

# Primjena simulatora zavarivanja za obuku zavarivača

---

Crnečki, Martin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:234677>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Martin Crnečki**

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Martin Crnečki

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Ivici Garašiću, asistentu dr. sc. Matiji Bušiću, djelatniku tvrtke Eurotehnika Saši Vurušiću i profesoru Učilišta Uljanik Željku Habeku na prikupljenim podacima. Također ovim putem se želim zahvaliti i roditeljima na pružanju mogućnosti bezbrižnog studiranja.

Martin Crnečki



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **MARTIN CRNEČKI** Mat. br.: 0035196178

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PRIMJENA SIMULATORA ZAVARIVANJA ZA OBUKU ZAVARIVAČA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **APPLICATION OF VIRTUAL WELDING SIMULATOR IN WELDER TRAINING**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu rada potrebno je prema dostupnoj literaturi analizirati primjenu simulatora za obuku zavarivača. Za komercijalno dostupne simulatore potrebno je opisati njihov način rada i mogućnosti s obzirom na postupke zavarivanja, položaje, materijale, oblike uzoraka i povratne informacije koje simulatori pružaju.

U praktičnom dijelu rada potrebno je analizirati mogućnosti virtualnog simulatora tvrtke Fronius. Analizirati opcije simulatora sa stanovišta postupaka i osnovnih materijala. Dati preporuke i osnovne specifikacije za proširenje opcija na primjenu MIG zavarivanja aluminija.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

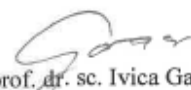
Zadatak zadan:  
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:  
1. rok: 23. veljače 2018.  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.  
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.  
2. rok (izvanredni): 2.7.  
2018.  
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

  
Izv. prof. dr. sc. Ivice Garašić

  
Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. PRIMJENA .....	2
2.1. Način rada.....	3
2.2. Načini obuke.....	4
2.3. Oprema .....	5
3. KOMERCIJANI SIMULATORI.....	6
3.1. Fronius Virtual Welding.....	6
3.1.1. Način rada .....	7
3.1.2. Oprema.....	9
3.1.2.1. Maska za zavarivanje .....	9
3.1.2.2. Radni komadi .....	10
3.1.2.3. Gorionici i držači elektroda.....	11
3.1.3. Dodatne mogućnosti.....	12
3.2. Vrtex 360.....	13
3.2.1. Oprema i mogućnosti .....	13
3.2.1.1. VR uređaj .....	13
3.2.1.2. Stalak.....	14
3.2.1.3. VR Maska .....	16
3.2.2. Način rada .....	16
3.3. Arc+ welding simulator.....	19
3.3.1. Način rada .....	19
3.3.2. Oprema .....	21
3.4. Soldamatic .....	22
3.4.1. Oprema .....	22
3.4.2. Način rada .....	24

3.4.3.	<i>Dodatne mogućnosti</i> .....	25
4.	MOGUĆNOSTI VIRTUALNOG SIMULATORA FRONIUS .....	26
4.1.	Glavni izbornik.....	26
4.1.1.	<i>Pregled glavnog izbornika</i> .....	26
4.1.2.	<i>Dostupni načini rada</i> .....	28
4.1.3.	<i>Kalibracija</i> .....	28
4.1.3.1.	Kalibriranje sustava .....	28
4.1.3.2.	Postavka kamere .....	29
4.1.3.3.	Praćenje hemisfere .....	30
4.1.4.	<i>Razno</i> .....	30
4.2.	Obuka u određenim načinima rada.....	31
4.2.1.	<i>Tečajni način rada</i> .....	31
4.2.2.	<i>Otvoreni način rada</i> .....	35
4.3.	Mogućnosti simulatora sa stanovišta postupaka zavarivanja .....	37
4.3.1.	<i>Postupci</i> .....	37
4.3.1.1.	REL .....	38
4.3.1.2.	TIG .....	39
4.3.2.	<i>Ostvarivanje položaja</i> .....	41
4.3.3.	<i>Dostupni materijali</i> .....	43
4.4.	Proširenje opcija na MIG zavarivanje aluminija .....	43
4.4.1.	<i>MIG zavarivanje aluminija</i> .....	43
4.4.1.1.	Karakteristike MIG zavarivanja.....	44
4.4.1.2.	Parametri .....	45
4.4.1.3.	Problematika zavarivanja aluminija.....	45
4.4.2.	<i>Dodavanje duha</i> .....	46
5.	ZAKLJUČAK .....	51
	LITERATURA.....	52
	PRILOZI.....	53

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Savladavanje tehnike pomoću "duha" [5] .....	4
Slika 2.	Prikaz učionice [5] .....	5
Slika 3.	Primjer stupnog (lijevo) i stolnog (desno) modela simulatora [5] .....	6
Slika 4.	Izbor vrste obuke [4] .....	7
Slika 5.	MIG/MAG simulacija [4] .....	8
Slika 6.	REL uspostavljanje luka [3] .....	8
Slika 7.	Prikaz postupka pri simulaciji [6] .....	9
Slika 8.	VR maska za zavarivanje [6] .....	10
Slika 9.	Primjeri radnih komada [6] .....	10
Slika 10.	MAG gorionik [6] .....	11
Slika 11.	REL držač elektrode [6] .....	11
Slika 12.	TIG gorionik [6] .....	11
Slika 13.	Vrtex 360 [7] .....	13
Slika 14.	Sučelje uređaja [7] .....	14
Slika 15.	Dijelovi stalka [7] .....	14
Slika 16.	Mogućnosti postavljanja stalka [7] .....	15
Slika 17.	Radni uzorci Vrtex simulatora [7] .....	15
Slika 18.	VR maska [7] .....	16
Slika 19.	Izbornik za odabir vrste zavara [7] .....	17
Slika 20.	Primjer virtualnog okruženja [7] .....	17
Slika 21.	Grafički prikaz [7] .....	18
Slika 22.	Primjer portalne (lijevo) i stolne (desno) izvedbe [9] .....	19
Slika 23.	Dijagnostika rezultata [9] .....	20
Slika 24.	Maska za zavarivanje simulatora Arc+ [10] .....	21
Slika 25.	Tipka za namještanje visine [10] .....	21
Slika 26.	Soldamatic simulator [12] .....	22
Slika 27.	AR maska [13] .....	22
Slika 28.	Gorionici za MIG/MAG (lijevo), REL (sredina), TIG (desno) [13] .....	23
Slika 29.	Radni komadi za Soldamatic [13] .....	23
Slika 30.	Vizualna pomagala Soldamatic gorionika [12] .....	24
Slika 31.	Dijagnostika Soldamatica [13] .....	25
Slika 32.	Unos koda .....	26
Slika 33.	Prikaz glavnog izbornika .....	27
Slika 34.	Dodatne postavke u glavnom izborniku .....	27
Slika 35.	Kalibracija sustava .....	29
Slika 36.	Postavke kamere .....	29
Slika 37.	Postavke hemisfere .....	30
Slika 38.	Licence i testovi .....	31
Slika 39.	Kreiranje novog korisnika .....	32
Slika 40.	Postavke novog treninga .....	33
Slika 41.	Tečajni način rada - glavni menu .....	33
Slika 42.	Trening .....	34
Slika 43.	Tablica poretka .....	35
Slika 44.	Otvoreni način rada .....	35
Slika 45.	Savladavanje vještina u Otvorenom načinu rada .....	36
Slika 46.	Testovi .....	36
Slika 47.	Priključci opreme [6] .....	37
Slika 48.	Postavke REL zavarivanja .....	38



Slika 49.	REL zavarivanje - obuka.....	39
Slika 50.	Postupak TIG zavarivanja.....	39
Slika 51.	TIG zavarivanje - obuka .....	40
Slika 52.	Gorionici sa podešavanjem parametara .....	41
Slika 53.	Radni stol [6].....	41
Slika 54.	Držać radnog dijela [6] .....	41
Slika 55.	Ostvarivanje položaja - primjer 1.....	42
Slika 56.	Ostvarivanje položaja - primjer 2.....	42
Slika 57.	Ostvarivanje položaja - primjer 3.....	43
Slika 58.	Kreiranje novog duha.....	46
Slika 59.	Postavke novog duha [6].....	47
Slika 60.	Definiranje broja koraka [6].....	47
Slika 61.	Odabir brzine zavarivanja [6].....	48
Slika 62.	Izrada referentnog zavara [6] .....	48
Slika 63.	Odabir početne točke idealnog osciliranja [6] .....	49
Slika 64.	Odabir krajnje točke idealnog osciliranja [6].....	49
Slika 65.	Slobodni kraj žice [6].....	50

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Utrošen materijal za obuku zavarivača [3].....	2
Tablica 2.	Utrošen materijal za obuku zavarivača korištenjem simulatora [3].....	2
Tablica 3.	Preporučeni parametri za zavarivanje aluminija [14].....	45

**POPIS OZNAKA**

VR	(eng. <i>Virtual reality</i> ) virtualna realnost (stvarnost)
LCD	(eng. <i>Liquid cristal display</i> ) zaslon temeljen na tehnologiji tekućih kristala
3D	trodimenzionalno
MIG/MAG	(eng. <i>Metal inert gas/Metal active gas</i> ) Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi inertnog/aktivnog plina
REL	ručno elektrolučno zavarivanje
TIG	(eng. <i>Tungsten inert gas</i> ) elektolučno zavarivanje volframovom elektrodom
AR	(eng. <i>Augmented reality</i> ) proširena stvarnost
LED	(eng. <i>Light emitting diode</i> ) svijetleća dioda
CO <sub>2</sub>	Ugljikov - dioksid
O <sub>2</sub>	Kisik
S235JR	Vrsta konstrukcijskog čelika, vlačne čvrstoće između 340-470 N/mm <sup>2</sup> , granice razvlačenja 235 N/mm <sup>2</sup>

## **SAŽETAK**

Ovaj završni rad bavi se uporabom simulatora virtualne stvarnosti za obuku zavarivača. Podijeljen je u dva dijela, teorijski i praktični. U teorijskom dijelu navedene su karakteristike virtualnog simulatora zajedno s opisom njegove primjene. Razrađen je način rada najčešće korištenih komercijalnih simulatora i njihove mogućnosti. U praktičnom dijelu detaljno su analizirane mogućnosti virtualnog simulatora tvrtke Fronius te su dane preporuke i osnovne specifikacije za proširenje primjene na MIG zavarivanje aluminija.

Ključne riječi: simulator, korisnik, virtualna stvarnost, zavarivanje

## **SUMMARY**

This final work deals with application of virtual welding simulator in welder training. It consists of two parts, theoretical and experimental. In the theoretical part the characteristics of virtual simulator and its application will be explained briefly. Also the most popular commercial simulators will be analyzed. In experimental part, Fronius virtual simulator will be elaborated in detail. At the end recommendations and basic specifications for expanding simulator usage on MIG welding of aluminium are given.

Key words: simulator, user, virtual reality, welding

## 1. UVOD

Danas se zavarivačka industrija susreće s različitim problemima kao što su nedostatak iskusnih zavarivača, predugi klasični treninzi, visoki troškovi osnovnog, dodatnog materijala te mnogi drugi. Činjenica da dobar i pouzdan zavarivač i pri slaboj vidljivosti mora znati iskoristiti informacije iz taline, imati nadzor nad brzinom i smjerom zavarivanja, nagibom elektode i njenim odmakom od radnog dijela, odnosno napraviti kvalitetan zavar. Zavarivačke pogreške (popravak ili škart) predstavljaju gubitak i vremena, stoga su kvalitetni zavarivači traženi u industriji. Proces obrazovanje je zahtjevan, kako za kandidata, tako i za instruktora. Zbog ovog problema pojavila se potreba za uvođenjem nove tehnologije, koja bi poboljšala i ubrzala proces obrazovanja, smanjila troškove i omogućila instruktorima veću fleksibilnost i bolju kontrolu procesa obuke novih zavarivača [1].

Činjenica je da nove tehnologije ulaze u sve pore našeg života i olakšavaju nam djelovanje na svakom koraku. Jedan od pojmova koji je spada u tu novu tehnologiju je i virtualna stvarnost. Na početku je bila razvijena za igrače konzole, da bi kasnije NASA prisvojila virtualnu stvarnost i potaknula daljnji razvoj. Tako su svima poznati simulatori za obuku pilota i kirurga, za uvježbavanje teških i zahtjevnih zadataka. Bržim razvojem tehnologije i drastičnim padom cijena simulatora, mogućnost upotrebe istih proširila se i na druga područja. Tako smo danas svjedoci pojave simulatora za obuku zavarivača. Cilj simulatora bio je jednostavan, prikazati postupak zavarivanja na što realniji način, na kojem bi mladi i neiskusni zavarivači mogli izvježbati svoje stečeno znanje. Uz to trebali bi biti jednostavni za korištenje i trenutno prikazati dobivene rezultate [2].

U zadnjih nekoliko godina bilježe se velika poboljšanja u napretku virtualnih simulatora, u njihovom razvoju i postizanju što realnijeg doživljaja zavarivanja, ali i dalje postoje problemi koji moraju biti riješeni i funkcije koje moraju biti dodane za još realniji prikaz.

## 2. PRIMJENA

Istraživanja su pokazala da u svijetu postoji manjak iskusnih zavarivača te da će potražnja kroz sljedećih par godina biti još izraženija. Tvrtke u postupku selekcije kandidata za zapošljavanje zavarivača ne testiraju kandidate zbog visokih troškova i nedostatka vremena za testiranje. Iskustvo pokazuje da je potrebno više od 100 sati praktičnog rada kako bi zavarivač uopće počeo dolaziti do nekakvih upotrebljivih rezultata. Za vrijeme tog učenja zavarivač će potrošiti znatnu količinu ploča, žica/elektroda, zaštitnog plina, energije, a kad tome dodamo još negativne uvjete rada koje donosi zavarivanje (dimovi, zračenja) te nadzor neke kvalificirane osobe, dobivamo velike troškove i puno utrošenog vremena za obuku samo jednog radnika [3].

Prosječni utršak osnovnog i dodatnog materijala, zaštitnog plina, električne energije za obuku jednog zavarivača prikazan je u donjoj tablici 1.

**Tablica 1. Utrošen materijal za obuku zavarivača [3]**

Potrebe	Iznos
Osnovni materijal (razne ploče)	1800 kg
Žica za zavarivanje	190 kg
Zaštitni plin	270 kg
Električna energija	1100 kWh

Korištenjem simulatora za obuku manji je utrošak materijala, odnosno postiže se veća ekonomičnost [3].

Tablica 2. pokazuje utrošen materijal u obuci zavarivača korištenjem simulatora.

**Tablica 2. Utrošen materijal za obuku zavarivača korištenjem simulatora [3]**

Potrebe	Iznos
Osnovni materijal	450 kg
Žica za zavarivanje	47,5 kg
Zaštitni plin	67,5 kg
Električna energija	275 kWh

Usporedbom tablica 1. i 2. može se vidjeti značajna ušteda materijala u obuci korištenjem simulatora.

## 2.1. Način rada

Simulatori su visokotehnološki uređaji zasnovani na računalnoj tehnologiji, koji obrađuju informacije na način da zavarivač „vidi“ svoj rad u virtualnom prostoru. Princip se temelji na magnetskom sustavu praćenja koji prevodi svaki pokret zavarivačke ruke u virtualnu okolinu. Ispod radnog dijela, generator stvara sferno magnetsko polje, dok senzori otkrivaju položaj gorionika. Digitalizirani signal omogućuje računalnom programu prikaz okruženja na zaslonu. Na maski zavarivača imamo dodatni senzor koji korisniku daje realan prikaz okoline [3].

Nakon pokretanja simulatora, postoje određene postavke nužne za određivanje. Postupak zavarivanja, vrsta zavara, položaj, određivanje parametara zavarivanja samo su neke od mogućnosti.

Koraci u obuci:

1. Prikaz vježbe na simulatoru
2. Zavarivač pokušava ponoviti postupak, pri čemu se mjeri njegova uspješnost
3. Simulator izbacuje rezultate
4. Zavarivač ponavlja vježbu dokle god želi
5. Nakon postizanja određenih vještina prelazi se na pravo zavarivanje [3]

Prednosti simulatora:

- Mogućnost uporabe u učionicama i kabinama za zavarivanje, jednostavno se sklapaju, stavljaju i transportiraju
- Manje potrebnih radnih sati instruktora
- Manji troškovi (ušteda na materijalu, plinu, elektrodama)
- Nema onečišćenja prostora s dimom, prskanjem metala i zračenjem
- Manje popravaka i servisiranja uređaja [4]

Velika prednost u korištenju virtualnog simulatora za zavarivanje je mogućnost umrežavanja. Prije svakog treninga, korisnik izrađuje vlastiti profil te nakon odrađene vježbe ima mogućnost spremanja dobivenog rezultata (video snimka). Takva mogućnost



jedna je od važnijih karakteristika u obuci budućih zavarivača, jer omogućava detaljnu analizu postupka zavarivanja zajedno s instruktorom. Bitno je naglasiti da su, pomoću mogućnosti umrežavanja, rezultati dostupni na bilo kojem drugom simulatoru (iste marke), a instruktor može pogledati korisnikov rezultat iz druge prostorije, tvrtke ili države [2].

## 2.2. Načini obuke

Postoje dva dijela obuke:

- Trening
- Simulacija



Slika 1. Savladavanje tehnike pomoću "duha" [5]

Za savladavanje osnova tehnika zavarivanja u treningu koristi se virtualni instruktor (duh). Daje mogućnost ispravnog usvajanja postupka, koristeći vizualne i auditivne efekte. Sastoji od više faze uvježbavanja, ovisno o simulatoru, ali najčešće savladavanje brzine zavarivanja, odmaka elektrode od radnog dijela te kuta nagiba elektrode. Trening traje sve dok korisnik ne razvije motoriku, odnosno izvježba sve faze.

Nakon postizanja dobrih rezultata u prethodnom dijelu, prelazi se na obuku simulacijom. Naglasak se stavlja na učenje formiranja zavara i postavljanje parametara zavarivanja, a nakon toga slijedi analiza rezultata. Ova faza obuke odvija se bez prisutnosti duha i predstavlja realnu sliku zavarivanja uz prateće efekte. Na kraju simuliranja dobiva se objektivna i transparentna procjenu rezultata, odnosno brojčani podatak koji je najbolji pokazatelj kvalitete obavljenog posla. Isto tako po završetku se generira ljestvica poretka, koja motivira polaznike i potiče rad [4].

### 2.3. Oprema

Pod opremu spadaju VR uređaj, LCD zaslon i VR maska za zavarivanje, stalci (ako postoji za tu vrstu simulatora), modeli vrsta zavara, dodaci za postizanje različitih položaja zavarivanja, posebni gorionici ovisno o postupku zavarivanja.

Kod opreme je važno da bude što je moguće lakša te da se brzo i lagano sklapa. Jedna od karakteristika virtualnog simulatora je da se može postaviti bilo gdje u zatvorenom prostoru, tako da zapravo svaka prostorija može predstavljati učionicu, a po potrebi se može brzo sklopiti i premijestiti na drugu lokaciju.



Slika 2. Prikaz učionice [5]

### 3. KOMERCIJANI SIMULATORI

Od kako se svijet upoznao s VR tehnologijom i njezinom primjenom na područje zavarivanja, došlo je do razvoja više modela simulatora, a obrađeni su neki od najpoznatijih.

Najpoznatiji komercijalni simulatori:

- Fronius Virtual Welding
- VRTEX 360
- Soldamatic
- CS Wave
- Arc+ Welding Simulator

#### 3.1. Fronius Virtual Welding

Jedan od najpopularnijih virtualnih simulatora za zavarivanje, razvijen od istoimene austrijske firme, predstavlja najmlađi model virtualnog simulatora [4].



Slika 3. Primjer stupnog (lijevo) i stolnog (desno) modela simulatora [5]

### 3.1.1. Način rada

Nakon pokretanja simulatora i odabira opcije „Otvoreni trening“ u glavnom izborniku, otvara se prozor za postavljanje postupka virtualnog zavarivanja. Nakon određivanja postupka zavarivanja, vrste zavara i drugih opcija, potrebno je odrediti izbor vrste obuke.



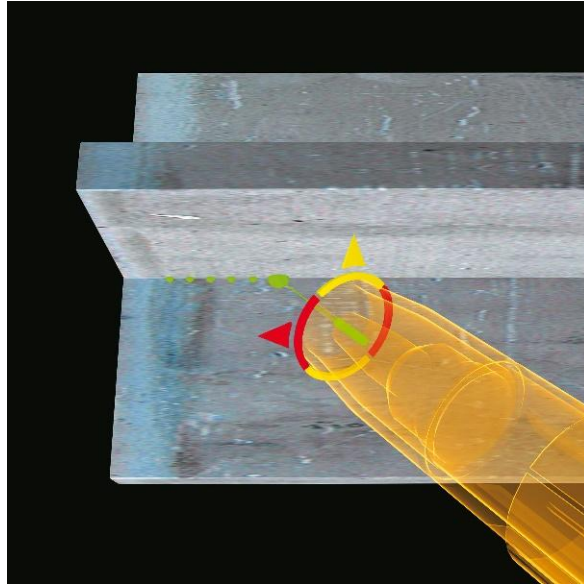
Slika 4. Izbor vrste obuke [4]

Kao što je navedeno u točki 2.2., postoje dva dijela obuke. Prve tri opcije označavaju „Trening“ te njegovim odabirom aktivira se pomoć virtualnog instruktora. Ovisno o postupku zavarivanja, izvježbavaju se određene vještine.

Dostupni postupci zavarivanja su:

- MIG/MAG
- REL
- TIG

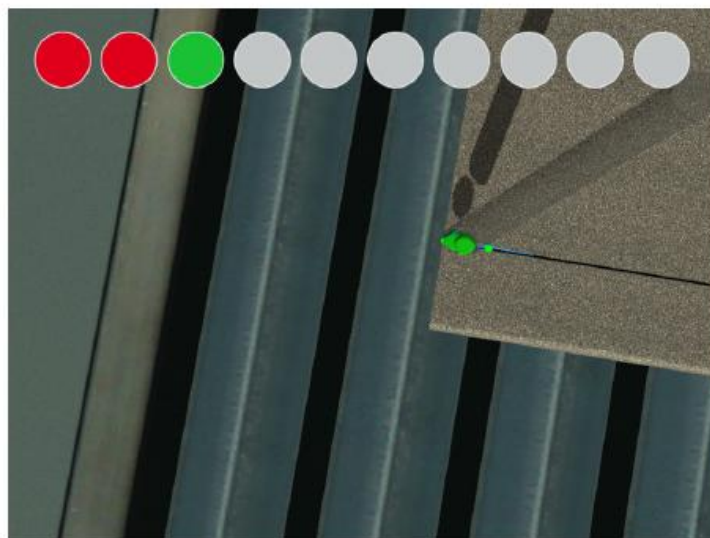
MIG/MAG postupak zavarivanja predstavlja jedan od najčešće korištenih postupaka zavarivanja. Trening omogućuje uzvježbavanje tri vještine i to: najprije brzinu zavarivanja nakon čega se uz brzinu uvodi udaljenost elektrode od predmeta rada te na kraju korisnik savladava i nagib gorionika zajedno s predhodne dvije savladane vještine.



Slika 5. MIG/MAG simulacija [4]

Povratne informacije dobivaju se preko vizualnih i auditivnih efekata. Zelena boja označava idealno vođenje, žuta srednje, a crvena nezadovoljavajuće.

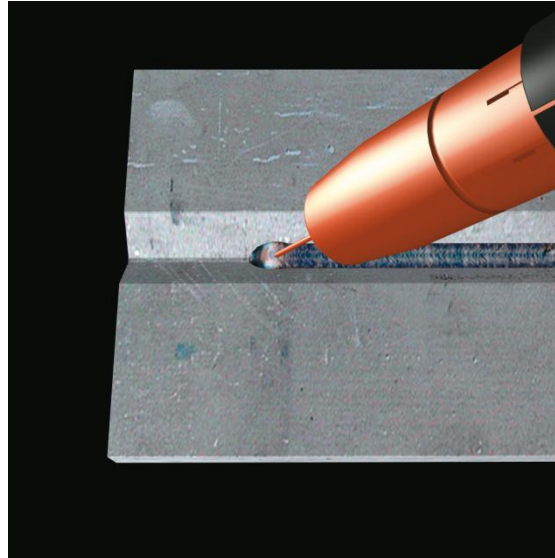
REL postupakom zavarivanja korisnik savladava paljenje elektrode, te brzinu zavarivanja, duljinu električnog luka i kut nagiba držača elektrode.



Slika 6. REL uspostavljanje luka [3]

Sve veća primjena virtualnog zavarivanja i razvoj tehnologije, doveli je do dodavanja TIG postupka zavarivanja. Trening se sastoji od savladavanja vještina vođenja gorionika i vođenja gorionika s dodatnim materijalom.

Nakon uspješnog savladavanja treninga, prelazi se na „Simulacija“, opcija koja predstavlja realan prikaz postupka zavarivanja bez pomoći virtualnog instruktora [4].



Slika 7. Prikaz postupka pri simulaciji [6]

Simulacija sadrži dva moguća načina obuke, simulacija zavarivanja s fiksno zadanim parametrima i simulacija s promjenjivim parametrima. S fiksno zadanim parametrima, simulator daje mogućnost rada s idealno postavljenim parametrima, za razliku od simulacije s promjenjivim parametrima gdje korisnik ima mogućnost samostalnog podešavanja.

### 3.1.2. Oprema

#### 3.1.2.1. Maska za zavarivanje

Sadrži integrirane 3D naočale i optički prozorčići za izoštravanje slike. Ima opciju podešavanja veličine, ovisno o korisniku [6].



Slika 8. VR maska za zavarivanje [6]

### 3.1.2.2. Radni komadi

Virtualni simulator nudi opcije zavarivanja kutno, sučeljeno i zavarivanje cijevi, shodno tome postoje i radni komadi koji nam omogućavaju takve vrste zavarivanja [6].



Slika 9. Primjeri radnih komada [6]

Različitim kombinacijama postavljanja radnog stola i držača radnih komada, dobiva se mogućnost ostvarivanja različitih zavarivačkih pozicija. Korisniku na raspolaganju stoji odabir pozicija: PA, PB, PC, PD, PF, PE, PH, PJ.

### 3.1.2.3. Gorionici i držači elektroda

Pošto imamo tri različita postupka zavarivanja, imamo i isto toliko gorionika/držača elektrode. Na donjim slikama prikazani su primjeri.



Slika 10. MAG gorionik [6]



Slika 11. REL držač elektrode [6]



Slika 12. TIG gorionik [6]



### **3.1.3. Dodatne mogućnosti**

- Kurikulum i tečajevi
- Pojmovnik zavarivanja

Opcija kurikulum i tečajevi omogućavaju treneru da upravlja edukacijom prema ciljanjoj skupini. Istruktor kreira određenu vrstu treninga za svakog korisnika, a ukoliko korisnik napreduje, može odrediti zahtjevniji trening, ovisno o potrebama i mogućnostima [4].

Pojmovnik zavarivanja daje osnovne informacije o temama zavarivanja, prima informacije o trenutnom sadržaju osposobljavanja i zadacima obuke [4].

### 3.2. Vrtex 360

Ovaj virtualni simulator zavarivanja, proizveden od američke tvrtke „Lincoln Electric“, dizajnom podsjeća na standardni uređaj za zavarivanje. Korisnik ima mogućnost korištenja dva postupka zavarivanja te mogućnost uporabe praškom punjenje žice. Simulator karakterizira dobra grafika i mogućnost podešavanja visine, što nije bio slučaj kod simulatora tvrtke Fronius. Uz sve te prednosti dolaze i nedostaci, u pogledu visoke cijene, prilično kompliciranog načina korištenja i velike mase, koja predstavlja problem u transportu simulatora [4].



Slika 13. Vrtex 360 [7]

#### 3.2.1. Oprema i mogućnosti

Postoje tri primarne komponente simulatora:

- VR uređaj
- Stalak
- VR maska

##### 3.2.1.1. VR uređaj

VR uređaj služi za podešavanje parametara zavarivanja, određivanje napona i polariteta. U sklopu uređaja nalazi se i zaslon na dodir [8].



Slika 14. Sučelje uređaja [7]

### 3.2.1.2. Stalak



Slika 15. Dijelovi stalka [7]

Stalak je konstruiran prema primjeru kabine iz škole zavarivanja Lincoln Electrica. Velika fleksibilnost stalka korisniku omogućava korištenje četiri pozicije postavljanja uzoraka:

- Vertikalna
- Horizontalna
- Položena
- Nadglavna [8]

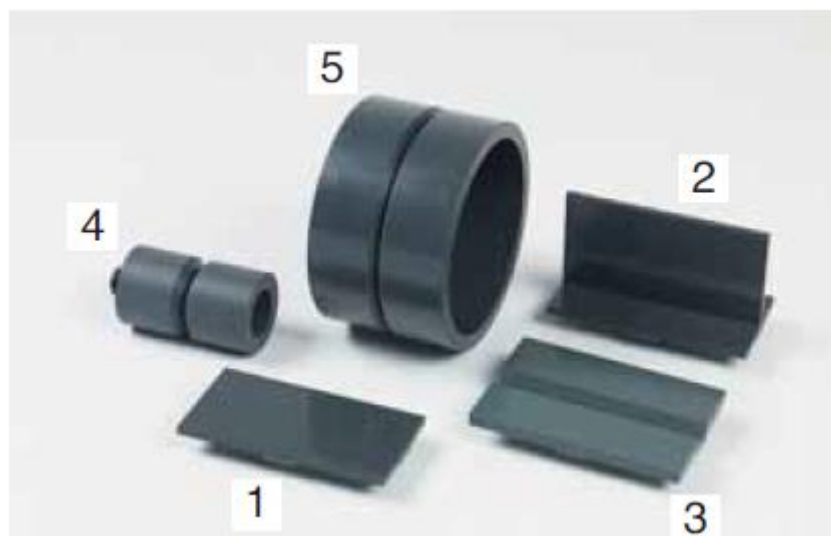
Cijevi mogu biti u 2G, 5G ili 6G poziciji.



Slika 16. Mogućnosti postavljanja stalka [7]

Vrtex 360 nudi mogućnost odabira pet različitih uzoraka za simuliranje zavarivanja:

1. Ravna ploča
2. T-spoj
3. Sučeljeni spoj
4. Cijev promjera 2'' (5,08 cm)
5. Cijev promjera 6'' (15,24 cm) [8]



Slika 17. Radni uzorci Vrtex simulatora [7]

Pokretna ruka ima opciju podešavanja u tri pozicije kako bi se olakšalo korištenje i lijevacima i dešnjacima.

### 3.2.1.3. VR Maska

Kao što VR uređaj sliči pravom zavarivačkom aparatu, tako se proizvođač potrudio i kod konstruiranja maske. U masci su ukomponirane naočale, dok audio efekte pružaju zvučnici smješteni na bočnim stranama maske [7].



Slika 18. VR maska [7]

### 3.2.2. Način rada

Nakon paljenja uređaja, korisnici unose svoje korisničko ime, u svrhu praćenja rezultata pojedinca. Slijedi odabir vrste zavara, pozicije u kojoj ćemo vršiti simulaciju i debljina materijala [8].



Slika 19. Izbornik za odabir vrste zavara [7]

Odabirom gore navedenih mogućnosti, slijedi odabir postupka zavarivanja:

- MIG
- REL
- EPP

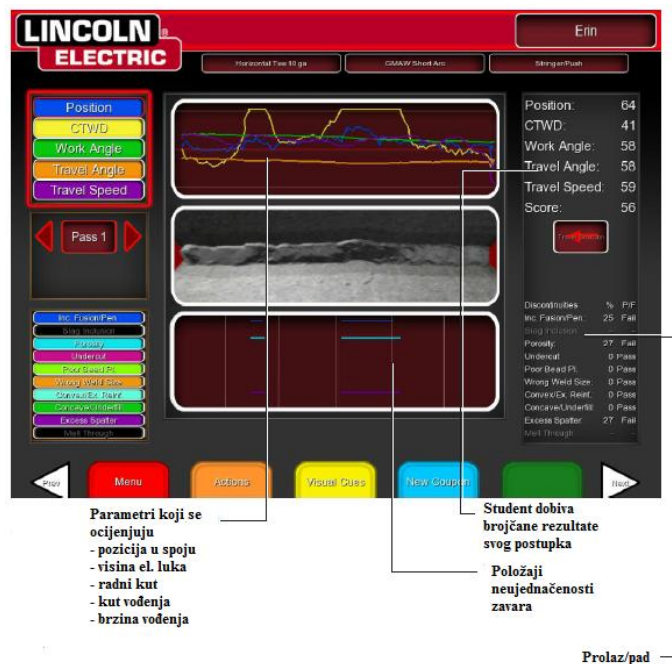
Mogućnost postavljanja virtualne okoline dodatna je karakteristika koja korisniku pomaže u stvaranju potpunog doživljaja. Vrtex 360 ima mogućnost odabira čak tri moguća okruženja. Slijedi odabir zaštitnog plina i brzina njegovog protoka. Kod odabira parametara postavlja se brzinu dobave žice i napon, a zadnje što se određuje je polaritet. Na kraju određivanja postavki postoji mogućnost sveukupne provjere, nakon koje je moguće krenuti sa zavarivanjem [8].



Slika 20. Primjer virtualnog okruženja [7]

Za vrijeme zavarivanja instruktor može birati 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 ocijenjuje 5 parametara zavarivanja [8]



Slika 21. Grafički prikaz [7]

### 3.3. Arc+ welding simulator

Jedan od najnaprednijih sistema simulacije na području zavarivanja razvijen 2006. godine. Proizvođač je kanadska firma *123 Certification* iz Montreala koja se bavi obukom i certifikacijom zavarivača. Sistem je mobilan, višejezičan i omogućava veoma realističnu simulaciju zavarivanja, ali skup i kompliciran za korištenje [4].



Slika 22. Primjer portalne (lijevo) i stolne (desno) izvedbe [9]

#### 3.3.1. Način rada

Nakon paljenja uređaja, na ekranu se prikazuje početni izbornik u kojem postoji opcija biranja tri smjera:

- Trening
- Video snimka
- Testovi (teorija) [9]

Slijedi odabir materijala, korisnik bira između nehrđajućeg čelika, aluminija i ugljičnog čelika [9].

Mogućnost izbora oblika radnih komada nije velika kao kod simulatora pod točkama 3.1. i 3.2. Možemo birati između:

- T-spoj
- Sučeljeni V-zavar



Postoji četiri pozicije postavljanja radnog komada:

- PA
- PF
- PE
- PB [9]

Simulator ocijenjuje šest vještina:

- Nagibni kut
- Brzina gibanja
- Radni kut
- Držanje pravca
- Dužina vrha žice [9]

Sustav ima sposobnost simulacije pora, neprovarenosti, ljepljenje, uključaka. Pri završetku zavarivanja postoji opcija dijagnostike s transparentnim i objektivnim uvidom u analizu postupka i mogućnost direktnog ispisa rezultata [10].



Slika 23. Dijagnostika rezultata [9]

Prilikom svakog korištenja simulatora odabire se jedan od tri nivoa težine:

- Početnički
- Srednji
- Napredni [10]

### 3.3.2. Oprema

Vizualizacija se ostvaruje preko 3D naočala, koje se nalaze u masci. Sustav prati kretanje preko specijalnih senzora, sličnim onima koji se koriste u kirurškim simulatorima.



Slika 24. Maska za zavarivanje simulatora Arc+ [10]

Cijela konstrukcija na kojoj se nalazi simulator ima opciju namještanja visine, što omogućava korisniku optimalnu poziciju rada.



Slika 25. Tipka za namještanje visine [10]

Važan nedostatak ovog simulatora je što korisnik nema osjećaj dodira s radnim komadom, a razlog tome je što se ne koriste dodatni modeli kao u predhodna dva primjera [4].

### 3.4. Soldamatic

Ovaj simulator razvijen od strane španjolske tvrtke „Seabery“. Soldamatic je prvi uređaj za obuku zavarivača koji koristi tehnologiju proširene stvarnosti (AR). Proširena stvarnost dodaje elemente virtualnog okruženja u stvarni svijet tako da izgledaju kao dio stvarnog svijeta [11]. Iako koristi drugačiju tehnologiju, Soldamatic se može primjeniti u svrhu obuke zavarivača.



Slika 26. Soldamatic simulator [12]

#### 3.4.1. Oprema

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

Maska sadrži dvije visoko rezolutne mikro kamere i 5'' (12,7 cm) zaslon koji omogućava realan prikaz. LED svjetla s vlastitim izvorom napajanja nalaze se na prednjem dijelu maske. Služe za održavanje stabilnih svjetlosnih uvjeta, što je nužno za ispravno funkcioniranje. Unutar maske su integrirani i zvučnici za realniji doživljaj [12].



Slika 27. AR maska [13]

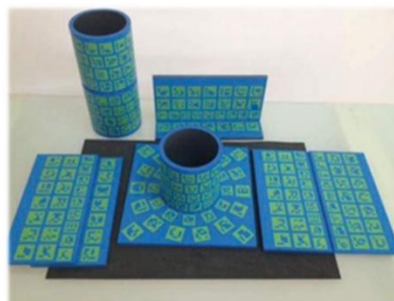
Soldamatic nudi tri različita gorionika, za REL, MIG/MAG i TIG postupak. Glavna karakteristika im je što su rađeni prema primjeru pravih gorionika, odnosno držača elektroda (za REL). Vodilo se pažnje oko težine, oblika i veličine. MIG/MAG postupak omogućuje korištenje dvotaktnog i četverotaktnog gorionika. Kod dvotaktnog gorionika ne smije se pustiti tipka paljenja, tj. kroz čitav postupak potrebno je držati tipku, a za prekid rada potrebno je pustiti tipku. Kod četverotaktnog nije potrebno držanje, već korisnik jednom pritisne za početak i jednom za kraj [12].



Slika 28. Gorionici za MIG/MAG (lijevo), REL (sredina), TIG (desno) [13]

U sklopu simulatora dobiva se i pet primjera radnih komada:

- Spoj cijev-cijev
- Spoj cijev-ploča
- Preklopni spoj
- T-spoj
- Sučeonni spoj [12]



Slika 29. Radni komadi za Soldamatic [13]

### 3.4.2. Način rada

Pri paljenju sustava otvara se početni izbornik te korisnik bira opciju „Open demo“ za pokretanje obuke. Slijedi odabir postupka zavarivanja, gdje se bira između tri ponuđena, kao što je navedeno u predhodnoj točki. Simulator nudi tri moguće vrste materijala: ugljični čelik, nehrđajući čelik i aluminij, dok debljina može biti 3, 6 ili 10 mm [12].

Pozicije zavarivanja:

- PA
- PB
- PF
- PD

Koliko je opsežan Soldamatic simulator pokazuju i mogućnosti biranja vrste i promjera dodatnog materijala, vrste zaštitnog plina, broj prolaza, postavljanje napona i brzina dobave žice.

Vrste zaštitnih plinova su:

- CO<sub>2</sub>
- Argon + CO<sub>2</sub>
- Argon + O<sub>2</sub> [12]

Nakon odabira svih postavki, simulator nudi sveukupni pregled odabranih parametara, a ukoliko se nešto ne poklapa, simulator neće pokrenuti vježu [12]. Na donjoj slici vidimo gorionik s vizualnim pomagalicama u vidu držanja brzine, nagiba gorionika i udaljenosti elektrode.



Slika 30. Vizualna pomagala Soldamatic gorionika [12]

### 3.4.3. Dodatne mogućnosti

Korisnik i instruktor mogu pogledati video snimku postupka i prokomentirati dobivene rezultate. Vještine i parametri koji se mogu pratiti su:

- Udaljenost elektrode
- Brzinu
- Nagibni kut
- Radni kut
- Držanje pravca [13]

Pokretanjem snimke, u gornjoj polovici ekrana iscrtavaju se krivulje koje označavaju da li je postupak unutar zadanih tolerancija prihvatljivosti. Svaka krivulja označava jedan parametar ocijenjivanja, a instruktor može ukloniti određene parametre ovisno o vještinama korisnika. U donjoj polovici ekrana prikazuju se tipične greške u zavarivanju [12].



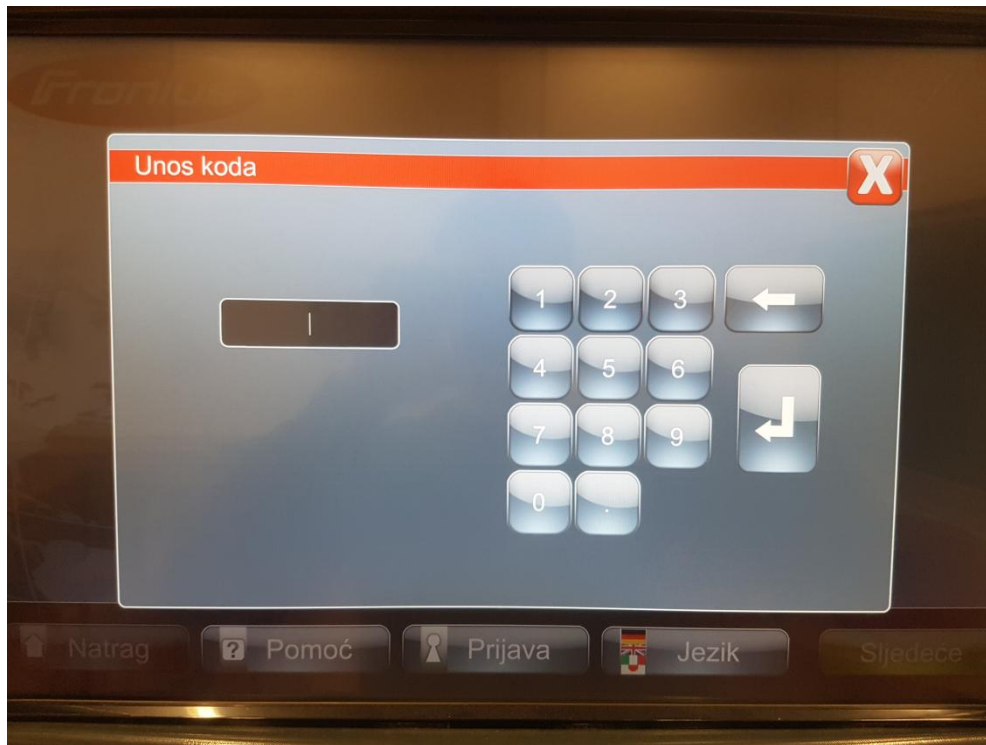
Slika 31. Dijagnostika Soldamatica [13]

Tvrtka Seabery razvila je internetsku platformu E-Soldamatic, koja služi kao prvi korak u korisnikovom učenju. Služi za pristup zavarivačkog sadržaja i multimedije, te dopušta instruktoru da sinkronizira trening program, koji omogućava korisniku pokretanje treninga sa bilo kojeg Soldamatic simulatora spojenog na internet.

Za pristup platformi potrebno je ulogirati se na službenoj stranici [12].

## 4. MOGUĆNOSTI VIRTUALNOG SIMULATORA FRONIUS

Nakon pokretanja simulatora, u gornjem lijevom kutu nalazi se logo tvrtke Fronius. Pritiskom na krajnji lijevi i desni dio loga, naizmjenično tri puta, otvara se prozor za unos koda. Unošenjem koda "1234", otvara se glavni izbornik.



Slika 32. Unos koda

### 4.1. Glavni izbornik

#### 4.1.1. Pregled glavnog izbornika

Glavni izbornik podijeljen je na:

- Kurikulum
- Tečajevi
- Duh
- Terminali
- Dodatne postavke



Slika 33. Prikaz glavnog izbornika

Opcija „Dodatne postavke“ podijeljena je na:

- Postavke/Dostupni načini rada
- Kalibracija
- Razno



Slika 34. Dodatne postavke u glavnom izborniku



#### **4.1.2. Dostupni načini rada**

Odabir načina rada vrši se: „Glavni izbornik“, „Dodatne postavke“, „Postavke“.

Froniusov simulator nudi mogućnost odabira tri načina rada:

- Tečajni način rada
- Izložbeni način rada
- Otvoreni način rada

Tečajni način rada ujedno predstavlja i glavni način rada sustava virtualnog zavarivanja. U ovom načinu instruktor može postaviti unaprijed definirane treninge i time korisnicima omogućiti ciljano usmjeren trening uz pomoć didaktičko pripremljenih vježbi. Tečajni način sadrži i tablice poretka svih dostupnih tečajeva i treninga, koje omogućavaju uspoređivanje pojedinačnih rezultata.

Izložbeni način rada služi za jednostavnu demonstraciju virtualnog sustava bez nadzora. Ima dvije glavne funkcije, „Probati sada“ i „Trening“. Prva funkcija vodi korisnika kroz sve vježbe na virtualnom sustavu. Za početak se savladava brzina zavarivanja, brzina vođenja električnog luka i kao zadnje pravilan kut nagiba gorionika. Pomoću funkcije „Trening“, korisnik odraduje svoje prve vježbe na sustavu virtualnog zavarivanja.

U otvorenom načinu rada svi parametri rada mogu se slobodno podesiti, a vježbe se mogu samostalno odabrati, odraditi i demonstrirati.

#### **4.1.3. Kalibracija**

Pokreće se preko: „Glavni izbornik“, „Dodatne postavke“

##### **4.1.3.1. Kalibriranje sustava**

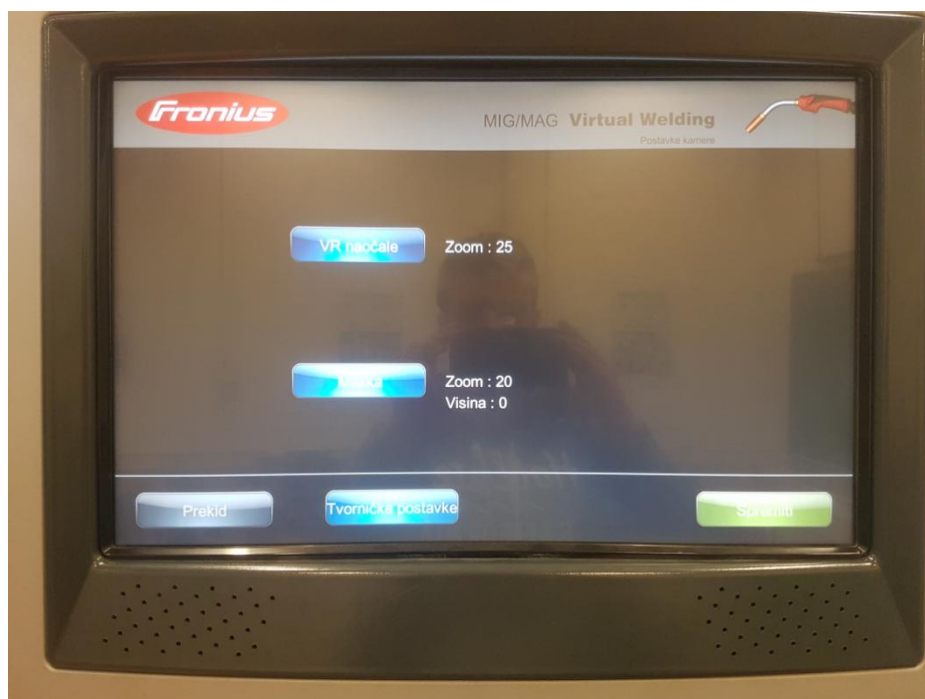
Kalibracijom sustava možemo ponovno podesiti senzore virtualnog simulatora. Nakon pritiska na tipku „Start“, slijedi odabir postupka kojim kalibriramo sustav. Kalibracija se vrši prislanjanjem vrha gorionika/držača elektrode na utor radnog primjerka V-šava. Nakon prislanjanja gorionika na jedan kraj radnog primjerka, ponavljamo postupak s drugim krajem, a zadnji korak je prislanjanje gorionika okomito na radni komad tako da vrh gorionika dodiruje najnižu točku V-šava.



Slika 35. Kalibracija sustava

#### 4.1.3.2. Postavka kamere

Kamera se dodešava za dva dijela. Jedan dio čine VR naočale, za koje je potrebno podesiti zum. Drugi dio čini VR maska i postoji mogućnost podešavanja zuma i visine. Podešavanje se vrši klizačem koji se nalazi na ekranu.



Slika 36. Postavke kamere

#### 4.1.3.3. Praćenje hemisfere

Praćenje hemisfere koristi se za uspostavljanje ispravne orijentacije za prepoznavanje pozicije. Na radnom dijelu postoji magnet sa sjevernim i južnim polom. Gorionik ili električni držač, ovisno o postupku, te VR maska sadrže pozicijske senzore preko kojih se orijentiraju koristeći magnete u radnom dijelu. Za kalibraciju hemisfere potrebno je postaviti masku i gorionik iznad radnog dijela. Ovo omogućuje sustavu da spozna koje magnetsko polje je dodijeljeno području iznad radnog dijela i sprječava formiranje zrcalne slike. Postupak praćenja hemisfere pojavljuje se nakon svakog ponovnog pokretanja sustava.



Slika 37. Postavke hemisfere

#### 4.1.4. Razno

Opcija „Razno“ nudi pregled licenci koje posjeduje simulator. Uz licence postoji mogućnost aktivacije i deaktivacije dostupnih testova, kao i dodavanja i izmjene u testovima.

Dostupne licence korištenog simulatora:

- Fronius baza
- MAG postupak zavarivanja
- REL zavarivanje
- TIG postupak zavarivanja



Slika 38. Licence i testovi

## 4.2. Obuka u određenim načinima rada

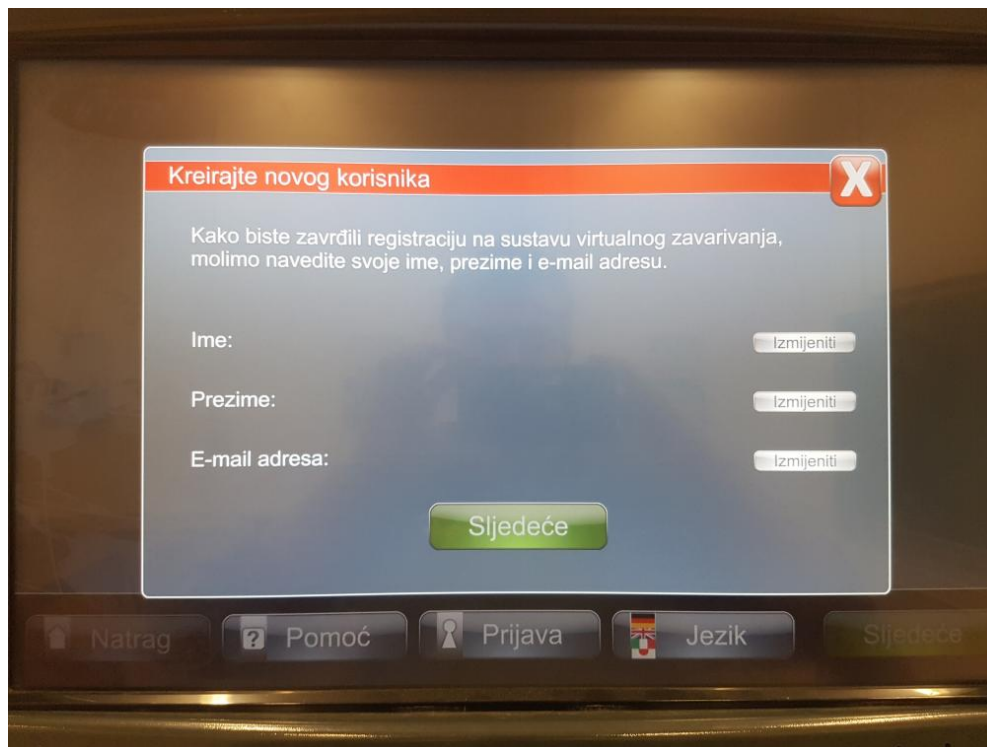
Sva tri načina rada obrađena su korištenjem MIG/MAG postupka.

### 4.2.1. Tečajni način rada

Tečajevi s različitim nivoima težine mogu biti lagano sastavljeni i prilagođeni individualnim potrebama korisnika. Rezultati su transparentni i mogu se uspoređivati među korisnicima. Za korištenje ovog načina rada potrebno je kreirati profil.

Profil kreniramo na sljedeći način:

1. Odabir opcije „Prijava“
2. Unos korisničkog imena i lozinke
3. Potvrđivanje
4. Unos imena, prezimena i e-mail adrese
5. Potvrđivanje



**Slika 39. Kreiranje novog korisnika**

Nakon izrade profila, korisnik ulazi u glavni izbornik i odabirom opcije „Terminali“, kreira željeni trening.

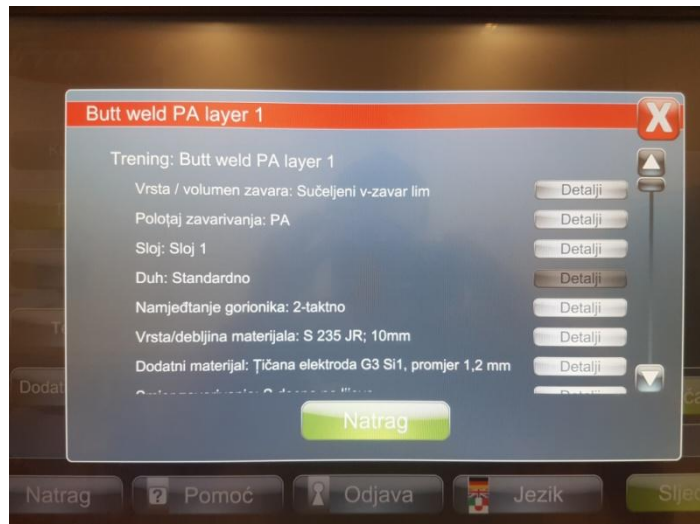
Postoji mogućnost odabira tri nivoa težine treninga:

- Osnovni
- Napredni
- Stručnjak

Slijedi odabir vrste zavara, pozicije zavarivanja i broj slojeva:

- Kutni zavar, pozicije PB, jedan sloj
- Sučeoni zavar, PA pozicije, jedan sloj
- Sučeoni zavar, PA pozicije, tri sloja
- V-šav, PA pozicija, dva sloja

Odabirom jedne od četiri gore navedene mogućnosti, formira se trening.



Slika 40. Postavke novog treninga

Pritiskom na „Natrag“, vraća se na opciju „Terminali“, gdje postoji mogućnost analize postavki novog treninga te mogućnost izmjene. Odabirom opcije „Tečajevi“, koja se isto nalazi u glavnom izborniku, otvara se prozor na kojem se aktivira trening. Isto tako potrebno je i aktivirati tečajni način rada u dodatnim postavkama.

Nakon uspješno kreiranog profila, kreiranja i aktiviranja treninga i aktiviranja načina rada, izlazi se iz glavnog izbornika i kreće s praktičnim dijelom.

Na slici br. 41, u gornjem dijelu na sredini ekrana vidi se korisnikovo ime i naziv vježbe koju vrši, dok se u gornjem desnom kutu vidi MIG/MAG gorionik, tako da je odmah poznat i postupak koji koristimo.



Slika 41. Tečajni način rada - glavni menu

Pokretanjem opcije „Trening“, otvara se novi prozor koji se sastoji od tri dijela treninga i završne simulacije s fiksnim parametrima. U treningu se redom savladava:

1. Brzina vođenja gorionika
2. Brzina vođenja gorionika i visinu električnog luka
3. Brzina vođenja gorionika, visinu električnog luka i položaj gorionika



Slika 42. Trening

Virtualni instruktor ili duh, pomaže korisniku da uspješno savlada svaki dio treninga. Za prelazak na drugu vježbu potrebno je uspješno odraditi prethodnu. Nakon odradene sve tri faze treninga, slijedi simulacija bez prisutnosti duha.

Na slici br. 42 vidi se oznaka „Prag 75%“, što zapravo označava težinu vođenja. Kao što je spomenuto u točki 3.1.1., zelena boja označava idealno vođenje, žuta srednje, a crvena nezadovoljavajuće. To bi značilo da za prag 75%, vizualno pomagalo će biti zelene boje između razine točnosti od 100% do 75%, žute boje između 75% i 50%, a sve ispod 50% crvene. Prag se može namiještati, ovisno o sposobnostima korisnika.



Slika 43. Tablica poretka

#### 4.2.2. Otvoreni način rada

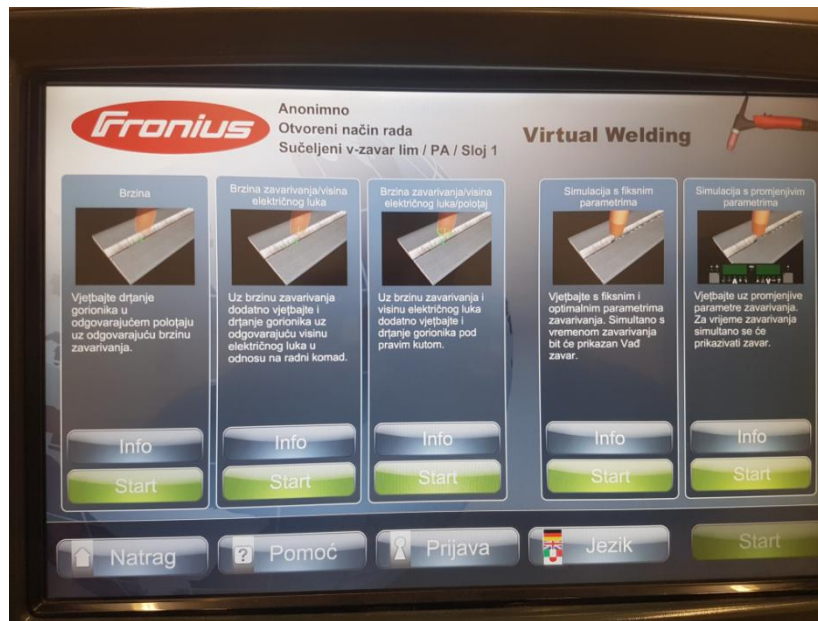
Idealan je za prezentaciju proizvoda i rad izvan didaktičkog okruženja. Korisnik može birati razne kombinacije postupaka, položaja i vrste zavara, ali ovaj način rada ne omogućuje spremanje podataka.



Slika 44. Otvoreni način rada



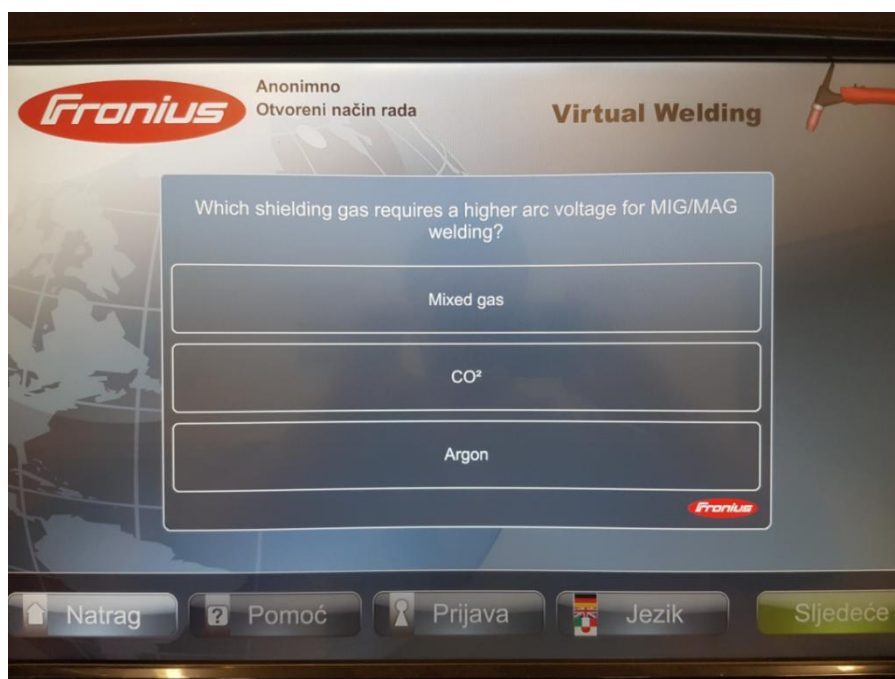
Odabirom opcije „Otvoreni trening“, korisnik određuje postupak zavarivanja.



Slika 45. Savladavanje vještina u Otvorenom načinu rada

Prednost otvorenog načina rada u odnosu na druge je u tome što korisnik ima apsolutnu slobodu. Tako npr. ne mora krenuti od savladavanja vještina brzine zavarivanja, već može početi od simulacija s promjenjivim parametrima.

U opciji „Testovi“, korisnik može okušati svoje znanje teorije.



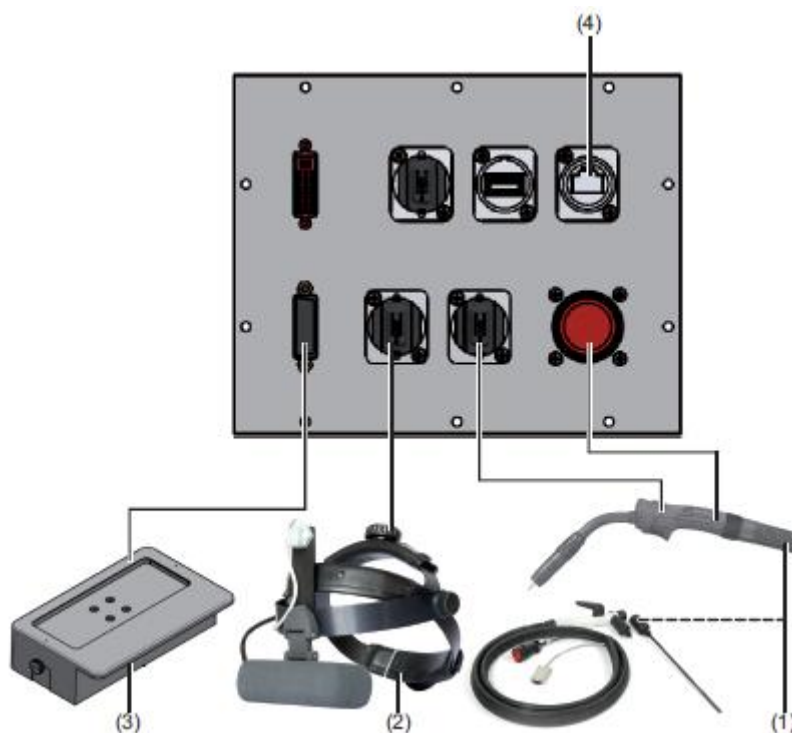
Slika 46. Testovi

### 4.3. Mogućnosti simulatora sa stanovišta postupaka zavarivanja

U predhodnoj točki analizirali su se dopušteni načini rada, ali samo za postupak MIG/MAG. Simulator korišten u ovom radu posjeduje licence za REL i TIG postupke, tako da ti postupci onda zahtijevaju drugačije vještine za savladavanje.

#### 4.3.1. Postupci

Za korištenje određenog postupka zavarivanja potrebno je prispojiti gorionik namijenjen tom postupku. Za promijenu gorionika potrebno je otvoriti donja vrata simulatora.



Slika 47. Priklučci opreme [6]

Slika br. 49 pokazuje pet priključka:

1. Dva priključka za gorionik/držač elektrode
2. Priključak za VR naočale
3. Priključak za držač radnog dijela
4. Priključak za LAN

## 4.3.1.1. REL



Slika 48. Postavke REL zavarivanja

Vrste zavara:

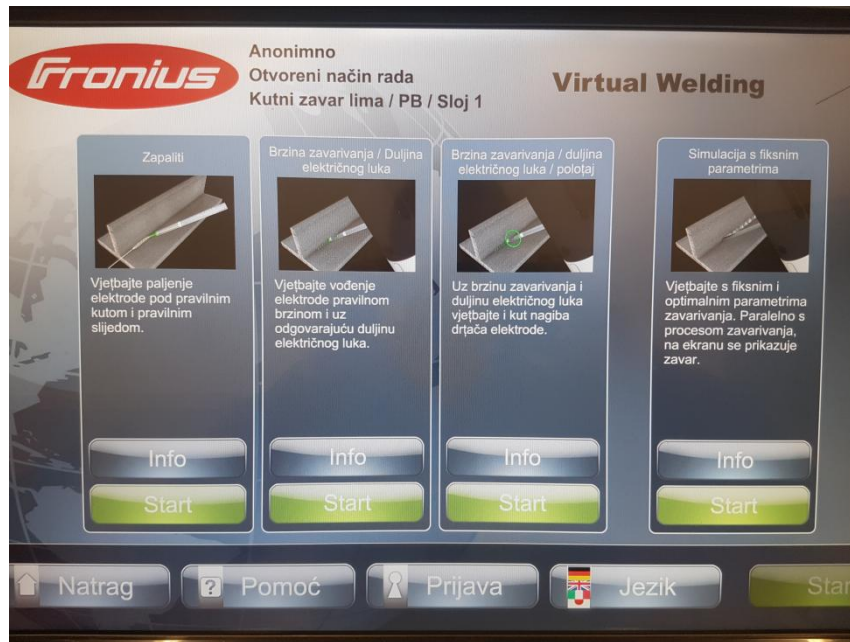
- Kutni zavar lima
- Sučeljeni V-zavar lima
- Sučeljeni V-zavar cijevi
- Kutni zavar cijevi
- Navarivanje lima

Mogući položaji zavarivanja: PA, PB, PC, PD, PF, PJ.

Opcija trening sastoji se od:

- Paljenje elektrode
- Brzina zavarivanja i duljina električnog luka
- Brzina zavarivanja, duljina električnog luka i položaj gorionika

Za razliku od MIG/MAG postupka, REL postupak nema opciju simulacije s promjenjivim parametrima, odnosno ima samo simulaciju sa fiksnim parametrima.



Slika 49. REL zavarivanje - obuka

REL držači elektroda (slika 11.) imaju dva nastavka, kratki i dugi, koji predstavljaju elektodu. Duža elektroda koristi se samo za savladavanje vještine paljenja, dok kraća za ostalo.

#### 4.3.1.2. TIG



Slika 50. Postupak TIG zavarivanja

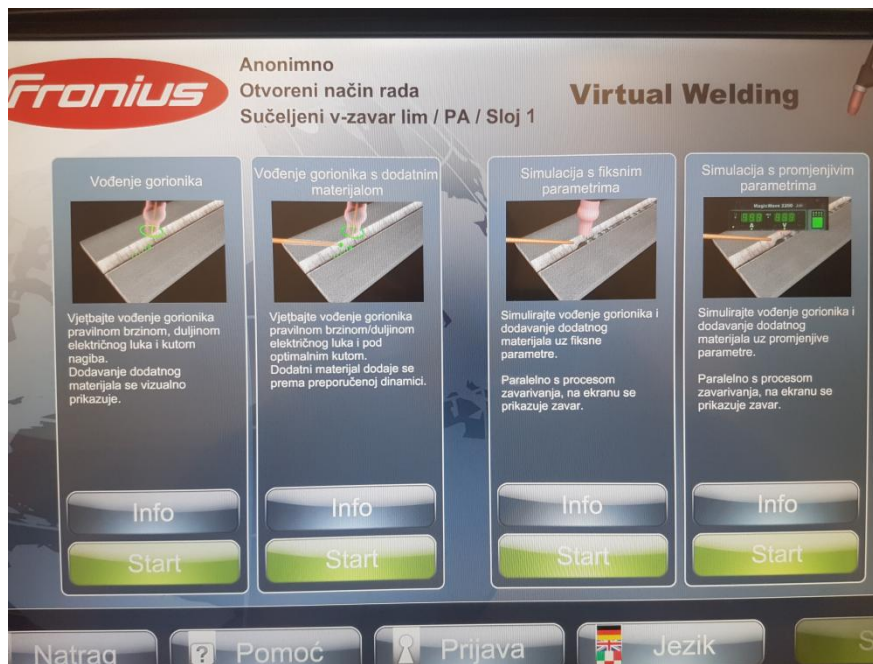
### Vrste zavarara

- Sučeljeni V-zavar lima
- I zavar
- Kutni zavar lima
- Navarivanje

Mogući položaji zavarivanja: PA, PB, PC, PE, PF.

Na treningu se savladavaju:

- Vođenje gorionika
- Vođenje gorionika s dodatnim materijalom



Slika 51. TIG zavarivanje - obuka

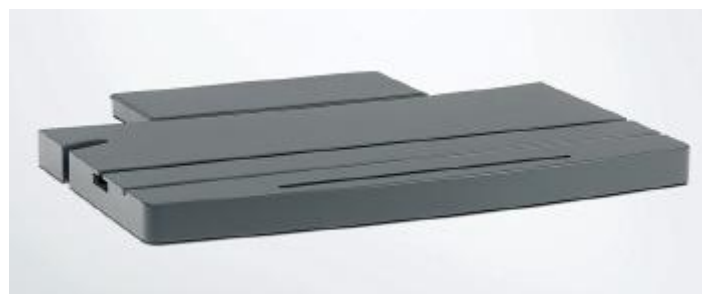
Za razliku od REL zavarivanja, TIG postupak zavarivanja u simulaciji nudi simulaciju s fiksnim i promjenjivim parametrima. To je razlog jer MIG/MAG i TIG postupak imaju na svojim gorionicima tipke za namještanje parametara. Tipke „Gore“ i „Dolje“ služe za povećanje, odnosno smanjenje struje. Tipke „Lijevo“ i „Desno“ služe za smanjenje, odnosno povećanje napona. Sa TIG gorionikom dolazi i tanki štapić koji u virtualnom svijetu predstavlja dodatni materijal.



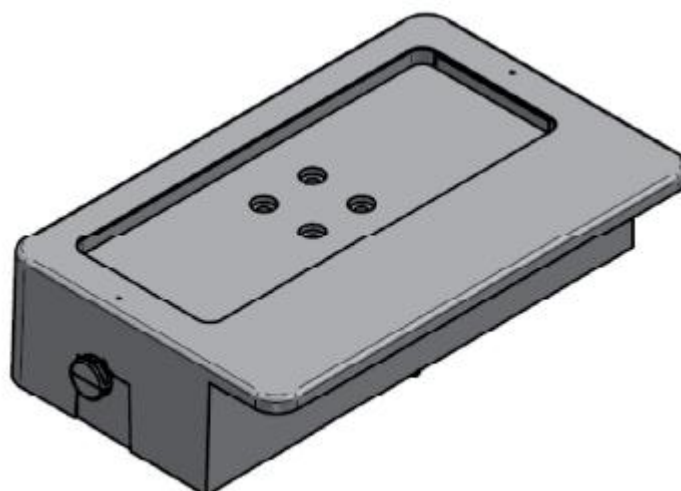
Slika 52. Gorionici sa podešavanjem parametara

#### 4.3.2. Ostvarivanje položaja

Kao što je rečeno u prijašnjim točkama, Fronius Virtual Welding simulator ima mogućnost simuliranja u pozicijama PA, PB, PC, PD, PE, PF. Korisnik raznim kombinacijama radnog stola i držača radnog dijela ostvaruje navedene pozicije.



Slika 53. Radni stol [6]



Slika 54. Držać radnog dijela [6]

Postavljanjem stola na donju razinu, odnosno na razinu ispod LCD ekrana, i postavljanjem držača vodoravno, mogu se postići pozicije PA i PB. Slika 57. prikazuje ovakvu kombinaciju.



**Slika 55. Ostvarivanje položaja - primjer 1.**

Postavljanjem držača okomito uz isti položaj radnog stola, kao na slici 58., postižu se pozicije PC i PF.



**Slika 56. Ostvarivanje položaja - primjer 2.**

Prebacivanjem radnog stola na gornju razinu, omogućuje se korisniku rad u pozicijama PD i PE.



Slika 57. Ostvarivanje položaja - primjer 3.

#### **4.3.3. Dostupni materijali**

U točki 3. razrađeni su određeni komercijalni simulatori. Svaki simulator nudio je korisniku više vrsta materijala, većinom ugljične čelike, aluminij i nehrđajuće čelike. Jedan od većih nedostataka Froniusovog simulatora je što nudi izbor samo jedne vrste materijala, točnije S235JR. Debljina materijala može varirati između 3 i 10 mm.

### **4.4. Proširenje opcija na MIG zavarivanje aluminija**

#### **4.4.1. MIG zavarivanje aluminija**

MIG je elektrolučni postupak zavarivanja taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina. Elektrolučni luk se uspostavlja između radnog komada i elektrode koja je kod ovog postupka u obliku kontinuirane žice. Žica ujedno predstavlja i dodatni materijal [14].



Upute za zavarivanje Al i Al-legura:

- Neposredno prije zavarivanja treba očistiti oksidnu kožicu na mjestu zavarivanja i bližoj okolini. Čisti se metalnom četkom ili strugačem (legirani čelik ili mjed). Preporučuje se odmašćivanje, a ako je mjesto vlažno potrebno je sušenje plamenom.
- Kod većih debljina materijala preporučuje se predgrijavanje, ovisno o postupku zavarivanja. Kod MIG zavarivanja predgrijava se samo početak.
- Kod zavarivanja tanjih materijala valja naći način da se radni komad ukruti radi sprečavanja deformacija
- Vrlo je važan pravilan izbor dodatnog materijala. Glavno pravilo u izboru dodatnog materijala je biranje dodatnog materijala iste vrste kao osnovni materijal s nešto većim postotkom istih legirajućih elemenata. Drugo pravilo je da se ne smije upotrijebiti dodatni materijal od čistog Al za zavarivanje Al-legura, jer će u metalu zavara doći do pukotina. Legirajući elementi u dodatnom materijalu kao Mg povećavaju čvrstoću, ali u određenom postotku javlja se i sklonost pukotinama. Silicij čini talinu žitkom, lijepo se razlijeva, povećava dubinu protaljivanja, smanjuje žilavost zavara. Bakar znatno povećava tvrdoću zavarenog spoja.
- Najvažnije je tehnikom rada osigurati dobru zaštitu taline: kratki električni luk, kod prekidanja završetak držati u zaštitnoj atmosferi dok se ne ohladi, spriječiti pukotine u završnom krateru popunjavanjem i djelomičnim vraćanjem na metal zavara [15].

#### 4.4.1.1. Karakteristike MIG zavarivanja

Jakost struje zavarivanja bira se prema vrsti i debljini materijala, obliku spoja, položaju zavarivanja i promjeru odabrane žice, a regulira se brzinom dodavanja žice. Kod iste jakosti struje zavarivanja napon električnog luka može se prilagođavati u području nižeg i višeg napona. Prenizak napon električnog luka kod određene jakosti struje daje vrlo uzak i ispupčen zavar, dok previsok napon daje širok i nizak zavar uz jako rasprkavanje i slaba mehanička svojstva zavarenog spoja [14].

Brzina zavarivanja utječe na dubinu protaljivanja, širinu zavara i količinu unesene topline. Ovisi o jakosti struje zavarivanja, vrsti spoja, vrsti materijala i položaju zavarivanja.

Inertni zaštitni plinovi korišteni pri zavarivanju aluminija MIG postupkom se prvenstveno argon, helij i njihove mješavine. Zbog relativno niske cijene, najčešći korišteni plin je argon. Argon ima veliku gustoću pa zbog toga oblikuje krut zaštitni omotač koji dobro štiti talinu od atmosfere. Radi niske toplinske vodljivosti daje usku zonu jezgre luka što se odražava i na oblik penetracije. Međutim argon uzrokuje i nizak unos topline i prema tome i male brzine zavarivanja. Helij se zbog visoke cijene rjeđe koristi. U usporedbi s argonom daje manje stabilan električni luk, ali povećava napon luka za 20% te zbog veće toplinske provodljivosti daje veći unos topline [14].

#### 4.4.1.2. Parametri

U tablici 3. prikazani su preporučeni parametri zavarivanja za debljinu materijala od 1.6, 4, 8 i 10 mm.

**Tablica 3. Preporučeni parametri za zavarivanje aluminija [14]**

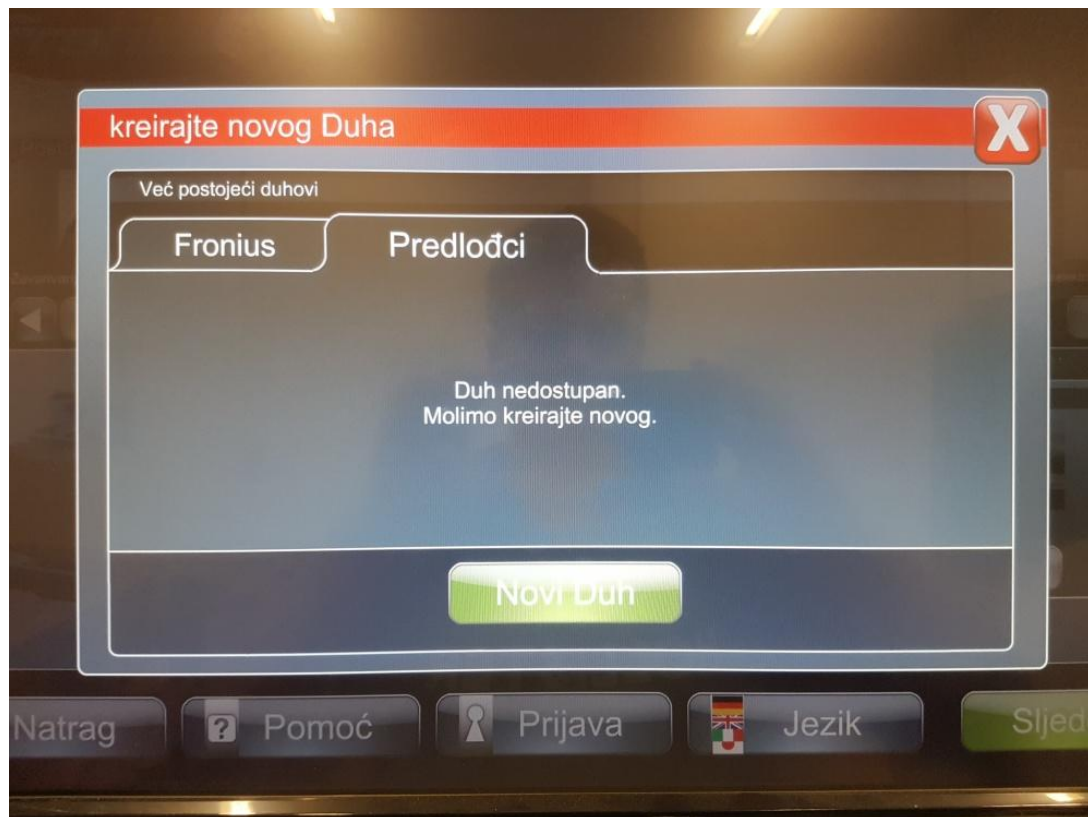
Debljina, mm	Struja, A	Napon, V	Brzina zavarivanja, cm/min
1,6	100	19	110
4	170	26	75
8	245	29	75
10	290	29	75

#### 4.4.1.3. Problematika zavarivanja aluminija

Aluminij ima veliku toplinsku vodljivost, veću od čelika, koja uvjetuje predgrijavanje ili naglo dovođenje veće količine topline te zbog toga zahtjeva zavarivanje jakim izvorima energije. Neizbježna je prisutnost teško taljivog aluminijskog oksida koji ometa dobro spajanje osnovnog i dodatnog materijala te može ostati kao nehomogenost u metalu zavara. Veliki problem predstavlja i neizbježna poroznost u zavaru za koju se smatra da potječe od vodika apsorbiranog u talinu metala zavara tijekom zavarivanja. Izvori vodika su vlaga i nečistoće na površini mjesta zavarivanja, na površini žice ili u oblozi elektrode. Sklonost pukotinama kod zavarivanja aluminija je velika, a zavisi od vremena skrućivanja metala zavara i naprezanja koja uzrokuje skrućivanje. Isto tako ovisi o vrsti i količini legirajućih elemenata osnovnog i dodatnog materijala [15].

#### 4.4.2. Dodavanje duha

Opcija koja omogućuje kreiranje duha ili virtualnog instruktora, bira se u glavnom izborniku. Cilj je kreirati duha koji će predstavljati MIG postupak zavarivanja za aluminij. Korisnik nakon odabira opcije „Duh“ pritišće tipku „Novi duh“ za početak.



Slika 58. Kreiranje novog duha

Za primjer uzima se sučeoni V spoj, pozicije PA i debljine 10 mm. Za zaštitni plin je uzet helij.

Odabrani parametri su:

- Struja: 290 A
- Napon 29 V
- Brzina zavarivanja: 75 cm/min



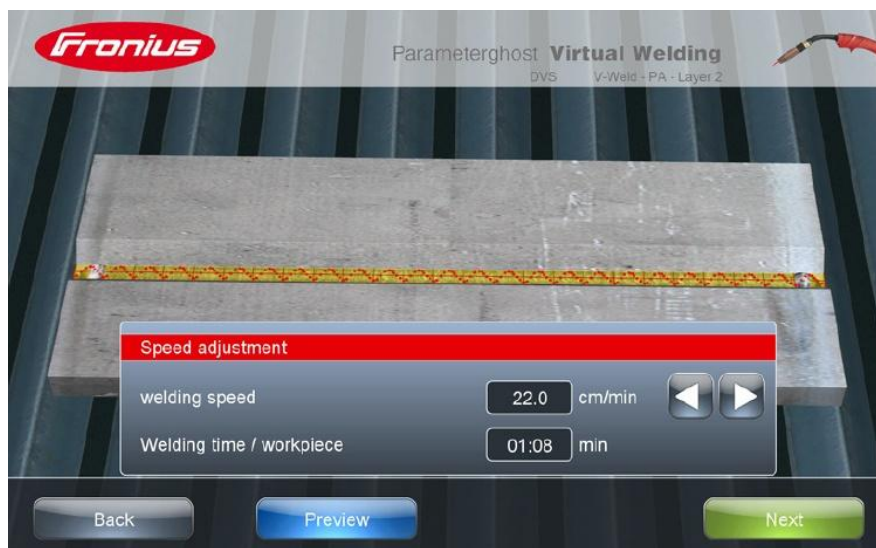
Slika 59. Postavke novog duha [6]

Nakon namještanja željenih postavki, bira se „Next“. Otvara se prozor u kojem se vidi radni komad te je potrebno definirati putanju i brzinu zavarivanja. Putanja se definira odabirom veličine mreže koja ovisi o broju koraka po radnom dijelu.



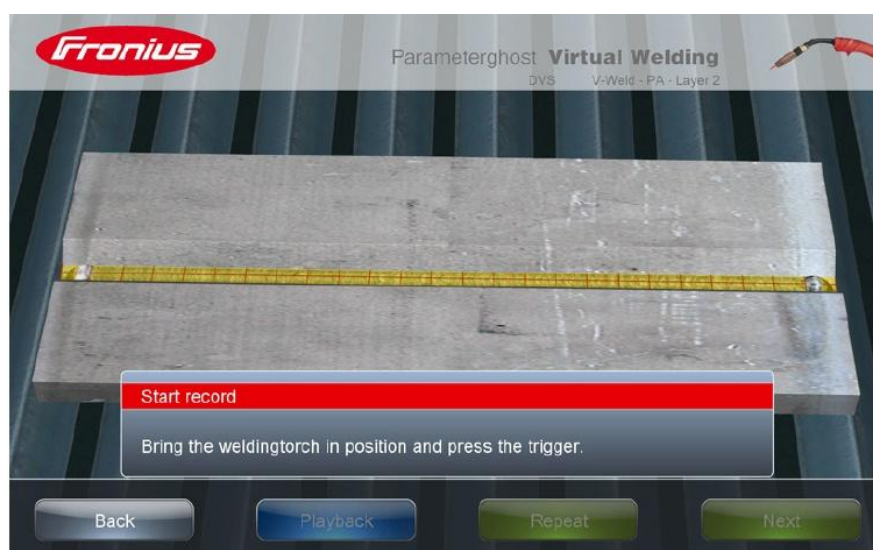
Slika 60. Definiranje broja koraka [6]

Broj koraka po radnom dijelu određuje koliko definiranih, periodičnih pokreta gorionikom korisnik mora kompletirati da zavar bude ispravan. Sljedeći korak je određivanje brzine zavarivanja.



Slika 61. Odabir brzine zavarivanja [6]

Odabirom brzine zavarivanja, određeno je i vrijeme zavarivanja. Nakon početnih postavki slijedi izrada referentnog zavarenog spoja.



Slika 62. Izrada referentnog zavara [6]

Postoje četiri koraka:

1. Pozicioniranje gorionika na početak žljeba radnog dijela
2. Paljenje gorionika
3. Izvođenje referentnog zavara vođenjem gorionika što je moguće točnije po prethodno odabranoj mreži
4. Za pregled postupka odabrati „Playback“



Slika 63. Odabir početne točke idealnog osciliranja [6]

Ukoliko su prethodne točke uspješno odrađene, prelazi se na definiranje optimalnog osciliranja. Na prethodno izrađenom referentnom zavarenom spoju odabire se točka koja označava početak optimalne oscilacije, a određuje se pomoću klizača ili strelica. Područje optimalne oscilacije ne mora biti veliko, pošto se kasnije može multiplicirati radi dobivanja potpunog zavora. Žuti dio na slici br. 66 predstavlja odabir krajnje točke osciliranja, dok zelena točka predstavlja početak optimalne oscilacije.



Slika 64. Odabir krajnje točke idealnog osciliranja [6]

Zadnji korak u kreiranju duha je odredit ukupni broj oscilacija tako da pomoću optimalnog dijela popunimo cijelu dužinu zavora. Na kraju preostaje odabrati duljinu izlazne žice

dodatnog materijala i kut vođenja. Za izlaznu duljinu žice odabire se vrijednost između 10 i 25 mm, a za kut vođenja od  $-45^\circ$  do  $45^\circ$ .



Slika 65. Slobodni kraj žice [6]

Pritiskom na tipku „Next“ završava se kreiranje duha te nam simulator izbacuje pregled odabranih parametara uz mogućnost spremanja vježbe.

Spremanjem duha dobiva se nova dimenzija obuke. Korisnici će imati mogućnost obuke na aluminiju, što će dati širinu u obuci zavarivača, a za detaljniji trening potrebno je kreirati duha za druge radne komade i pozicije zavarivanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Industrija je iskoristila mogućnosti današnje tehnologije i proizvela je VR simulator za zavarivanje s ciljem obuke budućih zavarivača, kojih u današnje vrijeme ima sve manje. Opća obuka jedne osobe istiskuje mnogo vremena i financijskih sredstava, a kod većeg broja osoba gubici su još veći. Uporabom VR simulatora za obuku zavarivača omogućuje korisniku jednostavan i realan prikaz postupaka zavarivanja uz manje troškove za tvrtku, a sam korisnik je manje izložen štetnim uvjetima koje donosi zavarivanje. Simulator može biti postavljen u bilo koju prostoriju gdje može biti spojen na struju, a instruktor ne mora nužno biti prisutan i nadzirati korisnika u obuci. Završetkom simuliranja dobivaju se brzi i transparentni rezultati, a korisnik ima mogućnost pregledavanja i spremanja snimke s ciljem detaljne analize. Zbog mogućnosti izrade vlastitih profila, instruktor može pratiti napredak svakog pojedinog korisnika i kreirati posebne treninge ovisno o mogućnostima korisnika.

Nakon obrađivanja nekih od najpoznatijih komercionalnih simulatora za zavarivanje, u praktičnom dijelu detaljno je obrađen „Fronius Virtual Welding“. Uz mogućnost korištenja tri različita postupka zavarivanja i veliki izbor radnih komada i pozicija zavarivanja, ovaj simulator nudi sjajne uvjete za obuku novih zavarivača. Naravno postoji i jedna veća mana u obliku manjka mogućih materijala za zavarivanje. Tako da korisnici imaju mogućnost odabira samo jedne vrste konstrukcijskog čelika. S ciljem rješavanja problema, date su preporuke i potrebne informacije za proširenje opcija na MIG postupak zavarivanja aluminija. Korištenjem naprednih opcija simulatora kreiran je duh, koji je predstavljao traženi postupak te se pomoću tog duha moglo obrazovati korisnike.

Na kraju dolazi se do zaključka da simulator zavarivanja, iako nije realan kao pravo zavarivanje, nudi sjajne mogućnosti korisniku u savladavanju osnovnih vještina zavarivanja. Njegova jednostavnost i širok spektar mogućnosti idealan je za odrađivanje početnih koraka u zavarivanju te zasigurno ima svoje mjesto u industriji. Uz mnoge prednosti dolaze i nedostaci, ponajviše u vidu realnog prikaza taline koja je svakom zavarivaču najvažnija povratna informacija zavarivanja. Uzevši u obzir velik napredak tehnologije u zadnjih nekoliko godina, za očekivati je jačanje industrije virtualne stvarnosti i samim time napredak simulatora za obuku zavarivača.



## 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 - 30.1. 2018.
- [3] M. Rudan, T. Tucman: Simulatori virtualne realnosti u zavarivanju, Seminar: Novine u tehnologiji zavarivanja i srodnim tehnikama, Pula, 2010.
- [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 - 28.1.2018.
- [7] Lincoln Electric: Operators manual, Cleveland, SAD, 31.1.2018.
- [8] R. Anderson, W. Millier, G. Scofield: Revolutionizig the Teaching and Learning of Welding Fundamentals trough the Integration of Virtual Simulation, Cleveland, SAD, 7.2.218.
- [9] <https://www.slideshare.net/123Certification/arc-welding-simulator-english>, preuzeto - 8.2.2018
- [10] [http://www.123arc.com/?page\\_id=5734](http://www.123arc.com/?page_id=5734), preuzeto - 10.2.2018
- [11] E. Cetinić: Kombinacija stvarnih i virtualnih scena, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računalstva, Zagreb, 2010.
- [12] Seabery: Soldamatic User Guide, Huelva, Spain, preuzeto - 7.2.2018.
- [13] Seabery: Augmented reality educational technology for welding training, Huelva, Spain, preuzeto - 8.2.2018
- [14] I. Jurić: MIG zavarivanje aluminijskih legura, završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [15] I. Juraga, M. Živčić, M. Gracin: Reparatumo zavarivanje, Var-tehnik, Zagreb, 1994.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc

.