

Usporedba uvježbavanja pomoću simulatora za zavarivanje i stvarnog REL zavarivanja

Fijačko, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:979313>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 408/PS/2023

Usporedba uvježbavanja pomoću simulatora za zavarivanje i stvarnog REL zavarivanja

Monika Fijačko, 0336029011

Varaždin, lipanj 2024. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Monika Fijačko

MATIČNI BROJ 0336029011

DATUM 29.05.2023.

KOLEGIJ Tehnologija III

NASLOV RADA Usporedba uvježbavanja pomoću simulatora za zavarivanje i stvarnog REL zavarivanja

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Comparison of training using welding simulator and real MMA welding

MENTOR dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc.dr.sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
- doc.dr.sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
- doc dr. sc. Jasna Leder Horina, član povjerenstva
- doc. dr. sc. Tomislav Veliki, rezervni član povjerenstva
-

Zadatak završnog rada

BROJ 408/PS/2023

OPIS

U završnom radu pristupnica treba na temelju literaturnih podataka proučiti način uvježbavanja zavarivača za REL zavarivanje. Obraditi zaštitu na radnu koju je nužno provoditi pri REL zavarivanju. Posebno detaljno proučiti uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje. Detaljno obraditi simulator Fronius Virtual Welding 2.0, proučiti njegov način rada, dodatnu opremu i pribor te mogućnosti zavarivanja u različitim položajima. Ocijeniti način kretanja kroz programsko sučelje navedenog simulatora.

U eksperimentalnom dijelu rada izvesti uvježbavanje REL postupka zavarivanja kutnog spoja u PB položaju pomoću simulatora Fronius Virtual Welding 2.0. Definirati određivanje parametara uvježbavanja te provesti uvježbavanje. Pratiti ocjenjivanje vježbi te napredak u poboljšavanju tehnike rada. Usporediti uvježbavanje pomoću simulatora i uvježbavanje sa stvarnom opremom za REL zavarivanje na dva uzorka. Donijeti vlastiti zaključak o provedenom eksperimentu. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

05.07.2023.

POTPIS MENTORA

M. Bušić



IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički 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.

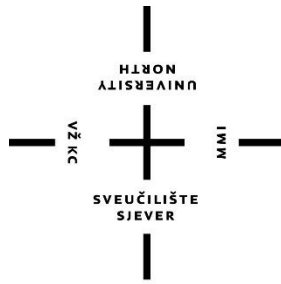
Ja, MONIKA FIJAČKO (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom USPOREDBA UVJEŠTAJAVANJA I DRUGO SITUACIJA ZA ZAVRŠAVANJE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Monika Fijačko
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.



Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Usporedba uvježbavanja pomoću simulatora za zavarivanje i stvarnog REL zavarivanja

Student

Monika Fijačko, 0336029011

Mentor

doc. dr. sc. Matija Bušić

Varaždin, lipanj 2024. godine

Predgovor

Ovaj završni rad izradila sam samostalno koristeći znanje stečeno za vrijeme studiranja na Sveučilištu Sjever i koristeći priloženu literaturu.

Zahvaljujem mentoru dr.sc. Matiji Bušiću na uloženom trudu i pomoći te što mi je pružio mogućnost korištenja simulatora za zavarivanje kako bih ovaj rad napisala.

Posebno zahvaljujem braći i roditeljima koji su mi bili podrška tijekom studiranja, kao i prijateljima i kolegama za pruženu podršku.

Sažetak

Ovaj završni rad bavi se obukom zavarivača uporabom simulatora virtualne stvarnosti marke „Fronius Virtual Welding 2.0“, REL postupkom zavarivanja kutnog zavora lima uz PB položaj. Korištenjem simulatora za obuku zavarivača uklanjaju se potencijalne ozljede koje bi se mogle dogoditi te jednako tako, smanjuje se potrošnja električne energije, materijala koji bi potrošili zavarivanjem, zaštitnu odjeću, itd.

U prvom dijelu opisane su vrste zavarivanja, a najveća pozornost usmjerena je na REL zavarivanje. Opisane su potencijalne opasnosti u radnom okruženju, opasnosti po zavarivača i zaštita na radu kod zavarivanja.

U drugom dijelu uspoređuje se REL zavarivanje na simulatoru za obuku zavarivača i stvarno REL zavarivanje koji prikazuje eksperimentalni dio koji je izveden na Sveučilištu Sjever.

Ključne riječi: zavarivanje, simulatori, REL zavarivanje, zaštita na radu

Summary

This thesis deals with the training of welders using the virtual reality simulator of the brand "Fronius Virtual Welding 2.0", the REL welding process of sheet metal fillet weld with PB position. By using a simulator for training welders, potential injuries that could occur are eliminated and, equally, the consumption of electricity, material that would be consumed by welding, protective clothing, etc., is reduced.

The first part describes the types of welding that pay more attention to REL welding. Potential hazards in the working environment, dangers for the welder and protection at work during welding are described.

In second part, a welder training simulator and actual REL welding are compared, showing the experimental part performed at the University of the North.

Keywords: welding, simulators, REL welding, safety at work

Popis korištenih kratica

REL	Ručno elektrolučno zavarivanje (eng. Manual Metal Arc Welding-MMA)
SMAW	eng. Shielded Metal Arc Welding
TIG	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (eng. Tungsten Inert Gas)
GTAW	eng. Gas Tungsten Arc Welding
MIG	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi inertnog zaštitnog plina (eng. Metal Inert Gas)
MAG	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi aktivnog zaštitnog plina (eng. Metal Active Gas)
EPP	Elektrolučno zavarivanje pod praškom
PAW	eng. Plasma Arc Welding
VR	Virtualna stvarnost (eng. Virtual Reality)
HRN	Hrvatske norme
IC	infracrveno zračenje
UV	ultraljubičasto zračenje
A	amper
V	volt
dB	decibel

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Postupci zavarivanja	2
2.1.	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi zaštitnog plina (MIG/MAG)	2
2.1.1.	3
2.1.2.	Prednosti i nedostaci.....	3
2.1.3.	Žice za MIG/MAG zavarivanje.....	4
2.1.4.	Plinska zaštita kod MIG/MAG zavarivanja.....	4
2.1.5.	Prijenos metala kod MIG/MAG zavarivanja.....	5
2.2.	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (TIG)	6
2.2.1.	Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja.....	7
2.3.	Ručno elektrolučno zavarivanje (REL).....	7
2.3.1.	Prednosti i nedostaci.....	7
2.3.2.	Spojevi za zavarivanje.....	8
2.3.3.	Elektrode	9
2.3.4.	Funkcije obloge	10
2.3.3.	Parametri za zavarivanje	10
3.	Opasnosti kod zavarivanja	11
3.1.	Opasnost od buke	11
3.2.	Opasnost od zračenja	11
3.3.	Opasnost od strujnog udara	11
3.4.	Opasnost od dimova, pare i plinova	12
3.5.	Opasnosti kod zavarivanja u posebnim uvjetima rada	12
4.	Zaštita na radu kod REL zavarivanja.....	13
4.1.	Uporaba zaštitne maske za zavarivanje.....	14
4.2.	Uporaba zaštitnih cipela.....	14
4.3.	Uporaba zaštitnih rukavica.....	15
4.4.	Uporaba zaštitne odjeće	15
4.5.	Uporaba zaštite za uši	15
4.6.	Zaštita od električne struje	16
4.7.	Zaštita u skućenim prostorima	16
4.8.	Znakovi sigurnosti kod zaštite na radu.....	16
5.	Simulatori za obuku zavarivača	17
6.	Eksperimentalni dio	18
6.1.	Upute za rad na simulatoru	20
6.2.	Postignuti rezultati	22
6.3.	Stvarno zavarivanje.....	24
7.	Analiza rezultata	27
8.	Zaključak	28
9.	Literatura	29
10.	Popis slika.....	30
11.	Osobna dokumentacija.....	31
12.	Popis dijagrama	32

1. Uvod

Zavarivanje je spajanje materijala pri kojem se dijelovi na spojnome mjestu zagriju do omekšanja (plastičnosti) ili se rastale, a spajaju se staljivanjem uz dodavanje ili bez dodavanja materijala [1].

Da bi zavarivanje bilo uspješno, važna su znanja iz nekoliko područja, a neka od njih su: područja termodinamike (temperaturna polja), elektrotehnike (izvori struje, električni luk), znanosti o materijalima i metalurgije (metalurgija zavarivanja), itd. Postupci srodni zavarivanju su postupci lijepljenjem i lemljenjem te postupci naštrcavanja i toplinskih rezanja jer se stvaraju nerastavljivi spojevi.

Zavarivanje spada u najnovije tehnologije metaloprerađivačke industrije, a jedno od najstarijih načina zavarivanja je kovačko zavarivanje. Postupak se obavlja tako što se dva dijela zagrijana u kovačkoj vatri udarcima kovačkog čekića spajaju u jedan dio. Sve do 19. stoljeća, kovačko je zavarivanje bio jedini načina zavarivanja i koristio se za izradu nakita i oružja.

Godine 1888. N.G. Slawjanow je patentirao elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama gdje je služila kao dodatni materijal, električni luk se nije koristio samo kao izvor topline, što je bio veliki napredak u metaloprerađivačkoj industriji. Kasnije je E. Thompson prijavio niz patenata u tom području između 1885. i 1900. godine. Između 1930. i 1953. godine razvijeni su elektrolučni postupci zavarivanja pod zaštitom praška (EPP), pod zaštitom inertnog plina netaljivom elektrodom (TIG), pod zaštitom plina taljivom elektrodom (MIG/MAG) i zavarivanje plazma postupkom [2].

Kako se zavarivanje razvijalo kroz godine, ono je postalo brže i efikasnije. Postoji više od 90 različitih postupaka zavarivanja, neki su automatizirani dok su drugi ručni. Za ručno zavarivanje potrebna je vješta osoba s dobrom obukom za zavarivača. Za početak, najbolje je početi učenje na simulatoru koji pruža virtualno zavarivanje.

Simulatori sadrže VR tehnologiju što čini učenje lakšim jer osoba koja uči može donekle dobiti osjećaj što je to zapravo zavarivanje, a tu su i sigurnosni razlozi kao što su: nema fizičkog rasprskavanja, nema štetnih zračenja, zavaruje se bez potrebe plinova i ostalih štetnih utjecaja koji postoje kod stvarnog zavarivanja.

2. Postupci zavarivanja

Među najčešćim postupcima zavarivanja su: elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi inertnog/aktivnog zaštitnog plina (MIG/MAG), elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (TIG), elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP), ručno elektrolučno zavarivanje (REL). Svaka od navedenih vrsta zavarivanja ima svoje prednosti i nedostatke te se mogu podijeliti i prema težini izrade. Postupak zavarivanja se dijeli u dvije grupe prema načinu spajanja, a to su:

- zavarivanje taljenjem gdje je materijal u rastaljenom stanju na mjestu spoja:
 - elektrolučno zavarivanje
 - plinsko zavarivanje

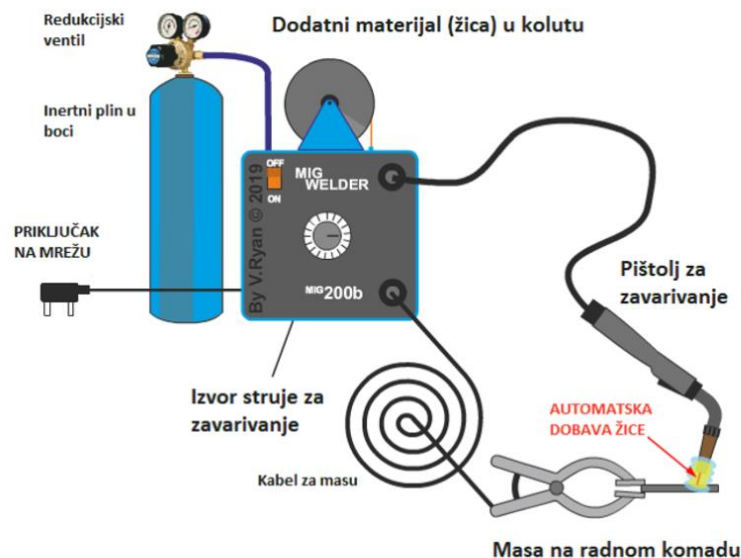
- zavarivanje pritiskom gdje se materijal zavaruje pomoću pritiska ili udarca:
 - elektrootporno zavarivanje
 - kovačko zavarivanje

2.1. Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi zaštitnog plina (MIG/MAG)

MIG elektrolučno zavarivanje izvodi se u atmosferi inertnog zaštitnog plina. Kod postupka se koristi tanka žica koja se zagrijava i tali u električnom luku, a provodi se kroz pištolj za zavarivanje (slika 1). Kroz žicu prolazi električna struja stvarajući električni luk između žice i osnovnog materijala. Zaštitni plin (npr. argon, helij ili njihova mješavina) se koristi kako bi se zaštitio sam zavar od oksidacije i drugih štetnih reakcija rastaljenog metala sa zrakom.

Postupak se najčešće koristi u građevinskoj i automobilskoj industriji, točnije u svim industrijama gdje se zavaruju proizvodi od aluminijske i magnezijске legure.

MAG elektrolučno zavarivanje izvodi se u atmosferi aktivnog zaštitnog plina (npr. ugljični dioksid, argon, kisik). Postupak se izvodi slično kao i MIG postupak, a jedina razlika jest u vrsti zaštitnog plina te se koristi u 80% zavarivanja u industriji, gdje debljina lima može biti od 5 mm pa do 60 mm.



Slika 1. oprema za MIG/MAG zavarivanje [3]

2.1.1.

2.1.2. Prednosti i nedostaci

MIG/MAG postupak zavarivanja nudi učinkovitost i jednostavnost korištenja. Razloga ima više zbog čega je postupak široko zastupljen u raznim industrijama, a neki od njih su:

- velika brzina zavarivanja – kontinuirano dodavanje žice ključno kod produktivnosti
- svestranost – kompatibilno sa širokim rasponom metala, omogućuje spajanje dva ili više različitih materijala
- kontrola – omogućuje preciznu kontrolu parametara zavarivanja, može se kontrolirati napon, brzina dodavanja žica i struja
- manje otpada – zaštitni plin stvara zaštitnu atmosferu koja minimizira stvaranje troske i time je čišćenje svedeno na minimum.

Osim pozitivnih strana, tu su i negativne među koje spada:

- postavljanje opreme – uključivanje izvora napajanja, zamjena žice, dovod zaštitnog plina, odabir parametara i brzina protoka plina
- ograničenje debljine materijala – dolazi do opasnosti od progaranja (prikladniji bi bio TIG postupak zavarivanja)
- kontrolirano okruženje – najčešće se zavarivanje vrši u zatvorenim prostorima zbog vjetrova koji bi mogao dovesti do smanjenja kvalitete zavara.

Glavna prednost kod MIG/MAG zavarivanja jest obuka zavarivača. Obuka se može provoditi i na simulatorima zbog uštede potrošnog materijala. Zavarivanje se može izvoditi u svim položajima, nema čišćenja radnog prostora jer nema troske, a žica se automatski dobiva s koluta. Kada je u pitanju vremensko trajanje obuke, tu se nailazi na nedostatak. Naime, svaki zavarivač prvo mora naučiti postupak REL zavarivanja pa je time obuka dugotrajna, a izgled zavara ovisi o vještini zavarivača. Zavarivač mora poštovati zaštitu na radu jer dolazi do oslobađanja velikih količina štetnih plinova. Potrebno je nošenje rukavica, zaštitne maske, radnog odjela i slično, u protivnom zavarivač može imati štetne posljedice za zdravlje.

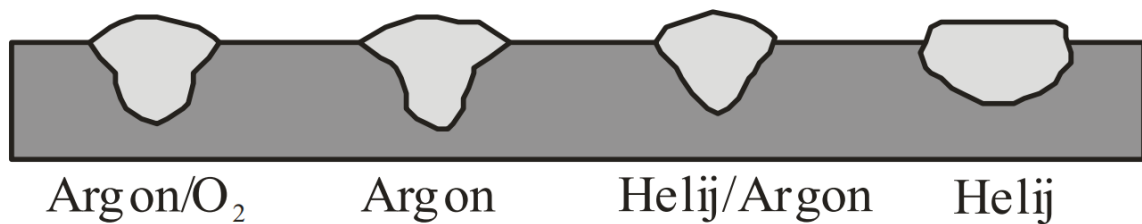
2.1.3. Žice za MIG/MAG zavarivanje

Pogonski sistem dodaje žicu kroz cijevni paket i pištolj u električni luk gdje je žica istovremeno elektroda i dodatni materijal. Promjeri žica odabiru se prema debljini zavarenih izradaka i položaju zavarivanja. Najčešće se koriste pune žice promjera od 0.6 do 2.4 mm, gdje površina žice mora biti glatka. Osim punih, koriste se žice punjene praškom koje mogu imati raznovrsne presjeke i koriste se uz plinsku zaštitu, a postoje žice koje raspadanjem jezgre stvaraju zaštitnu atmosferu. Kada se zavarivanje vrši na udaljenosti većoj od pet metara od izvora struje koristi se dodatni pogon za dodavanje žica u pištolju, a taj sistem se naziva „push-pull“ i može se koristiti kod tanjih žica.

2.1.4. Plinska zaštita kod MIG/MAG zavarivanja

Utjecaj vrste plinske zaštite na parametre procesa može se povezati sa svojstvima električnog luka. Vrsta plinske zaštite može utjecati na brzinu zavarivanja, veću ili manju širinu zavara, veću ili manju penetraciju ili će utjecati na potrebu predgrijavanja radnog komada (Slika 1.) [4].

Kada je potrebno djelovanje zaštitne atmosfere, argon je najčešće primijenjen, a zatim helij, ugljikov dioksid i dušik, tj. mješavine gdje su ti plinovi zastupljeni. Na mjesto zavara, zaštitni plinovi, dovode se kroz posebnu sapnicu na pištolju i koriste se da zaštite rastaljeni metal od utjecaja okolne atmosfere.



Slika 2. Utjecaj plinske zaštite [4]

2.1.5. Prijenos metala kod MIG/MAG zavarivanja

Što se tiče prijenosa metala kod MIG/MAG zavarivanja, dijeli se na četiri glavne skupine prijenosa metala:

- prijenos štrcajućim lukom
- prijenos impulsnim lukom
- prijenos kratkim spojem
- prijenos mješovitim lukom [4].

Prijenos metala štrcajućim lukom je prijenos rastaljenih kapljica metala kroz atmosferu luka gdje elektroda nema nikakav kontakt s osnovnim materijalom. Postupak se primjenjuje na skoro sve vrste materijala.

Prijenos metala impulsnim lukom je varijanta prijenosa metala štrcajućim lukom gdje je iznos prosječne struje zavarivanja manji od minimalne vrijednosti potrebne za prijenos metala štrcajućim lukom. Pod osnovnom strujom se podrazumijeva minimalna vrijednost koju mora poprimiti da bi se održao električni luk, a maksimalna vrijednost kod koje je omogućen prijenos metala bez pojave kratkog spoja [2].

Prijenos kratkim spojem je način prijenosa metala sa najmanjim toplinskim inputom. Prijenos metala nastaje kada žica dođe u fizički kontakt sa osnovnim materijalom ili već nastalim metalom zavara [2]. Moguće je zavarivanje različitih debljina materijala žicom jednog promjera i to u svim položajima.

Prijenos mješovitim lukom stvaraju se kapljice metala koje s vrha elektrode padaju u talinu gdje se, nakon djelovanja gravitacijske sile, odvajaju u električnom luku.

U suštini, MIG/MAG postupak zavarivanja koristi se za postizanje visokokvalitetnih zavara u različitim industrijama i zavarivači ga mogu koristiti za spajanje širokog spektra metala u različitim položajima.

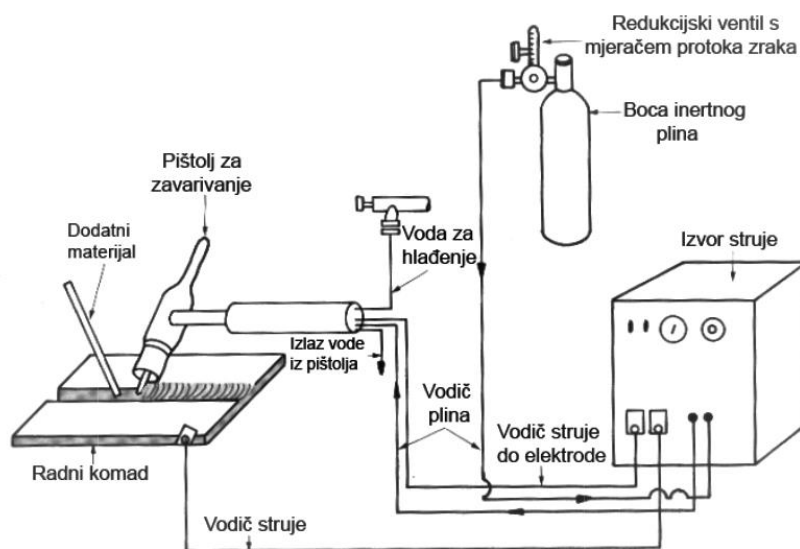
2.2. Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (TIG)

TIG elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom volframovom elektrodom u zaštiti inertnog plina (argon, helij) smatra se najtežim postupkom zavarivanja za uvježbati. To je postupak koji traži najdužu izobrazbu zavarivača od svih ostalih postupaka zavarivanja, ali jednako tako proizvodi najkvalitetnije zavare. Potrebna je velika preciznost i vještina zavarivača zbog malog područja između luka i mjesta zavarivanja.

Na slici 2. prikazana je oprema za TIG zavarivanje. TIG gorionik drži volframovu elektrodu i pušta zaštitni plin u područje zavara. Izvor struje osigurava električnu energiju koja je potrebna za taljenje i zagrijavanje obratka. Volframova elektroda se koristi za stvaranje luka koji dodavanjem dodatnog metala stvara konačni zaEvar. Zaštitni plin štiti područje zavara od oksidacije.

TIG zavarivanje zahtjeva visoku razinu preciznosti, a uključuje nekoliko koraka [5]:

- 1) priprema radnog komada – mora biti očišćen, rubovi skošeni
- 2) priprema TIG gorionika – volframova elektroda se mora izbrusiti na vrhu i staviti u TIG gorionik
- 3) podešavanje protoka i tlaka zaštitnog plina
- 4) pokretanje luka – gorionik se približi obratku i luk se uspostavlja udarcem elektrode o obradak (kao kod REL zavarivanja)
- 5) dodavanje metala
- 6) pomicanje TIG gorionik – pomiče se duž duljine zavara
- 7) završetak zavarivanja – TIG gorionik se odmiče od obratka koji se zavaruje i time se luk gasi
- 8) čišćenje – uklanja se troska iz područja zavara.



Slika 3. Oprema za TIG zavarivanje [6]

2.2.1. Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja

Neke od prednosti TIG zavarivanja su [6]:

- kvalitetni zavari
- svestran proces
- zavarivanje tankih materijala
- manje dima i para
- idealno kod estetike
- precizni zavari
- širok raspon primjena

Iako ima prednosti, TIG zavarivanje ima nedostatke među kojima je skupa oprema. Poslodavcima će troškovi predstavljati problem jer uz skupu opremu, potreban je radnik s višom razinom znanja zavarivanja, postupak se zavaruje s dvije ruke i sporiji je proces bez obzira na njegovu široku primjenu. Uz sve navedeno, TIG zavarivanje nije prikladan za zavarivanje debelih metala.

2.3. Ručno elektrolučno zavarivanje (REL)

REL postupak zavarivanja nalazi se među najstarijim elektrolučnim postupkom koji se može izvoditi na otvorenom i pogodan je za zavarivanje većine metalnih materijala. Jednako tako jedan je od najčešće korištenih postupaka te je potreba za REL zavarivačima konstantna.

Koristi se taljiva elektroda koja se pritiskuje na osnovni materijal koji se želi zavariti kako bi se uspostavio električni luk. Postupak je ručni te se primjenjuje za zavarivanje svih vrsta metala izmjeničnom ili istosmjernom strujom. Prilikom REL postupka zavarivanja u električnom luku postiže se temperatura od 6000°C što omogućava jednostavnije taljenje osnovnog i dodatnog materijala.

REL zavarivanje ima više mogućnosti primjene, ali zbog male brzine zavarivanja većinom se koristi za izvođenje kraćih zavara kako kod sučeljnih tako i kod kutnih spojeva manje debljine.

2.3.1. Prednosti i nedostaci

Što se tiče prednosti, jedna od njih jest jeftina oprema što je važno u današnjem svijetu. Zatim je tu širok spektar elektroda koje se mogu izabrati za zavarivanje konstrukcijskih čelika i obojenih metala na bazi Cu, Ni, Al, Ti i dr. REL zavarivanje koristi se za sve debljine zavara, izvedivo je višeslojno zavarivanje u svim položajima. Na kraju, zavareni spojevi imaju dobra mehanička svojstva.

Za glavni nedostatak možemo reći da se postupak obavlja ručno što znači da može doći do greške pri zavaru prilikom prekida i ponovnog uspostavljanja luka, a o tome ovisi kvaliteta zavarenog spoja. Također, stvara se puno dima, štetnih plinova, pa je potrebna ventilacija. Brzina zavarivanja je mala, a prilikom rada dolazi do jakog bljeskanja, rasprskavanja čestica i štetnih posljedica na zdravlje zavarivača kod dugotrajnog rada. U zavaru može doći do opasnosti od troske ili zaostatka istoga, stvara se otpad koji se mora ukloniti.

2.3.2. Spojevi za zavarivanje

Izvođenje samog REL postupka možemo opisati kroz nekoliko riječi. Prvo, zavarivač treba pripremiti element zavarivanja, tj. obraditi bridove koji se zavaruju. Može se izvesti: I, V, Y, X, K i J priprema.

Oblikovanje spojeva za zavarivanje (slika 4.): sučeljni spoj, preklopni spoj, kutni spoj, križni spoj, kutni rubni spoj, prirubni spoj [7].

Sučeljni spoj nastaje zavarivanjem dijelova koji međusobno zatvaraju kut koji može biti između 160° i 200° .

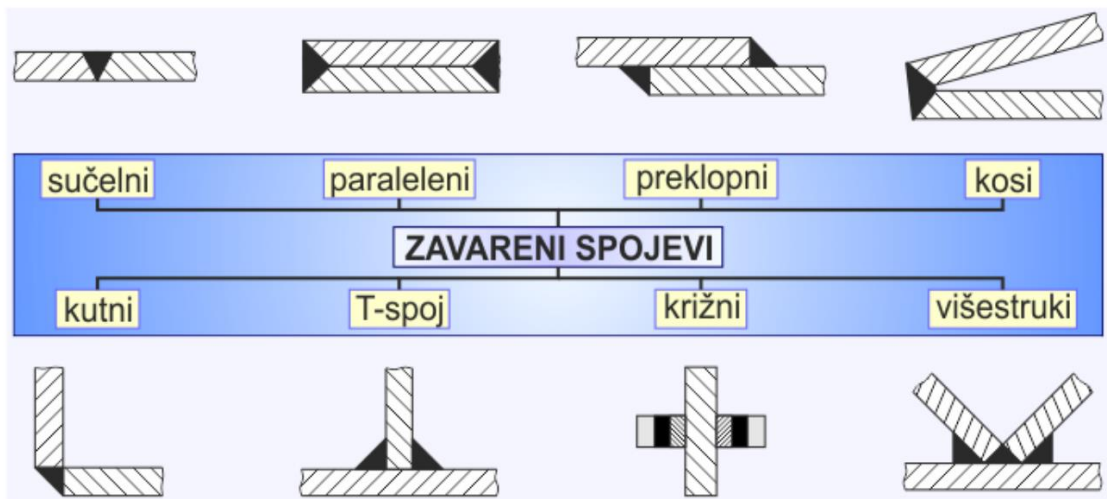
Preklopni zavar ne zahtijeva podešavanje dijelova koji se spajaju i sama priprema spoja je jednostavna. Kada je preklopni spoj zavaren s obje strane, može podnijeti veće opterećenje s obzirom na spoj koji je zavaren samo s jedne strane.

Kutni zavar se može izvesti s jedne ili s obje strane, a radi se kod debljih limova. Moguće je zavarivanje s jednostranim ili dvostranim skošenjem. Za spajanje limova debljine do 12 mm koristi se kutni spoj s jednostranim skošenjem, dok se za debljine veće od 40 mm dvostrano skošenje.

Križni spoj se koristi kod većih metalnih konstrukcija. To je poseban oblik kutnog spoja koji ima jedan kontinuirani element, a drugi se prekida i nastavlja s druge strane spoja.

Kutni rubni spoj koriste se kod sklopova kućišta, pojedinih strojnih dijelova, pravokutnih konstrukcija i slično.

Prirubni spoj se koristi za tanke limove i manje opterećene spojeve. Pri kontroliranju taline najviše olakšava prirubljivanje limova gdje se dobiva ukupna širina za polaganje zavara koja je jednaka dvostrukoj debljini spajanih dijelova.



Slika 4. Slikovni prikaz oblikovanja spojeva za zavarivanje [7]

2.3.3. Elektrode

Kod REL zavarivanja postoje obložene elektrode koje se dijele prema:

- prema tipu obloge
- prema namjeni
- prema tehnološkim svojstvima
- prema debljini obloge
- prema dimenzijama
- prema vrsti osnovnog materijala.

Odabire se elektroda po određenim faktorima (položaj zavarivanja, oblik, debljina predmeta, itd.) i prilikom odabira treba se pridržavati uputa od proizvođača. Odabire se jakost struje zavarivanja, a električni luk se uspostavlja dodiranjem elektrode o osnovni materijal i prilikom toga treba paziti na duljinu luka, o vrsti elektrode, nagibu i brzini zavarivanja.

Kod REL zavarivanja koriste se bazična i rutilna elektroda. Bazične elektrode su poznate kao elektrode s niskim sadržajem vodika jer mogu uzrokovati nedostatke u zavaru te se koriste kod zavarivanja čelika visoke čvrstoće. Bazične elektrode prodiru duboko u obradak što je idealno za deblje materijale. Rutilne elektrode namijenjene su za zavarivanje niskolegiranih čelika. Zahtijevaju manju amperažu i prikladnije su za zavarivanje tankih materijala. Proizvodi se manje troske i manje je čišćenja nakon zavarivanja.

2.3.4. Funkcije obloge

Prema tipu obloge postoje:

- bazična
- rutilna
- kisela
- oksidna
- celulozna [4].

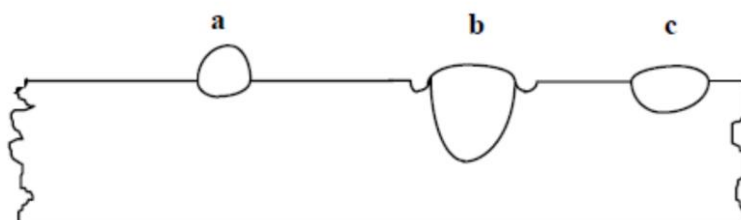
Što se tiče funkcije obloge, postoje električna, fizikalna i metalurška funkcija. Električna funkcija je važna zbog utjecaja na stabilnost električnog luka. Fizikalna funkcija obloge jest da zaštiti talinu metala od utjecaja štetnih plinova iz zraka. Troska se mota oko kapi i štiti od štetnih plinova za vrijeme prolaza kapljice metala kroz električni luk. Metalurška funkcija jest ta da u oblozi postoje komponente koje utječu na deoksidaciju taline. U oblogu se stavljaju dezoksidanti koji na sebe vežu kisik za vrijeme zavarivanja pri čemu nastali oksidi prelaze u trosku.

2.3.3. Parametri za zavarivanje

Kod REL zavarivanja, zavarivač bira samo jedan parametar na uređaju za zavarivanje, a to je struja zavarivanja [1]. Dok proizvođač elektroda daje upute o preporučenim veličinama struja, može se ugrubo uzeti podatak da struja zavarivanja pri zavarivanju običnim čeličnom obloženim elektrodama iznosi 30 – 40 A za svaki milimetar promjera jezgre. U toku rada, zavarivač treba održavati konstantnu duljinu luka, a jednako tako i napon. Napon se kreće u granicama od 20 do 40 V, dok duljina luka ovisi o promjeru elektrode i tipu obloge. Utjecaj struje zavarivanja na sam oblik zavara prikazan je na slici 5.

Ako dolazi do slučaja da struja zavarivanja nije dobro odabrana onda se mijenja oblik zavara, tj. navara i dubina penetracije. U slučaju prejake struje zavarivanja dobiva se širok razliven navar, a u slučaju male struje zavarivanja dobiva se nadvišen i uzak oblik. Kada je struja odgovarajuća, zavar ima blage prijelaze na osnovni materijal i malo nadvišenje.

-ppopr



Slika 5. Utjecaj struje zavarivanja na oblik zavara [9]

3. Opasnosti kod zavarivanja

Kod postupka zavarivanja moguće su opasnosti koje mogu značajno utjecati na zdravlje radnika i zato se potrebno unaprijed upoznati s time te sukladno tome reagirati. Među brojnim opasnostima, opasnost od strujnog udara jest najveći rizik za zavarivača.

3.1. Opasnost od buke

Zakonom o zaštiti od buke, zabranjeno je obavljati radove, djelatnosti i druge aktivnosti koje u boravišnim prostorima uzrokuju buku štetnu po zdravlje ljudi [7].

Poznata je činjenica kako zavarivanje proizvodi buku koja može dovesti do oštećenja sluha. Buka koja se može postići prilikom zavarivanja jest 120 decibela, a dugotrajno izlaganje takvoj razini buke može trajno oštetiti sluh. Zaštita sluha neophodna je za zavarivača, a zavarivač treba odabrati odgovarajuću i najprikladniju vrstu zaštite za proces zavarivanja.

3.2. Opasnost od zračenja

Prema raznim literaturama postoje tri vrste zračenja koje su prisutne kod zavarivanja, to su: svjetlosno, infracrveno i ultraljubičasto zračenje. Zračenje je opasno jer može uzrokovati privremenu zaslijepljenost, smanjenje vida, povećanje temperature, oštećenje očnog živca, zapaljenja očnih kapaka i dr.

Kao zaštita, primjenjuju se zaštitne naočale zatamnjenih stakla. Naočale smanjuju intenzitet zračenja, štite od mehaničkih oštećenja (npr. rasprskavanja). Jednako tako, mora biti postavljena oznaka za zračenje UV i IC na vidljivom mjestu kako bi upozorila ostale radnike u okolini na opasnost od zračenja, koje su ljudskom oku nevidljive.

3.3. Opasnost od strujnog udara

Struja predstavlja opasnost od udara i do nezgode može doći i pri dodiru s vanjskim metalnim dijelovima uređaja. Postoje dvije vrste strujnog udara, a to su direktan i indirektan strujni udar. Direktan udar je kada radnik dodirne opremu pod naponom ili izloženi vodič, dok je indirektan kada radnik dođe do kontakta sa strujom preko provodnog predmeta. Ovisno o jačini strujnog udara, moguće su smrtne posljedice. Pod kritičnim situacijama smatraju se skućeni vlažni prostori, istovremeno zavarivanje više zavarivača, uređaji s povišenim naponom praznog hoda i sl.

Instalacije moraju biti izvedene u skladu s normama i preferirati istosmjerne uređaje za zavarivanje. Što se tiče same zaštite, zavarivač mora imati suhe rukavice, cipele s debelim gumenim potplatom i pregaču koja zaklanja tijelo.

3.4. Opasnost od dimova, pare i plinova

Pojava različitih para i plinova prilikom zavarivanja štetni su za ljudsko zdravlje. Plinovi koji se najčešće pojavljuju su: ugljikov dioksid, ugljikov monoksid, dušični plinovi, ozon, itd. Kod REL zavarivanja pare i dim nemoguće je izbjeći.

Zavarivačima nije dopušteno izravno udisati paru, tako da glava mora biti postavljena dalje od zavara kako bi se izbjeglo oštećenje dišnog sustava zavarivača. Mora se koristiti ventilirani prostor, a maska za zavarivanje s filtrom može se koristiti za cirkulaciju pročišćenog zraka. Uzimajući u obzir sve opasnosti i poduzimajući odgovarajuće mjere zaštite, zdravstveni rizici povezani sa zavarivanjem mogu se značajno smanjiti.

3.5. Opasnosti kod zavarivanja u posebnim uvjetima rada

Posebni uvjeti rada uključuju rad u skućenim prostorima, na visini ili u prisustvu zapaljivih materijala. Skučeni i zatvoreni prostori povećavaju opasnost od gušenja, trovanja, požara i slično. Potrebne su posebne mjere osiguranja i dodatna ventilacija te dvostruki sistemi zaštite. Potrebno je osigurati dobru rasvjetu, ventilaciju, smanjenje vibracija i slično.

Bitan je stalan nadzor radnika prilikom rada što je i definirano Pravilnikom o zaštiti od požara pri izvođenju radova zavarivanja, rezanja i lemljenja. U Pravilniku o zaštiti od požara je navedeno kako zavarivač pri zavarivanju ne smije ostati sam. Zavarivanje u posebnim uvjetima nije dozvoljeno ako postoji opasnost od požara i eksplozije [7]. Zavarivanje u posebnim uvjetima zahtjeva posebnu pažnju, dodatno planiranje i sigurnosne mjere kako bi se smanjili rizici od potencijalnih opasnosti i štete.

4. Zaštita na radu kod REL zavarivanja

Zaštita na radu je sustav pravila i mjera kojima se osigurava sigurnost i zaštita na radu, a namijenjen je sprječavanju ozljeda na radu i drugih šteta na radu i u vezi s radom. Kod elektrolučnog zavarivanja, zavarivač je obavezan nositi osobna zaštitna sredstva propisana zakonom. Poslodavac je dužan provoditi zaštitu na radu, vodeći računa o prevenciji rizika i osposobljavanju radnika za pravilno korištenje zaštitnih sredstava.

Slika 6. prikazuje obaveznu zaštitnu opremu kod REL zavarivanja, a osim tih postoje i druga zaštitna oprema koja će biti opisana dalje u radu.



Z

Slika 6. Osnovna zaštitna kod REL zavarivanja [5]

4.1. Uporaba zaštitne maske za zavarivanje

Zaštitne maske za zavarivanje mogu biti ručne ili nadglavne pri čemu se uzima u obzir ako radnik pri zavarivanju koristi jednu ili obje ruke pri čemu jednom drži štitnik, a drugom zavaruje. Norma HRN EN 175:2002 – „Osobna zaštita – Oprema za zaštitu očiju i lica pri zavarivanju i srodnim procesima“ [10], je predviđena za štitnik prema kojoj se definiraju veličine, područje pokrivanja, prigušenje svjetlosti, električnu izolaciju, otpornost na zapaljenje, itd. Prilikom REL zavarivanja, električni luk proizvodi jako ultraljubičasto i infracrveno zračenje koje šteti ljudskom oku, a zaštitna maska uvelike pomaže. Ultraljubičasto i infracrveno zračenje se ne može izbjeći jer zavarivač mora gledati u mjesto zavarivanja pa je zaštita neophodna za samostalni rad. Jednako tako služi za zaštitu lica od rasprskavanja, troske i slično. Za pročišćavanje okolnog zraka uz pomoć se koriste sredstva na bazi filtracije (slika 11.) kako bi se smanjila opasnost od udisaja štetnih plinova i prašina.



Slika 7. Zaštitna maska s filterom [11]

4.2. Uporaba zaštitnih cipela

Zaštitne cipele, obično s čeličnim kapama i gumenim potplatima tijekom procesa zavarivanja, mogu spriječiti ozbiljne ozljede i iskre koje bi mogle zapaliti obične cipele ako radni komad koji se zavaruje padne na noge radnika. Zaštitne cipele štite od visokih temperatura, od rastaljenog metala i iskri koje tijekom zavarivanja mogu pasti na stopala. Kada se odabiru zaštitne cipele uzima se u obzir radno mjesto radnika. Moraju biti odgovarajuće veličine i sve potrebne zaštitne funkcije. Potrebno ih je redovito pregledavati zbog potencijalnih oštećenja, a ako su oštećenja

vidljiva, potrebno ih je zamijeniti. Pravilan odabir zaštitnih cipele značajno smanjuju rizik od ozljeda i povećavaju sigurnost radnika.

4.3. Uporaba zaštitnih rukavica

Kako postoji velika opasnost od opekline zbog letećih vrućih metalnih čestica, zaštitne kožne rukavice s dugim rukavcima sprječavaju takav tip ozljeda. Osim da štite od opekline, štite i od električne struje te se moraju nositi na obje ruke. Odabiru se rukavice s obzirom na potencijalne opasnosti na radnom mjestu, a potrebno ih je redovito pregledavati zbog mogućih oštećenja. Zaštitne rukavice pružaju zaštitu od električne struje, topline, opekline, posjekotina, abrazije, itd. Odabir odgovarajućih zaštitnih rukavica uvelike smanjuju rizik od ozljeda i ključnu ulogu u osiguranju sigurnosti, pružajući zaštitu i smanjujući rizik ozljeda radnika.

4.4. Uporaba zaštitne odjeće

Odjeća namijenjena za rad pri izvođenju postupaka zavarivanja definirana je normom HRN EN ISO 11611:2008 – „Zaštitna odjeća za uporabu kod zavarivanja i srodnih procesa“ [12].

Zaštitna odjeća izrađuje se kao jednodijelna ili dvodijelna, a svrha je potpuno prekriti tijelo radnika. Održava se na način da se redovno pregledava i obraća pozornost na poderotine ili istrošenost. Pravilno čišćenje zaštitne odjeće je važno jer ona treba biti čista i suha prije pohrane kako bi se spriječili neugodni mirisi i oštećenja. Jedan primjer zaštitne odjeće jest kožna pregača koja štiti od rasprskavanja iskri i vrućih čestica.

4.5. Uporaba zaštite za uši

Glavna zaštita za sluh zavarivača koristi se vata, čepići ili ušni štitnik. Štite zavarivača od buke, prljavštine i sitnih čestica. Na radnim mjestima gdje se buka ne može ukloniti tehničkim sredstvima potrebno je osigurati osobna zaštitna sredstva za zaštitu sluha. Ovisno o intenzitetu buke propisuju se odgovarajuća zaštitna sredstva:

- kod buke do 75 dB koristi se zaštitna vata,
- kod buke jačine od 75 do 85 dB koriste se čepići,
- kod buke jačine od 85 do 150 dB koristi se ušni štitnik [2].

Poželjno je voditi računa o rasporedu uređaja i prostorija kako bi se minimalizirao utjecaj buke.

4.6. Zaštita od električne struje

Kada je u pitanju električna oprema, treba obratiti pozornost da se upotrebljava u skladu s njenom namjenom i prema uputama proizvođača. Za održavanje opreme odgovorna je stručna osoba, a kabel je potrebno držati podalje od oštrih rubova. Kada je električna oprema u upotrebi, pažnju treba obratiti na iskre, često ispadanje osigurača, miris koji podsjeća na zapaljene materijale i slično.

4.7. Zaštita u skućenim prostorima

U skućenim prostorima kao što su cisterne i rezervoari pod tlakom događaju se ozljede ukoliko se rad ne obavlja na odgovarajući način. Potrebno je, prije ulaska u radni prostor, provjeriti ako ima dovoljno kisika, a ovisno o vrsti rada koji se obavlja potrebno je izmjeriti toksičnost plinova i isparavanja. Potrebno je stalno provjeravanje količine kisika, ukoliko ga nema dovoljno onda treba dovesti kisik u radnu prostoriju. Prilikom zavarivanja obavezna je vatrootporna odjeća kao i provjetranje prostora. Tijesni prostori gdje prirodna ventilacija nije dovoljna, koristi se ventilacija kroz za to projektirane otvore u svrhu odvođenja i dovođenja zraka u prostoriju.

4.8. Znakovi sigurnosti kod zaštite na radu

Znakovi sigurnosti koriste se kako bi upozorile radnike na potencijalne opasnosti koje postoje na radnom mjestu. Svrha znakova sigurnosti jest privući pažnju radnika pomoću znakova (slika 8.) u boji i obliku znakova propisanih prema zakonu.

Prema pravilima sigurnosti propisane su slobodne površine koje služe za prolaz ljudi ili vozila, a to su [2]:

- glavni prolazi za ljude moraju biti široki najmanje 150 cm
- sporedni prolaz mora biti širok 100 cm
- transportni putovi moraju biti širi za najmanje 80 cm od transportnog vozila.



Slika 8. Sigurnosni znak [14]

5. Simulatori za obuku zavarivača

Iako su simulatori za obuku zavarivača manje poznati, svejedno postoji nekoliko kvalitetnih simulatora za obuku među kojima se nalaze:

- Soldmatic
- Lindoln VRTEX 360
- Fronius virtual welding 2.0
- SIMBOTT welding simulator
- guideWELD VR welding simulator
- WeldTrainer [15].

Danas je VR tehnologija i njena primjena u području zavarivanja dobro poznata svijetu te se proizvode sve više modela simulatora. Fronius virtual welding 2.0 je među prvima što se tiče odabira kada je u pitanju virtualno zavarivanje. Pruža realistično okruženje ali bez potencijalne opasnosti od ozljeda, udisaja štetnih plinova i drugih.

Uz simulator dolazi radni stol na koji se mogu postaviti radni komadi u različite položaje zavarivanja. Koriste se VR naočale s opcijom izoštravanja slike i slušalice, a na ekranu simulatora prikazuje se proces zavarivanja kao i u naočalama. Tijekom vježbanja, korisnik dobiva povratne informacije o svojem napredovanju kada je u pitanju trening. Nakon što se savlada trening, prelazi se na opciju „Simulacija“ gdje korisnik više nije vođen pomoću povratnih informacija tijekom zavarivanja već na kraju dobiva informacije o izvršenoj vježbi. Rezultati se mogu vidjeti na snimci i u tablici po čemu se onda korisnik može informirati gdje treba dodatno poraditi na vještini kada je u pitanju brzina zavarivanja, duljina električnog luka i kut nagiba.

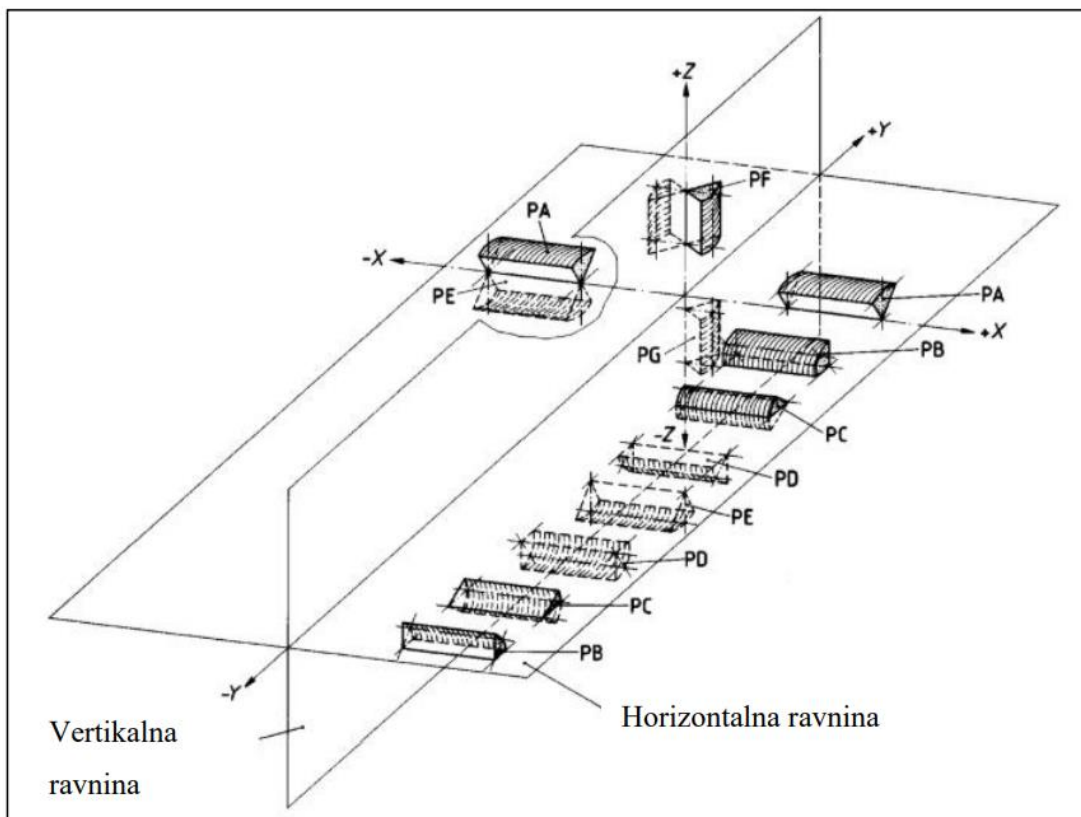
Glavna prednost simulatora je realistična simulacija što povećava vještine korisnika i pruža iskustvo koje omogućava simuliranje različitih scenarija i postupke zavarivanja. Međutim, važno je uzeti u obzir i nedostatke, poput visokih troškova kupnje i održavanja. Instalacija simulatora može biti skupa i spriječiti tvrtke ili obrazovne ustanove na kupnju. Simulator je koristan kao dodatak praktičnom radu u smislu usavršavanja, ali ne i kao potpuna zamjena za njega.

6. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio izveden je na simulatoru Fronius Virtual Welding 2.0 u laboratoriju na Sveučilištu Sjever uz nadzor odgovorne osobe.

Položaji zavarivanja (slika 9.) određeni su normom HRN EN ISO 6947 – „Zavarivanje i srodni postupci – Položaji pri zavarivanju“ [12]. Prema tome, postoje različiti položaji zavarivanja, a to su:

- PA – vodoravni položaj
- PB – horizontalno - vertikalni položaj
- PC – horizontalni položaj
- PD - cijev fiksna, os pod kutem, svi položaji, prema gore
- PE – nadglavni položaj
- PF – cijev fiksna, os horizontalna, vertikalno prema gore
- PG – vertikalna prema dolje ili gore
- F – kutni spoj
- G – sučeljni spoj [4].



Slika 9. Položaji zavarivanja [14]

Riječ je o vježbanju REL postupka zavarivanja kutnog zvara u PB položaju zavarivanja na simulatoru.

Vježbanje se provodilo tako što je vježbenica 15 minuta vježbala REL zavarivanje kutnog zvara na simulatoru (slika 10.) uz pet minuta pauze između rada na simulatoru, sve ukupno vježbanje iznosilo je četiri sata i 30 minuta. Nakon prvog i drugog uvježbavanja, radilo se i stvarno REL zavarivanje u laboratoriju na Sveučilištu Sjever.



Slika 10. Simulator Fronius Virtual Welding 2.0 sa Sveučilišta Sjever

6.1. Upute za rad na simulatoru

Prije samog početka rada na simulatoru, montirao se element izrađen od polimera kojim se simuliraju limovi postavljeni za izradu kutnog zavora na kojem će se uvježbavati REL zavarivanje. Montirao se držač elektrode koji služi za vođenje elektrode prilikom taljenja u električnom luku.

Prije početka zavarivanja moraju se odabrati parametri na ekranu simulatora, a u to spada:

- postupak zavarivanja: ručno elektrolučno zavarivanje
- vrsta zavora: kutni zavar lima
- položaj zavarivanja: PB
- sloj: sloj 1
- dodatni materijal: elektroda, 3mm
- izvor struje za zavarivanje: TP 3500 Comfort
- držač elektrode: 90 stupnjeva
- vrsta/debljina materijala: S235 JR

Na slici 11. prikazan je ekran simulatora kod odabira parametara s odabranim parametrima prema gore navedenoj podjeli.



Slika 11. Odabir parametara na simulatoru

Ekran simulatora je osjetljiv na dodir i pritiskom na karticu „Test“ pokreće se kratak test o zavarivanju. Kako se koriste VR naočale, potrebno je napraviti kalibraciju naočala i gorionika gdje se otvara zadnji izbornik prije početka simulacije. Pod kalibracijom se podrazumijeva kalibracija magnetskih senzora u pojedinim komponentama sustava i uspoređuju se položaji jednih komponenti sustava u odnosu na druge, što uključuje kalibraciju sustava i kalibraciju prostorije.

Kod vježbanja, vježbenica mora pod određenim kutom, s određenom brzinom i udaljenošću započeti s vježbom. Na simulatoru se nalaze crvene, žute i zelene točkice za usmjeravanje vježbenice gdje započinje s REL zavarivanjem, jednako tako u elektrodi se nalaze strelice istih boja koje upućuju vježbenicu koliko se mora približiti radnom elementu (slika 12.). Kod točkica, crvena boja predstavlja nedovoljnu udaljenost elektrode od radnog komada i brzinu gibanja. Žuta boja predstavlja srednje, a zelena boja omogućava sam početak zavarivanja i pokazatelj pravilnog izvođenja postupaka. Kod strelica u elektrodi, crvena označava nedovoljnu udaljenost i kut nagiba, žuta srednje, a zelena boja idealno vođenje elektrode.



Slika 12. Prikaz početaka rada na simulatoru

Kada se vježbenica drži zelenih točkica i strelica nastaje pravilan zavar. Jednako tako, kako se mora i u stvarnosti, tako i u virtualnom svijetu, skida se troska i vidi se završni zavar (slika 13. i slika 14.).



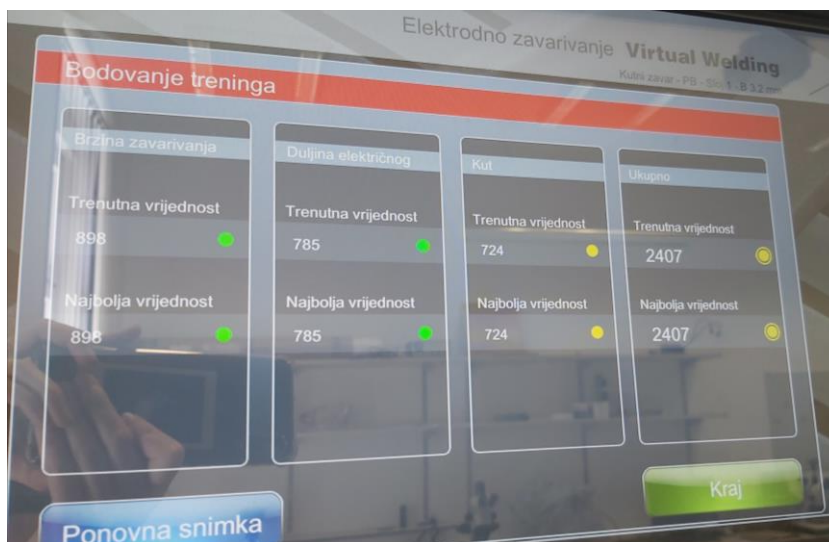
Slika 13. Prikaz troske na simulatoru



Slika 14. Prikaz završnog zavara

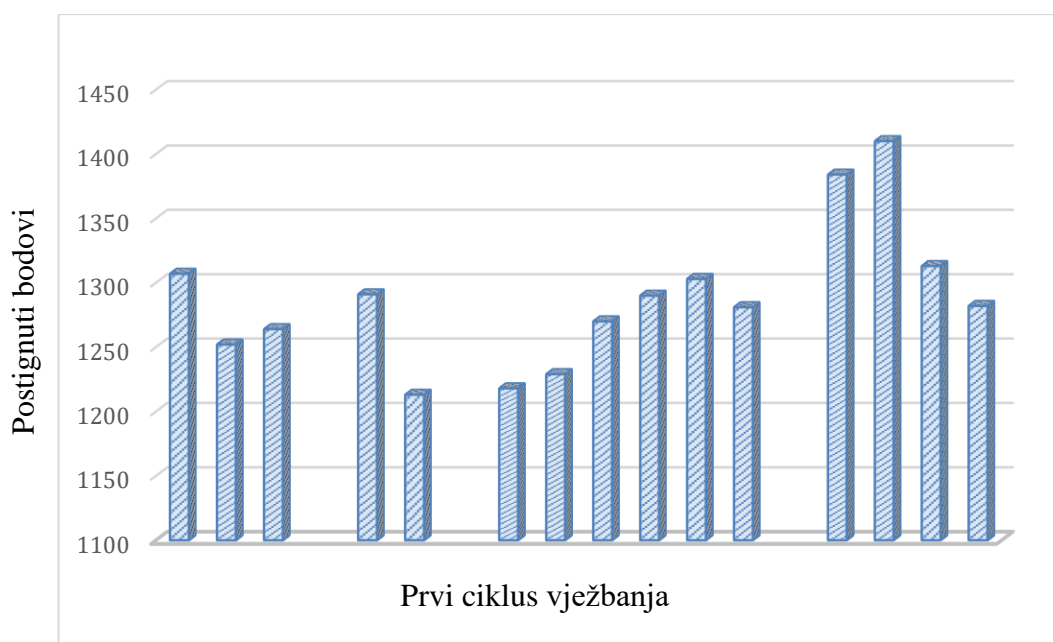
6.2. Postignuti rezultati

Ocjenjivanje simulacije se izvodi u tri kategorije: brzina zavarivanja, duljina električnog luka i kut nagiba. Na slici 15. je prikazan primjer rezultata nakon obavljenog treninga.

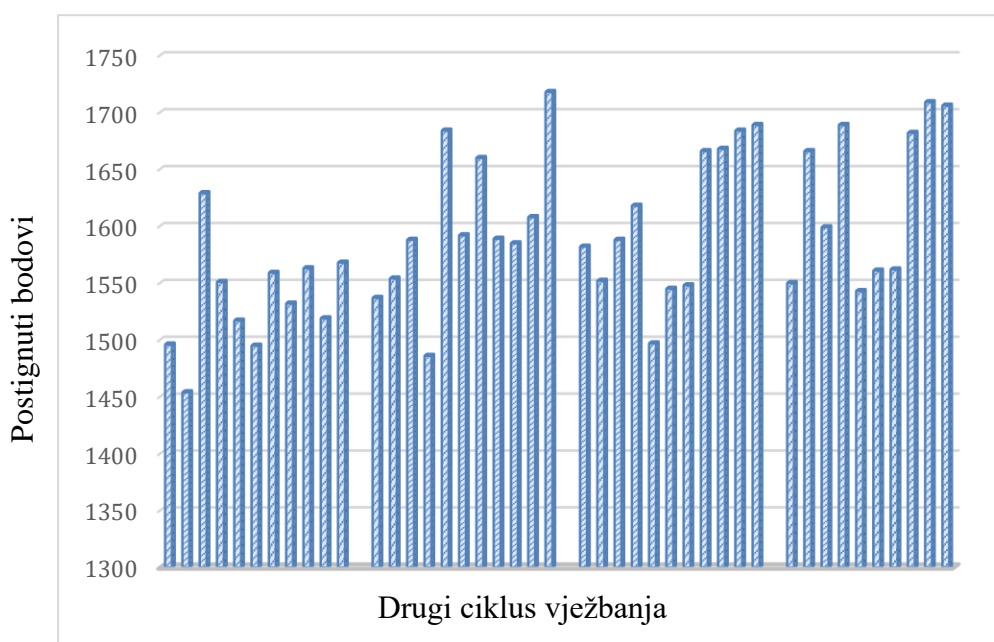


Slika 15. Rezultati na simulatoru

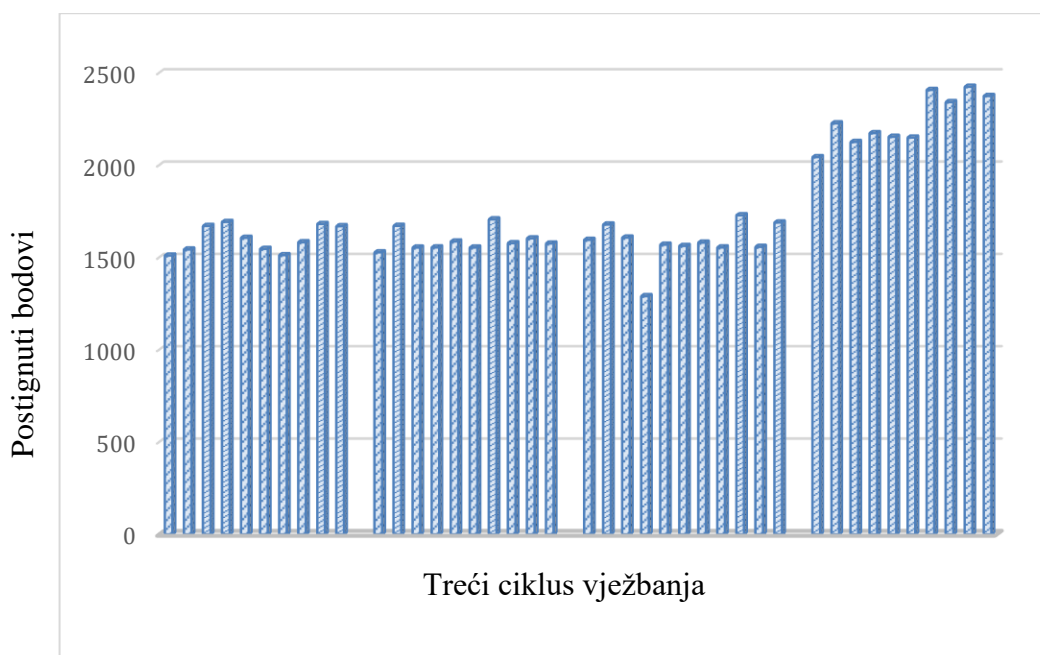
Trening vježbenice se provodio u tri serije, gdje se sat i pol pretvorio u četiri ciklusa po 15 minuta rada. Dalje u tablicama se navode postignuti rezultati nakon završenog treninga. Simulator ne prikazuje rezultate ukoliko je došlo do nepravilnog rukovanja na početku pri čemu se mora iznova započinjati trening. Prema dolje prikazanim ciklusima, vidi se kako je vježbenica u prvom ciklusu vježbala najmanje jer je bilo potrebno više vremena kako bi se uhodala i ispravila ono što radi pogrešno. Kako je vježbenica više vježbala, rezultati su bili bolji što se i vidi iz drugog i trećeg ciklusa. U trećem ciklusu su najbolji rezultati iz razloga što je vježbenica savladala kut nagiba, određenu udaljenost i brzinu kojom se mora kretati da bi zavar bio dobar.



Dijagram 1. Rezultati na simulatoru prvog ciklusa vježbanja



Dijagram 2. Rezultati na simulatoru drugog ciklusa vježbanja



Dijagram 3. Rezultati na simulatoru trećeg ciklusa vježbanja

6.3. Stvarno zavarivanje

Na Sveučilištu Sjever, vježbenica je imala mogućnost isprobavanja stvarnog REL zavarivanja kutnog zavara lima. Što se tiče simulatora i stvarnog zavarivanja postoje razlike, no nisu prevelike. Kod simulatora vježbenica nije morala brinuti o jakoj svjetlosti električnog luka, o rasprskavanju, toplini od zavarivanja, zaštitnoj odjeći i sl. U stvarnosti, vježbenica je morala nositi zaštitnu odjeću i prisjećati se rada na simulatoru posebice o držanju udaljenosti, nagibu i brzini zavarivanja. Tu dolazi težina držača elektrode, rukavica, maske za zavarivanje i pregače. Jednako tako, treba se spojiti na izvor struje i odabrati elektrodu.

Kod stvarnog zavarivanja potrebno je odabir jakosti struje zavarivanja gdje kabel sa stezaljkom spajamo na (-) pol uređaja, a drugi kraj stezaljkom na materijal koji želim zavariti. Na slici 16. prikazan je izvor struje za zavarivanje. Odabire se vrsta elektrode (slika 17.) i nakon toga se električni luk uspostavlja dodirrom elektrode o osnovni materijal.



Slika 16. Izvor struje za zavarivanje u laboratoriju Sveučilišta Sjever



Slika 17. Odabir elektrode

Stvarno REL zavarivanje odvijalo se u laboratoriju u dva navrata, a između prvog i drugog stvarnog REL zavarivanja odvijalo se uvježbavanje na simulatoru.

Na slici 18. vidi se prvi rezultat zavarivanja gdje su dva metalna lima u kutnom spoju izvedena u PB položaju.



Slika 18. Prvi rezultat stvarnog zavarivanja

Drugi rezultat zavarivanja prikazan je na slici 19., dva metalna lima u kutnom spoju.



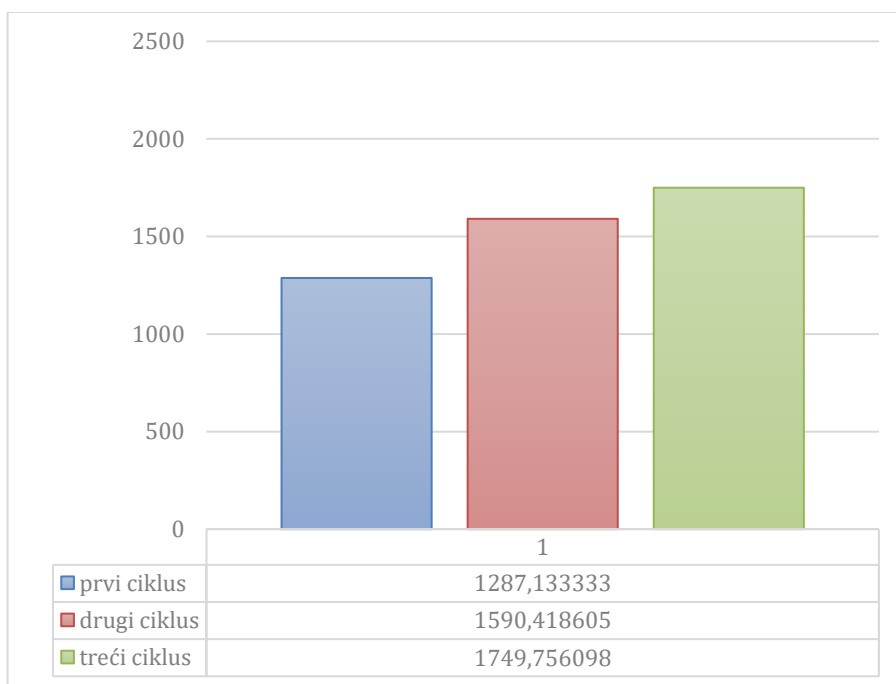
Slika 19. Drugi rezultat stvarnog zavarivanja

Vidljivo iz rezultata zavara, prvo zavarivanje je bilo najbolje prema sredini gdje je vježbenica imala odgovarajuću brzinu, dobar kut nagiba i držala se dobre udaljenosti. Kod drugog zavara, vježbenica se donekle pridržavala dobre brzine i držala dobru udaljenost, no kut nagiba je bio krivi. Kut nagiba je bilo lakše održavati na simulatoru nego u stvarnom zavarivanju zbog povratnih informacija na simulatoru. Vježbenica bi bolje savladala stvarno zavarivanje da je imala probno zavarivanje gdje bi se bolje upoznala s postupkom i pogreškama na kojima treba poraditi.

7. Analiza rezultata

Na kraju treninga može se uočiti kako dolazi do poboljšanja rezultata na simulatoru (dijagram 4.). Što se tiče rezultata između ciklusa, vidljivo je, iz gore navedenih dijagrama postignutih rezultata, kako rezultati odstupaju ovisno o koncentraciji i umoru vježbenice. Vježbenica je dobila osjećaj za brzinu, kut nagiba i održavanju električnog luka prilikom zavarivanja. Usporedimo li rad na simulatoru i stvarno zavarivanje u laboratoriju, rezultati se ne podudaraju. Vježbanjem na simulatoru vidi se donekle napredak, dok se nakon drugog stvarnog zavarivanja vidi pogoršanje s obzirom na prvo stvarno zavarivanje. Iako, dva uzorka zavarivanja nisu dovoljan pokazatelj rada na simulatoru.

Veliku ulogu kod stvarnog REL zavarivanja igra koncentracija i preciznost koja se od zavarivača traži. Zavarivač mora biti usredotočen na zavar koji izvodi bez dodatnih smetnji i održavati dovoljnu brzinu, udaljenost i kut nagiba kako bi zavar bio što bolji. Stvarno zavarivanje bilo bi lakše ukoliko bi bilo više prilika za vježbanje.



Dijagram 4. Grafički prikaz ukupnih rezultata

8. Zaključak

Sve je teže pronaći dobrog zavarivača u današnjem svijetu. Obuka zahtjeva vremena i novaca kako bi bila uspješna te kako bi poslodavac bio zadovoljan. Stvar je u tome da se moraju u obzir uzimati različite varijable prilikom obavljanja posla.

Potrebno je znanje i o zaštiti koja sprječava težu ozljedu zavarivača i lakše rukovanje opremom za zavarivanje. Na prvom mjestu je osobna zaštita tako da se budući zavarivači moraju posebno informirati o tome, jednako tako njihovi poslodavci moraju biti upućeni kako osigurati sigurnost svojih zaposlenika. Kod simulatora, zaštita i ekonomski razlozi imaju prednost nad stvarnim REL zavarivanjem. Razvijanjem simulatora za obuku zavarivača uvelike olakšava uvid u zavarivanje i mogućnost razvitka jer je slično stvarnom zavarivanju. Kod stvarnog REL zavarivanja najviše je potrebna vježba. Vježbenica bi postigla bolje rezultate kod stvarnog zavarivanja da je bilo vremena za izvođenje istog. Kada se princip rada savlada na simulatoru, REL zavarivanje u stvarnosti nije teško izvesti. Dodatni je pritisak na vježbenicu težina opreme i toplina zavara, sve ostalo bi se moglo savladati uz redovito vježbanje. Virtualno zavarivanje omogućava bolji uvid u zavarivanje i uočavanje jasnih grešaka na kojima treba poraditi.

Simulatori se čine kao tehnološko rješenje i veliki potencijal za poboljšavanje kvalitete obuke zavarivača iako su kratko vrijeme na tržištu. Koristiti se mogu za obuku zavarivanja svih postupaka i razine pri čemu se smanjuje trošak obuke i uz značajne ekološke prednosti. Što se tiče REL zavarivanja, korisnik simulatora može lakše savladati brzinu zavarivanja, paljenje elektrode, duljinu električnog luka i kut nagiba držača elektrode putem povratnih informacija preko vizualnih i auditivnih efekata.

9. Literatura

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/>, dostupno 05.06.2024.
- [2] S. Kralj, Z. Kožuh, Š. Andrić: Zavarivački i srodni postupci, HDTZ i FSB, Zagreb, 2015.
- [3] MIG/MAG postupak zavarivanja, <https://tsi.webador.com/>, dostupno 17.06.2024.
- [4] M. Horvat: Zavarivanje i srodni postupci, predavanja iz kolegija „Tehnike spajanja“ 2024.
- [5] TIG zavarivanje, <https://www.adk.ba/bs/pocetna.html>, dostupno 11.06.2024.
- [6] TIG postupak zavarivanja, <https://tsi.webador.com/>, dostupno 11.06.2024.
- [7] M. Bušić: Položaji zavarivanja, predavanja iz kolegija „Tehnologija III“ 2024.
- [8] Zavareni i zalemljeni spojevi, <https://www.ffri.hr/>, dostupno 14.06.2024.
- [9] T. Pikelj: Operativne značajke dvostruko oplštenih bazičnih elektroda, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.
- [10] Norme-zaštita glave, <https://siga.hr/>, dostupno 23.06.2024.
- [11] Sigurnosni zahtjevi za opremu za zavarivanje i rezanje, <https://hr.punairwelder.com/>, dostupno 23.06.2024.
- [12] Zaštitna odjeća za uporabu kod zavarivanja i srodnih procesa, <https://repozitorij.hzn.hr/>, dostupno 23.06.2024.
- [13] M. Toplak: Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje, Završni rad, Sveučilište Sjever, 2022.
- [14] Zaštita na radu pri zavarivanju, <https://preventa.hr/>, dostupno 27.6.2024.
- [15] DIN EN ISO 6947:1997, Schweißnähte Arbeitspositionen-Defitionen der Winkel von Neigung und Drehung

10. Popis slika

Slika 1. Utjecaj plinske zaštite [3]	5
Slika 2. Oprema za TIG zavarivanje [5]	6
Slika 3. Slikovni prikaz oblikovanja spojeva za zavarivanje [7]	9
Slika 4. Utjecaj struje zavarivanja na oblik zavara [8]	10
Slika 5. Osnovna zaštitna kod REL zavarivanja [4]	13
Slika 6. Zaštitna maska s filterom [10]	14
Slika 7. Sigurnosni znak [13]	16
Slika 8. Položaji zavarivanja [13]	18
Slika 9. Fronius Virtual Welding 2.0 sa Sveučilišta Sjever	19

11. Osobna dokumentacija

Slika 10. Odabir parametara na simulatoru	20
Slika 11. Prikaz početaka rada na simulatoru	21
Slika 12. Prikaz troske na simulatoru	22
Slika 13. Prikaz završnog zavara	22
Slika 14. Rezultati na simulatoru	22
Slika 15. Izvor struje za zavarivanje u laboratoriju Sveučilišta Sjever	25
Slika 16. Odabir elektrode	25
Slika 17. Prvi rezultat stvarnog zavarivanja	25
Slika 18. Drugi rezultat stvarnog zavarivanja	26

12. Popis dijagrama

Dijagram 1. Rezultati na simulatoru prvog ciklusa vježbanja.....	23
Dijagram 2. Rezultati na simulatoru drugog ciklusa vježbanja.....	23
Dijagram 3. Rezultati na simulatoru trećeg ciklusa vježbanja	24
Dijagram 4. Grafički prikaz ukupnih rezultata	27