

# Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje

---

Toplak, Mihovil

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:122:732559>

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

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



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 380/PS/2022**

## **Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje**

**Mihovil Toplak, 0336037153**

Varaždin, rujan 2022. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 380/PS/2022

## Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje

**Student**

Mihovil Toplak, 0336037153

**Mentor**

doc. dr. sc. Matija Bušić

Varaždin, rujan 2022. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Mihovil Toplak	MATIČNI BROJ	0336037153
DATUM	06.06.2022.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Uvježbavanje zavarivača pomoću simulatora za zavarivanje		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Training of welders 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, v.pred., član povjerenstva		
	4. doc. dr. sc. Tomislav Veliki, rezervni član povjerenstva		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	380/PS/2022
OPIS	<p>U završnom radu pristupnik treba na temelju literaturnih podataka proučiti načine uvježbavanja zavarivača za REL, MIG/MAG i TIG 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. U eksperimentalnom dijelu rada proučiti uvježbavanje MAG postupka zavarivanja sučeljenog spoja u PC 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**

...

## Sažetak

U ovom završnom radu opisani su simulatori za obuku zavarivača koji se sve više primjenjuju u edukaciji zavarivača. Korištenjem simulatora za obuku zavarivača smanjuje se potrošnja električne energije, osnovnog i dodatnog materijala koji bi potrošili zavarivanjem te se uklanjaju rizici od ozljeda koje bi se mogle dogoditi korištenjem prave opreme.

U prvom dijelu ukratko je opisana povijest zavarivanja, a nakon toga opisani su najčešći ručni postupci zavarivanja, njihove specifičnosti te prednosti i nedostaci. Također su opisani položaji zavarivanja, pogreške u zavarenim spojevima te uvjeti rada i edukacija zavarivača.

U završnom radu izveden je i eksperimentalni dio koji pokazuje efikasnost simulatora „Fronius Virtual Welding 2.0“.

Ključne riječi: zavarivanje, zavarivač, simulatori za obuku zavarivača

## **Summary**

In this final paper, welding simulators are described, which are increasingly used in education of welders. Using these simulators reduces the consumption of electricity, basic and deposit materials that would be consumed by welding, and eliminates the risks of injury that could occur while using real equipment.

In the first part, the history of welding is briefly described, and then the most common welding techniques, their specificities, advantages and disadvantages. Also described are welding positions, defects that appear in welded joints, working conditions and education of welders

In the last part of the final work, an experiment was performed which shows the efficiency of the „Fronius Virtual Welding 2.0“ welding simulator.

Key words: welding, welder, welding simulator



## Popis korištenih kratica

<b>REL</b>	Ručno elektrolučno zavarivanje
<b>TIG</b>	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (od engl. Tungsten Inert Gas)
<b>MIG</b>	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi inertnog zaštitnog plina (od engl. Metal Inert Gas)
<b>MAG</b>	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi aktivnog zaštitnog plina (od engl. Metal Active Gas)
<b>VR</b>	Virtualna stvarnost (od engl. Virtual Reality)
<b>AR</b>	Proširena stvarnost (od engl. Augmented Reality)
<b>EPP</b>	Elektrolučno zavarivanje pod praškom
<b>ISO</b>	Međunarodna organizacija za standardizaciju (od engl. International Organisation of Standardization)
<b>HRN</b>	Hrvatske norme

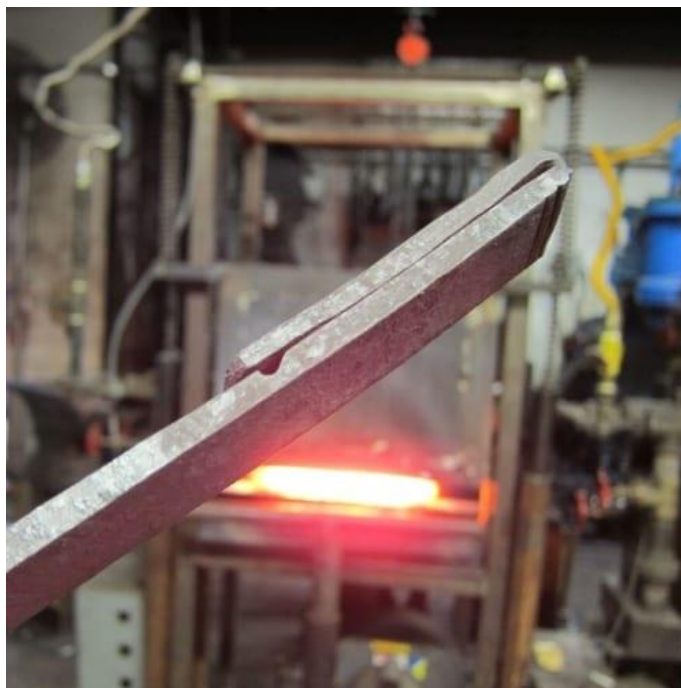
# Sadržaj

1.	Najčešći postupci zavarivanja.....	3
1.1.	Ručno elektrolučno zavarivanje (REL).....	3
1.1.1.	<i>Prednosti i nedostaci REL zavarivanja</i> .....	4
1.2.	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (TIG).....	5
1.2.1.	<i>Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja</i> .....	6
1.3.	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina (MIG/MAG).....	7
1.3.1.	<i>Prijenos metala kod MIG/MAG zavarivanja</i> .....	8
1.3.2.	<i>Prednosti i nedostaci MIG/MAG zavarivanja</i> .....	10
1.4.	Položaji zavarivanja.....	11
1.5.	Pogreške u zavarenom spoju.....	12
1.5.1.	<i>Pukotine</i> .....	13
1.5.2.	<i>Šupljine i poroznosti</i> .....	14
1.5.3.	<i>Čvrsti uključci</i> .....	14
1.5.4.	<i>Naljepljivanje i nedovoljan provar</i> .....	15
1.5.5.	<i>Neppravilnosti oblika zavara</i> .....	16
1.5.6.	<i>Ostale pogreške u zavarenim spojevima</i> .....	16
2.	Tržište rada, obuka zavarivača i uvjeti rada.....	17
2.1.	Srednjoškolsko obrazovanje.....	17
2.2.	Prekvalifikacija.....	17
2.3.	Uvjeti rada.....	18
2.3.1.	<i>Zatvoreni prostor</i> .....	18
2.3.2.	<i>Otvoreni prostor</i> .....	20
2.4.	Certificiranje zavarivača.....	21
3.	Simulatori za obuku zavarivača.....	22
3.1.	Soldamatic.....	22
3.2.	Lincoln VRTEX 360.....	24
3.3.	Fronius virtual welding 2.0.....	27
3.4.	SIMBOTT Virtual Reality Welding Simulator.....	30
3.5.	guideWELD VR Welding Simulator.....	31
3.6.	WeldTrainer.....	33
3.7.	Primjena simulatora u ostalim granama.....	34
3.7.1.	<i>Simulator leta</i> .....	35
3.7.2.	<i>Medicinski simulator</i> .....	35
3.7.3.	<i>Vatrogasni simulator</i> .....	36
4.	Eksperimentalni dio.....	38
4.1.	Upute za rad na simulatoru.....	38
4.2.	Postignuti rezultati.....	43
5.	Analiza rezultata.....	45
6.	Zaključak.....	46
7.	Literatura.....	48



## Uvod

Povijest zavarivanja počinje još davne 3000. godine prije Krista kad su ljudi počeli raditi s broncom. Arheolozi su pronašli manje zlatne kutije cilindričnog oblika koje su bile spojene jednostavnim zavarivanjem pomoću čekića. Tijekom srednjeg vijeka došlo je do razvoja kovanja pa su predmeti iz srednjeg vijeka najčešće zavareni kovačkim zavarivanjem. [1]



*Slika 1. Predmet izrađen kovačkim zavarivanjem [1]*

Današnje tehnologije zavarivanja počele su se razvijati u 19. stoljeću tijekom industrijske revolucije kad je engleski kemičar Humphry Davy otkrio električni luk između dvije ugljene elektrode, a ruski znanstvenik Vasilij Petrov otkrio je način na koji taj električni luk može biti stabilan. Ova otkrića i otkriće acetilena omogućila su lakše taljenje metala pa je pomoću njih otkriveno još mnogo izuma kao što su: električni generator, plinsko zavarivanje i rezanje, te zavarivanje uz stabilniji električni luk. [1]

Najznačajniji razvoj zavarivanja bio je tijekom Prvog svjetskog rata gdje su se pomoću elektrolučnog zavarivanja proizvodili brodovi i avioni. Tijekom ovog razdoblja izumljeno je i zavarivanje sa žicom te je otkrivena moguća primjena određenih plinova za zavarivanje koji su omogućili zaštitu zavara od kisika i dušika i sprečavanje lomljivih zavara i zavara koji korodiraju. [2]

U moderno doba zavarivanje se razvilo tako da je brže, preciznije i efikasnije. Danas postoji više od 90 različitih postupaka zavarivanja od kojih su neki postupci ručni. Budući da ručni postupci najviše ovise o ljudskom faktoru, odnosno vještini samog zavarivača, potrebno je pronaći

najbolji način obuke za tog zavarivača. Umjesto da se kandidata za zavarivača odmah „baci u vatru“ i da mu se raditi s pravom opremom, mogu se koristiti simulatori za obuku zavarivača koje su razvile brojne tvrtke. Simulatori najčešće sadrže VR tehnologiju zbog čega mogu predočiti stvarno okruženje u kojem bi zavarivač mogao raditi. Rad na simulatoru bezopasan je za kandidata jer nema prskanja, štetnog zračenja, opasnosti od električnog udara niti razvijanja raznih štetnih plinova i para.

# 1. Najčešći postupci zavarivanja

## 1.1. Ručno elektrolučno zavarivanje (REL)

Kod ručnog elektrolučnog zavarivanja, električni luk nastaje kratkim spojem, odnosno paljenjem između elektrode i radnog komada, odnosno priključaka istosmjerne ili izmjenične struje koju daje uređaj za zavarivanje. Nakon uspostave luka, zavarivanje se provodi ravnomjernim dodavanjem elektrode od strane zavarivača čime nastaje zavareni spoj. [3]

Kod REL zavarivanja ne postoje zaštitni plinovi, ali zato tu funkciju preuzima obloga elektrode koja ima tri glavne funkcije: [4]

- fizikalnu,
- metaluršku,
- električnu.

Fizikalna funkcija elektrode stvaranje je zaštitnih plinova koji štite zavar od svih loših utjecaja (utjecaj kisika, vodika i dušika) na zavareni spoj. Također fizikalna funkcija podrazumijeva stvaranje troske na površini zavara ispod koje bi trebala biti glatka površina.

Metalurška funkcija podrazumijeva sve postupke kojima se poboljšava kvaliteta zavarenog spoja od kojih su neki: [4]

- odstranjivanje fosfora i sumpora,
- vezanje vodika u neki od njegovih spojeva koji izlazi iz rastaljenog metala,
- dodavanje elemenata kako bi se na spoju stvorila sitnozrnata mikrostruktura,
- dolegiranje elementima koji izgaraju u električnom luku.

Električna je funkcija elektrode lakše paljenje i održavanje električnog luka. Ta svojstva postižu se tako da se u elektrodu dodaju stabilizatori kao što su: kalcij, kalij cezij ili neki drugi metali koji imaju nisku energiju ionizacije.

Prije izvođenja samog zavara treba obratiti pozornost na izbor elektrode i parametre zavarivanja. Elektrode mogu biti: [4]

- bazične,
- rutilne,
- celulozne,
- kisele,
- oksidne.

Kod biranja elektrode treba obratiti pozornost na položaj zavarivanja, željena svojstva zavara i materijal koji će se zavarivati. Parametri zavarivanja su: napon zavarivanja, jakost struje zavarivanja, brzina zavarivanja te napon praznog hoda. Odabir elektrode, parametre i redoslijed zavarivanja određuje inženjer zavarivanja. [4]

Kod obuke zavarivača važno je naučiti pravilne pokrete rukom za stvaranje kvalitetnih zavara. Tu nam uvelike pomažu simulatori za obuku zavarivača kod kojih se ti pokreti mogu vježbati bez opasnosti i bez gubitka osnovnog i dodatnog materijala koji bi se potrošio ako bi zavarivaču dali da radi s pravom opremom.



*Slika 2. Zavarivanje REL postupkom [5]*

### **1.1.1. Prednosti i nedostaci REL zavarivanja**

Velika prednost REL zavarivanja je ta da se može provoditi bilo gdje, pa čak i na najudaljenijim lokacijama. Uređaji za zavarivanje najčešće su lagani i prenosivi, a na udaljenim lokacijama električnu energiju im najčešće daju razni agregati. REL postupak također je jedan od najlakših za naučiti, a uređaji su jeftiniji nego kod drugih postupaka. Sigurnost na radu također je jako dobra – lako se može riješiti štetnih plinova i para, koje se razvijaju prilikom zavarivanja, ugradnjom ventilatora ili nekog uređaja koji će ih raspršiti. [4]

Iako se postupak može lako naučiti, teško ga je usavršiti. Kod REL zavarivanja kvaliteta zavara najviše ovisi o ljudskom faktoru, odnosno zavarivaču. Što se tiče kvalitete zavarenog spoja, ona je nešto lošija od kvalitete npr. TIG spojeva. Kod rada se također često moraju mijenjati elektrode (ne postoji žičani kolut kao kod MIG/MAG postupka) te je neizbježan otpad elektrode i gubitak materijala zbog prskanja. [4]

## 1.2. Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom (TIG)

Specifičnost TIG zavarivanja primjena je netaljive elektrode od volframa. Zavarivanje se provodi u atmosferi zaštitnog plina koji je najčešće argon, a ponekad argon pomiješan helijem. Uspostava električnog luka može se provoditi na dva načina: [6]

- Paljenje luka podizanjem elektrode nakon dodira s metalom
- Visoko frekvencijskim generatorom

Paljenje luka podizanjem elektrode nakon dodira s metalom dobar je način paljenja luka zbog kraćeg kontakta između elektrode i radnog komada. Luk se uspostavlja tako da se kod paljenja između elektrode i radnog komada napon uređaja za zavarivanje smanji na minimalni, a kad se elektroda odmakne od radnog komada uređaj za zavarivanje će davati sve veći napon ovisno o udaljenosti između elektrode i radnog komada. Ova metoda je pogodna za zavarivanje čelika i nehrđajućih čelika, ali ne i za aluminij. [6]

Paljenje električnog luka visoko frekvencijskim generatorom provodi se tako da se generator uključuje na djelić sekunde te se ionizacijom pali električni luk bez kontakta između elektrode i radnog komada. Zbog toga su izgledi za oštećenje zavarenog spoja, odnosno kontaminaciju zone taljenja, jako maleni. [6]



*Slika 3. Zavarivanje TIG postupkom s dodavanjem dodatnog materijala [7]*

Nakon uspostave električnog luka TIG zavarivanje može se provoditi s dodatnim materijalom ili bez njega. Dodavanje dodatnog materijala u obliku žice mora biti ravnomjerno, isto kao i dodavanje elektrode kod REL postupka. Budući da je TIG jedan od najtežih postupaka za naučiti,



ovdje također pomaže primjena simulatora za obuku zavarivača pomoću kojih se može naučiti kako i pod kojim kutom držati gorionik, kojom brzinom i po kojoj „putanji“ zavarivati.

### 1.2.1. Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja

Osim kvalitete zavara, koja je kod pravilno izvedenog TIG zavara među najboljima, TIG zavari imaju i odličan vizualni izgled. Kod TIG-a postoji najmanje štetnih plinova te nema prskanja i troske, što osigurava sigurnost na radu. TIG postupkom može se zavarivati širok spektar metala i legura pa se čak i mogu zavarivati i raznorodni metali. Moguće je zavarivanje u svim položajima, kao i zavarivanje i tankih dijelova. [4]

Veliki je nedostatak ovog procesa to što je težak za naučiti jer male greške kod TIG-a kao što su brzina zavarivanja, jakost struje na uređaju za zavarivanje ili loša priprema elektrode mogu uzrokovati velike greške u zavarenom spoju. TIG postupak također karakterizira mala brzina zavarivanja te mali depozit dodatnog materijala. Oprema za TIG zavarivanje među najskupljima je, a to uključuje i uređaj za zavarivanje i zaštitne plinove. [4]



*Slika 4. Izgled zavarenog spoja napravljen TIG postupkom [8]*

### 1.3. Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina (MIG/MAG)

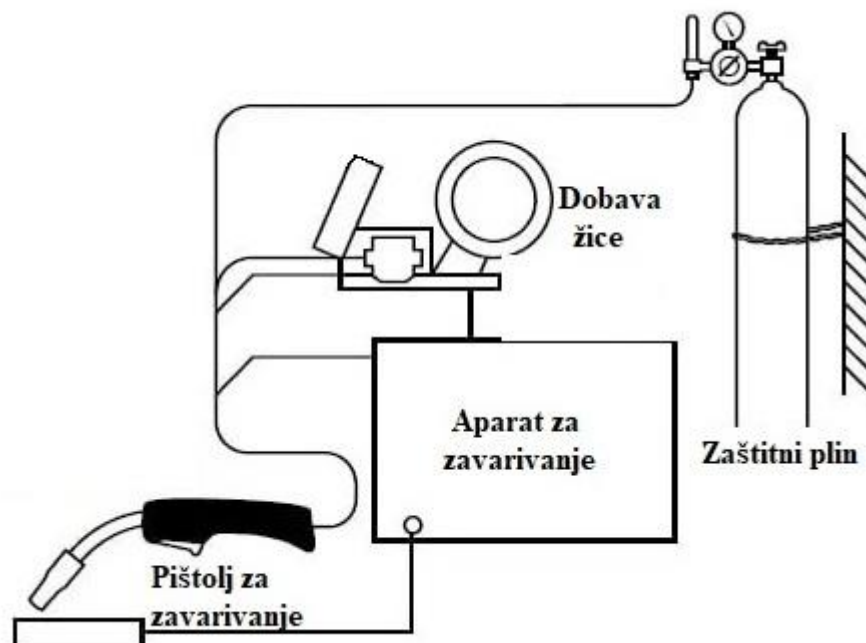
Kod MIG/MAG postupka električni luk uspostavlja se na uobičajen način paljenjem između elektrode i radnog komada. Elektroda kod MIG/MAG, koja je ujedno i dodatni materijal, zapravo žica je koja se nalazi namotana u kolutu u uređaju za zavarivanje. Budući da je žica namotana u kolut, kod ovog postupka postoji elektromotor koji dobavlja žicu te održava električni luk, što ovakav postupak čini poluautomatskim. Zbog toga se na njemu može primijeniti unutarnja i vanjska regulacija električnog luka što uvelike pridonosi kvaliteti zavarenog spoja. [4]

Zaštitu zavarenog spoja osiguravaju zaštitni plinovi (inertni ili aktivni) koji se dovode iz gorionika. Za MIG postupak to su inertni plinovi kao npr. argon i helij, a za MAG postupak to su aktivni plinovi koji su zapravo smjesa argona, kisika i ugljikovog dioksida. [4]

Pištalj kod MIG/MAG zavarivanja može raditi na dva načina:

- dvotaktni način rada,
- četverotaktni način rada.

Dvotaktni način rada karakterizira držanje gumba za zavarivanje na pištolju tijekom cijelog procesa zavarivanja (od početka do kraja). Četverotaktni način onaj je kod kojeg se samo na početku i na kraju zavarivanja pritisne gumb za zavarivanje.



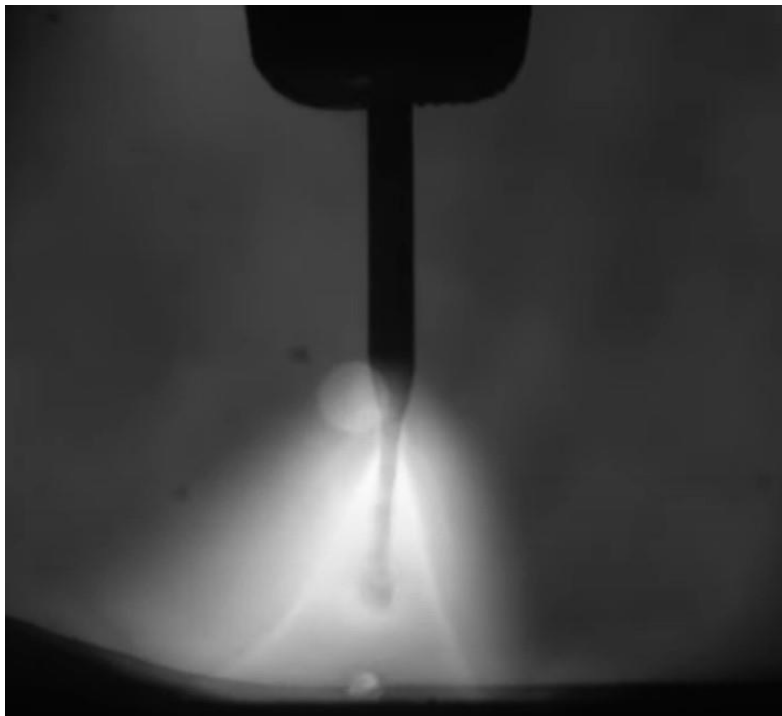
Slika 5. Shematski prikaz opreme za MIG/MAG zavarivanje [9]

### 1.3.1. Prijenos metala kod MIG/MAG zavarivanja

Kod MIG/MAG zavarivanja postoje četiri glavna mehanizma prijenosa metala, odnosno rastaljene kapljice, s elektrode na osnovni materijal, a to su: [10]

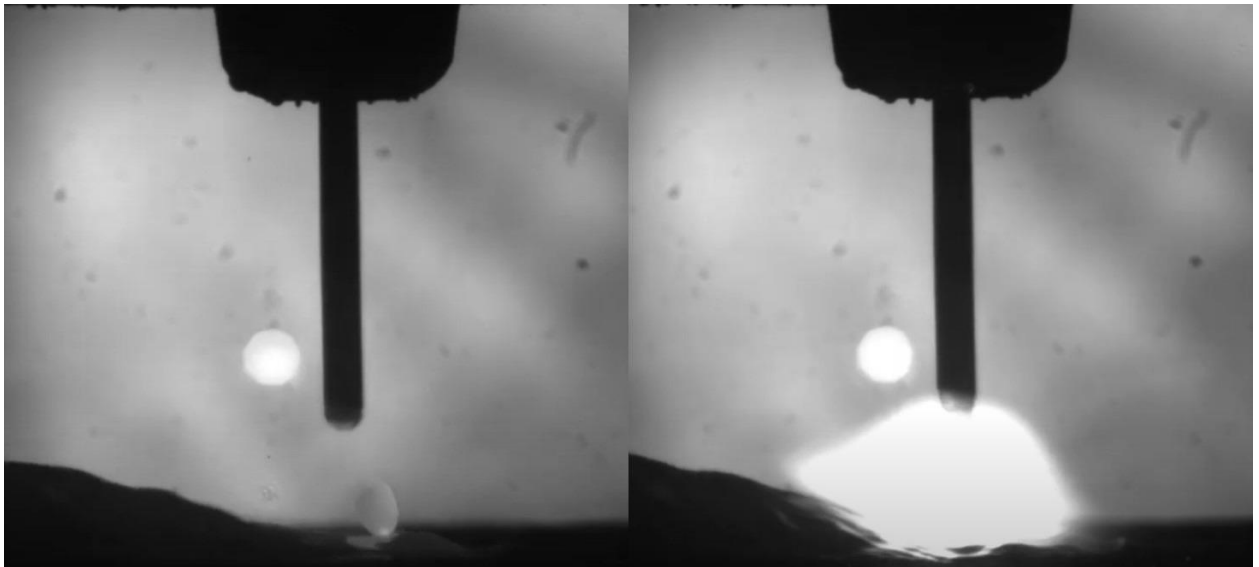
- prijenos štrcajućim lukom,
- prijenos pulsirajućim lukom,
- prijenos kratkim spojevima,
- prijenos mješovitim lukom.

Kod prijenosa štrcajućim lukom električni luk konstantno gori te se dodatni materijal u obliku finih kapljica velikom brzinom prenosi u zonu taljenja. Ovaj tip prijenosa karakteriziraju: visok stupanj unosa topline, duboka penetracija i visoki depozit dodatnog materijala. Zbog tih karakteristika ovo je idealni način zavarivanja debljih limova. [10]



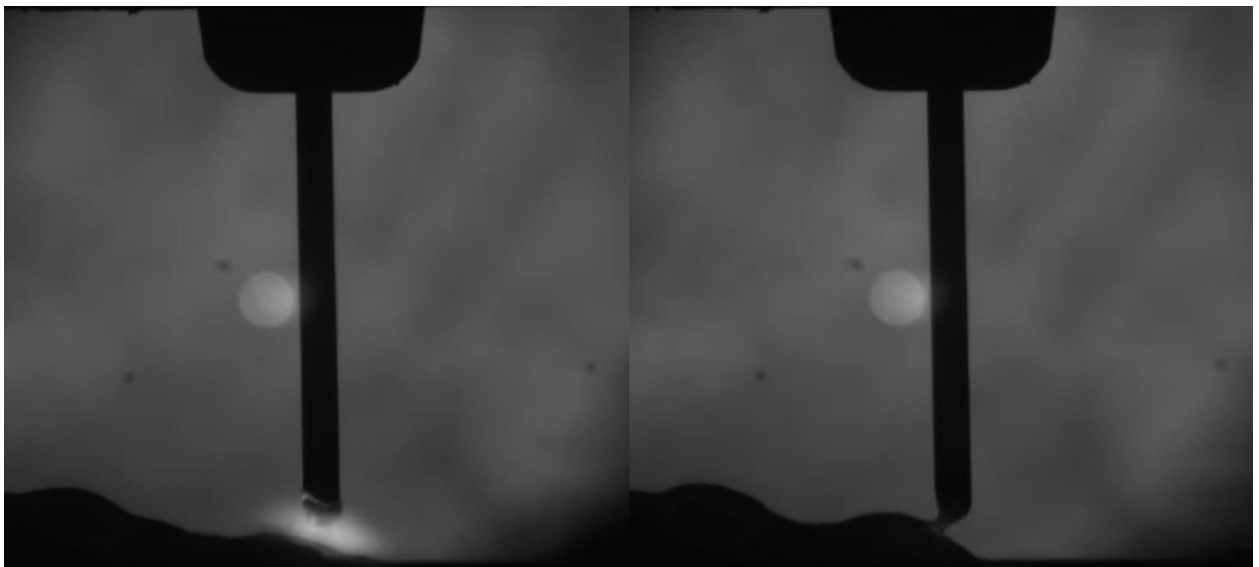
*Slika 6. Prijenos metala štrcajućim lukom [10]*

Kada se koristi pulsirajući luk, prijenos materijala kontrolira se pomoću impulsa kako bi se izbjegli neželjeni kratki spojevi. Kod ovog načina prijenosa postoji jako malo prskanja, stoga se mogu proizvesti kvalitetni zavari pa čak i s različitim materijalima i debljinama. [10]



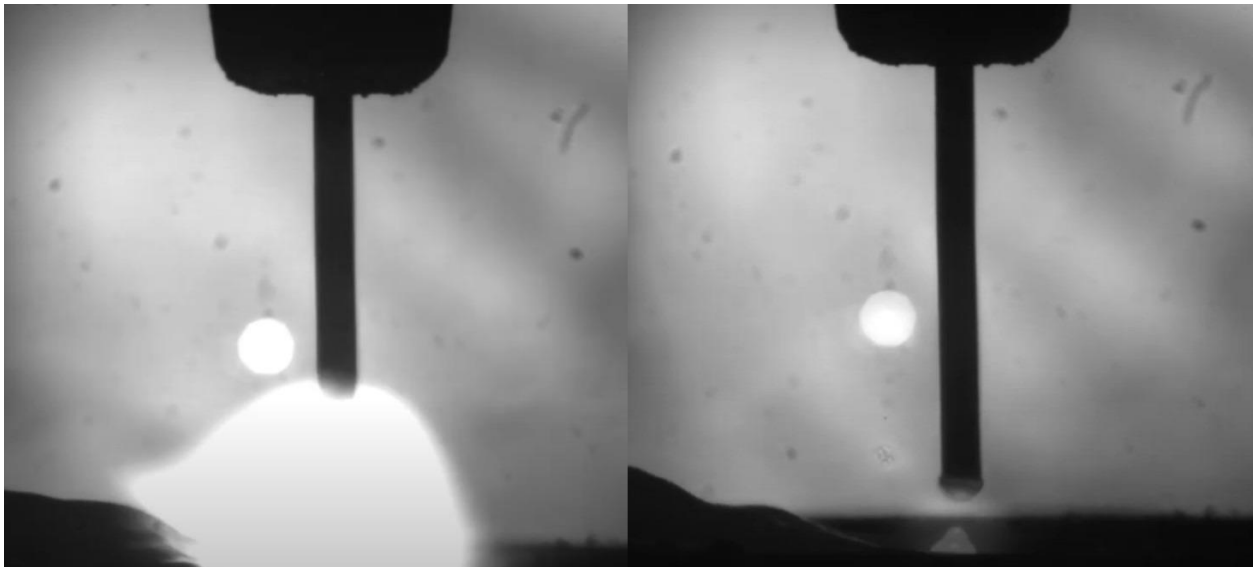
*Slika 7. Prijenos metala pulsirajućim lukom [10]*

Kod prijenosa kratkim spojevima koristi se najmanji toplinski input, male struje, te mala brzina zavarivanja. Ovim prijenosom može se zavarivati u gotovo svim položajima jer postoji jako malo prskanja te je električni luk moguće efektivno i lagano kontrolirati. Ovaj način prijenosa pogodan je za zavarivanje tanjih limova i korijenskih zavara. [10]



*Slika 8. Prijenos metala kratkim spojevima [10]*

Prijenos mješovitim lukom sastoji se od prijenosa pulsirajućim lukom i prijenosa kratkim spojevima. Pulsirajući luk stvara potrebnu penetraciju i toplinski input, dok prijenos kratkim spojem osigurava poboljšanu kontrolu nad električnim lukom i zonom taljenja. [10]



*Slika 9. Prijenos metala mješovitim lukom [10]*

### **1.3.2. Prednosti i nedostaci MIG/MAG zavarivanja**

Velika je prednost MIG/MAG postupka jednostavna obuka zavarivača. Pri tome nam, kao i kod prošlih postupaka, pomažu simulatori zavarivanja gdje zavarivači mogu vježbati brzinu zavarivanja, kut nagiba gorionika i održavanje visine električnog luka. Velike prednosti su cijena opreme za zavarivanje kao i spektar materijala koje je moguće zavarivati ovim postupkom. Moguće je zavarivati u svim položajima a gubici vremena su manji jer ne postoji izmjena elektrode, već kolut sa žicom. Upravo zbog tog razloga MIG/MAG postupak može se najlakše automatizirati pa se u industriji često primjenjuje robotizirano MIG/MAG zavarivanje. [4]

Ako postupak nije automatiziran, kvaliteta zavara opet ovisi o ljudskom faktoru, a pravilna obuka zavarivača traje dulje od obuke kod REL postupka. Pri radu ovim postupkom razvija se mnogo štetnih plinova koji mogu ostaviti trajne posljedice na zdravlju zavarivača ako se radni prostor ne ventilira pravilno. [4]

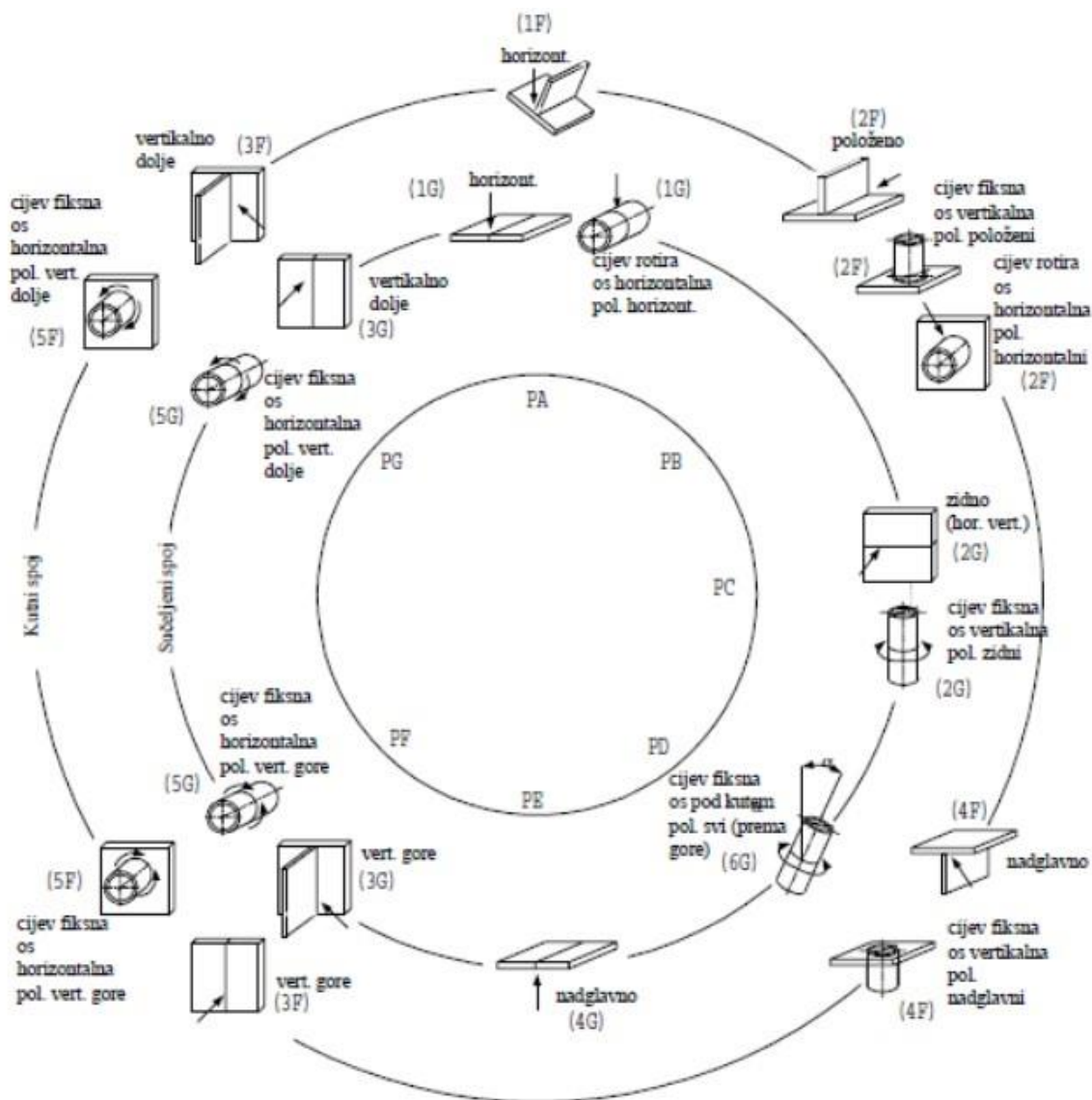


*Slika 10. Zavarivanje MIG/MAG postupkom [10]*

#### **1.4. Položaji zavarivanja**

Položaji zavarivanja određeni su normom HRN EN ISO 6947. Prema toj normi postoji sedam različitih položaja zavarivanja, a to su: [11]

- 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 – sučeonni spoj.



Slika 11. Položaji zavarivanja prema normi HRN EN ISO 6947 [11]

## 1.5. Pogreške u zavarenom spoju

U zavarenom spoju nerijetka je pojava pogreški. Te pogreške mogu prouzročiti ozbiljne posljedice ako se ne uoče i isprave na vrijeme. Prema normi HRN EN ISO 6520-1 ove greške dijele se na 6 skupina: [12]

- 100 – pukotine,
- 200 – šupljine i poroznosti,
- 300 – čvrsti uključci,
- 400 – naljepljivanje i nedovoljan provar,
- 500 – nepravilnosti oblika zavara,
- 600 – sve ostale koje nisu nabrojane od 100 do 500.

### 1.5.1. Pukotine

Pukotine su najopasnije greške u zavarenom spoju. Nikako ne bi smjele postojati zbog njihova nepredvidiva širenja. Po mehanizmu nastajanja mogu se podijeliti u nekoliko skupina: [12]

- tople pukotine – nastaju pri kristalizaciji i hlađenju zavarenog spoja na visokim temperaturama,
- pukotine nastale pri skrućivanju (solidifikacijske pukotine),
- hladne pukotine – nastaju pri hlađenju zavarenog spoja, te pri relativno niskim temperaturama, a mogu nastati čak i unutar 48 sati nakon zavarivanja,
- pukotine nastale zbog krhkosti,
- lamelarne pukotine,
- pukotine nastale zbog zaostalog vodika u zavarenom spoju.

Skлонost pukotinama može se testirati raznim metodama ispitivanja, pa tako za tople pukotine najčešće se koristi: [12]

- Focke Wulf test,
- Fisco test,
- varestreint test,
- transvarestreint test.

A sklonosti hladnim pukotinama ispituje se: [12]

- tekken testom,
- implant testom,
- RRC test (rigid restraint cracking),
- TRC test (tensile restraint cracking).



*Slika 12. Pukotina u zavarenom spoju [12]*

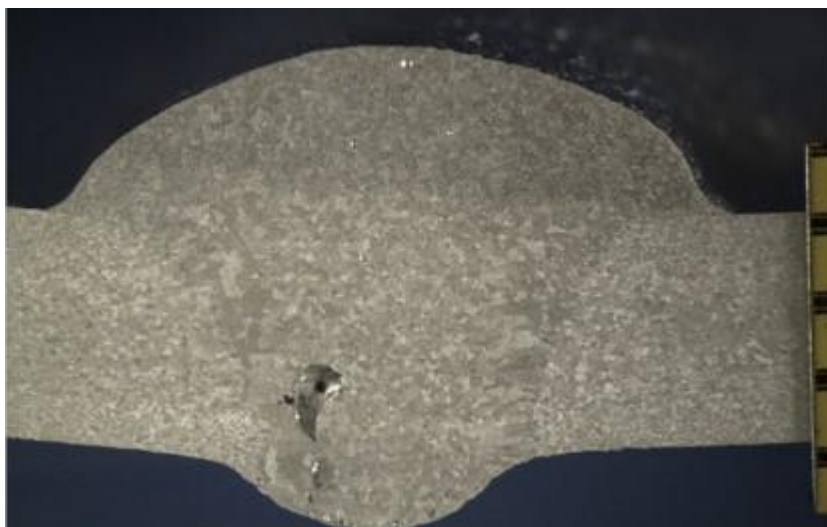


### 1.5.2. Šupljine i poroznosti

Poroznosti se pojavljuju na mjestu koje je ispunjeno stlačenim plinom. Nastaju jer tijekom hlađenja taline plinovi izranjaju iz metala u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja plina manja od brzine skrućivanja metala, ti plinovi ostaju zatočeni u zavarenom spoju što dovodi do pojave poroznosti na tom mjestu. Plinski mjehurići također ponekad ostavljaju vidljive šupljine na površini samog zavara. Veličina i oblik tih šupljina ovise o brzini skrućivanja i količini izlučenog plina iz taline metala zavara. [12]

Poroznosti u zavarenom spoju mogu se detektirati raznim metodama ispitivanja, kao što su: [13]

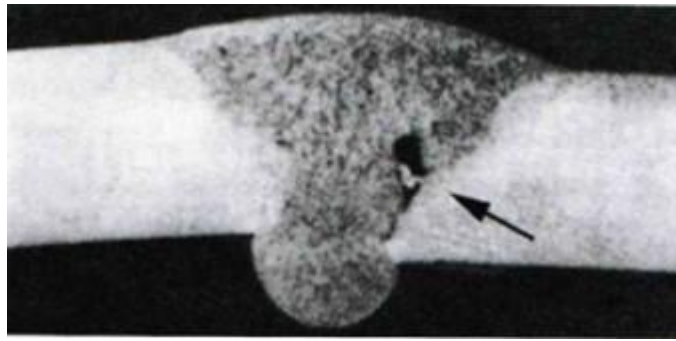
- Ultrazvučna metoda kontrole zavarenog spoja
- Radiografska metoda kontrole zavarenog spoja



*Slika 13. Poroznost u zavarenom spoju [12]*

### 1.5.3. Čvrsti uključci

Čvrsti uključci su sve strane čestice koje ne bi trebale biti u zavarenom spoju. Čvrsti uključci mogu se podijeliti na metalne (volfram, bakar) i nemetalne (troska, prašak). U zavarenom spoju nastaju najčešće između slojeva zavara zbog nedovoljnog čišćenja troske, pogotovo kod zavarenih spojeva kod kojih se troska otežano čisti (kutni zavari, duboki žljebovi i sl.). Nepoželjna su pojava jer smanjuju čvrstoću zbog nehomogenosti i smanjenja presjeka zavarenog spoja, te također mogu dovesti do nastajanja pukotina u zavarenom spoju. [12]

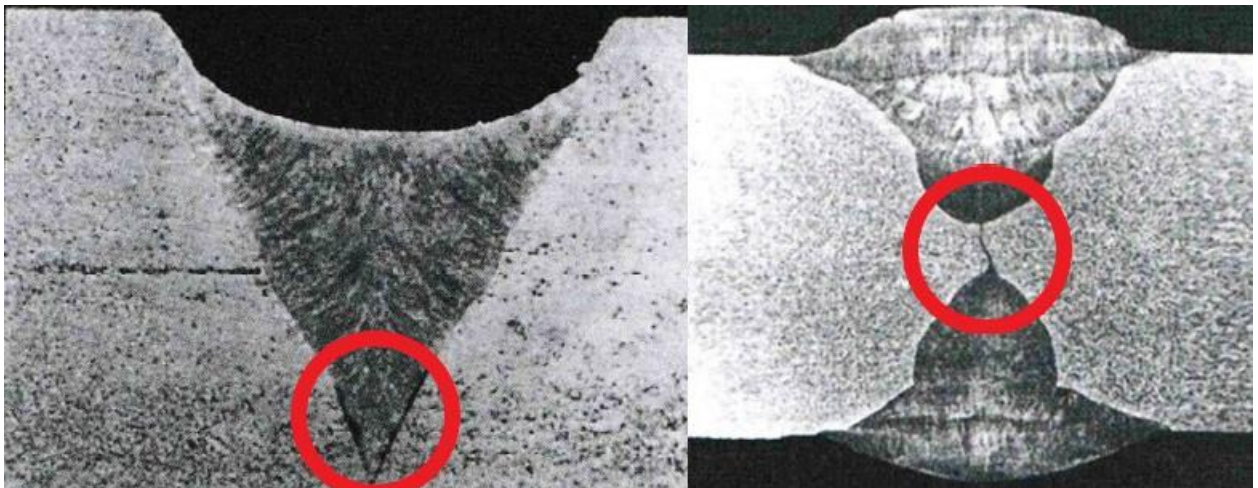


*Slika 13. Čvrsti uključak u zavarenom spoju [12]*

#### **1.5.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar**

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju. Nastaje kad se pri zavarivanju talina ohladi na hladnim površinama osnovnog materijala. Najčešće je uzrokovana nepravilnom pripremom spoja, neispravnim parametrima pod kojima se zavarivanje provodi ili nepravilnom tehnikom rada zavarivača. Ove su pojave nepoželjne jer dovode do nastanka pukotine i loma. [12]

Nepotpuni provar je nedovoljno protaljivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno korijenu zavara. Uzrokuju ga isto kao i kod naljepljivanja: nepravilna priprema spoja, neispravni parametri zavarivanja i nepravilna tehnika rada. [12]



*Slika 14. Naljepljivanje (lijevo) i nedovoljan provar (desno) [12]*

### 1.5.5. Nepravilnosti oblika zavara

Nepravilnosti oblika zavara su svaka odstupanja od oblika propisanog atestom postupka. Neželjeni su ne samo zbog same estetike spoja, već zato što značajno smanjuju nosivost zavarenog spoja, a pogotovo kod konstrukcija koje su dinamički opterećene. [12]

Ovaj tip pogreške provjerava se vizualnom kontrolom, najčešće uz korištenje nekih mjerila kao što su: [13]

- mjerilo u obliku kapljice vode,
- šablone za mjerenje visine kutnog zavara,
- HI – LO mjerna skala.



Slika 15. Mjerilo u obliku kapljice vode (lijevo), šablone za mjerenje visine kutnog zavara (sredina), HI- LO mjerna skala (desno) [13]

### 1.5.6. Ostale pogreške u zavarenim spojevima

U ovoj skupini pogrešaka nalaze se sve ostale pogreške koje se pojavljuju prilikom zavarivanja kao što su: [12]

- oštećenje električnim lukom – oštećenje površine osnovnog materijala nakon paljenja električnog luka,
- prskanje kapljica metala – čestice osnovnog ili dodatnog materijala koje tijekom zavarivanja prijanjaju na površinu osnovnog materijala,
- tragovi od brušenja – oštećenje nastalo zbog nepravilnog brušenja spoja,
- tragovi od oštih alata – oštećenje nastalo zbog nepravilne upotrebe oštih alata,
- prekomjerno brušenje – smanjenje debljine radnog komada ili zavara zbog prekomjernog brušenja,
- promjena boje oko zavarenog spoja – nastaje zbog prekomjernog unosa topline ili nedostatka zaštitnih plinove prilikom zavarivanja,

## 2. Tržište rada, obuka zavarivača i uvjeti rada

Za vrijeme pisanja ovog rada, na tržištu rada postoji 86 aktivnih oglasa koji traže zavarivače. Ovi oglasi najčešće traže od 3 pa čak i do 24 zaposlenika. Da bi se ovi zahtjevi ispunili, zavarivači se mogu školovati na dva načina: [14]

- nakon osnovne škole upisati srednju školu za zavarivača,
- prekvalifikacijom iz trenutnog zanimanja u zanimanje zavarivača.

Jedna je od ustanova koja provodi ove programe Elektrostrojarska škola Varaždin. Ovdje se mogu obrazovati zavarivači nakon osnovne škole ali također postoji i mogućnost prekvalifikacije iz trenutnog zanimanja u zanimanje zavarivača. [15]

### 2.1. Srednjoškolsko obrazovanje

Srednjoškolsko obrazovanje za zavarivača namijenjeno je za učenike koji žele čim prije pristupiti tržištu rada. Program traje dvije godine, ali postoji mogućnost nastavka školovanja. Osim standardnih predmeta (hrvatski, matematika, strani jezik) učenici slušaju stručne predmete kao što su: [15]

- tehnologija zavarivanja,
- strojevi i uređaji za zavarivanje,
- osnove brodogradnje s materijalima.

Učenici mogu odabrati i izborne predmete pomoću kojih će proširiti znanje u tehnologijama zavarivanja. Ti izborni predmeti su: [15]

- TIG zavarivanje,
- plinsko zavarivanje i rezanje.

U školi, se osim same teorije, dva puta tjedno provodi praktična nastava gdje učenici uče zavarivati. Ovdje se zavaruju razni predmeti kao što su školske stolice i klupe i te ostali stolovi za razne namjene. [15]

### 2.2. Prekvalifikacija

U slučaju nezadovoljstva odabranim zanimanjem, može se upisati „večernja škola“ koja je zapravo prekvalifikacija za različita zanimanja. U Elektrostrojarskoj školi Varaždin može se obaviti prekvalifikacija za zanimanja kao što su: elektrotehničar, tehničar za računalstvo, bravar, tokar, elektroinstalater pa čak i zavarivač. Osposobljavanje za zavarivača traje 150 sati, a

osposobljavaju se zavarivači za REL, MIG/MAG, i TIG postupak zavarivanja. Osposobljavanje se sastoji od nekoliko cjelina koje polaznik treba položiti, a to su: [16]

- zaštita na radu,
- elementi strojeva,
- tehnologija spajanja materijala TIG, odnosno REL ili MIG/MAG postupkom,
- vježbe zavarivanja TIG, odnosno REL ili MIG/MAG postupkom,
- praktični rad.

Nakon završenog tečaja, škola izdaje dokument, odnosno uvjerenje o osposobljavanju koje polaznik može upisati u radnu knjižicu. [16]

## **2.3. Uvjeti rada**

Uvjeti rada kod zavarivanja ovise o mnogo različitih faktora, a jedan je od najvećih prostor u kojemu se zavarivanje provodi, odnosno provodi li se u zatvorenom ili otvorenom prostoru.

### **2.3.1. Zatvoreni prostor**

Tijekom procesa zavarivanja oslobađa se mnogo štetnih plinova i para iz dodatnog i osnovnog materijala. Upravo zbog tih štetnih para i plinova postoji potreba za lokalnom i općom ventilacijom prostora, a u najlošijim slučajevima potrebni su uređaji za disanje. Ekstrakcija, odnosno ventilacija tih štetnih plinova i para može se provoditi na više načina, a najčešći su: [17]

- lokalna ekstrakcija,
- pištolj s ekstraktorom,
- maska s dobavom zraka.

Primjena ovih metoda ovisi o postupku zavarivanja te materijalu koji se zavaruje. Najopasniji osnovni materijal koji je moguće zavarivati je nehrđajući čelik. Ovaj materijal opasan je jer se tijekom zavarivanja pojavljuje heksavalentni krom koji je iznimno toksičan i kancerogen. [17]



*Slika 16. Pištolj s ekstraktorom (lijevo) [18], Maska s dobavom zraka (desno) [19]*

Osim štetnih plinova i para, kod zavarivanja dolazi do povećanog intenziteta ultraljubičastog i infracrvenog zračenja. Ova zračenja značajno povećavaju rizik od raka kože, opekлина i oštećenja očiju zbog čega je uvijek obavezno nositi zaštitnu opremu, odnosno rukavice, masku, odijelo i naočale za zavarivanje. Također ako se zavarivanje provodi u većem pogonu po kojem se kreću radnici, zavarivačka radna mjesta potrebno je zaštititi pregradama ili zaštitnim trakama. Ako se radi o automatiziranom, odnosno robotskom zavarivanju, zaštita mora biti dodatno ojačana zbog mogućeg kvara na robotu. [17]

Budući da svaki izvor zavarivanja koristi električnu struju, treba voditi računa o opasnosti od strujnog udara, zato zaštitne rukavice i odijela uvijek moraju biti suha, a zaštitne cipele trebaju imati debeli gumeni potplat. Radi dodatne zaštite preporučeno je korištenje uređaja za zavarivanje s istosmjernim izvorom struje i sniženim naponom praznog hoda. Te uređaje treba održavati redovno te izmjenjivati sve potrošne dijelove. [17]

Prostor u kojem se zavaruje neće uvijek biti velik. Kada se radi o brodogradnji ili proizvodnji aviona, tijesni i uski prostori učestala su pojava. Ovdje najviše treba voditi računa o sigurnom ulazu i izlazu iz skučenog prostora kao i o dodatnoj ventilaciji i normalnim radnim uvjetima (normalna svjetlost, mogućnost korištenja alata na siguran način...). [17]

Osim osiguravanja skučenih prostora, treba voditi računa i o položaju u kojem će se nalaziti zavarivač tijekom zavarivanja. Budući da zavarivači često rade s teškom opremom i radnim komadima i konstantno moraju ponavljati iste pokrete, ovo će uvelike imati utjecaj na kvalitetu zavara koji će zavarivač proizvesti. [17]

### 2.3.2. Otvoreni prostor

Budući da se vani ne mogu kontrolirati vremenski uvjeti, ne mogu se ni primijeniti svi postupci zavarivanja, stoga se za vanjsko zavarivanje najčešće upotrebljava REL i EPP postupak. Vremenski uvjeti igraju jako veliku ulogu kod vanjskih zavarivanja jer bi prejak vjetar otpuhao zaštitne plinove kod zavarivanja i tako ošteti zavar. U slučaju kiše i grmljavine, postoji mogućnost strujnog udara zbog elektrode i uređaja za zavarivanje. [20]

Osim vremenskih nepogoda važno je i rukovanje radnim komadima, pa tako pri zavarivanju tankih metalnih ploča postoji mogućnost da se zbog vjetra ploča nađe u nepovoljnom položaju. Ljeti se zbog sunca metali jako griju, što dovodi do zagrijavanja zavarivača i poticanju znojenja, pa se tako povećava rizik od strujnog udara jer se zaštitna odjeća zavarivača navlaži. Metali poput aluminijski jako se teško zavaruju u otvorenom prostoru zbog prašine koja proizlazi iz zemlje pa treba primijeniti veću količinu zaštitnih plinova. [20]

Čak i ako se zavaruje po povoljnim vremenskim uvjetima (bez kiše i vjetra), normalnoj temperaturi, vlažnosti zraka i slično, i dalje postoji problem kako priključiti uređaj za zavarivanja na izvor struje. Izvor struje može se spojiti pomoću produžnih kablova, ili u situacijama gdje to nije moguće mora postojati agregat koji će služiti kao izvor struje. [20]

Zbog navedenih razloga u otvorenom se prostoru zavaruje samo ako je to neophodno, npr. ovaj se način zavarivanja primjenjuje kod zavarivanja metalnih konstrukcija, plinovoda, ograda, brodova... [20]



*Slika 17. Vanjsko zavarivanje plinovoda [21]*

## **2.4. Certificiranje zavarivača**

Za svaki spoj i položaj zavarivanja potrebno je provesti certifikaciju zavarivača, odnosno certificirati zavarivača tako da može zavariti traženi spoj u traženom položaju (npr. sučeoni V šav u PC položaju). Certifikaciju provode razne ustanove kao što su ZIT – Zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju, TUV Nord Adriatic, i slične ustanove.

Certifikacija zavarivača u tvrtki ZIT provodi se tako da naručitelj zajedno s voditeljem certifikacije odredi mjesto i vrijeme zavarivanja ispitnih uzoraka, te sve ostale potrebne detalje. Nakon što ispitanik zavari ispitne uzorke u zadanom položaju, uzorak se ispituje te se provjerava zadovoljava li on sve zahtjeve primijenjene norme. Ako uzorak zadovoljava zahtjeve, ispitaniku se izdaje certifikat kojim se potvrđuje da je sposoban izvršiti zavar u zadanom položaju. [22]



### 3. Simulatori za obuku zavarivača

U današnje vrijeme na tržištu postoji mnogo dobrih i kvalitetnih simulatora za obuku zavarivača od kojih su neki:

- Soldamatic
- Lincoln VRTEX 360
- Fronius virtual welding 2.0
- SIMBOTT welding simulator
- guideWELD VR welding simulator
- WeldTrainer

Iako su ovi simulatori razvijeni od različitih tvrtki, većinu ih povezuje jedna stvar, a to je VR ili AR tehnologija pomoću koje simulatori daju realni prikaz okruženja i zavara koji će se vježbati.

#### 3.1. Soldamatic

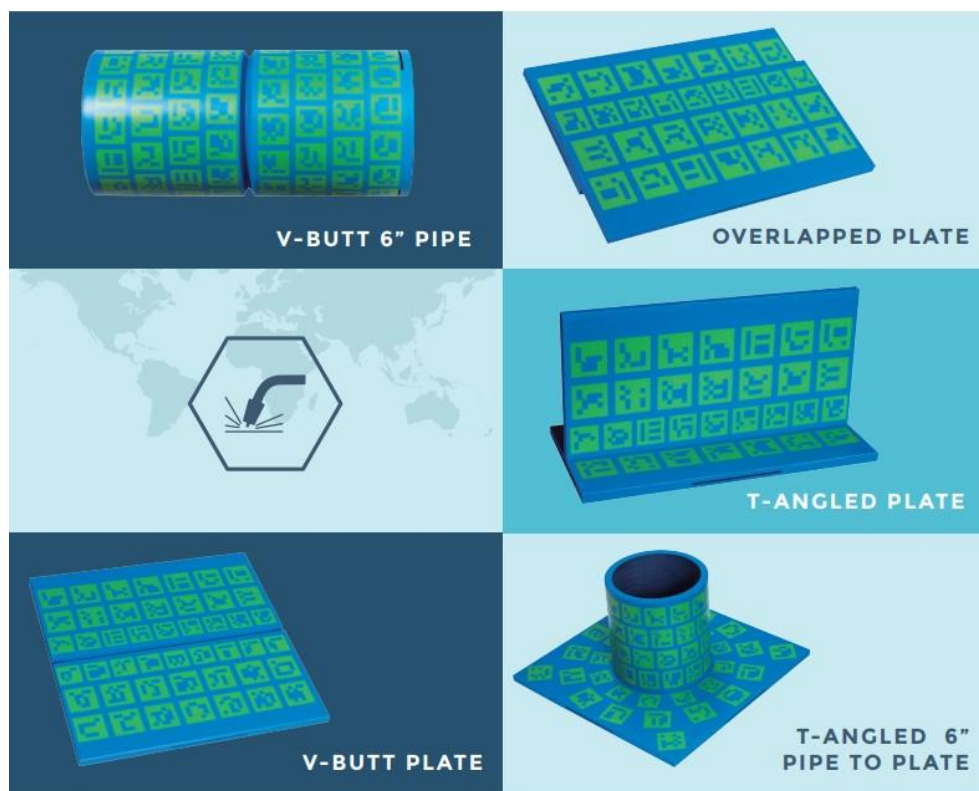
Soldamatic je simulator koji je razvila španjolska tvrtka „Seabury“. Soldamatic uređaj zapravo izgleda isto kao stvarni uređaj za zavarivanje, no manjih je dimenzija i lako je prenosiv. Kao i na stvarnom uređaju, na njemu se može namještati struja, napon i, ako se koristi MIG/MAG postupak, brzina izlaska žice. Uređaj sadrži gorionike za simulaciju REL, TIG i MIG/MAG postupka zavarivanja. [23]



*Slika 18. Soldamatic gorionici za simulaciju [23]*

Uz uređaj također dolaze radni komadi na kojima se zavarivanje vježba, a to su:

- sučeonni spoj cijevi promjera 6",
- preklopni spoj,
- kutni spoj,
- sučeonni spoj,
- kutni spoj cijevi i ploče.



*Slika 19. Radni komadi Soldamatic simulatora za zavarivanje [23]*

Kako bi uopće mogli zavarivati u VR okruženju, Soldamatic sadrži VR masku koja zapravo ima izgled kao stvarna maska za zavarivanje. Na toj masci nalaze se i slušalice koje proizvode zvukove tijekom zavarivanja za realniji doživljaj.



*Slika 20. Soldamatic maska za zavarivanje [23]*

Osim što se uređaj može koristiti za obuku novih zavarivača, također se može primijeniti za programiranje robota za zavarivanje ili kao vježba za iskusne zavarivače ako se kupe dodatni radni komadi. [24]



*Slika 21. Programiranje robota pomoću Soldamatic simulatora za zavarivanje [24]*

### **3.2. Lincoln VRTEX 360**

VRTEX 360 razvila je američka tvrtka Lincoln Electric, koja osim tih simulatora, razvija i proizvodi ostalu opremu za zavarivanje. Ovaj simulator postoji u više izvedbi:

- VRTEX 360 Single User,
- VRTEX 360 Compact,
- VRTEX Engage.

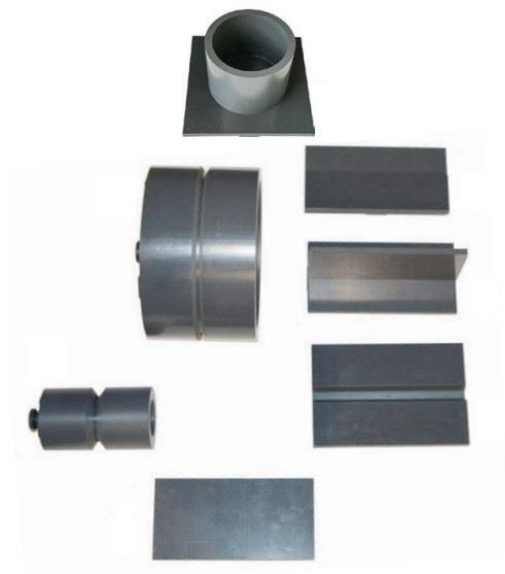
VRTEX 360 Single User je simulator koji, kao i Soldamatic ima izgled uređaja za zavarivanje. Na njemu također postoji mogućnost simulacije REL, TIG i MIG/MAG postupka zavarivanja.



*Slika 22. Lincoln Electric VRTEX gorionici za simulaciju [25]*

U VRTEX paketu nalazi se više radnih komada, a to su:

- ravna ploča,
- kutni spoj,
- sučeonni spoj,
- sučeonni spoj cijevi promjera 2",
- sučeonni spoj cijevi promjera 6",
- preklopni spoj,
- kutni spoj cijevi i ploče.



*Slika 23. Radni komadi Lincoln Electric VRTEX simulatora za zavarivanje [25]*

Kod VRTEX-a se radni komadi postavljaju na stalak koji je prilagodljiv, odnosno ima mogućnost podešavanja visine i kuta zavarivanja te se radni komad može zakretati oko stalka. Zbog ove značajke može se upotrijebiti za simulaciju u različitim položajima, a to su: [25]

- horizontalni,
- vertikalni,
- ravni,
- nadglavni.

VRTEX ne koristi masku za zavarivanje kako bi prikazao okruženje i zavareni spoj, već koristi VR naočale sa slušalicama koje pridonose boljoj simulaciji uz pomoć zvuka. [25]



*Slika 24. Lincoln Electric VRTEX 360 Single User [25]*

VRTEX 360 Compact manja je verzija simulatora prigodna za transport, ali s manje značajki od Single User varijante. Mana je ove verzije ta da se stalak za radne komade mora montirati za neki postojeći objekt kao npr. stol. Ova verzija idealna je za pokazivanje na raznim sajmovima i sličnim događanjima, te je značajno jeftinija od Single User varijante. [26]



*Slika 25. Lincoln Electric VRTEX 360 Compact [26]*

VRTEX Engage verzija najjeftinija je i najmanja varijanta VRTEX simulatora, stoga ne posjeduje mnogo značajki kao skuplje varijante. VRTEX Engage je zapravo kovčeg u kojem se nalazi osnovna oprema: [27]

- Univerzalni gorionik
- Ekran
- Ravna ploča

Ova verzija nema VR sustav, već se zavarivanje prati na ekranu. Ovaj tip simulatora najčešće koriste tvrtke i škole kako bi privukle kandidate za zavarivače. [27]



*Slika 26. Lincoln Electric VRTEX Engage [27]*

### **3.3. Fronius virtual welding 2.0**

Fronius virtual welding 2.0 razvila je austrijska tvrtka Fronius koja, isto kao i Lincoln Electric, razvija i proizvodi opremu za zavarivanje. Simulator za zavarivanje dostupan je u 2 verzije: [28]

- StandUp Terminal
- MobileCase



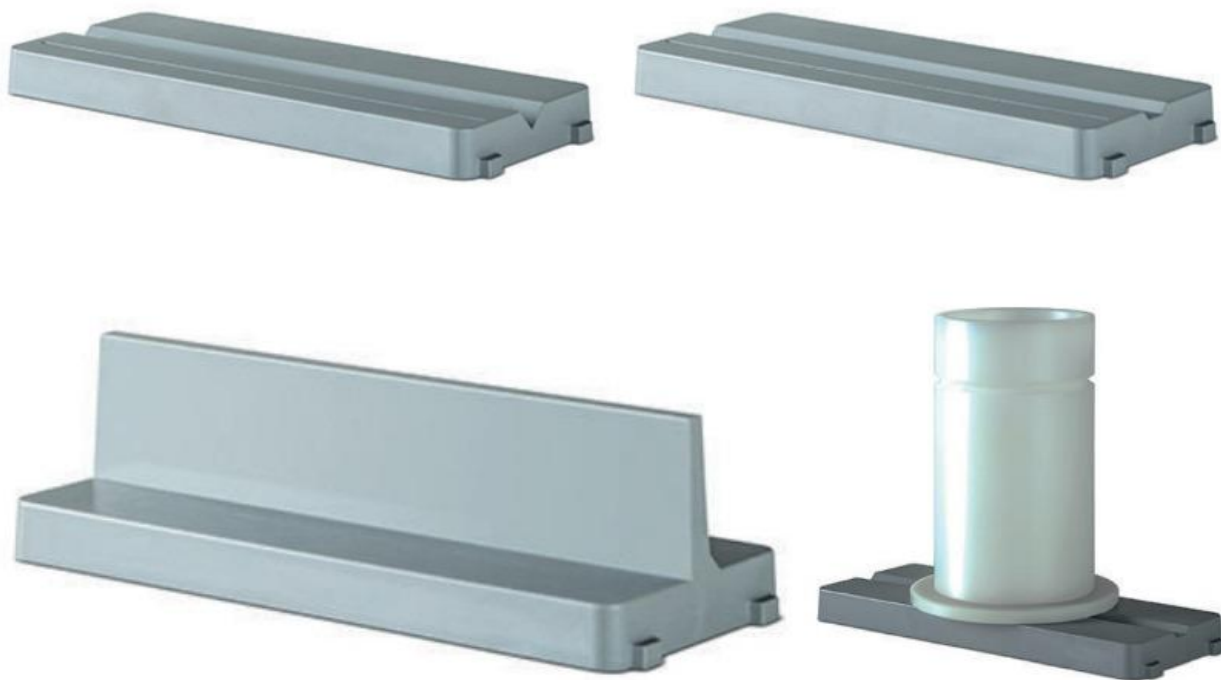
Slika 27. Fronius StandUp Terminal i MobileCase simulatori za zavarivanje [28]

Uz sam simulator dolazi i radni stol na kojemu se, uz pomoć držača, radni komadi mogu postaviti u PA, PB, PC, PD, PF, PE, PH, PJ položaj zavarivanja. Držać se montira na radni stol – postavlja se u jednu od kanalicu ili utora ovisno o tome u kojem položaju se nalazi zavar koji će se simulirati. U držać se mogu montirati svi dostupni radni komadi: [28]

- sučeoni V-šav,
- ugaoni šav,
- kutni spoj,
- spoj cijevi,

Kod Froniusa uz simulator ne dolaze gorionici, već ih se treba posebno kupiti. Na izbor postoje 4 različita gorionika a to su: [28]

- MIG/MAG gorionik,
- TIG gorionik,
- REL gorionik,
- gorionik za robotsko zavarivanje.



*Slika 28. Fronius Virtual Welding 2.0 radni komadi [28]*



*Slika 29. Fronius Virtual Welding 2.0 gorionici za simulaciju [28]*



Za prikaz virtualnog okruženja i zavarenog spoja Fronius koristi VR naočale sa slušalicama. Proces zavarivanja također može pratiti odgovorna osoba jer ono što se prikazuje u naočalama prikazuje se i na ekranu. [28]

### **3.4. SIMBOTT Virtual Reality Welding Simulator**

SIMBOTT simulator razvila je istoimena indijska tvrtka. Ovaj simulator dolazi u samo jednoj izvedbi, ali sadrži opremu za simulaciju REL, MIG/MAG, TIG i EPP postupka. Slično kao i kod FRONIUS simulatora, od radnih komada postoje: [29]

- preklopni spoj,
- sučeoni V-šav,
- kutni spoj,
- spoj cijevi,
- kutni spoj cijevi i ploče.

Prije uključanja uređaja i pokretanja programa potrebno je montirati gorionik te pomoću stalka, koji je sličan onom kakav ima i VRTEX 360 simulator, montirati radni komad u željeni položaj zavarivanja. Nakon montaže smije se pokrenuti simulator. Na samom simulatoru postoje dva ekrana. Donji ekran služi za izbor parametra zavarivanja (postupak, položaj, materijal, vrsta plina koji se koristi, napon i struja), a gornji ekran prikazuje korisničko sučelje. Na njemu tijekom zavarivanja mentor može pratiti kako kandidat zavaruje. Nakon završenog zavarivanja simulator nam nudi detaljnu analizu rezultata koja prikazuje: [29]

- snimku zavarivanja,
- prikaz svih grešaka koje je zavarivač napravio,
- ocjenu zavarenog spoja,
- prikaz linije zavarivanja.

Ove značajke znatno olakšavaju praćenje napretka kandidata. Za simuliranje se koriste VR naočale sa slušalicama koje pomažu pri simuliranju samog zavarivanja. [29]

Osim simulatora za zavarivanje, ova tvrtka razvija i proizvodi programe za simulaciju letenja, tokarenja, bušenja, bojanja i slične. [29]



*Slika 30. Oprema SIMBOTT simulatora za zavarivanje [29]*

### **3.5. guideWELD VR Welding Simulator**

guideWELD VR Welding Simulator razvija i proizvodi američka tvrtka Realityworks. Osim ovog simulatora tvrtka Realityworks proizvodi ostale simulatore i pomoćne alate za brojne namjene, pa čak i izvan područja strojarstva, kao npr. lutke za medicinske simulacije i lutke životinja za veterinarske simulacije. [30]

guideWeld simulator ne koristi VR naočale, već se kao kod VRTEX Engage simulatora zavar prati na ekranu. Ovaj simulator nudi samo dva načina zavarivanja, a to su MIG/MAG i REL način. Od radnih komada u osnovnom paketu mogu se pronaći: [30]

- sučeonni spoj,
- preklopni spoj,
- kutni spoj.

U ovom se paketu također nalaze prave rukavice za zavarivanje kojima se drži željeni gorionik. Mana ovog simulatora je ta da se u početnom paketu ne nalaze niti monitor niti računalo koji su potrebni za rad simulatora, već ih se mora kupiti posebno ili koristiti postojeće. Nakon kupnje simulatora mora se preuzeti software za njegovo pokretanje. Uz sam program dobiva se i kurikulum za edukaciju zavarivača koji se sastoji od brojnih tema: [30]

- biranje karijere zavarivača,
- načini zavarivanja,
- sigurnost kod zavarivanja,
- test sigurnosti,
- osnove kvalitetnog zavarivanja,
- identificiranje i procjenjivanje pogrešaka u zavarenom spoju,
- testiranje zavarivanja,
- čitanje atesta postupka zavarivanja.



*Slika 31. Oprema guideWELD simulatora za zavarivanje [30]*

Realityworks također proizvodi guideWELD LIVE real welding guidance system. Ovo je alat koji pomaže kod stvarnog zavarivanja. U paketu se nalazi: [31]

- maska za zavarivanje koja prati brzinu zavarivanja i nagib gorionika pomoću senzora na ostalim dijelovima,
- držač radnog komada koji ima senzor za brzinu,
- senzore kuta koji se postavljaju na rukavice za zavarivanje.



*Slika 32. Oprema guideWELD LIVE alata za pomoć kod zavarivanja [31]*

### **3.6. WeldTrainer**

WeldTrainer je razvila mađarska tvrtka Apollo Studios. Ovaj simulator izgleda, isto kao i Soldamatic, kao pravi uređaj za zavarivanje. Simulator nam nudi REL, TIG i MIG/MAG način zavarivanja. Sa simulatorom se dobiva nekoliko radnih komada: [33]

- sučeoni V-šav,
- kutni spoj,
- preklopni spoj,
- kutni spoj cijevi i ploče (deblja i tanja cijev),
- ravna ploča.

Za prikaz zavara WeldTrainer koristi masku za zavarivanje te se također može spojiti ekran koji bi pomogao tako da se prati napredak kandidata. Osim monitora svaki WeldTrainer uređaj sadrži laptop kojim se spajanjem na glavni uređaj prate rezultati i napredak kandidata. [33]

Prije korištenja simulatora, kao i kod prošlih, mora se prvo montirati željeni gorionik i radni komad. Nakon toga se može upaliti simulator gdje odabiremo način zavarivanja, materijal, i radni komad. Kad se odradi simulacija, dobije se rezultat na kojem se vidi koliko je točno zavar izrađen.

Ovaj rezultat ocjenjuje: [33]

- brzinu zavarivanja,
- kut nagiba gorionika,
- visinu električnog luka.

Osim ovih značajki simulator analizira prskanje kod zavarivanja i moguća mjesta pojave poroznosti u zavarenom spoju. Snimka zavara se sprema pa ju se kasnije može pogledati kako bi se ustanovilo gdje se pogriješilo kod zavarivanja. [33]



*Slika 33. Oprema WeldTrainer simulatora za zavarivanje [32]*

### **3.7. Primjena simulatora u ostalim granama**

Osim simulatora za zavarivanje postoje brojni drugi simulatori za različite namjene kao što su simulatori leta, simulatori vožnje, medicinski simulatori, vatrogasni simulatori i slični.

### 3.7.1. Simulator leta

Osim zahtjevnih fizičkih, zdravstvenih i mentalnih sposobnosti, za zanimanje pilota potrebne su izvrsne vještine letenja i upravljanja. Kako bi pilota pripremili za sve moguće situacije u kojima bi se mogao susreti, te situacije bi prvo trebao doživjeti. Simulatorom leta može se puno lakše rekreirati situacije nego bilo kojim drugim postupkom. [34]

Ovi simulatori postoje i za civilne, i za borbene zrakoplove. Jedna od najpoznatijih tvrtki za obuku pilota simulatorima je „Lufthansa aviation training“. Tvrтка ima svoje simulatore postavljene u Austriji, Njemačkoj i Švicarskoj. Na ovim simulatorima piloti mogu simulirati let na brojnim avionima i helikopterima raznih proizvođača kao što su AgustaWestland, Airbus, Boeing, Bombardier, Gulfstream i brojni drugi. [34]

Za borbene zrakoplove razvijeni su brojni simulatori koji osim letenja, simuliraju i odgovarajuće G – sile pod kojima će pilot morati letjeti. Ovo uvelike pomaže privikavanju tijela na takve sile. Osim tih sila, simuliraju se i brojne situacije u kojima bi se pilot mogao pronaći svakodnevno, kao npr. slijetanje na nosač aviona, zračne bitke s drugim avionima i slično. [34]



*Slika 34. Boeing 737 simulator leta [34]*

### 3.7.2. Medicinski simulator

Medicinskih simulatora postoji više vrsta, od najobičnijih lutki koje su samo gornji trup tijela, pa do cijelog funkcionalnog ljudskog tijela. Jedan od tih simulatora je Leonardo HF kojeg proizvodi i razvija tvrtka MedVision. Ova lutka zapravo simulira tijelo odraslog čovjeka. Na njemu se mogu vježbati mnoge stvari kao što su npr. opipavanje pulsa (u 12 točaka), mjerenje

krvnog tlaka, kontroliranje pulsa radijalne arterije i slično. Osim ovih značajki na lutki je moguće vježbanje priključivanja maske s kisikom, trahealne kanile, trahealne intubacije, obavljanje laringoskopije, te stavljanje glave u različite položaje. Na rukama lutke također je moguće davanje injekcije. Lutkine oči reagiraju na svjetlost pa je tako moguće povećavanje zjenica i treptanje. Dodatno se lutku može priključiti na raznu medicinsku opremu koja pokazuje stanje tijela, otkucaje srca, temperaturu tijela i slično. [35]

Osim Leonarda, tvrtka MedVision proizvodi simulatore dječjih tijela, simulatore malenih dječjih tijela (beba) i brojne druge simulatore koji pomažu i kod raznih kirurških zahvata.



*Slika 35. MedVision Leonardo HF lutka [35]*

### **3.7.3. Vatrogasni simulator**

Za zanimanje vatrogasca potrebna je odlična fizička i psihička sprema. Primjenom vatrogasnog simulatora, kojim se simulira gašenje požara vatrogascu, štedi se materijal i voda. Jedna od tvrtki koje takve simulatore razvija i proizvodi novozelandska je tvrtka TrainingSimulators. Ova tvrtka proizvodi simulator „FLAIM trainer“ koji pomoću VR tehnologije kreira virtualno okruženje i realne požare koje vatrogasac može gasiti. Gašenje se odvija plastičnim šmrkom koji koristi sličnu tehnologiju kao i simulatori za zavarivanje kako bi bilo omogućeno kretanje po virtualnom okruženju. Osim toga program prati i fizičko stanje tijela tijekom gašenja. [36]



*Slika 36. Treniranje FLAIM trainer simulatorom [36]*

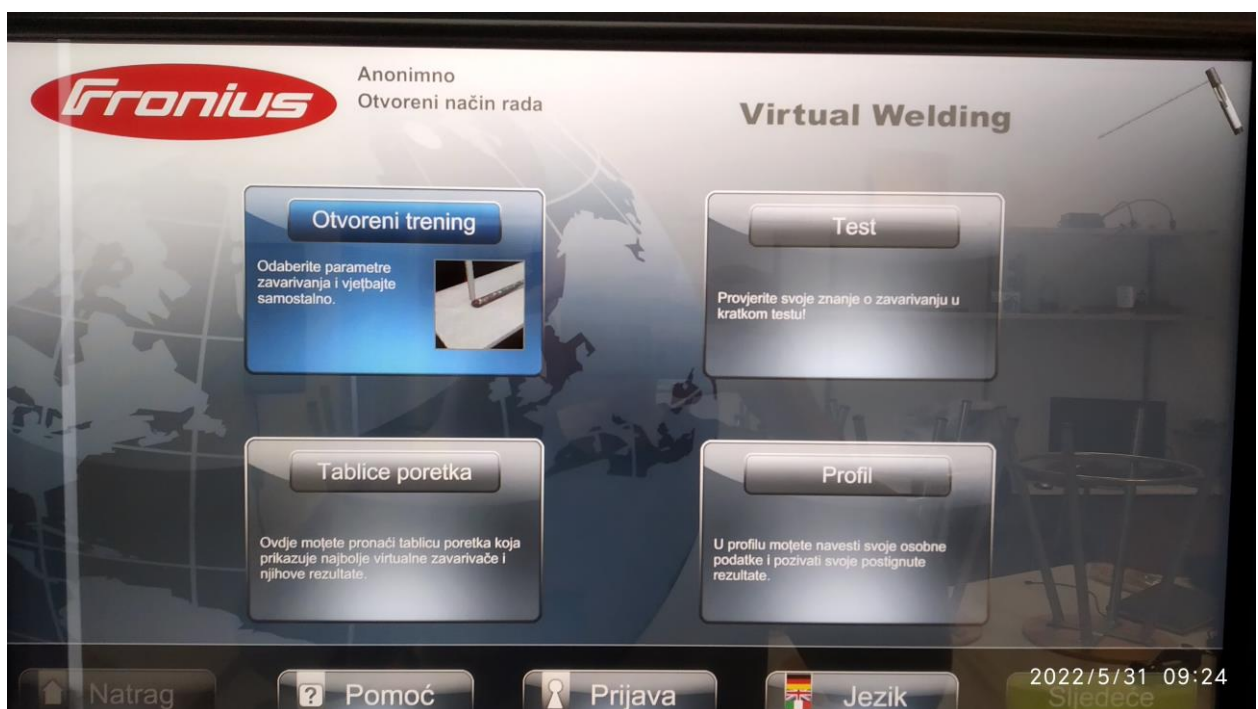


## 4. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu zadatak je bio testirati efikasnost simulatora Fronius Virtual Welding 2.0 u StandUp Terminal verziji. Zadatak je bio vježbati MAG postupak sučeonog V spoja u PC položaju zavarivanja na simulatoru dva sata pa napraviti test koji će ocijeniti napredovanje. Vježbanje se provodilo tako da se dvadeset minuta radilo na simulatoru pa se nakon toga uzimalo deset minuta pauze sve dok se nije popunio period od dva sata. Test se provodio tri puta pa se ukupna vrijednost uzela kao aritmetička sredina triju dobivenih rezultata.

### 4.1. Upute za rad na simulatoru

Prije početka rada na simulatoru, to jest prije uključanja simulatora, pomoću držača za radne komade montirao se sučeoni V spoj u PC položaj zavarivanja na način da se držač vertikalno umetnuo u rupu koja je za to namijenjena. Budući da je zadatak vježbanje zavarivanja MAG postupkom, također se morao montirati i MAG gorionik. Nakon pripreme radnog komada i gorionika uključio se simulator te se na ekranu prikazala početna stranica programskog sučelja.



Slika 37. Početna stranica Fronius Virtual Welding 2.0 programskog sučelja

Na početnoj stranici postoje četiri opcije:

- otvoreni trening,
- test,
- tablice poretka,
- profili.

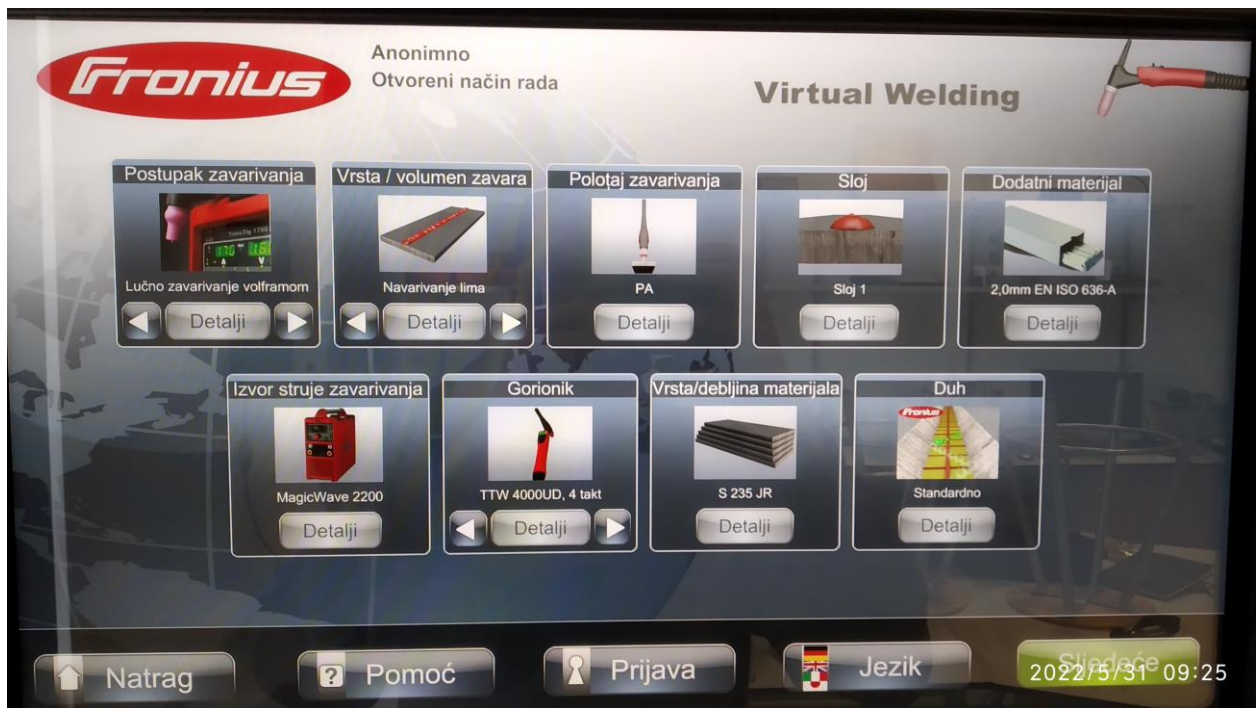
Kako je ekran osjetljiv na dodir (tzv. „touchscreen“), kroz sučelje se kreće dodirom po ekranu. Pritiskom na karticu „Test“ pokreće se kratak test o zavarivanju. Ovaj test ocjenjuje teorijsko znanje zavarivača o zavarivanju. U kartici „Tablica poretka“ može se pronaći lista svih zavarivača koji su trenirali na ovom simulatoru te njihove rezultate. Kod kartice „Profil“ svaki zavarivač može kreirati vlastiti profil, te pregledavati postignute rezultate na simulatoru. Na ovaj način svoj napredak može pratiti i zavarivač i osoba koja educira zavarivače.

Pritiskom na karticu „Otvoreni trening“ otvara se izbornik u kojem se biraju svi parametre zavarivanja:

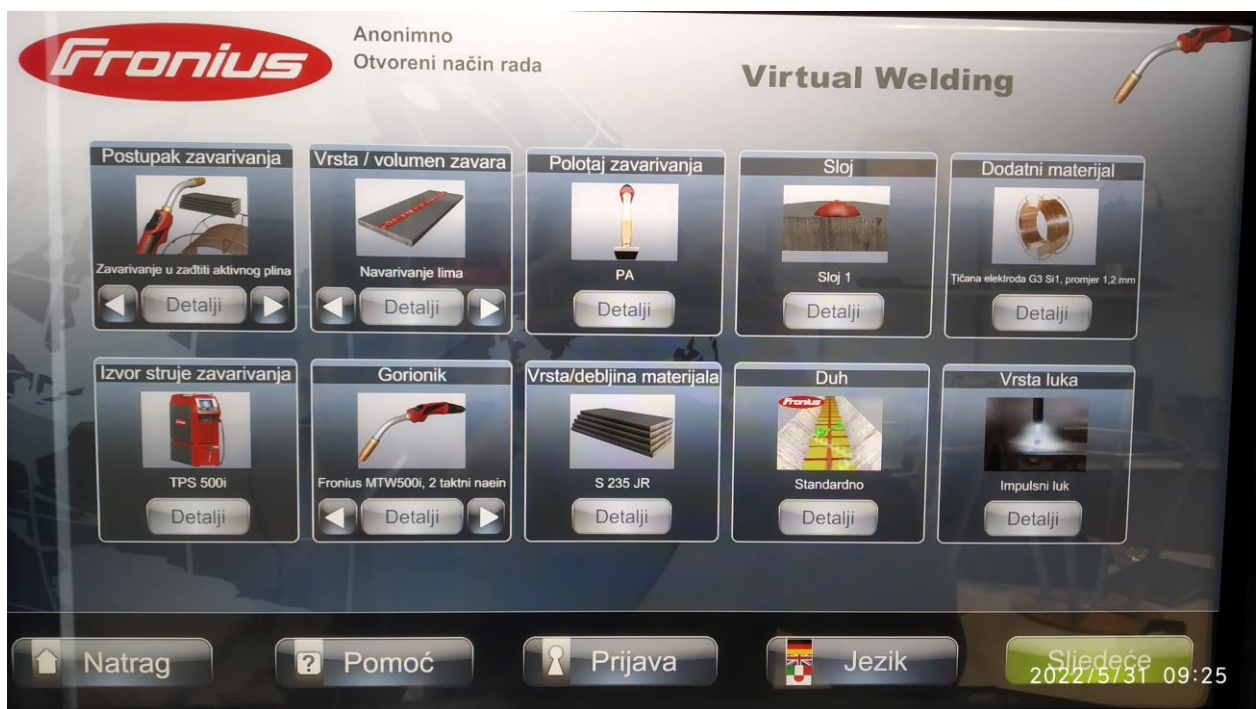
- postupak zavarivanja,
- vrsta zavara,
- položaj zavarivanja,
- sloj,
- dodatni materijal,
- vrsta gorionika.



Slika 38. Kartica „Otvoreni trening“ za REL postupak zavarivanja



Slika 39. Kartica „Otvoreni trening“ za TIG postupak zavarivanja



Slika 40. Kartica „Otvoreni trening“ za MIG/MAG postupak zavarivanja

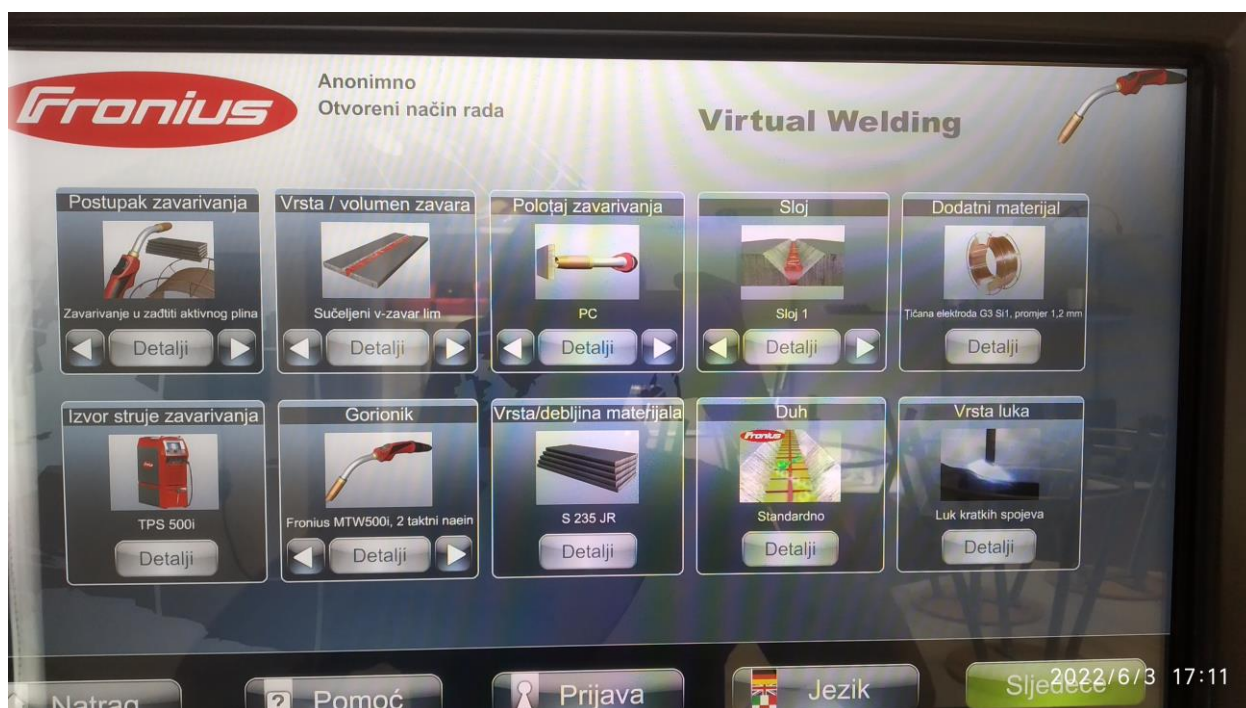
Na izborniku se također može vidjeti kojim će se uređajem za zavarivanje provoditi simulacija i koji će materijal, odnosno koja debljina materijala, biti korišten u simulaciji. U ovom izborniku nalazi se i tip „Duha“ koji će se pratiti kod simulacije te se kod MIG/MAG postupka može vidjeti koji će način prijenosa metala biti primijenjen.

Budući da je zadatak bio vježbati MIG/MAG zavarivanje sučeonog V - spoja u PC položaju, trebali su se najprije promijeniti neki parametri:

- odabrati MIG/MAG postupak zavarivanja,
- odabrati „Sučeoni V - spoj“ lima,
- odabrati PC položaj zavarivanja,
- odabrati prvi sloj kod odabira slojeva,
- odabrati dvotaktni način rada gorionika.

Uz sve ove odabrane parametre, program je automatski stavio i sljedeće parametre:

- kao dodatni materijal koristi se žičana elektroda G3Si1 promjera 1,2 milimetra,
- uređaj za zavarivanje koji se koristi je TPS 500i kojeg proizvodi tvrtka Fronius,
- osnovni materijal kod zavarivanja je čelik S235 JR,
- prijenos metala električnim lukom je prijenos kratkim spojevima,
- „duh“ koji se prati tijekom simulacije je standardni.



Slika 41. Zadani parametri simulacije

Nakon odabranih parametra može se pritisnuti tipka „Sljedeće“ nakon čega se, prije same simulacije, otvara kartica za kalibraciju uređaja. Kod kalibracije se trebaju uzeti VR naočale i odabrani gorionik. Nakon toga naočale se moraju postaviti tako da je vrh gorionika umetnut u otvor za nos, a nakon pritiska gumba na gorioniku naočale se pomiču u svim smjerovima kako bi raspoznale okolinu.

Nakon kalibracije naočala i gorionika otvara se zadnji izbornik prije početka simulacije. Na ovom se izborniku bira što se želi simulirati.



Slika 42. Odabir simulacija

Izbornik je podijeljen na lijevu i desnu stranu. Na lijevoj strani nalaze se „trening“ simulacije, dok se na desnoj strani nalaze stvarne simulacije. Odabirom treninga s lijeve strane može se vježbati:

- brzina vođenja gorionika,
- brzina vođenja gorionika i održavanje potrebne visine električnog luka,
- brzina vođenja gorionika, održavanje potrebne visine električnog luka te kut držanja gorionika.

Prilikom treninga postoji pomoć „Duha“ koji bi trebao naučiti pokrete ruku te način držanja gorionika. Kod brzine vođenja, „Duh“ su zapravo 4 točkice koje se moraju slijediti. Ove točkice poprimaju zelenu, žutu i crvenu boju ovisno o tome koliko je odstupanje od idealne brzine zavarivanja.

Prilikom održavanja potrebne visine električnog luka postoji strelica u gorioniku koja pokazuje u kojem se smjeru treba pomaknuti gorionik, odnosno treba li se gorionik podići ili spustiti prema zavaru. Ova strelica također poprima zelenu, žutu i crvenu boju, ovisno o tome koliko je odstupanje od idealne visine električnog luka, te mijenja smjer kako bi se znalo treba li smanjiti ili povećati električni luk. Osim strelice na slušalicama se čuje nagla promjena električnog luka, pa tako se i pomoću toga može zaključiti da se ne održava dobra visina električnog luka.

Kod vježbanja kuta pod kojim se mora držati gorionik postoje četiri strelice koje daju do znanja treba li se gorionik nagnuti naprijed, nazad, lijevo ili desno. Kao i prijašnji „duhovi“ ove strelice isto poprimaju zelenu, žutu i crvenu boju ovisno o tome koliko je odstupanje od idealnog kuta.

Za vrijeme vježbanja ovih parametra okruženje je uvijek svijetlo, nema zatamnjenja niti prskanja niti je prikazan zavar koji je napravljen.

S desne nalazi se prava simulacija zavarivanja. Postoje dvije opcije zavarivanja, a to su:

- zavarivanje s fiksnim, odnosno optimalnim parametrima,
- zavarivanje s promjenjivim parametrima.

Prilikom ovih simulacija nema više pomoći „Duha“, već se treba primijeniti ono što se naučilo treniranjem. Kod ovog načina simulacije s početkom zavarivanja zatamni se prostor baš kao da se nosi maska za zavarivanje te postoji puno prskanja. Nakon obavljene simulacije može se pregledati zavar koji je izrađen te se taj zavar ocjeni bodovima.

## **4.2. Postignuti rezultati**

Nakon obavljenog treninga na ekranu se pojavi kartica s bodovima. Trening se boduje u tri kategorije:

- brzini vođenja gorionika,
- visini električnog luka,
- kutu nagiba gorionika.

U svakoj kategoriji moguće je ostvariti maksimalno 1000 bodova, što znači da ukupni maksimalni broj bodova iznosi 3000.

Trening se provodio tako da se prvi sat vježbala samo brzina vođenja gorionika, drugi sat se vježbala brzina vođenja gorionika i visina električnog luka, a u svim ostalim treninzima vježbalo se sa svim parametrima.

Postignuti su sljedeći rezultati:

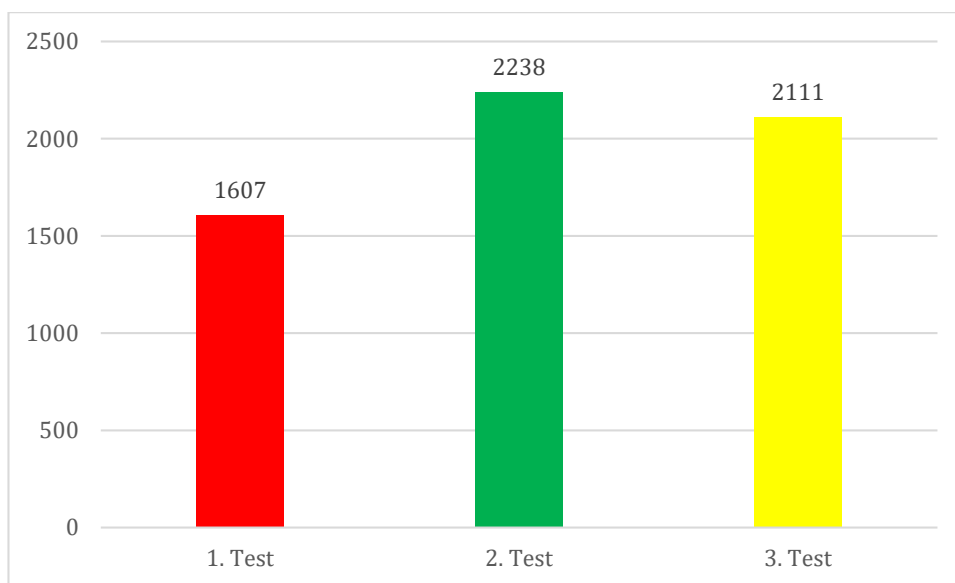
Broj ciklusa	Vrijeme rada	Brzina vođenja gorionika	Visina električnog luka	Kut držanja gorionika	Ukupni broj bodova	
1.	20 min rada	930	879	879	928	
	10min pauze					
2.	20min rada	933			933	
	10min pauze					
3.	20 min rada	928			879	1807
	10min pauze					
4.	20min rada	928			879	1807
	10min pauze					
1. TEST					1607	
1.	20 min rada	847	787	825	2459	
	10min pauze					
2.	20min rada	871	802	836	2509	
	10min pauze					
3.	20min rada	934	705	894	2533	
	10min pauze					
4.	20min rada	945	755	901	2601	
	10min pauze					
2. TEST					2238	
1.	20min rada	922	723	925	2570	
	10min pauze					
2.	20min rada	946	796	872	2614	
	10min pauze					
3. TEST					2111	

*Tablica 1. Rezultati postignuti na simulatoru zavarivanja*

## 5. Analiza rezultata

Nakon provedenog eksperimentalnog dijela, gledajući rezultate testova, može se uočiti kako dolazi do povećanja rezultata između prvog i drugog testa (za 39,27%) te se zaključuje da je trening bio uspješno proveden. Između drugog i trećeg testa dolazi do blagog pada rezultata (za 5,67%). Ovaj pad nije veliki te je vjerojatno uzrokovan prekomjernim sjedenjem, umorom, žurbom i sličnim uvjetima.

Između rezultata postignutih treningom uvijek se bilježi ili rast ili ista vrijednost osim u slučaju između drugog testa i trećeg kruga treninga gdje postoji pad od 1,19% što je vjerojatno uzrokovano dekoncentracijom ili premalim odmorom tijekom tog kruga zavarivanja.



*Dijagram 1. Grafički prikaz rezultata testova na simulatoru zavarivanja*



## 6. Zaključak

U današnje vrijeme sve važnije tehnologije napreduju pa tako i tehnologija zavarivanja. Iako već duži niz godina postoji robotizirani način zavarivanja, robote i dalje netko treba programirati. Tu nam pomažu simulatori za zavarivanje kako bi se programeru pružila čim veća pomoć te manja sklonost pogreškama.

Nedostatak je robotiziranog načina zavarivanja taj da se kod svakog različitog zavara mora mijenjati program, također, robot je teško dovesti na neka udaljena mjesta u slučajevima kao što su zavarivanje plinovoda, podvodna zavarivanja i slične lokacije. Time se može zaključiti da je zavarivač još uvijek cijenjeno i važno zanimanje. Razvijanjem i proizvodnjom simulatora za obuku zavarivača kandidatima se uvelike olakšava obuka, a ustanovama koje provode obuku olakšava se financijski tako što troše manje električne energije, manje elektroda i manje plinova za zavarivanje. Upravo su ti ekonomski razlozi velika prednost simulatora za obuku zavarivača. Jedini je veći nedostatak viša je početna cijena opreme.



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, MIHOVIL TOPLAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom UVJEŠBAVANJE ZAVARIVAČA POMOĆU SIMULATORA ZA ZAVARIVANJE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica: MIHOVIL TOPLAK  
(upisati ime i prezime)

Toplak  
(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, MIHOVIL TOPLAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~ica~~ s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom UVJEŠBAVANJE ZAVARIVAČA POMOĆU SIMULATORA ZA ZAVARIVANJE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica: MIHOVIL TOPLAK  
(upisati ime i prezime)

Toplak  
(vlastoručni potpis)

## 7. Literatura

- [1] <https://www.thecrucible.org/guides/welding-2/history/#3rd> (15.8.2022.)
- [2] <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-history-of-welding> (16.8.2022.)
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Shielded\\_metal\\_arc\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/Shielded_metal_arc_welding) (17.8.2022.)
- [4] M. Horvat: Zavarivanje i srodni postupci, predavanja iz kolegija "Tehnike spajanja"
- [5] <https://weldingpros.net/how-to-stick-weld/> (17.8.2022.)
- [6] <https://weldingpros.net/how-to-tig-weld/> (18.8.2022.)
- [7] <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/tig-it-how-a-tig-welder-works-and-when-to-tig-weld> (18.8.2022.)
- [8] <https://weldinganswers.com/rainbow-colors-in-stainless-steel-welding/> (18.8.2022.)
- [9] <https://weldingpros.net/how-to-mig-weld/> (19.8.2022.)
- [10] <https://blog.perfectwelding.fronius.com/en/what-is-mig-mag-welding/> (19.8.2022.)
- [11] M. Horvat: Zavarljivost I i II, predavanja iz kolegija „Tehnologija 3“
- [12] M. Bušić: Pogreške u zavarenim spojevima, predavanja iz kolegija „Tehnologija 3“
- [13] M. Bušić: Nerazorna ispitivanja zavarenih spojeva, predavanja iz kolegija „Tehnologija 3“
- [14] [https://burzarada.hzz.hr/Posloprimac\\_RadnaMjesta.aspx](https://burzarada.hzz.hr/Posloprimac_RadnaMjesta.aspx) (5.9.2022.)
- [15] <https://ess.hr/index.php/programi-obrazovanja/strojarstvo/zavarivac> (7.9.2022.)
- [16] <https://ess.hr/icu/index.php/programi-obrazovanja/osposobljavanja/zavarivac-ica-tig-rel-ili-mig-mag-postupkom> (7.9.2022.)
- [17] <https://www.zavarivanje.info/cd/2719/opasnosti-i-zastita-na-radu-pri-zavarivanju-zavarivanje> (5.9.2022.)
- [18] [https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/USA/Pictures/Images\\_MIGMAG/Fume\\_Extraction/xFume-MIG-Gun-Hero.jpg](https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/USA/Pictures/Images_MIGMAG/Fume_Extraction/xFume-MIG-Gun-Hero.jpg) (5.9.2022.)
- [19] <https://s.yimg.com/aah/cyberweld/miller-sar-supplied-air-respirator-w-25-ft-straight-air-hose-951800-15.jpg> (5.9.2022.)
- [20] <https://welderacademy.com/can-you-weld-outside/> (6.9.2022.)
- [21] <https://image.shutterstock.com/image-photo/male-welder-worker-wearing-protective-600w-107815169.jpg> (6.9.2022.)
- [22] <https://www.zit-zg.hr> (6.9.2022.)

- [23] <https://www.soldamatic.com/wp-content/uploads/2016/10/Catalogue-Soldamatic-2018-28EN29.pdf> (22.8.2022.)
- [24] <https://www.soldamatic.com> (16.8.2022.)
- [25] <https://www.lincolnelectric.com/assets/servicenavigator-public/lincoln3/im10541.pdf> (16.8.2022.)
- [26] <https://www.lincolnelectric.com/assets/servicenavigator-public/lincoln3/im10600.pdf> (16.8.2022.)
- [27] <https://ch-delivery.lincolnelectric.com/api/public/content/608faeb4e0445fba7bbb6cc6d310ff9?v=c006df9c> (16.8.2022.)
- [28] Fronius Virtual Welding 2.0 priručnik za korisnike
- [29] <https://simbott.com/welding-simulator/> (3.9.2022.)
- [30] <https://www.realityworks.com/product/realcareer-guideweld-vr-welding-simulator/> (3.9.2022.)
- [31] <https://www.realityworks.com/product/guideweld-live-real-welding-guidance-system/> (3.9.2022.)
- [32] WeldTrainer priručnik za korisnike
- [33] <http://www.apolostudios.com/features> (3.9.2022.)
- [34] <https://www.lufthansa-aviation-training.com/de/home> (6.9.2022.)
- [35] <https://www.medvisiongroup.com/leonardo.html> (7.9.2022.)
- [36] <https://www.trainingsimulators.co/firefighter-immersive-training> (6.9.2022.)

## Popis slika

Slika 1. Predmet izrađen kovačkim zavarivanjem [1] .....	1
Slika 2. Zavarivanje REL postupkom [5] .....	4
Slika 3. Zavarivanje TIG postupkom sa dodavanjem dodatnog materijala [7] .....	5
Slika 4. Izgled zavarenog spoja napravljen TIG postupkom [8] .....	6
Slika 5. Shematski prikaz opreme za MIG/MAG zavarivanje [9].....	7
Slika 6. Prijenos metala štrcajućim lukom [10] .....	8
Slika 7. Prijenos metala pulsirajućim lukom [10].....	9
Slika 8. Prijenos metala kratkim spojevima [10] .....	9
Slika 9. Prijenos metala mješovitim lukom [10].....	10
Slika 10. Zavarivanje MIG/MAG postupkom [10].....	11
Slika 11. Položaji zavarivanja prema normi HRN EN ISO 6947 [11] .....	12
Slika 12. Pukotina u zavarenom spoju [12] .....	13
Slika 13. Poroznost u zavarenom spoju [12] .....	14
Slika 13. Čvrsti uključak u zavarenom spoju [12].....	15
Slika 14. Naljepljivanje (desno) i nedovoljan provar (lijevo) [12].....	15
Slika 15. Mjerilo u obliku kapljice vode (lijevo), šablone za mjerenje visine kutnog zavara (sredina), HI- LO mjerna skala (desno) [13] .....	16
Slika 16. Pištolj s ekstraktorom (lijevo) [18], Maska s dobavom zraka (desno) [19].....	19
Slika 17. Vanjsko zavarivanje plinovoda [21] .....	20
Slika 18. Soldamatic gorionici za simulaciju [23] .....	22
Slika 19. Radni komadi Soldamatic simulatora za zavarivanje [23] .....	23
Slika 20. Soldamatic maska za zavarivanje [23].....	23
Slika 21. Programiranje robota pomoću Soldamatic simulatora za zavarivanje [24].....	24
Slika 22. Lincoln Electric VRTEX gorionici za simulaciju [25].....	24
Slika 23. Radni komadi Lincoln Electric VRTEX simulatora za zavarivanje [25] .....	25
Slika 24. Lincoln Electric VRTEX 360 Single User [25].....	26
Slika 25. Lincoln Electric VRTEX 360 Compact [26] .....	26
Slika 26. Lincoln Electric VRTEX Engage [27] .....	27
Slika 27. Fronius StandUp Terminal i MobileCase simulatori za zavarivanje [28] .....	28
Slika 28. Fronius Virtual Welding 2.0 radni komadi [28] .....	29
Slika 29. Fronius Virtual Welding 2.0 gorionici za simulaciju [28].....	29
Slika 30. Oprema SIMBOTT simulatora za zavarivanje [29] .....	31
Slika 31. Oprema guideWELD simulatora za zavarivanje [30].....	32
Slika 32. Oprema guideWELD LIVE alata za pomoć kod zavarivanja [31].....	33
Slika 33. Oprema WeldTrainer simulatora za zavarivanje [32] .....	34
Slika 34. Boeing 737 simulator leta [34] .....	35
Slika 35. MedVision Leonardo HF lutka [35] .....	36
Slika 36. Treniranje FLAIM trainer simulatorom [36] .....	37
Slika 37. Početna stranica Fronius Virtual Welding 2.0 programskog sučelja.....	38
Slika 38. Kartica „Otvoreni trening“ za REL postupak zavarivanja.....	39
Slika 39. Kartica „Otvoreni trening“ za TIG postupak zavarivanja .....	40
Slika 40. Kartica „Otvoreni trening“ za MIG/MAG postupak zavarivanja.....	40
Slika 41. Zadani parametri simulacije .....	41
Slika 42. Odabir simulacija.....	42

## **Popis tablica**

Tablica 1. Rezultati postignuti na simulatoru zavarivanja.....	44
--	----

## **Popis dijagrama**

Dijagram 1. Grafički prikaz rezultata testova na simulatoru zavarivanja.....45