje prikazano je na slici c), a tu su elektrode spojene tako da svaka ima zasebne sekundarne krugove sa svake strane zavarenog spoja, s raspoređenim polaritetima. Pojava skretanja struje je još uvijek prisutna i to na oba radna komada, napon između nasuprotnih elektroda povećava omjer struje i struje zavarivanja koja skreće u usporedbi s krugom na slici a). Ovaj raspored zahtijeva pristup elektrodama s obje strane zavara te će na obje strane radnih komada biti prisutni otisci elektroda.

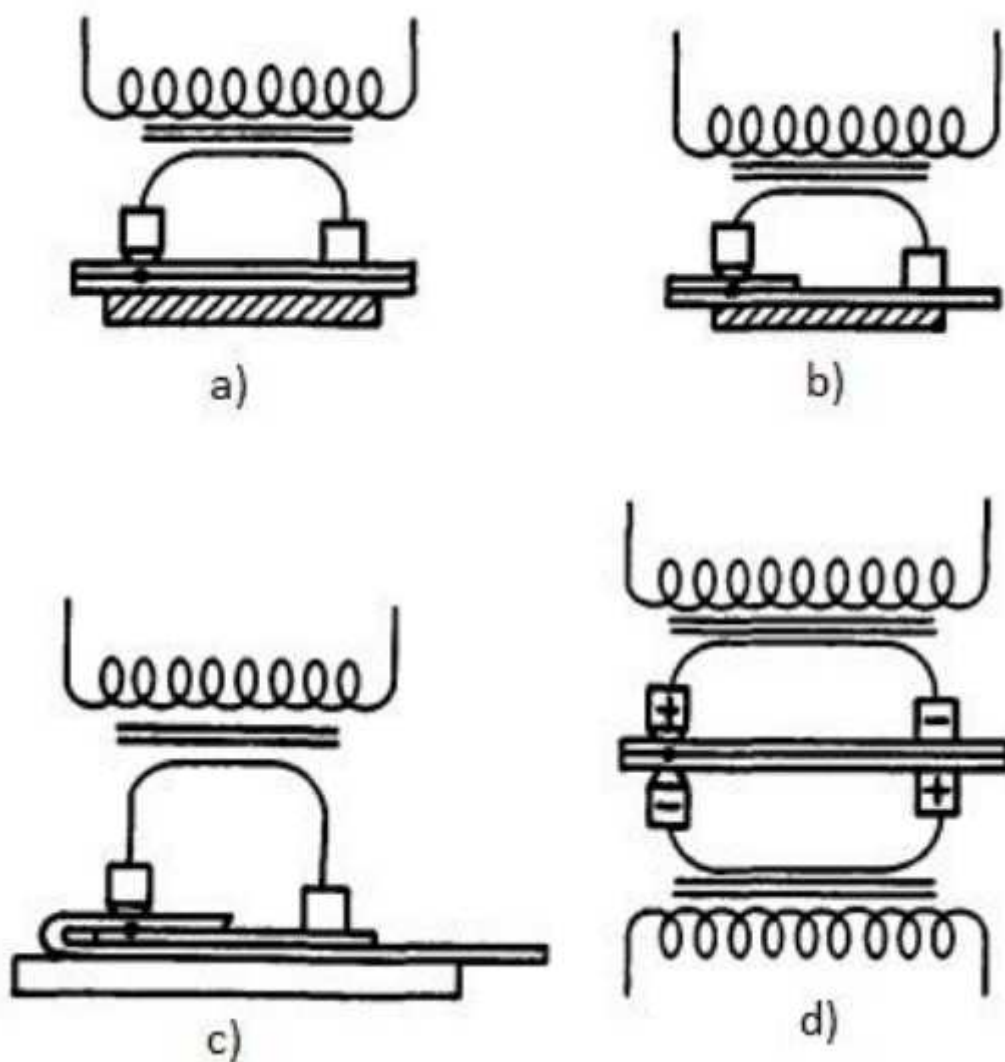
- 3. Paralelno zavarivanje** - Kod ove varijante elektrootpornog zavarivanja istovremeno se izrađuju dva ili više direktnih zavara koji su obično usko razmaknuti, a pomoću struje zavarivanja koju za sve zavarene spojeve napaja jedan transformator. Svaki element koji je uključen u postupak zavarivanja trebao bi biti jedan za svaki zavar. Najteže od svih elemenata je uravnotežiti struju zavarivanja. Kod paralelnog zavarivanja imamo dvije osnovne prednosti u usporedbi s izradom istih zavara u nizu, prva prednost je što u istom vremenu koje je potrebno za jedan zavar može napraviti više zavara. Druga prednost je što je skretanje struje prema ostalim zavarima manje učestalo, što omogućuje smanjenje minimalnog razmaka među zavarima. Dakle, struja za svaki zavar mora biti gotovo jednaka. Dva ili više krugova se napaja iz sekundarnog namota istog transformatora ona neće biti jednaka u svakom krugu osim ako impedancije svakog kruga nisu identične, to je teže za

izvesti kako se povećava broj krugova. Korištenjem transformatora s više sekundarnih namota, gdje svaki namot napaja jedan krug može se potići bolja ravnoteža.



*Slika 15. Prikaz paralelnog režima zavarivanja [10]*

4. **Indirektno zavarivanje** – Slike prikazuju brojne načine indirektnog zavarivanja. Krug na slici a) identičan je krugu za serijsko zavarivanje, osim toga da sadrži samo jednu elektrodu te tako tvori samo jedan zavar, a kod serijskog dva zavara. Indirektno zavarivanje koristi se kad nije moguće elektrodom pristupiti donjoj strani zavara i kad s jedne strane nije dopušten vidljivi otisak elektrode te kad je potreban jedan zavar. Ograničenja vrijede kao i kod serijske konfiguracije. Podložni klin može biti neprovodljiv i u potpunosti će eliminirati otiske na pokaznoj strani zavara, to vidimo na slici c) gdje se prikazuje zavarivanje prirubnice. Neizravni push-pull raspored prikazan je na slici c), ista je konfiguracija kao i kod serijskog osim što ovdje sadrži samo jedan set nasuprotnih elektroda, čime se tvori samo jedan zavar. [10]



Slika 16. Prikaz indirektnog režima zavarivanja [10]

## 2.9. Nedostaci i primjena elektrootpornog zavarivanja

Visoka početna investicija, skupo održavanje opreme, potrebna kvalificirana radna snaga za održavanje neki su od nedostataka elektrootpornog točkastog zavarivanja. Što se tiče kontrole spoja, ona je moguća samo postupkom odvajanja ili razaranja spoja. Zavarivanje je moguće do određene debljine lima, najčešće je to do 6mm, a bakar i srebro se jako teško zavaruju zbog svoje visoke toplinske vodljivosti. [6]

S obzirom na lakoću kojom se točkasto zavarivanje može automatizirati i robotizirati, radi velike učinkovitosti i kratkog trajanja postupka i mogućnost spajanja više spojeva istovremeno taj se proces najčešće koristi u masovnoj i serijskoj proizvodnji.

Točkasto zavarivanje ima primjenu u brojnim industrijama, uključujući automobilsku, zrakoplovnu i željezničku industriju, bijelu tehniku, metalni namještaj, elektroniku, medicinske zgrade i građevinarstvo.

Najveća primjena postignuta je u automobilskoj industriji pri spajanju limova u proizvodnji karoserija.

Elektroindustrija, točkasto zavarivanje koristi za zavarivanje limova kod izrade kutija, kućišta, nosača, a često zavaruje i obojene metale poput mesinga. Kod proizvodnje elektromotora znatno je postignuta ušteda u proizvodnji jer je točkasto zavarivanje omogućilo da se olakšaju rotacijski dijelovi. Također, elektrootporno točkasto zavarivanje koristi se i u vojnoj industriji kod izrade sanduka za municiju, pješadijskim minama, prstenovima za vješanje bombi te krilcima na stabilizirajućem repu granata teških topova. [2,4]



*Slika 17. Prikaz elektrootpornog točkastog zavarivanja u automobilskoj industriji*

## **2.10. Robotizacija elektrootpornog zavarivanja**

Upotreba robota za zavarivanje započela je 70-ih godina i to primjenom robota za elektrootporno zavarivanje. Roboti za elektrootporno zavarivanje nude različite vrste uštede prostora, što je razlog zašto mnoge tvrtke za proizvodnju automobila sve više koriste robote. Robotski sustavi za elektrootporno zavarivanje povećat će kvalitetu proizvoda. Motoman, Kuka, Fanuc, ABB neka su od najpoznatijih poduzeća koja se bave proizvodnjom robota za zavarivanje. Šira primjena

robota i bolje upravljanje procesom zavarivanja biti će rezultat daljnim razvojem elektronike i kompjuterske tehnike. [2,11]



*Slika 18. Prikaz robota za elektrootporno točkasto zavarivanje [2]*



### 3. Proces izrade žičane mreže pomoću elektrootpornog točkastog zavarivanja

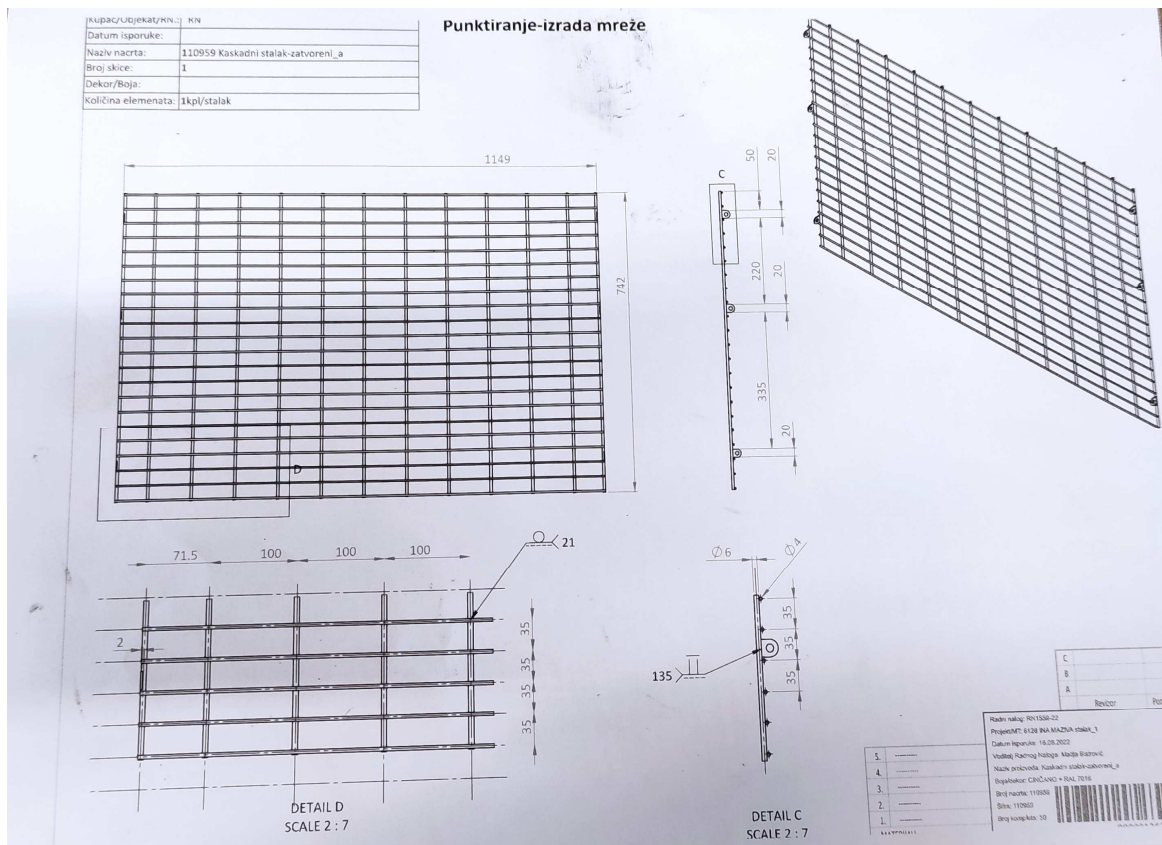
Praćenje procesa izrade žičane mreže izvedeno je u poduzeću Sobočan d.o.o.. Poduzeće Sobočan elektrootpornim točkastim zavarivanjem izrađuje žičane mreže koje se koriste u sustavima za police.



*Slika 19. Prikaz žičane mreže u sustavu polica*

#### 3.1. Priprema

Prvi korak u proizvodnji žičane mreže je čitanje dokumentacije za rad, koji je oblik i količina žice potrebna za izradu žičane mreže. Žice se režu na malo dužu dužinu od zadane iz razloga da bi magneti na stroju mogli primiti žicu, a bez magneta zavarivanje nije moguće jer su oni dio strujnog kruga. Nakon toga slijedi ravnanje i rezanje žice na potrebnu dužinu. Najčešće se koriste žice promjera četiri ili šest mm, od hladno valjanog čelika koji je otporan na savijanje. Ravnanje žice vrši se na ravnalicama. Nakon ravnjanja žice se odmah režu na potrebnu dužinu.



*Slika 20. Prikaz dokumentacije za izradu mreže*



*Slika 21. Stroj za ravnanje i rezanje žice*

Žice se režu na dvije duljine, jedne za širinu, druge za dužinu. One koje se koriste za širinu smještaju se na stroju u dozator. Dozator puni radnik, tako da žice stavlja u dozator kroz kanale koji imaju malo veći razmak kako ne bi prilikom punjenja dozatora žice zapinjale. Žice iz dozatora pomoću štipaljki padaju na elektrode.

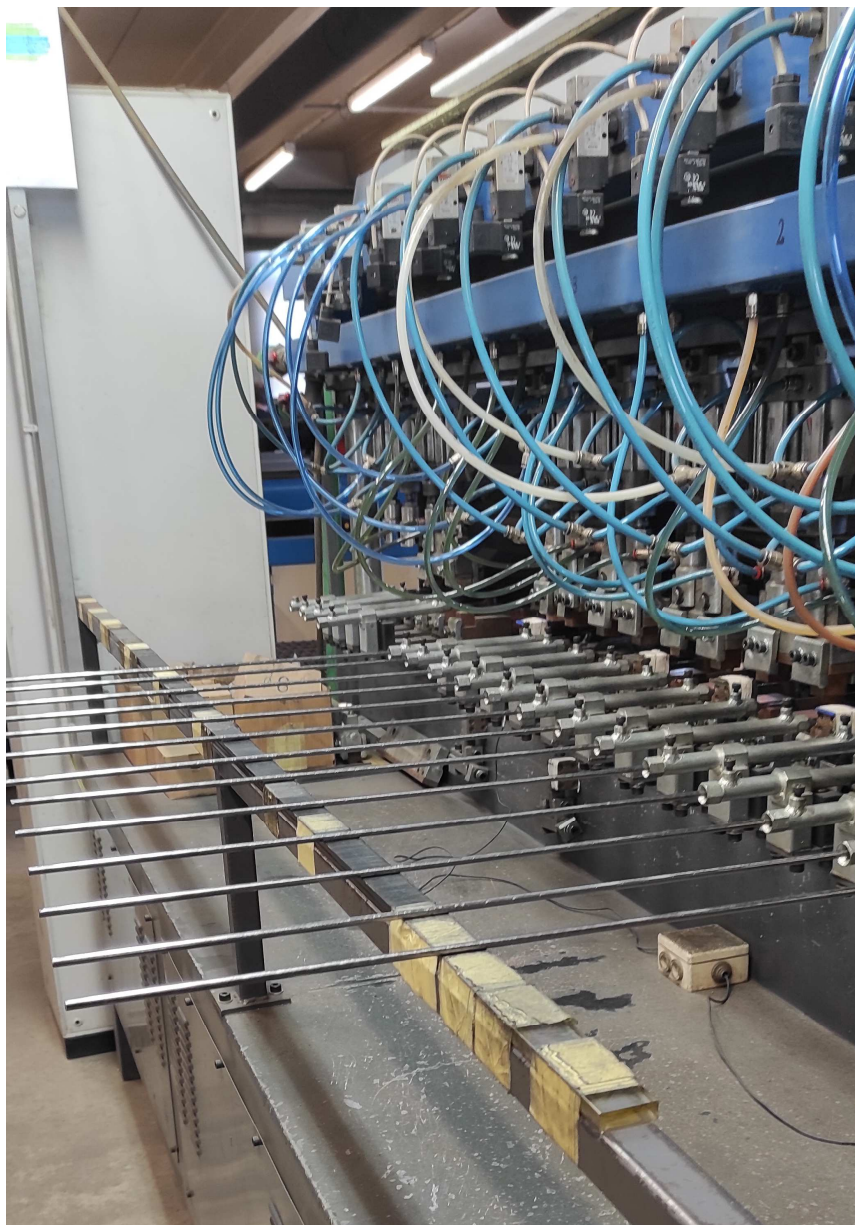


*Slika 22. Prikaz dozatora*

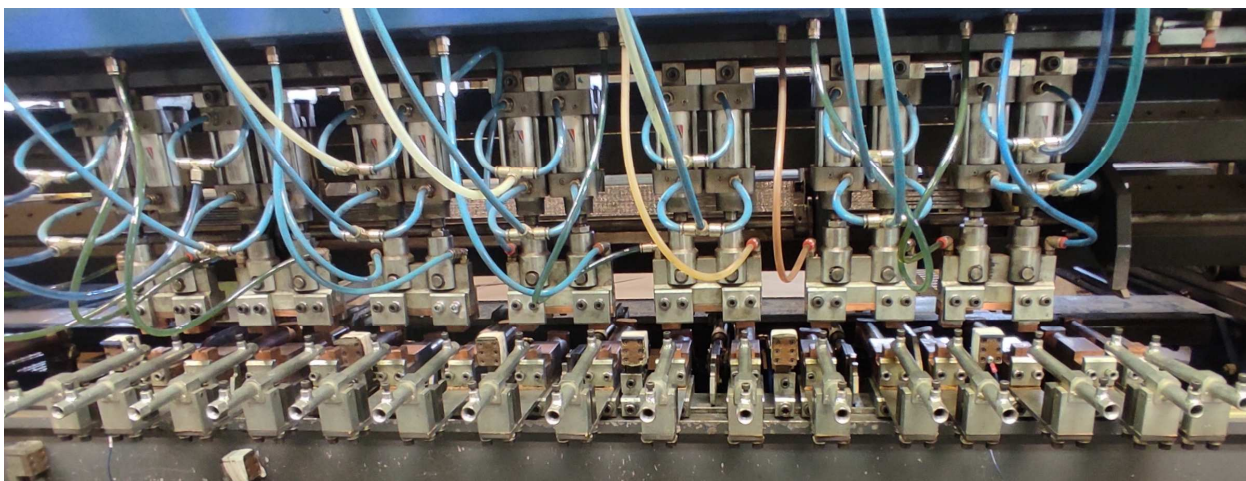


*Slika 23. Prikaz štipaljki*

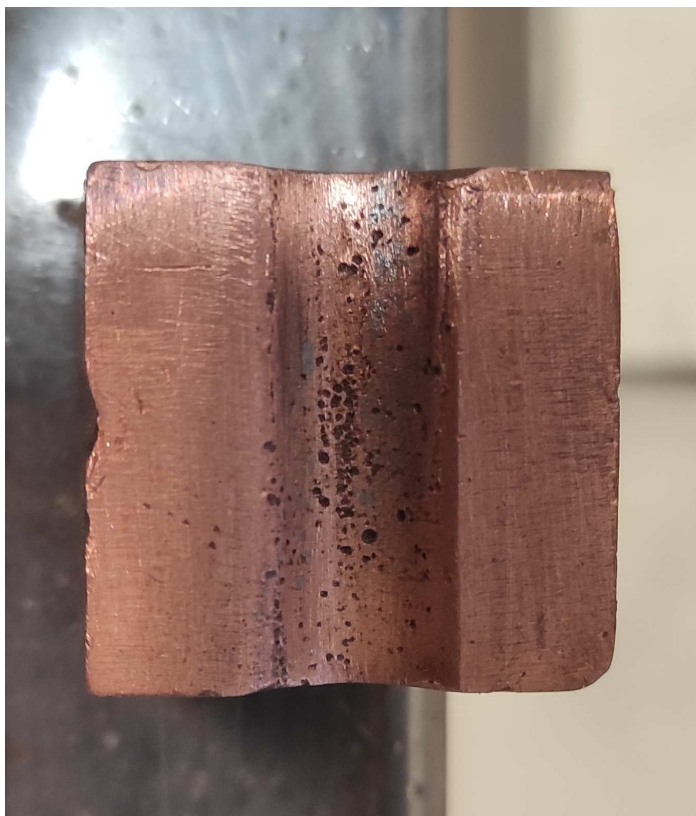
Poprečne žice postavljaju se u držače, tako da se vrh žice postavlja skoro do kraja elektrode. Elektrode su pravokutnog oblika, no imaju napravljene kanale za žicu kako bi lakše sjele na elektrodu. Kao što je ranije spomenuto, elektrode se hlade vodom. Žice drži podložak koji mora biti obložen izolatorom kako ne bi došlo do kratkog spoja, u ovom slučaju koristi se pleksiglas.



*Slika 24. Prikaz postavljanja žica u stroj*

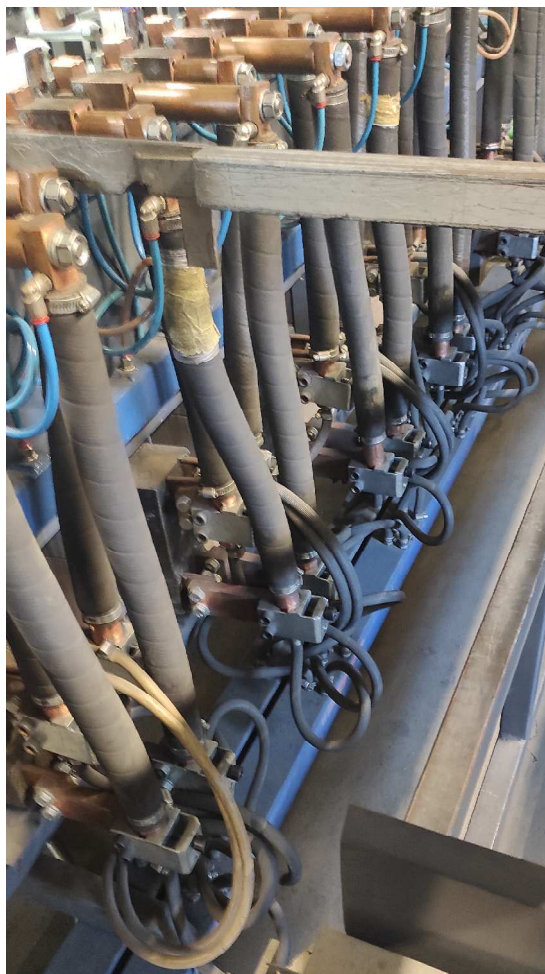


*Slika 25. Prikaz rasporeda elektroda*



*Slika 26. Prikaz elektrode za zavarivanje mreže*

Za rad stroja koriste se četiri transformatora na kojima svaki mora imati spojena dva para elektroda, ne smije imati neparan broj jer neće raditi. Dakle, jedan transformator, četiri elektrode.



*Slika 27. Prikaz transformatora*

### **3.2. Parametri zavarivanja**

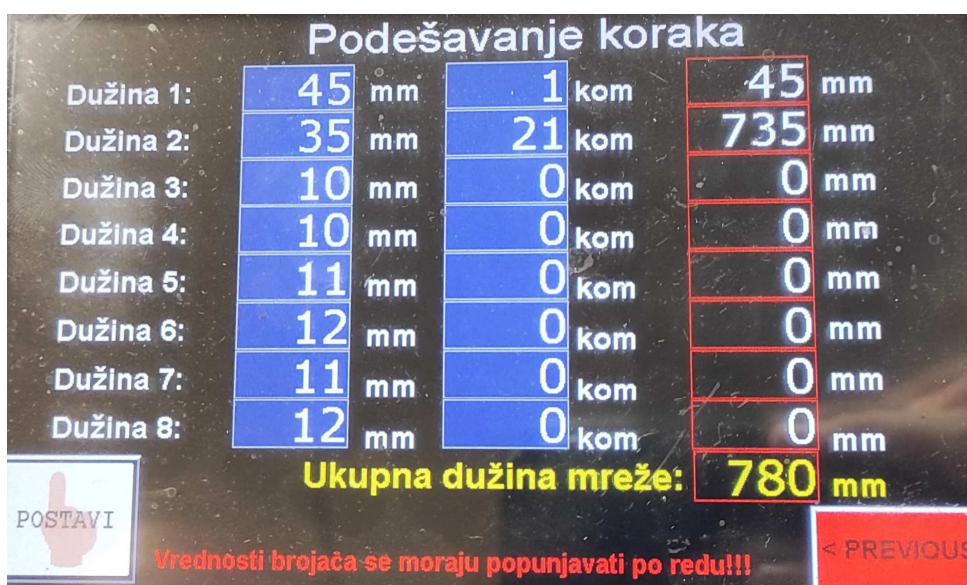
Kod ovog procesa proizvodnje žičane mreže parametri zavarivanja su sljedeći:

1. sila pritiska elektrode: 8 bara
2. promjer kontakne površine: kvadratna elektroda, dimenzija 2,5 x 2,5 cm
3. vrijeme stiskanja elektrode: 0,1 sek
4. vrijeme zavarivanja: 0,2 sek
5. vrijeme zadržavanja sile pritiska: 0,1-0,2 sek
6. struja zavarivanja: 80-100 A (mjerena u postocima)

### 3.3. Početak rada mreže

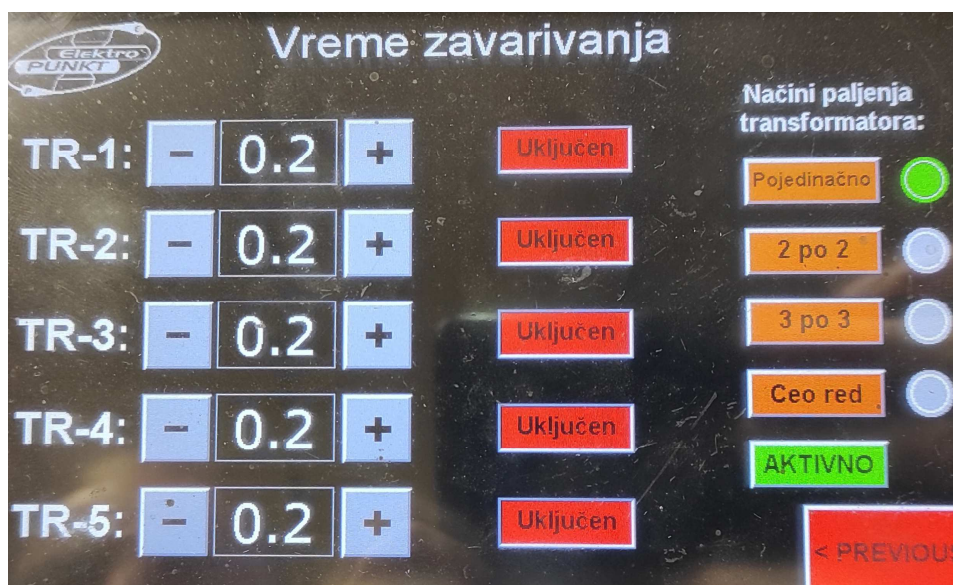
Prije početka rada na stroju je potrebno ručno, pomoću ključa podesiti razmak između elektroda na širinu kako je zadano u dokumentaciji. Nakon podešavanja razmaka stavljaju se žice u držače kako je ranije spomenuto.

Nakon toga, na glavnom ekranu prvo se podešava korak mreže. Nakon toga dužina prvog koraka i broj komada žice i onda dužina dva, gdje je standardna mjera 35mm, a u ovom procesu broj žica je 21. Na kraju se postavlja i ukupna dužina mreže.



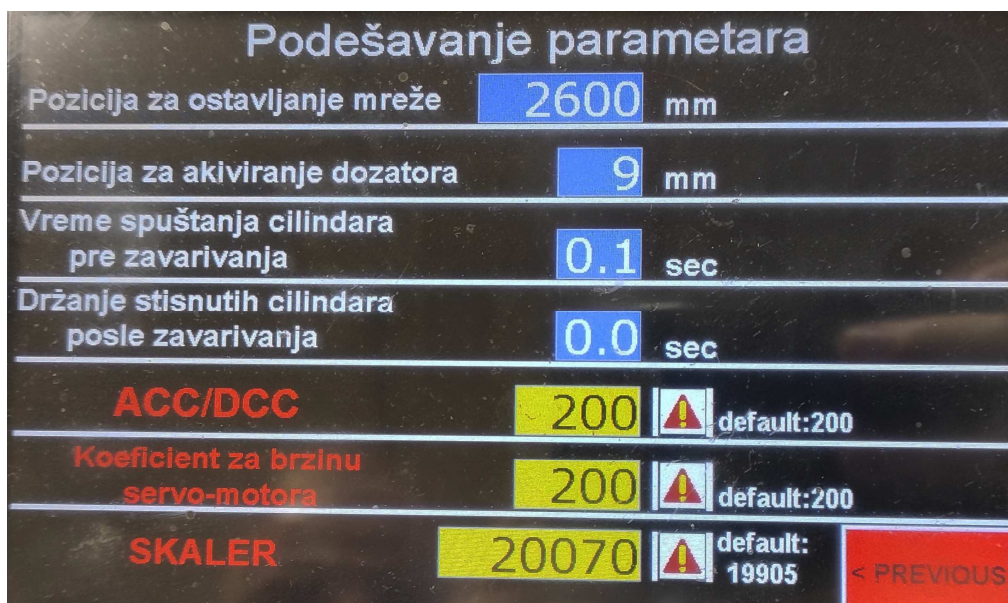
Slika 28. Prikaz podešavanja koraka na glavnom ekranu stroja

Kada se postavi korak, sljedeće je vrijeme zavarivanja. Vrijeme zavarivanja je određeno probama te se ne mijenja i traje 0,2 sekunde.



Slika 29. Vrijeme zavarivanja na glavnom ekranu stroja

Kod podešavanja parametara također se došlo probama te se oni ne mijenjaju, osim ako ima promjene, a to je promjena dužine mreže. Dužina mreže mijenja se na „skaleru“ gdje je 1mm oko 10 jedinica, a klasična dimenzija mreže je 19950 jedinica.



Slika 30. Podešavanja parametara na stroju

Sljedeći korak je podešavanje kolica, na glavnom ekranu moguće je podesiti željenu daljinu gdje će kolica nakon zavarivanja stati. Kolica prije početka rada dođu skroz ispod dozatora, jer kad proces zavarivanja krene ona se pomiću prema natrag s gotovim komadom mreže. Dakle, kolica će stati na toj određenoj udaljenosti, kako bi radnik isto tako mogao lakše uzeti mrežu i maknuti je s kolica.



Slika 31. Ručno podešavanje kolica



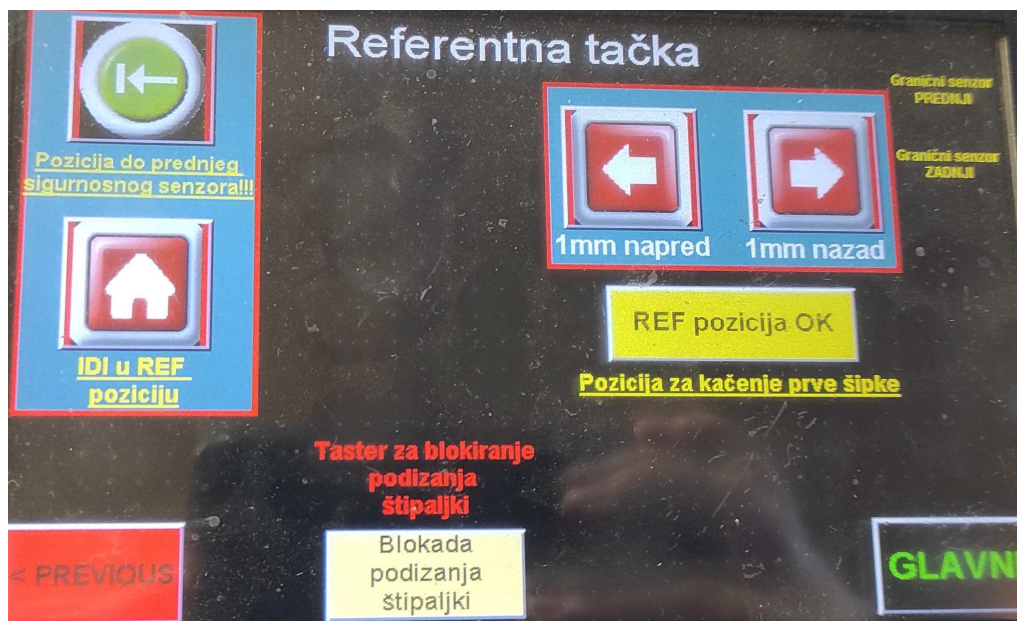
Kada su postavljeni svi parametri i potrebne dužine, kreće se s radom.

Prva žica se spušta manualno, tako da se pritisne tipka „dozator“ i na konzoli se pritisne tipka „spusti“. Nakon što je žica pala na elektrode stisne se tipka „zavari“ i žice su zavarene.



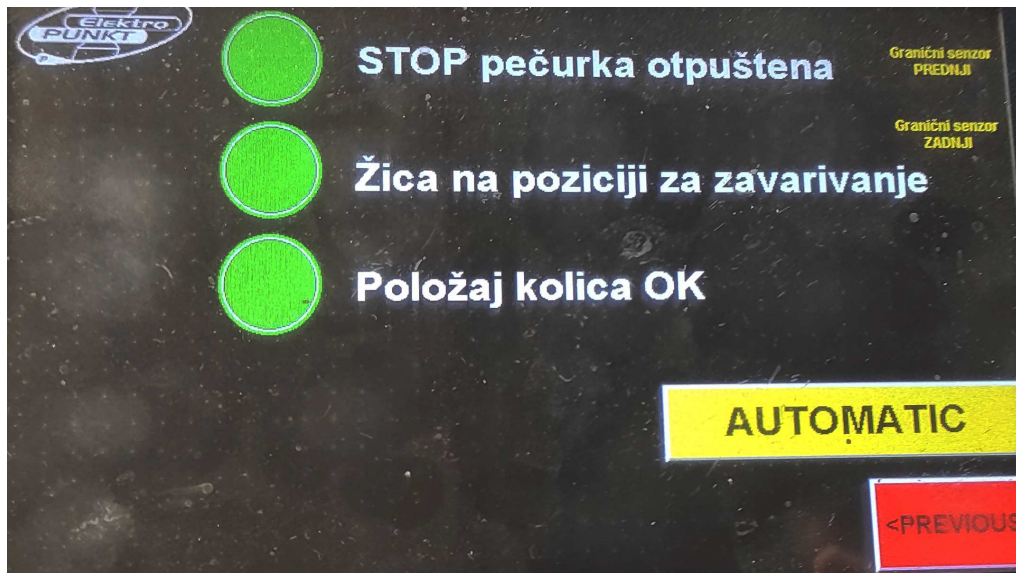
Slika 32. Prikaz glavnog ekrana na glavnom izborniku

Ručno se onda opet pritisne tipka „štipaljke gore“, nakon toga tipka „previous“, dolazi se u izbornik referentna točka te se štipaljka pomakne po 1mm do žice.

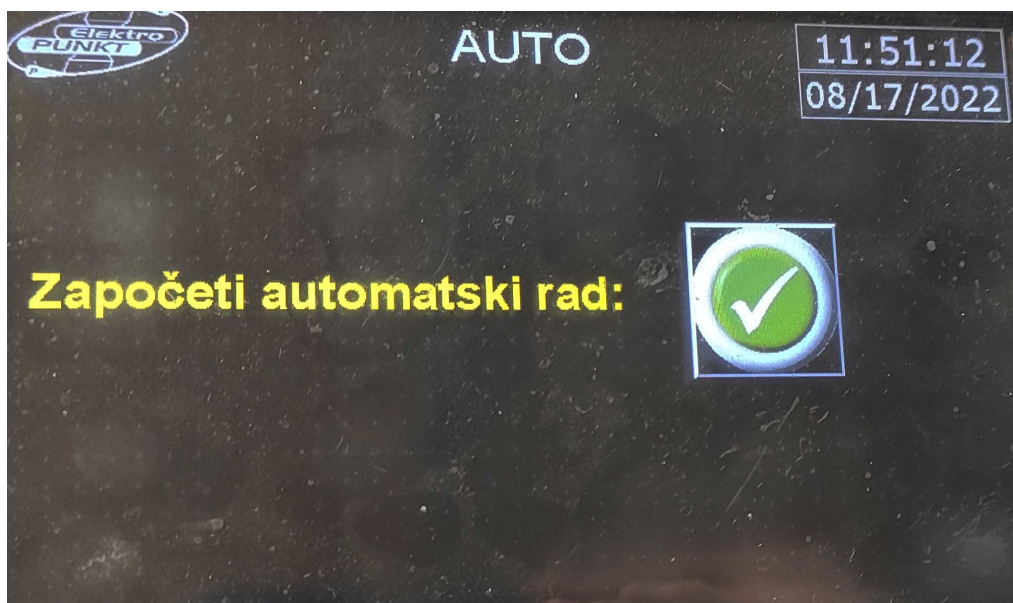


Slika 33. Prikaz referentne točke za pomicanje štipaljke

Kada se štipaljka pomaknula, na konzoli se odabere glavni izbornik gdje se opet pritisne tipka „štipaljka“, nakon toga pritisne se tipka „korak“ te se mreža pomakne za točno onaj korak koji se odredio na početku. Nakon što se pomaknula mreža za taj korak, opet se ručno pritisne tipka „dozator“ kako bi žica pala. Nakon što je žica pala, stisne se tipka „auto“ gdje se pokreće automatski rad stroja te tipka „automatic“ i pritisne se gumb i započelo je zavarivanje mreže.



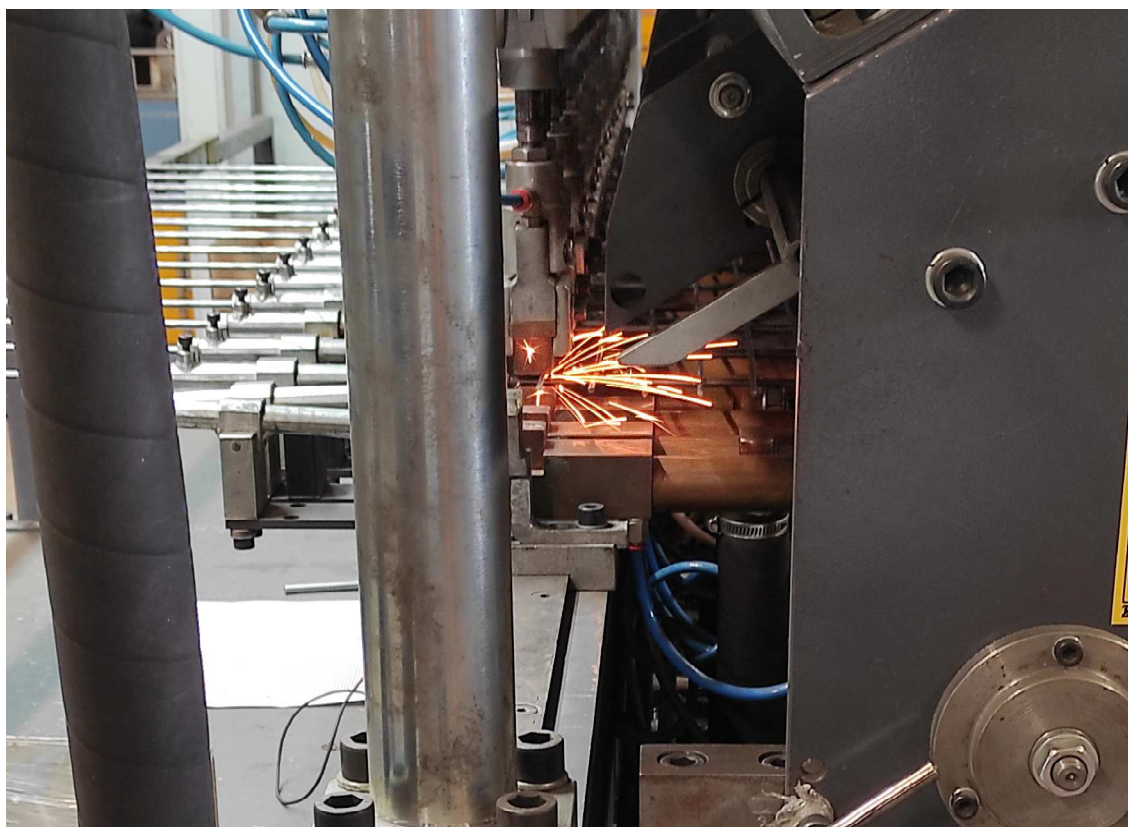
Slika 34. Prikaz ekrana prije odobravanja automatskog zavarivanja



Slika 35. Prikaz početka automatskog zavarivanja

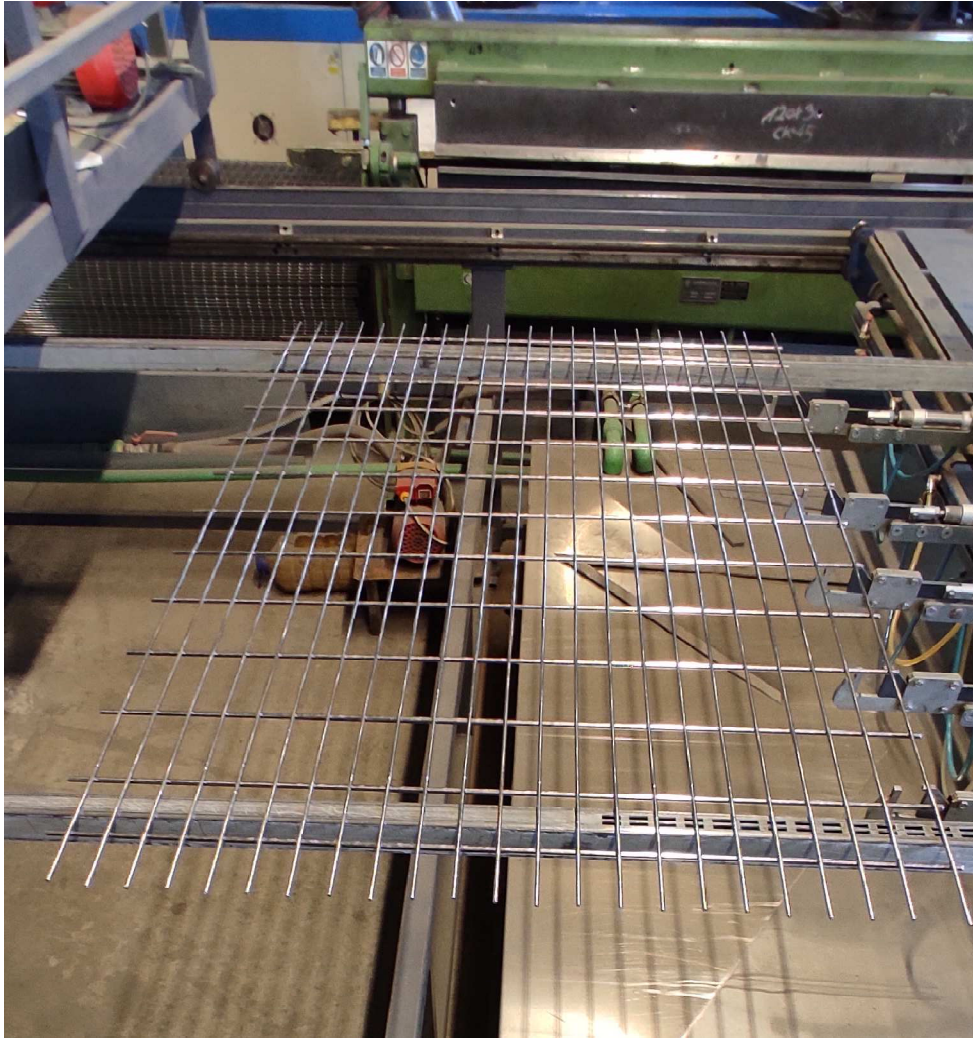


*Slika 36. Prikaz zavarivanja u tijeku na glavnom ekranu*



*Slika 37. Prikaz zavarivanja*

Kada zavarivanje završi mreža se pomakne s kolicima na određenu udaljenost kako bi se ohladila.



*Slika 38. Prikaz zavarene žičane mreže*

Pomoću škara odrežu se viškovi sa strane koji su tu radi gore spomenutih magneta. Viškovi sa strane režu se pod kutem, kako bi kasnije u daljnoj proizvodnji bilo što manje brušenja. Gotova mreža odlazi dalje na lemljenje kukica te kasnije na samu montažu.



*Slika 39. Prikaz rezanja viškova*



*Slika 40. Prikaz gotove žičane mreže nakon rezanja viškova*

## 4. Zaključak

Zavarivanje je danas najzastupljeniji i najčešći oblik spajanja metala. Elektrootporno zavarivanje je ekonomično, učinkovito i brzo. Radi automatizacije i robotizacije postupaka koristi se u masovnoj proizvodnji. Točkasto zavarivanje koristi se u automobilskoj industriji, a sve više i u avio industriji.

Zavar se kod točkastog zavarivanja dobiva pomoću električnog otpora koji nastaje prolaskom struje kroz radni komad te zagrijavanjem materijala u točki zavara. Prolaskom struje kroz radni komad zagrijava se metal i nastaje zavareni spoj.

Parametri koji su najbitniji kod točkastog zavarivanja su sila pritiska elektrode, promjer kontaktne površine elektrode, vrijeme prijanja elektrode, vrijeme zavarivanja, vrijeme zadržavanja sile pritiska i struja zavarivanja. Svih ovih šest parametara ovisni su jedni o drugima i sa svakom promjenom utječu na konačni oblik i svojstva zavarenog spoja. Struja kod zavarivanja je velika, ali vrijeme je kratko. Proces izrade žičane mreže je ekonomičan iz razloga što stroj ne koristi veliku količinu električne energije te je izrazito brz. Prilikom posluživanja stroja, stroj ne zahtijeva puno radne snage.

## 5. Literatura

- [1] O.Pašić, : Zavarivanje za studente tehničkih fakulteta, I izdanje, IP „Svjestlost“, Sarajevo, 1998.
- [2] Gracin M.: Elektrootporno točkasto zavarivanje tankih limova, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje,2020.
- [3] <http://afrodita.rcub.bg.ac.rs/~rzoran/ZAVAELOTP.pdf>
- [4] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-spot-welding>
- [5] <http://www.ijmerr.com/uploadfile/2015/0409/20150409043714398.pdf>
- [6] Krček D.: Elektrootporno točkasto zavarivanje kod valovitih stranica distributivnih kotlova, Završni rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu, 2018.
- [7] [http://www.robot-welding.com/Welding\\_parameters.htm#Diameter](http://www.robot-welding.com/Welding_parameters.htm#Diameter)
- [8] <https://amadaweldtech.com/technical-glossary/spot-welding/>
- [9] Gojić, M: Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Metalurški fakultet, Sisak, 2008.
- [10] Pavković J.,:Primjena elektrootpornog točkastog zavarivanja u autoindustriji, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2021.
- [11] <https://www.robots.com/applications/spot-welding>



## 6. Popis slika

Slika 1. Elementi zavarenog spoja dobiveni taljenjem u jednom prolazu[2].....	6
Slika 2 Prikaz vrsta elektrootpornog zavarivanja [6] .....	8
Slika 3. Opći prikaz točkastog elektrootpornog zavarivanja [2].....	9
Slika 4. Prikaz električnih otpora kod točkastog zavarivanja u ovisnosti o temperaturi [6] .....	10
Slika 5. Prikaz ovisnosti jačine struje i vremena zavarivanja [6].....	14
Slika 6. Primjer indirektnog zavarivanja s jednom ili više elektroda [6] .....	16
Slika 7. Prikaz vrsta elektroda [10] .....	17
Slika 8. Shematski prikaz cilindrične zaobljene elektrode [6].....	17
Slika 9. Prikaz elektroda za elektrootporno zavarivanje [2] .....	18
Slika 10. Shema stroja za točkasto zavarivanje [2] .....	19
Slika 11. Prikaz prenosivog stroja za elektrootporno točkasto zavarivanje.....	20
Slika 12. Prikaz stabilnog stroja za elektrootporno točkasto zavarivanje.....	21
Slika 13. Prikaz direktnog režima zavarivanja [10] .....	22
Slika 14. Prikaz serijskog režima zavarivanja [10] .....	22
Slika 15. Prikaz paralelnog režima zavarivanja [10].....	24
Slika 16. Prikaz indirektnog režima zavarivanja [10] .....	25
Slika 17. Prikaz elektrootpornog točkastog zavarivanja u automobilskoj industriji .....	26
Slika 18. Prikaz robota za elektrootporno točkasto zavarivanje [2].....	27
Slika 19. Prikaz žičane mreže u sustavu polica.....	28
Slika 20. Prikaz dokumentacije za izradu mreže.....	29
Slika 21. Stroj za ravnjanje i rezanje žice .....	29
Slika 22. Prikaz dozatora .....	30
Slika 23. Prikaz štipaljki .....	30
Slika 24. Prikaz postavljanja žica u stroj .....	31
Slika 25. Prikaz rasporeda elektroda .....	32
Slika 26. Prikaz elektrode za zavarivanje mreže .....	32
Slika 27. Prikaz transformatora.....	33
Slika 28. Prikaz podešavanja koraka na glavnom ekranu stroja .....	34
Slika 29. Vrijeme zavarivanja na glavnom ekranu stroja .....	34
Slika 30. Podešavanja parametara na stroju.....	35
Slika 31. Ručno podešavanje kolica .....	35
Slika 32. Prikaz glavnog ekrana na glavnom izborniku .....	36
Slika 33. Prikaz referentne točke za pomicanje štipaljke .....	36

Slika 34. Prikaz ekrana prije odobravanja automatskog zavarivanja .....	37
Slika 35. Prikaz početka automatskog zavarivanja .....	37
Slika 36. Prikaz zavarivanja u tijeku na glavnom ekranu .....	38
Slika 37. Prikaz zavarivanja .....	38
Slika 38. Prikaz zavarene žičane mreže .....	39
Slika 39. Prikaz rezanja viškova .....	40
Slika 40. Prikaz gotove žičane mreže nakon rezanja viškova .....	41



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, LEA VUGRINEC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ELEKTROOPORNO ZAVARIVANJE ŽIČANIH KONSTRUKCIJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lea Vugrinec  
(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, LEA VUGRINEC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ELEKTROOPORNO ZAVARIVANJE ŽIČANIH KONSTRUKCIJA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lea Vugrinec  
(vlastoručni potpis)