

# Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje za MAG zavarivanje

---

**Bogeljić Šimunić, Hrvoje**

**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:122:015216>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**



*Repository / Repozitorij:*

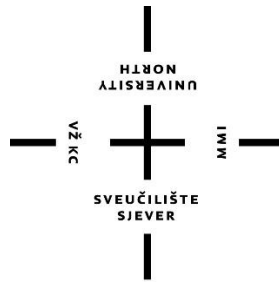
[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 381/PS/2022*

**Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za  
zavarivanje za MAG zavarivanje**

**Hrvoje Bogeljić Šimunić, 0035209341**

Varaždin, kolovoz 2022. godine





**Sveučilište  
Sjever**  
Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 381/PS/2022

**Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje  
za MAG zavarivanje**

**Student**

Hrvoje Bogeljić Šimunić, 0035209341

**Mentor**

Matija Bušić, dr. sc.

Varaždin, kolovoz 2022. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Hrvoje Bogeljić Šimunić	MATIČNI BROJ	0035209341
DATUM	06.06.2022.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje za MAG zavarivanje		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Training of welders for MAG welding using welding simulator		
MENTOR	dr.sc. Matija Bušić	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva		
	2. doc.dr.sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva		
	3. Marko Horvat, dipl. ing., član povjerenstva		
	4. doc. dr. sc. Tomislav Veliki, rezervni član povjerenstva		
	5.		

## Zadatak završnog rada

REGI	381/PS/2022
OPIS	<p>U završnom radu pristupnik treba na temelju literaturnih podataka proučiti načine uvježbavanja zavarivača za MIG/MAG zavarivanje. Posebno detaljno proučiti uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje. Proučiti vrste simulatora za zavarivanje, definirati njihove karakteristike i mogućnosti. Detaljno obraditi simulator Fronius Virtual Welding 2.0, proučiti njegov način rada, dodatnu opremu i pribor te mogućnosti zavarivanja u različitim položajima i sa različitim postupcima zavarivanja. Proučiti način kretanja kroz programsko sučelje navedenog simulatora.</p> <p>U eksperimentalnom dijelu rada proučiti uvježbavanje MAG 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. Donijeti vlastiti zaključak o provedenom eksperimentu. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.</p>

ZADATAK URUČEN

06.06.2022.



M. Bušić

## **Predgovor**

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

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Matiji Bušiću na podršci, savjetima, primjedbama, te što mi je omogućio korištenje simulatora za zavarivanje u svrhu izrade završnog rada.

Također zahvaljujem i svojoj obitelji koja mi je pružila podršku tijekom studiranja.

## **Sažetak**

Ovaj završni rad bavi se obukom zavarivača uporabom simulatora virtualne stvarnosti marke „Fronius“, MIG/MAG postupkom zavarivanja kutnog spoja uz PB položaj.

Prema istraživanjima, u svijetu postoji manjak iskusnih zavarivača te će potražnja biti još izraženija. Kod provođenja postupka selekcije kandidata za zapošljavanje zavarivača, tvrtke ne provode testiranje kandidata zbog visokih troškova i manjka vremena za testiranje. Veća ekonomičnost, kao i manji utrošak materijala, postiže se korištenjem simulatora. Uz virtualno zavarivanje, odnosno korištenjem simulatora, početnici uče osnove zavarivanja korak po korak i vježbaju bez ikakvog rizika od ozljeda. Također, na taj način razvijaju osjećaj za detalje ključne za kvalitetno zavarivanje.

Ključne riječi: zavarivanje, simulatori za zavarivanje, vrste i načini zavarivanja, materijali

## **Summary**

This thesis deals with the training of welders using a virtual reality simulator "Fronius" brand, MIG/MAG welding process of corner joint with PB position.

Research has shown that there is a smaller number of experienced welders in the world and that the demand will decrease be even more pronounced. In the process of selecting candidates for the employment of welders, companies do not they test candidates due to high costs and lack of time for testing. By using of training simulators, the method is the consumption of materials, and greater economy is achieved. With virtual welding, beginners can learn the basics of welding step by step and exercise without any risk of injury. Develop a good sense of keywords welding.

Keywords: welding, welding simulators, types and methods of welding, materials



## **Popis korištenih kratica**

LCD - Zaslon temeljen na tehnologiji tekućih kristala (eng. Liquid-crystal display)

LED - svjetleća dioda (eng. Light emitting diode)

AR - Proširena stvarnost (eng. Augmented reality)

VR - Virtualna stvarnost (eng. Virtual reality)

ISO - Međunarodna organizacija za standardizaciju (eng. International Organization for Standardization)

3D - Trodimenzionalno

S235JR - Vrsta konstrukcijskog čelika

REL - Ručno elektrolyčno zavarivanje

TIG - Elektrolyčno zavarivanje volframovom elektrodom (eng. Tungsten inert gas)

MIG/MAG - Elektrolyčno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi inertnog/aktivnog plina (eng. Metal inert gas/Metal active gas)

# Sadržaj

1. Uvod.....	11
2. Simulatori za obuku zavarivača.....	12
2.1. Načini rada simulatora.....	12
2.2. Načini obuke na simulatoru.....	13
2.3. Oprema za simulator.....	14
3. Vrste simulatora.....	15
3.1. Fronius virtual welding.....	15
3.1.1. Oprema za Fronius simulator .....	16
3.1.2. Položaji zavarivanja kod Fronius simulatora.....	17
3.1.3. Gorionici i držači elektroda kod Fronius simulatora .....	18
3.2. Soldamatic .....	19
3.2.1. Oprema za Soldamatic simulator.....	20
3.2.2. Gorionici i držači elektroda kod Soldamaric simulatora .....	20
3.3. Lincoln / Vrtex 360° .....	21
3.3.1. Oprema za Lincoln simulator .....	22
3.3.1.1. VR uređaj za Lincoln simulator.....	22
3.3.1.2. Stalak za Lincoln simulator .....	23
3.3.1.3. Virtualno okruženje kod Lincoln simulatora.....	25
3.3.2. Gorionici i držači elektroda kod Lincoln simulatora.....	26
4. Vrste zavarivanja / dostupni postupci.....	27
4.1. MIG/MAG .....	27
4.2. REL.....	30
4.3. TIG.....	32

5. Norme za položaje zavarivanja.....	34
6. Obrada zadatka .....	35
7. Analiza rezultata .....	40
7.1. Postavke kod zavarivanja .....	44
8. Zaključak .....	45
9. Literatura .....	46
10. Popis slika.....	47
11. Popis tablica.....	48

## 1. Uvod

Zavarivačke industrije se u današnje vrijeme susreću s različitim problemima. Neki od njih su manjak iskusnih zavarivača, klasični treninzi koji su predugi, visoki troškovi osnovnog i dodatnog materijala itd. Dobri i pouzdani zavarivači moraju znati iskoristiti informacije iz taline, imati nadzor nad brzinom i smjerom zavarivanja, nagibom elektrode i njenim odmakom od radnog dijela, odnosno kvalitetan zavar. Pogreške kod zavarivanja (škart ili popravak) mogu predstavljati gubitak, te su iz navedenih razloga kvalitetni zavarivači traženi u industriji. [1]

U današnje vrijeme koriste se nove tehnologije koje poboljšavaju i ubrzavaju proces obrazovanja, smanjuju troškove te povećavaju bolju kontrolu procesa obuke zavarivača. Navedeno se postiže simulatorom za obuku zavarivača. Tehnologija zavarivanja je vrlo složen proces i prilikom simulacije potrebno je uraditi mnogo ponavljanja i utrošiti dosta vremena. Cilj simulatora je na jednostavan i realan način prikazati postupak zavarivanja na kojem mladi i neiskusni zavarivači mogu vježbati. Simulator može biti postavljen u bilo koju prostoriju gdje može biti spojen na struju, a instruktor ne mora biti prisutan u obuci. Virtualni simulatori bilježe velika poboljšanja, ali i dalje postoje problemi za što realnije doživljaje zavarivanja.

## 2. Simulatori za obuku zavarivača

### 2.1. Način rada simulatora

Simulatori su visokotehnološki uređaji koji su zasnovani na računalnoj tehnologiji i koji obrađuju informacije na način da zavarivač svoj rad „vidi“ u virtualnom prostoru. Princip se temelji na magnetskom sustavu praćenja koji svaki pokret zavarivačke ruke prevodi u virtualnu okolinu. Generator potom stvara sferno magnetsko polje ispod radnog dijela, dok senzori otkrivaju položaj gorionika. Na zaslonu računalnog programa prikazuje se okruženje koje je omogućeno digitaliziranim signalom, dok na maski zavarivača postoji dodatni senzor koji korisniku omogućuje realan prikaz okoline.

Nakon pokretanja simulatora, postoje određene postavke bitne za određivanje. Neke od njih su postupak zavarivanja, vrsta zavara, određivanje parametara zavarivanja, položaj itd. [3]

Prednosti simulatora su:

- mogućnost uporabe u kabinama za zavarivanje i učionicama
- jednostavno se stavljaju, sklapaju i transportiraju
- manje potrebnih radnih sati za instruktora
- manji troškovi
- bez onečišćenja prostora s dimom, prskanjem metala i zračenjem
- manje popravaka i servisiranje uređaja
- mogućnost umrežavanja [4]

Mogućnost umrežavanja je velika prednost jer svaki korisnik izrađuje vlastiti profil i nakon određene vježbe ima mogućnost spremanja dobivenog rezultata video snimkom. Takva mogućnost omogućava detaljnu analizu postupka zavarivanja budućih zavarivača zajedno s instruktorom. Pomoću umrežavanja, rezultati su dostupni na bilo kojem drugom simulatoru istog proizvođača te instruktor može pogledati korisnikov rezultat iz druge prostorije, tvrtke ili države. [2]

Koraci u obuci:

1. Prikaz vježbe na simulatoru
2. Zavarivač ponavlja postupak te se mjeri njegova uspješnost
3. Simulator izračunava rezultate
4. Zavarivač ponavlja vježbu koliko god želi
5. Nakon postizanja određenih vještina prelazi na pravo zavarivanje [3]

## 2.2. Načini obuke na simulatoru

Dva dijela obuke su:

- trening
- simulacija

Kod savladavanja osnova tehnika zavarivanja u treningu koristi se virtualni instruktor (duh) koji daje mogućnost ispravnog usvajanja postupka, koristeći se vizualnim i auditivnim efektima. Postoji više faza uvježbavanja koje ovise o simulatoru, a najčešće faze su savladavanje brzine zavarivanja, odmak elektrode od radnog dijela te kut nagiba elektrode. Trening se ponavlja sve dok korisnik ne razvije motoriku i izvježba sve faze.

Kad se postignu dobri rezultati u treningu, počinje obuka simulacijom. Naglasak se stavlja na postavljanje parametara zavarivanja i učenje formiranja zavara, a potom slijedi analiza rezultata. Navedena faza obuke odvija se bez prisutnosti duha te predstavlja realnu sliku zavarivanja uz prateće efekte. Na kraju simuliranja dobiva se objektivna i transparentna procjena rezultata. Brojčani podatak smatra se najboljim pokazateljem kvalitete obavljenog posla. Također, za daljnju motivaciju polaznika te poticanje na rad, na kraju se generira ljestvica poretka. [4]

### **2.3. Oprema za simulator**

Od opreme za simulator koristi se VR uređaj, VR maska za zavarivanje, LCD zaslon, dodaci za postizanje različitih položaja zavarivanja, modeli vrsta zavara, posebni gorionici ovisno o postupku zavarivanja i stalci, ukoliko postoji za tu vrstu simulatora.

Bitno je da je oprema lagana i da se može brzo sklopiti. Virtualni simulatori mogu biti postavljeni na bilo kojoj lokaciji gdje je zatvoreni prostor, što je ujedno i njihova bitna karakteristika. Tako postavljeni virtualni simulatori mogu u bilo kojoj prostoriji prikazivati učionicu, te ako zatreba, brzo se sklapaju i premještaju u drugu prostoriju. [5]

### 3. Vrste simulatora

Najpoznatiji simulatori koji postoje na tržištu su:

- Fronius Virtual Welding
- Soldamatic
- Lincoln /Vrtex 360

#### 3.1. Fronius virtual welding

Fronius je svjetski voditelj u tehnologiji zavarivanja i partner renomiranim tvrtkama iz svih sektora. Froniusovi sustavi zavarivanja predstavljaju najnoviju tehnologiju i najvišu kvalitetu. Jedan je od najpopularnijih virtualnih simulatora, razvijen od istoimene austrijske tvrtke. Fronius simulatori predstavljaju najmlađi model virtualnog simulatora, nude više od mogućnosti zavarivanja u virtualnom okruženju. Omogućuju prenošenje teoretskog znanja o procesima zavarivanja i mjerenje uspjeha učenja kroz provjeru znanja.



*Slika 1. Simulator za zavarivanje Fronius Virtual Welding 2.0, (eng. Stand Up terminal) - obuka*





*Slika 2. Stolni model simulatora [5]*

### **3.1.1. Oprema za Fronius simulator**

Maska za zavarivanje sadrži 3D naočale i optičke prozore za izoštravanje slike. Također, postoji opcija podešavanja veličine koje ovise o korisniku. [6]



*Slika 3. Maske za zavarivanje [6]*

### 3.1.2. Položaji zavarivanja kod Fronius simulatora

Virtualni simulatori nude opcije kutnog zavarivanja limova, sučeljenog zavarivanja limova i zavarivanja cijevi za lim u kutnom spoju. Zbog toga, postoje radni komadi koji nude mogućnost takvih vrsta zavarivanja.



*Slika 4. Radni komadi za Fronius [6]*

Upotrebom različitih kombinacija postavljanja držača radnih komada i radnog stola, ostvaruju se drugačije zavarivačke pozicije. Pozicije koje korisnik može odabrati su: PA, PB, PC, PD, PF, PE, PH, PJ.

Svaka pozicija zahtijeva drugačije ručne vještine i tehnike zavarivanja. Iz tog razloga, polaznici zavarivanja moraju biti osposobljeni za ovladavanje ovim različitim položajima zavarivanja. Virtualno zavarivanje ima širok raspon mogućnosti za vježbanje na raznim obradacima koji se mogu pričvrstiti na simulator različitim položajima. Bez obzira radi li se o kutnom zavaru iznad glave ili o sučeljenom zavaru s jednim V prema gore. Korisnici se mogu osposobiti za gotovo sve položaje zavarivanja.

### 3.1.3. Gorionici i držači elektroda kod Fronius simulatora

S obzirom da bi postoje tri različita postupka zavarivanja, postoji i isto toliko gorionika, odnosno držača, elektrode. Primjeri gorionika i držača elektrode su: MAG gorionik, REL držač elektrode, TIG gorionik.



*Slika 5. MAG gorionik [6]*



*Slika 6. REL držač elektrode [6]*



*Slika 7. TIG gorionik [6]*

## 3.2. Soldamatic

Simulator, od španjolske tvrtke „Seabery, prvi je uređaj za obuku zavarivača koji primjenjuje tehnologiju proširene stvarnosti (AR). Dodavanjem elemenata virtualnog okruženja u stvarno okruženje, proširena stvarnost prikazuje ih kao su dio stvarnog okruženja. [11]



*Slika 8. SOLDAMATIC simulator [12]*

### 3.2.1. Oprema za Soldamatic simulator

Uređaj Soldamatic sadrži tipku za određivanje napona struje i brzine žice, kontrolnu ploču na kojoj se nalaze priključci za gorionike, tipku za pokretanje sustava i masku.

Maska se sastoji od dvije visoko rezolutne mikro kamere i 5" (12,7 cm) zaslon koji stvara realan prikaz. LED svjetla, koja imaju vlastiti izvor napajanja, nalaze se na prednjem dijelu maske. Ona se koriste za održavanje stabilnih svjetlosnih uvjeta, te su stoga izuzetno nužna za ispravno funkcioniranje. Unutar maske su, također, integrirani zvučnici za što realniji doživljaj. [12]



*Slika 9. AR maska [13]*

### 3.2.2. Gorionici i držači elektroda kod Soldamatic simulatora

Soldamatic nudi tri različita gorionika, za REL, MIG/MAG i TIG postupak. Glavna karakteristika navedenih gorionika je što su napravljeni prema primjeru pravih gorionika, odnosno držača elektroda (za REL). Pažljivo su izrađeni što se tiče oblika, veličine i težine.

MIG/MAG postupak omogućuje upotrebu dvotaktnog, ali i četverotaktnog gorionika. Kod dvotaktnog gorionika potrebno je kroz čitav postupak držati tipku paljenja koja se ne smije pustiti osim za prekid rada. Za razliku od dvotaktnog gorionika, kod četverotaktnog nije potrebno držati tipku paljenja već se tipka mora pritisnuti jednom za početak i jednom za kraj. [12]



*Slika 10. Gorionici za MIG/MAG (lijevo), REL (sredina), TIG (desno) [13]*

### 3.3. Lincoln / Vrtex 360

Lincoln, odnosno Vrtex 360, virtualni je simulator zavarivanja proizveden od američke tvrtke „Lincoln Electric“. Dizajn mu je sličan standardnom uređaju za zavarivanje. Također, simulator karakterizira mogućnost podešavanja visine uzorka i dobra grafika, što se ne može reći za simulator tvrtke Fronius. Isto tako, navedeni simulator ima sposobnost upotrebe dva postupka zavarivanja i mogućnost uporabe praškom punjene žice. Pod nedostatke simulatora Vrtex 360 može se navesti visoka cijena i kompleksan način korištenja, kao i transport simulatora zbog njegove velike mase. [4]



*Slika 11. LINCOLN /Vrtex 360 simulator [7]*



### 3.3.1 Oprema za Lincoln simulator:

#### 3.3.1.1. VR uređaj

VR uređaj namijenjen je za podešavanje parametara zavarivanja, određivanje napona i polariteta. Također, u sklopu uređaja nalazi se sučelje sa zaslonom osjetljivim na dodir. [8]



*Slika 12. Sučelje uređaja [7]*

### 3.3.1.2. Stalak

Stalak je dizajniran prema primjeru kabine iz škole zavarivanja Lincoln Electrica.



*Slika 13. Dijelovi stalka [7]*

Zbog velike fleksibilnosti stalka, moguće je korištenje četiri pozicije postavljanja uzoraka:

- horizontalna
- vertikalna
- nadglavna
- položena [8]



Cijevi mogu biti u 6G, 5G ili 2G poziciji:



*Slika 14. Mogućnosti postavljanja stalka [7]*

VR maska ima ukomponirane naočale, a audio efekte pružaju zvučnici smješteni na bočnim stranama maske. [7]



*Slika 15. VR maska [7]*

### 3.3.1.3. Virtualno okruženje kod Lincoln simulatora

Kod stvaranja cjelovitog doživljaja pomaže i mogućnost postavljanja virtualne okoline, što je dodatna značajka Lincoln simulatora. Vrtex 360 ima mogućnost odabira tri moguća okruženja. Potom se vrši odabir zaštitnog plina te brzina njegovog protoka. Kada se odabiru parametri, potrebno je postaviti brzinu dobave žice i napon, a posljednje što treba je odrediti polaritet. Kada se odrede sve postavke može se odabrati mogućnost sveukupne provjere, nakon čega se kreće za zavarivanjem. [8]

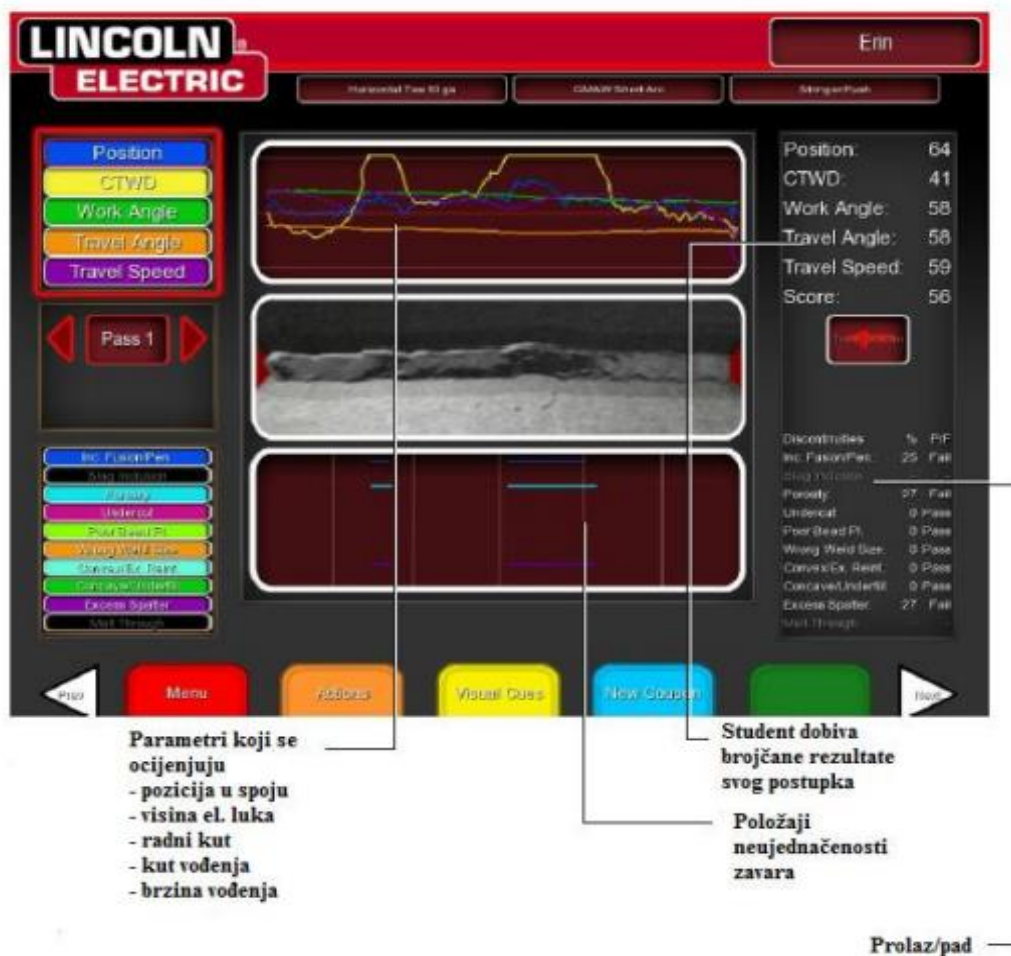


*Slika 16. Primjer virtualnog okruženja [7]*

Za vrijeme zavarivanja instruktor bira između tri vrste pogleda:

- pogled korisnika daje nam opciju praćenja procesa iz prvog lica
- pogled instruktora omogućava zumiranje i fokusiranje na pojedine dijelove gledane s boka
- grafički prikaz prikazuje uspješnost odrađene vježbe i ocjenjuje 5 parametara zavarivanja [8]

Lincoln simulator za zavarivanje omogućava na ekranu prikaz mnogih postavki i parametara, te rezultata za naknadno prikazivanje kako bi mentor mogao vidjeti uspjeh i napredak vježbenika.



Slika 17. Grafički prikaz na simulatoru [7]

### 3.3.2. Gorionici i držači elektroda kod Lincoln simulatora

Lincoln simulator ima mogućnost vježbe zavarivanja sa tri različita gorionika, za REL, MIG/MAG i TIG postupak. Glavna značajka navedenih gorionika je ta što su rađeni prema primjeru pravih gorionika (MIG/MAG i TIG), odnosno držača elektroda (za REL). Njihova veličina, težina i oblik su iste kao kod pravog zavarivanja. Kod MIG/MAG postupka zavarivanja postoje dvotaktno i četverotaktno zavarivanje pomoću gorionika. Kod dvotaktnog gorionika potrebno je kroz čitav postupak držati tipku paljenja koja se ne smije pustiti osim za prekid rada. Za razliku od dvotaktnog gorionika, kod četverotaktnog nije potrebno držati tipku paljenja već se tipka mora pritisnuti jednom za početak i jednom za kraj [12]

## 4. Vrste zavarivanja / dostupni postupci

### 4.1. MIG/MAG

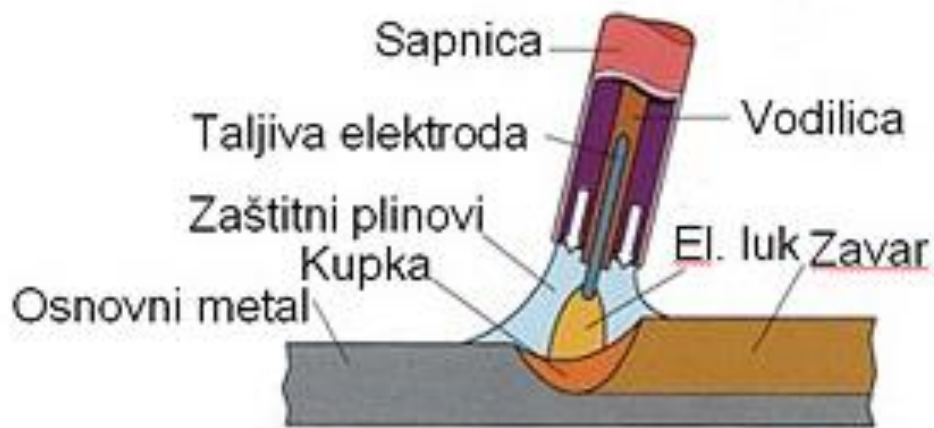
MIG/MAG postupak zavarivanja najčešće je korišten postupak zavarivanja. MIG/MAG stiže od engleskih izraza *Metal Inert Gas* (Metal-inertan plin), odnosno *Metal Active Gas* (Metal-aktivni plin). U ovim izrazima nalaze se i opisi postupka. Kod MIG postupka zavarivanje se ostvaruje pod zaštitom inertnog plina, a kod MAG postupka zavarivanja aktivni plin sudjeluje u zavarivanju.

Trening omogućuje uvježbavanje tri vještine: udaljenost elektrode od predmeta rada, brzinu zavarivanja i nagib gorionika. Povratne informacije dobivaju se preko vizualnih i auditivnih efekata. Zelena boja označava idealno vođenje, žuta srednje, a crvena nezadovoljavajuće.



Slika 18. MIG/MAG simulacija [4]

MIG/MAG zavarivanje, u stvarnosti, koristi punu žičanu elektrodu kao dodatni materijal, a zavarivanje se izvodi u vanjskoj zaštiti plina iz vanjskog izvora (obično visokotlačnog cilindra). Zavarivanje se uglavnom izvodi elektrodom spojenom na istosmjerni napon pozitivnog polariteta (DC+). Zaštitni plin, obično ugljikov dioksid ili mješavina ugljikovog dioksida i argona štiti rastaljeni metal od reakcije s atmosferom. Rastaljeni metal zavara vrlo je reaktivan s kisikom, vodikom i dušikom iz atmosfere. Kod MIG zavarivanja se koriste neutralni, odnosno inertni plinovi poput argona, helija ili njihovih mješavina. Kod MAG zavarivanja koriste se aktivni plinovi, najčešće CO<sub>2</sub> i njegove mješavine s drugim plinovima, zbog ovoga se taj tip zavarivanja ponekad naziva i CO<sub>2</sub> zavarivanje. Najčešće primjene MIG/MAG zavarivanja su kod zavarivanja oboljenih metala, zavarivanje tankih limova, visokolegiranih čelika i drugih metala koji se vežu s kisikom. Riječ je o izuzetno brzom metodi zavarivanja koja je primjenjiva na sve vrste metala, u svim položajima i moguće ju je automatizirati, odnosno robotizirati. [10]



Slika 19. MIG/MAG postupak zavarivanja [2]

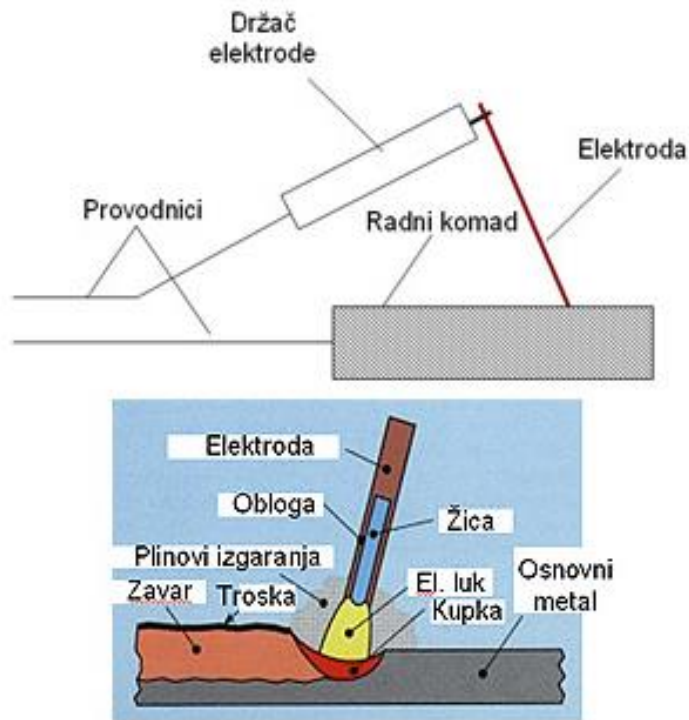
U nastavku su navedene prednosti i nedostaci MIG/MAG postupka.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci MIG/MAG postupka zavarivanja [10]

Prednosti MIG/MAG postupka:	Nedostaci MIG/MAG postupka:
<ul style="list-style-type: none"><li>- mogu se zavarivati tanki, srednji i debeli komada</li><li>- brzina zavarivanja (do 1m/min)</li><li>- za sve vrste metala</li><li>- postupak se može automatizirati i robotizirati</li><li>- u svim položajima zavarivanja</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- treba se zavarivati sa 2 ruke</li><li>- skupa oprema</li><li>- opasnost od naljepljivanja</li><li>- velika pozornost oko zaštite zbog plina</li></ul>

## 4.2. REL

REL postupak zavarivanja pristupačna je metoda zavarivanja s jeftinom opremom i širokim izborom elektroda za različite primjene. REL skraćenica označava izraz za ručno elektrolučno zavarivanje. U inozemstvu se koriste i izrazi SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) i MMA (*Manual Metal Arc Welding*). Potpuni naziv postupka je ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom. [10]



Slika 20. REL postupak zavarivanja [2]

U REL postupku zavarivanja električni luk između elektrode i radnog komada postavlja ručno zavarivač. Primjenjiv je na sve vrste metala uz izmjeničnu ili istosmjernu struju.

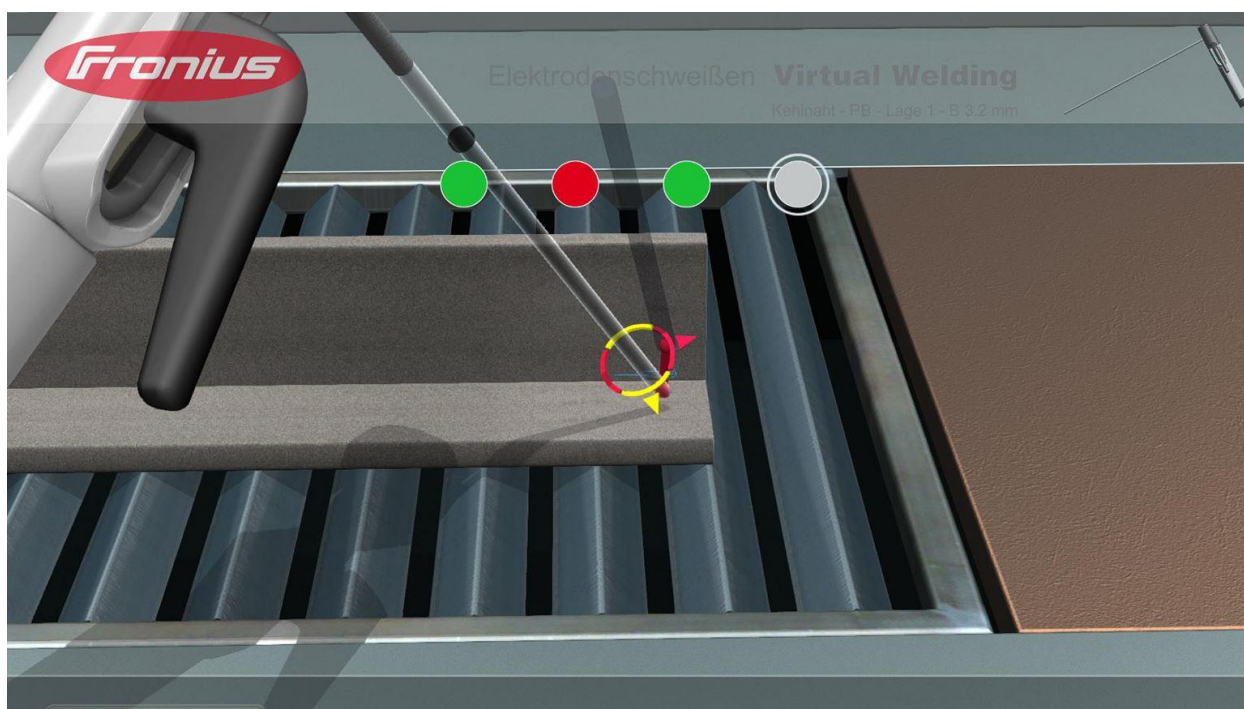
REL je vrlo raširen postupak i jednostavan za rukovanje i primjenjuje se za sve konstrukcijske čelike, svih debljina, izvedivo je u više slojeva.

Nedostaci ove metode su manja kvaliteta zavara zbog ručnog izvođenja postupka, uspostavljanja električnog luka i mogućih pogrešaka kod prekida. [2]



Tablica 2. Prednosti i nedostaci REL postupka zavarivanja [10]

Prednosti REL postupka zavarivanja:	Nedostaci REL postupka zavarivanja:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- zavarivanje u svim položajima</li> <li>- jeftina oprema</li> <li>- koristi se za sve konstrukcijske čelike, Cu, Ni, Ti, i dr.</li> <li>- širok spektar elektroda</li> <li>- izvedivo je višeslojno zavarivanje</li> <li>- za sve debljine zavara (od 1 mm do 100 mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- postupak se obavlja ručno (mogućnost greške)</li> <li>- prekidi i uspostavljanje luka – moguće pogreške</li> <li>- otpad - moraju se ukoniti</li> <li>- stvaranje troske (opasnost troska u zavaru)</li> <li>- puno dimova (potrebna ventilacija)</li> </ul>



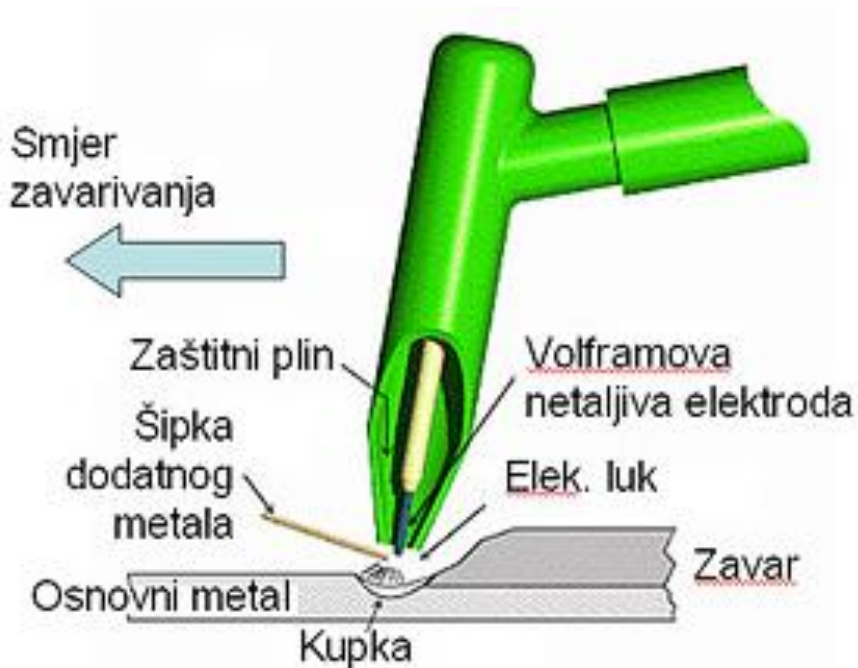
Slika 21. REL postupak zavarivanja (simulacija) - obrada



### 4.3. TIG

TIG postupak zavarivanja dolazi od engleskog izraza *Tungsten Inert Gas*, no ponekad se može naići na izraz WIG zavarivanje od njemačkog izraza *Wolfram Inert Gas*. tungsten, odnosno Wolfram su oboje nazivi za metal volfram. [10]

U TIG postupku elektroda od volframa na neutralnom odnosno inertnom zaštitnom plinu se ne tali već usmjeruje intenzivan električni luk na metal kojeg želimo zavarivati. Na ovaj način moguće je spojiti osnovni metal uz dovođenje dodatnog materijala ili bez dodatnog materijala. [10]



Slika 22. TIG postupak zavarivanja [2]

TIG metoda zavarivanja je vrlo precizna i visokokvalitetna. Iako je razvijena za potrebe zavarivanja magnezija, legura magnezija, danas se koristi za širok raspon metala. TIG zavarivanje koristi izmjeničnu struju za zavarivanje materijala kao što su aluminij, magnezij i njegove legure. Za zavarivanje nehrđajućih čelika, titana, bakra, čeličnih limova i ostalih materijala koristi se istosmjerna struja s minus polom na elektrodi.

Zaštitni plinovi koji se najčešće koriste za TIG zavarivanje su argon i helij koji štite materijal od onečišćenja. Zbog toga se ova metoda naziva i „argonskim zavarivanjem“.

Ovaj način zavarivanja je relativno spor, ograničen na tanke materijale i skup (zbog zaštitnog plina, opreme i volframa). [10]

Tablica 3. Prednosti i nedostaci TIG postupka zavarivanja [10]

Prednosti TIG postupka zavarivanja:	Nedostaci TIG postupka zavarivanja:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- luk je vrlo stabilan (osigurava visoko-kvalitetno zavarivanje)</li> <li>- zavareni spojevi su homogeni, dobre estetike i dobrih mehaničkih svojstava</li> <li>- koristi se za zahtjevne materijale (nehrđajući čelici, Al, Ti, Cu, itd.)</li> <li>- zavarivanje daje najkvalitetniji zavar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mala brzina zavarivanja (10-15 cm u min)</li> <li>- ograničeno za tanke materijale (do 6 mm)</li> <li>- oprema je vrlo skupa</li> <li>- volfram je skup</li> <li>- plin (argon) je skup</li> <li>- nužna sekundarna zaštita zbog oksidacije</li> </ul>

## 5. Norme za položaje zavarivanja

Hrvatski normativni dokument - HRN EN ISO 6947:2019 - Zavarivanje i srodni postupci -  
Položaji pri zavarivanju

Položaj zavarivanja važan je kriterij pri izboru postupka zavarivanja. Horizontalni položaj najtraženiji je u odnosu na ostale položaje zavarivanja, no često se koriste i drugi položaji kao što su zidni, vertikalni, nadglavni itd. Kod izrade vertikalnih stabilnih cilindričnih spremnika velikog volumena dominantni su vertikalni i zidni položaji zavarivanja. U slučaju kada postoji mogućnost dovođenja predmeta za zavarivanje u horizontalni položaj, te kada je dovoljno kvalitetno i pouzdano, zavarivanje se može izvesti u horizontalnom položaju. [9]

Postoje različite vrste položaja zavarivanja:

- PA (vodoravni položaj),
- PB (vodoravni položaj u kutu),
- PC (zidni položaj),
- PD (horizontalno nadglavni položaj),
- PE (nadglavni položaj),
- PF (zavarivanje vertikalno prema gore),
- PG (zavarivanje vertikalno prema dolje) [9]

## 6. Obrada zadatka

Zadatak u ovom završno radu bio je istražiti Fronius simulator za zavarivanje, upoznati se sa mogućnostima simulatora, te uz MIG/MAG zavarivanje, PB položaj zavarivanja kutnog zavara vidjeti koji napredak u zavarivanju se može postići u 2 dana treninga na istom simulatoru.

Prvi dan vježbenik se upoznao sa temom za završni rad, razgovarao sa mentorom koji je zadao zadatak, čitao upute, upoznao se sa simulatorom, te izveo prvi krug testiranja i kontrolnog testa.

### **Fronius simulator za zavarivanje nudi razne opcije zavarivanja:**

Pojedine postavke se mogu mijenjati kao što su: postupak zavarivanja, vrsta / volumen zavara, položaj zavarivanja, slojevi, gorionici; te nepromjenjive postavke: Dodatni materijal, izvor struje zavarivanja, Vrsta / debljina materijala, vrsta luka.

### **Postupci zavarivanja:**

Zavarivanje u zaštiti aktivnog plina (MIG/MAG), ručno elektrolučno zavarivanje (REL) i lučno zavarivanje volframom (TIG).

### **Vrsta/volumen zavara:**

Sučeljeni V-zavar lim, kutni zavar lima, sučeljeni V zavar cijev, kutni zavar cijevi, navarivanje lima.

### **Dodatni materijal:**

Dodatni materijal G3Si1 je žičana elektroda neobložena bakrom za MAG zavarivanje s grupama inertnog plina M2, M3, ili C1.

Prikladna za zavarivanje konstrukcijskih čelika, čeličnih cijevi, brodograđevnih čelika, sitnozrnatih čelika s granicom razvlačenja do 420 Mpa, testirana za radne temperature do -50°C.

Posebno prikladna za primjenu kod visokih struja zavarivanja. Promjer = 1.2 mm

### **Izvor struje zavarivanja:**

TPS 500i inteligentno uspostavlja interakciju s korisnikom. Pruža mu pomoć kod postavki, odabira odgovarajućih opcija i središnjeg ažuriranja komponenti. Shodno tome, sustav je brži te lakši i sigurniji za korištenje

**Vrsta / debljina materijala:**

S235 JR je konstrukcijski čelik sačinjen od željeza i ugljika. Vlačna čvrstoća ovog materijala je između 340 i 470 N/mm<sup>2</sup>, a granica razvlačenja 235N/mm<sup>2</sup>. Debljina materijala u zadacima može varirati od 3 do 10mm. Debljina materijala utječe na vođenje gorionika. Mora se prilagoditi odabranom postupku zavarivanja kao i položaju i vrsti zavara.

**Položaj zavarivanja:**

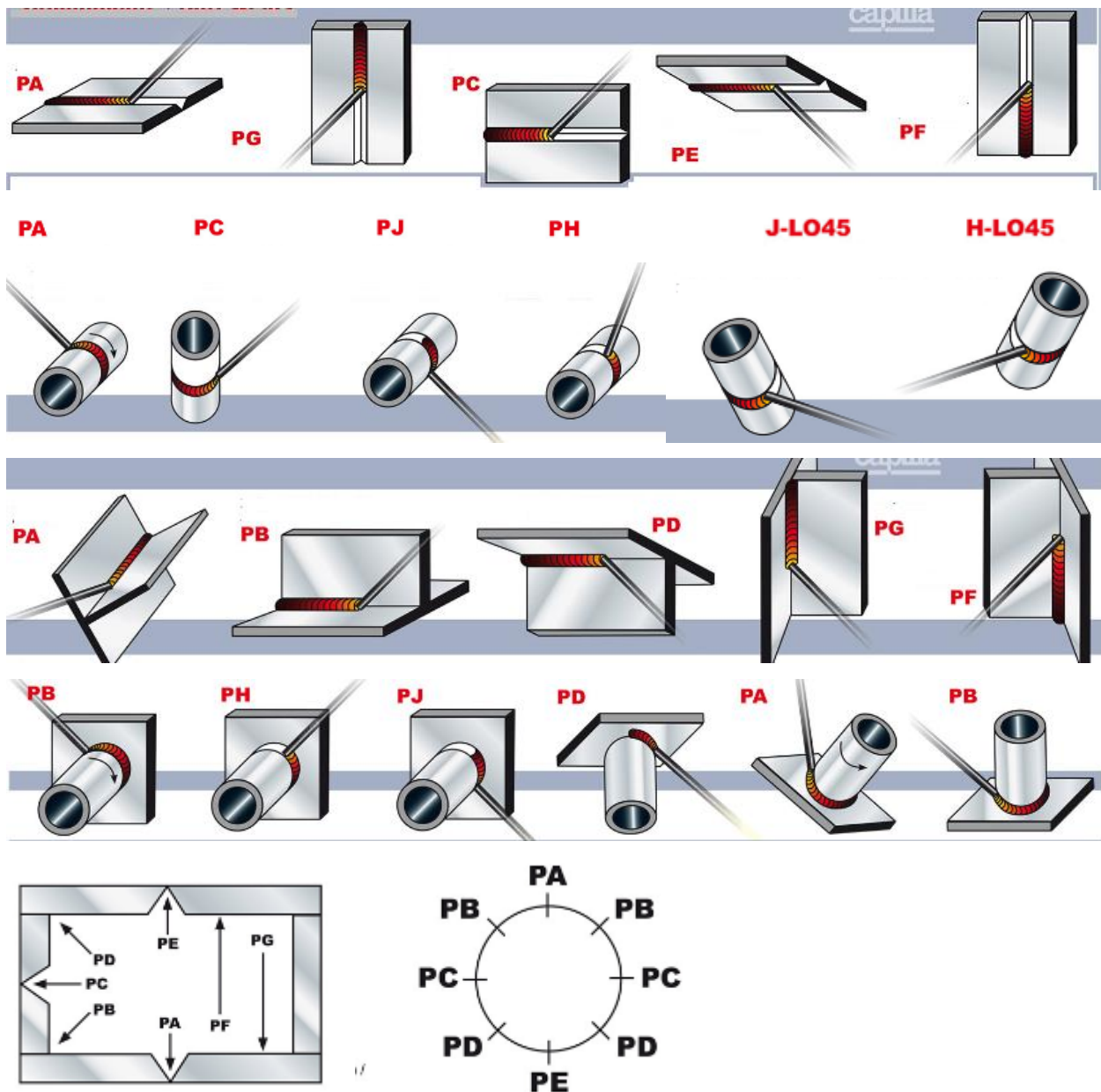
Položaj zavarivanja pokazuje u kojem se položaju izvodi zavar. Pri tome se ne uzima u obzir samo položaj zavara, nego i položaj zavarivača u odnosu na zavar.

Položaji zavarivanja prema EN/AWS (ISO 6947 | ASME IX) standardima:

- a) položeni položaj u žlijebu i koritu - PA | 1G | 1F
- b) vodoravni položaj u kutu - PB | 2F
- c) okomiti položaj prema gore - PF | 3F
- d) vodoravno-nadglavni položaj u kutu - PD | 4F
- e) nadglavni položaj - PE | 4G
- f) zidni položaj - PC | 2G
- g) okomiti položaj prema dolje - PG | 3G
- h) specijalni položaj za cijevi - H-L045 | 6G
- i) zavarivanje na cijevi prema gore - PH 5G
- j) zavarivanje na cijevi prema dolje - PJ 5G

F = kutni zavar

G = sučeljeni zavar



Slika 23. Položaj zavarivanja u skladu s EN ISO 6947 opisuje položaje zavarenog šava tijekom postupka zavarivanja. [13]

### Slojevi:

Broj slojeva, broj zavara, broj prolaza

### **Gorionik:**

Fronius MTW500i(2-taktni), Fronius MTW500i(4-taktni), Fronius MTW500i(slobodan odabir takta)

2-taktni princip rada: Zavarivanje počinje pritiskom na prekidač gorionika, a završava otpuštanjem prekidača.

4-taktni princip rada: Zavarivanje počinje pritiskom na prekidač gorionika koji se zatim otpušta i postupak zavarivanja se nastavlja. Za zaustavljanje zavarivanja potrebno je ponovno pritisnuti i otpustiti prekidač. Kod dužeg trajanja zavarivanja ne preporuča se stalno držanje prekidača gorionika.

Moguće su tri vrste vođenja gorionika:

- a) Neutralno: Gorionik je u okomitom položaju
- b) S desna nalijevo: gorionik se gura (1)
- c) S lijeva na desno: gorionik se povlači (2)

### **Vrsta luka:**

Impulsni luk: Kod zavarivanja impulsnim lukom, osnovni napon se preklapa sa povećanim impulsnim naponom. To uzrokuje izmjenjivanje bazne struje i impulsne struje prema postavljenoj frekvenciji i vremenu impulsa. Bazna struja održava luk pri maloj snazi, topi žicu i ukapljuje u talinu. Povećani napon impulsa ukapljuje kraj žice i stvara kapljicu, koja se odvaja zbog magnetskih sila. Parametri procesa odabrani su na način da se kapljica odvaja svaki put kada postoji trenutni impuls, ovisi o vrsti i promjeru žice. Impulsni postupak je posebno pogodan za zavarivanje tanjih ploča.

### **Način rada:**

Brzina: Vježba držanja gorionika u odgovarajućem položaju uz odgovarajuću brzinu zavarivanja

Brzina zavarivanja/visina električnog luka: Uz brzinu zavarivanja dodatno se vježba držanje gorionika uz odgovarajuću visinu električnog luka u odnosu na radni komad

Brzina zavarivanja/Slobodni kraj Žice/Kut: Uz brzinu zavarivanja električnog luka dodatno se vježba držanje gorionika pod pravim kutom.

## 7. Analiza rezultata

Prvi dan vježbenik se upoznao sa temom za završni rad, razgovarao sa mentorom koji je zadao zadatak i dao upute, zatim se upoznao sa simulatorom i krenuo u izvršavanje zadatka. Jedna vježba zavarivanja traje otprilike 30 sekundi. Vježbenik je vježbao 20 minuta, te odmorio 10 minuta i zatim opet. Taj ciklus ponovio je tri puta prije nego je napravio prvi test. Rezultati prvog testa su bili 2319, 2060, 2003, što je u prosjeku 2127 bodova. Nakon prvog testa vježbenik je ponovio ciklus od 3 vježbe po 20 minuta sa 10 minuta odmora između vježbi. Poslije 80 minuta završio je ciklus, a rezultati testa su bili 2342, 2116, 2240, što je u prosjeku 2232, znači napredak od prvog testa do drugog.

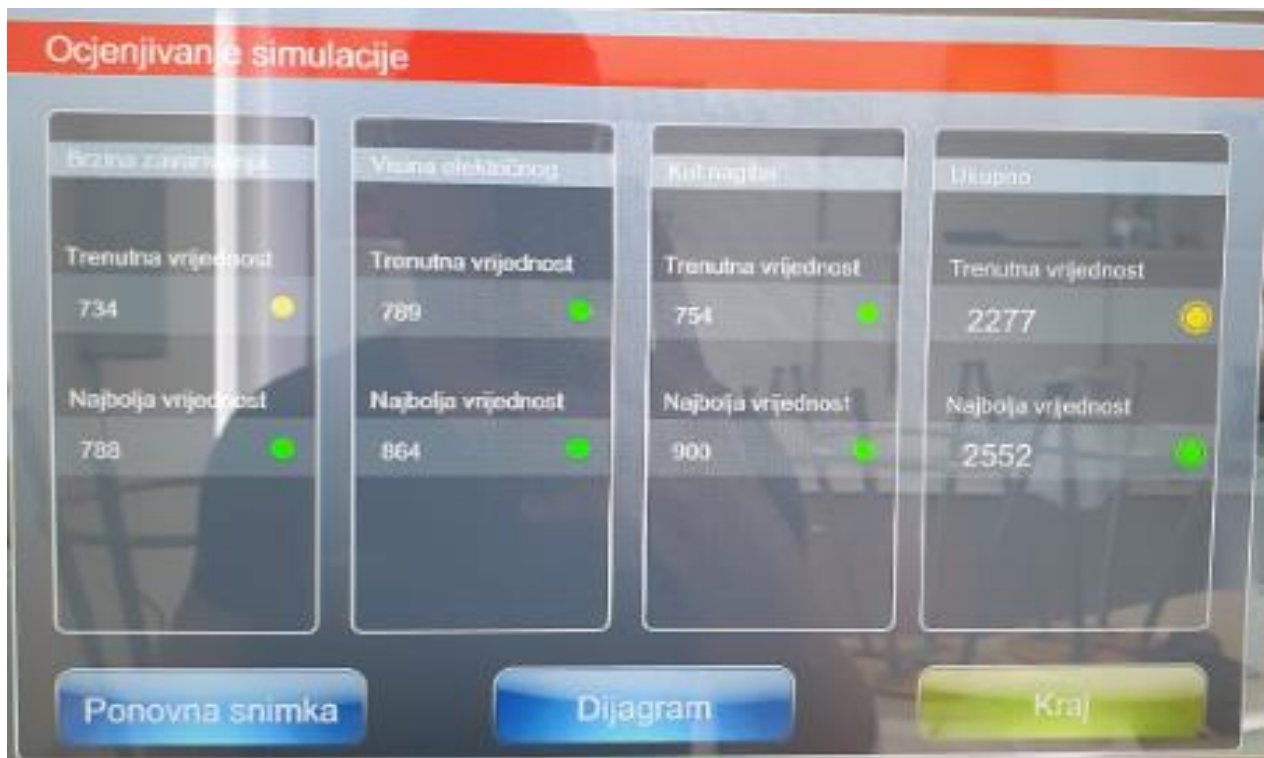
Drugi dan (2 dana nakon prvog dana) vježbenik je započeo sa testom, a zatim još jednom prošao kroz ciklus vježbi i na kraju završni test. Rezultati na prvom testu su bili 1944, 2423, 2013, u prosjeku 2126. Pad u broju bodova je bio sasvim očekivan s obzirom da je test odrađen 2 dana nakon posljednjeg testa. Nakon ciklusa vježbi odrađen je završni test čiji su rezultati bili znatno bolji, 2552, 2277, 2321, što je u prosjeku 2383.

Maksimalan mogući broj bodova je 3000, a vježba zavarivanja ocjenjuje se u 3 skupine: brzina zavarivanja, visina električnog luka te kut nagiba.

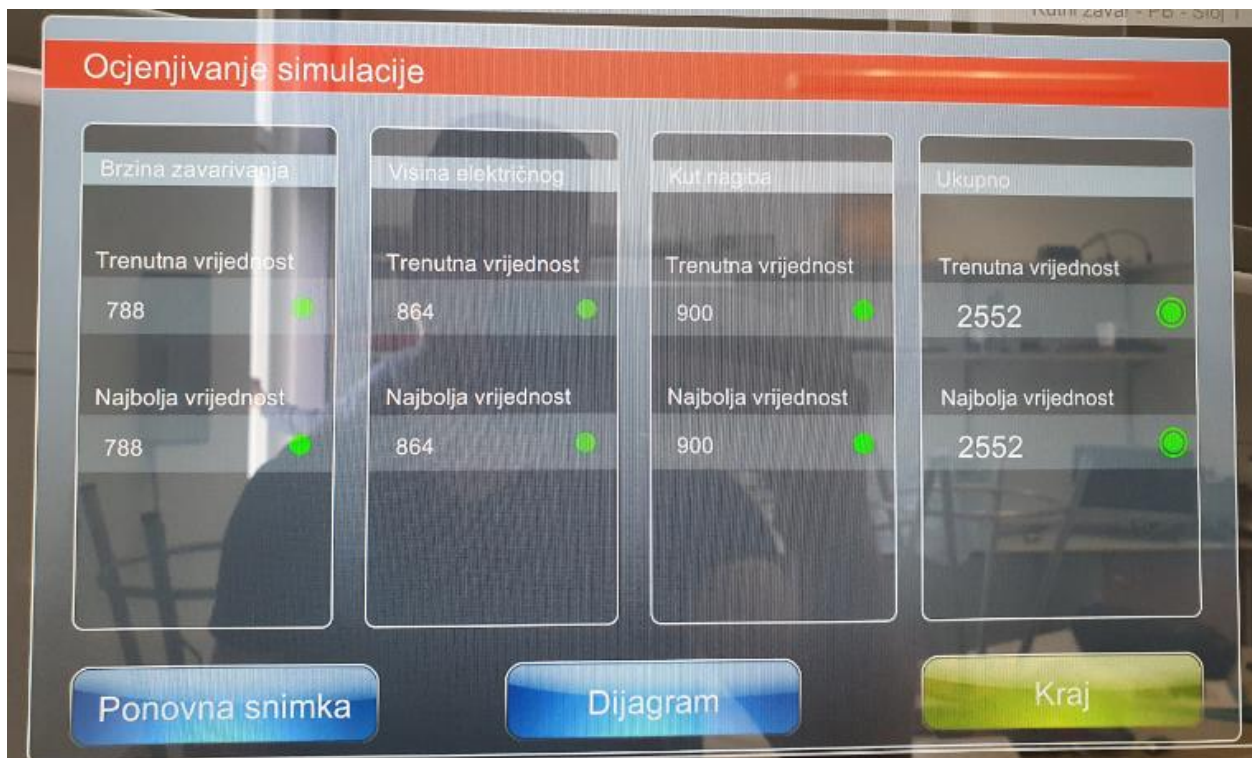


Slika 24. Ocjenjivanje simulacije 1 - obrada





Slika 25. Ocjenjivanje simulacije 2 - obrada



Slika 26. Ocjenjivanje simulacije 3 - obrada

Na slici možemo vidjeti kako se na LCD ekranu pokazuje slika koju zavarivač vidi u VR naočalima, primjer komada zavarivanja PB spoja sa lijeva na desno, te držanje gorionika.



*Slika 27. Primjer zavarivanja - obrada*

Naglavni set se pomoću gorionika morao kalibrirati prije vježbe kako bi virtualna stvarnost pravilno funkcionirala.



*Slika 28. VR naglavni set sa slušalicama - obrada*



*Slika 29. Gorionik - obrada*



*Slika 30. Ploča za vježbanje kutnog zavarana - obrada*



## 7.1. Postavke kod zavarivanja

Postupak zavarivanja: MIG/MAG zavarivanje,

Vrsta/volumen zavara: Kutni zavar,

Položaj zavarivanja: PB položaj,

Sloj: Jedan sloj zavara,

Dodatni materijal: Žičana elektroda promjera 1.2mm G3 Si1,

Izvor struje zavarivanja: TPS 500i,

Gorionik Fronius MTW500i, 2- taktni način,

Vrsta/Debljina materijala: S 235 JR,

Vrsta luka: impulsni luk



Slika 31. Postavke kod zavarivanja - obrada

## 8. Zaključak

U današnje vrijeme sve je teže naći zavarivače, stoga je industrija današnju tehnologiju iskoristila tako da je proizvela VR simulator za zavarivanje s ciljem obuke novih zavarivača. Obuka iziskuje mnogo financijskih sredstava i vremena. Obukom zavarivača pomoću VR simulatora omogućuje jeftiniju obuku i manje vremena potrebnog da se novi zavarivač mentorira. Simulator omogućava realan i jednostavan prikaz postupka zavarivanja, ujedno ima još pozitivnih strana, npr. vježbenik nije izložen štetnim uvjetima kod zavarivanja, a za tvrtku su manji troškovi. Simulator se može priključiti u obilo koju prostoriju gdje ima struje, vježbenik ne treba uvijek raditi uz prisustvo mentora, jer se svi rezultati vježbi i testova spremaju, te mentor u obilo kojem trenutku ima mogućnost vidjeti rezultate vježbenika. Snimke vježbi mogu se spremati i gledati iznova kako bi se analizirao postupak zavarivanja i došlo do poboljšanja sposobnosti vježbenika. Postoji mogućnost izrade profila, te svaki vježbenik ima svoj profil i ovisno o potrebama tvrtke određeni vježbenici mogu spremati svoje rezultate i vježbe zasebno, što olakšava mentoru proučavanje napretka kod pojedinca, a ujedno i postavke koje se ne trebaju svaki puta mijenjati, nego svaki pojedinac u svom profilu ima svoje postavke.

Nakon što sam obradio neke od najpoznatijih simulatora za zavarivanje, u praktičnom dijelu sam detaljno obradio „Fronius Virtual Welding“. Fronius ima mnoge mogućnosti zavarivanja, izbora radnih komada i pozicija, te nudi sjajne uvjete za obuku zavarivača. Nedostatak je što se može odabrati samo jedna vrsta konstrukcijskog čelika koji se zavaruje. Fronius ima napredne opcije duha koji pomaže u čim točnijem zavarivanju. Duh pokazuje pravilno držanje pištolja u odnosu na horizontalnu os, u odnosu na vertikalnu os, točkica koja pokazuje idealnu brzinu kojom bi trebalo zavarivati, i udaljenost električnog luka od komada koji se zavaruje.

Dolazi se do zaključka kako je simulator realan kao pravo zavarivanje, nude se mnoge prednosti zavarivaču u svladavanju osnovnih vještina. Jednostavnost i širok spektar mogućnosti odličan je za odrađivanje početnih koraka u zavarivanju i vjerujem da ima svoje mjesto u industriji. Veliki napredak tehnologije u proteklih nekoliko godina pokazuje da bismo u budućnosti mogli imati sve više simulatora, kako za zavarivanje tako i za druge grane strojarstva pomoću virtualne stvarnosti.

## 9. Literatura

- [1] M. Jovanović, P. Šprajc: Virtualno zavarivanje – veliki pomak u edukaciji zavarivača, Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji, Ljubljana, 2017.
- [2] E.Justice, K.Smith: Virtual welding trainers, The national center for welding education and trainig, preuzeto - 5.5. 2022.
- [3] M. Rudan, T. Tucman: Simulatori virtualne realnosti u zavarivanju, Seminar: Novine
- [4] Ž. Habek: Prezentacija: „Primjena simulatora za obuku zavarivača“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [5] G. Trommer: Lichtbogen\_und\_Schweissraupe\_im\_virtuellen\_Uebungsraum\_en, preuzeto s „Fronius Download Centar“, Austrija, 2010
- [6] Fronius: Operating instructions and spare parts list, Wales, Austrija, preuzeto - 15.5.2022.
- [7] Lincoln Electric: Operators manual, Cleveland, SAD,
- [8] R. Anderson, W. Millier, G. Scofield: Revolutionizig the Teaching and Learning of Welding Fundamentals trough the Integration of Virtual Simulation, Cleveland, SAD,
- [9] Položaj zavarivanja. Dostupno na: <https://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tocka2/t21/2.1.c.html>, preuzeto - 7.5.2022.
- [10] <https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>, preuzeto - 1.6.2022.
- [11] E. Cetinić: Kombinacija stvarnih i virtualnih scena, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računalstva, Zagreb, 2010.
- [12] Seabery: Soldamatic User Guide, Huelva, Spain, preuzeto - 2.6.2022.
- [13] <https://www.capilla-gmbh.com/welding-position-in-accordance-with-en-iso-6947/> - preuzeto 22.8.2022.

## 10. Popis slika

Slika 1. Simulator za zavarivanje Fronius Virtual Welding 2.0, StandUp terminal

Slika 2. Mobile Case [5]

Slika 3. Maske za zavarivanje [6]

Slika 4. Radni komadi za Fronius [6]

Slika 5. MAG gorionik [6]

Slika 6. REL držač elektrode [6]

Slika 7. TIG gorionik [6]

Slika 8. Soldamatic simulator [12]

Slika 9. AR maska [13]

Slika 10. Gorionici za MIG/MAG (lijevo), REL (sredina), TIG (desno) [13]

Slika 11. LINCOLN /Vrtex 360 simulator [7]

Slika 12. Sučelje uređaja [7]

Slika 13. Dijelovi stalka [7]

Slika 14. Mogućnosti postavljanja stalka [7]

Slika 15. VR maska [7]

Slika 16. Primjer virtualnog okruženja [7]

Slika 17. Grafički prikaz [7]

Slika 18. MIG/MAG simulacija [4]

Slika 19. MIG/MAG postupak zavarivanja [2]

Slika 20. REL postupak zavarivanja [2]

Slika 21. REL postupak zavarivanja (simulacija)

Slika 22. TIG postupak zavarivanja [2]

Slika 23. Položaj zavarivanja u skladu s EN ISO 6947 opisuje položaje zavarenog šava tijekom postupka zavarivanja. [13]

Slika 24. Ocjenjivanje simulacije 1

Slika 25. Ocjenjivanje simulacije 2

Slika 26. Ocjenjivanje simulacije 3

Slika 27. Primjer zavarivanja

Slika 28. VR nadglavni set sa slušalicama

Slika 29. Gorionik

Slika 30. Ploča za vježbanje kutnog zavara

Slika 31. Postavke kod zavarivanja

## **11. Popis tablica**

Tablica 1. Prednosti i nedostatci MIG/MAG postupka zavarivanja [10]

Tablica 2. Prednosti i nedostatci REL postupka zavarivanja [10]

Tablica 3. Prednosti i nedostatci TIG postupka zavarivanja [10]





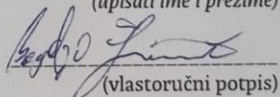
IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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, Hrvoje Bogeljić Šimunić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje za MAG zavarivanje (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(*upisati ime i prezime*)

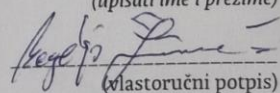
  
(vlastoručni potpis)

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, Hrvoje Bogeljić Šimunić (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje za MAG zavarivanje (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(*upisati ime i prezime*)

  
(vlastoručni potpis)