

**DUZS** - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji

**ZBORNİK RADOVA**

**SAVETOVANJE ZAVARIVANJE**

**2016**

Srebrno jezero, 14-17. septembar 2016

Priredio:  
Branislav Lukić

Kompjuterska priprema:  
Vojislav Simić

Izdavač:  
DUZS  
Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji  
Grčića Milenka 67, Beograd

Beograd, septembar 2016

## IMPRESSUM

**NASLOV:** ZBORNIK RADOVA - SAVETOVANJE ZAVARIVANJE 2016

**UREDNIK:** Branislav Lukić, dipl. inž.maš.

**IZDAVAČ:** DUZS - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, Grčića Milenka 67, Beograd

**ŠTAMPA/UMNOŽAVA:** AŠKOVIĆ STUDIO Beograd

**TIRAŽ:** 150 primeraka

**ISBN broj:** 978-86-82585-12-1

**KOMPJUTERSKA PRIPREMA:** Vojislav Simić

### **NAUČNO-STRUČNI ODBOR "ZAVARIVANJE 2016":**

Milica Antić, dipl.ing.

Porf.dr. Katarina Gerić

Dr Vencislav Grabulov - predsednik Odbora

Prof. dr Vukić Lazić

Prof. dr Dragan Milčić

Dr Zoran Odanović

Prof. dr Radica Prokić-Cvetković

Prof. dr Nenad Radović

Prof. dr Aleksandar Sedmak

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије,  
Београд

621.791(082)(0.034.2)

САВЕТОВАЊЕ Заваривање (2016 ; Сребрно језеро)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / Savetovanje Zavarivanje 2016, Srebrno jezero, 14-17. septembar 2016 ; priredio Branislav Lukić. - Beograd

: Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, 2016 (Beograd : Ašković studio). - 1 USB fleš memorija ; 6 x 9 cm (u obliku kartice)

Sistemska zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. -

Tiraž 150. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts ; Apstrakti.

ISBN 978-86-82585-12-1

a) Заваривање - Зборници

COBISS.SR-ID 225785612

IMPRESSUM .....	2
NAUČNO-STRUČNI ODBOR "ZAVARIVANJE 2016":.....	2
<b>I KONVENCIONALNI I NEKONVENCIONALNI POSTUPCI ZAVARIVANJA .....</b>	<b>7</b>
I.1 ZAVARIVANJE CIJEVNIH SISTEMA U KOTLOGRADNJI WELDING OF TUBE/PIPE SYSTEMS IN BOILER PRODUCTION <b>B. Despotović</b> („Đuro Đaković“-Tep, Slavonski Brod, Hrvatska) i <b>I. Samardžić, T. Marsenić .....</b>	<b>8</b>
I.2 UTICAJ PREGREVANJA OSNOVNOG MATERIJALA I METALA ŠAVA, TOKOM ZAVARIVANJA TRENJEM SA MEŠANJEM, NA EFIKASNOST ZAVARENOG SPOJA THE INFLUENCE OF OVERHEATING OF FRICTION STIR WELD’S BASE MATERIAL AND WELD ON WELD’S EFFICIENCY <b>M. Mijajlović</b> (Mašinski fakultet, Niš) .....	<b>21</b>
I.3 ANALIZA UTICAJA VREMENA TRENJA NA OBLIK SPOJA I MIKROSTRUKTURU ZONE MEŠANJA PRI ZAVARIVANJU TRENJEM RAZLIČITIH ČELIKA ANALYSIS OF INFLUENCE OF FRICTION TIME ON WELDED JOINT SHAPE AND MICROSTRUCTURE OF MIXING ZONE DURING FRICTION WELDING OF DIFFERENT STEELS <b>N. Ratković</b> (Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac) i <b>V. Lazić, D. Arsić .....</b>	<b>28</b>
I. 4 NAPREDNE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA – ZAVARIVANJE MODIFIKOVANIM LUKOM ADVANCED WELDING TECHNOLOGIES – MODIFIED ARC WELDING <b>R. Jovičić</b> (Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd) i <b>D. Pavlović, B. Zrilić, N. Pantelić, J. Markež.....</b>	<b>35</b>
I. 5 PREGLED UTICAJA PARAMETARA FSW PROCESA NA UPOTREBLJIVOST NUMERIČKOG MODELA OVERVIEW OF INFLUENCE OF FSW PARAMETERS ON NUMERICAL MODEL USABILITY <b>P. Tasić</b> (Mašinski fakultet, Sarajevo, BIH) i <b>I. Hajro.....</b>	<b>44</b>
I.6 UNAPREĐENJE PROCESA NAVARIVANJA LEGURA KOBALTA PRIMENOM NANO ČESTICA IMPROVEMENT OF HARDFACING PROCESS OF COBALT BASED ALLOYS USING NANOPARTICLES <b>S. Baloš</b> (Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad) i <b>P. Janjatović, M. Dramićanin, D. Labus Zlatanović, L. Šidanin, S. Tomić.....</b>	<b>52</b>

I.7	ADAPTIVNA REGULACIJA PROCESA OTPORNOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI ADAPTIVE REGULATION OF RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY M. Uran (Institut za varilstvo, Ljubljana, Slovenija i Beograd Srbija) i M. Jovanović .....	60
I.8	STANJE I TRENDOVI U RAZVOJU PODVODNOG ZAVARIVANJA STATE OF THE ART AND TRENDS IN DEVELOPMENT OF UNDERWATER WELDING S. Kralj (Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska) i I. Garasic, Z. Kožuh, J. Eržišnik .....	70
<b>II OSNOVNI, DODATNI I POMOĆNI MATERIJALI.....</b>		<b>81</b>
II.1	MIG/MAG ZAVARIVANJE PRIMJENOM AKTIVIRAJUĆEG TOPITELJA MIG/MAG WELDING WITH ACTIVATION FLUX A.M. Savickii (E.O. Paton Welding Institute, Kiev, Ukraina) i M.M. Savickii, D. Bajic .....	82
II.2	METODE ZA IZRAČUNAVANJE TEMPERATURA PREDGREVANJA PRI ZAVARIVANJU ČELIKA POVIŠENE I VISOKE ČVRSTOĆE METHODS FOR CALCULATING THE PREHEAT TEMPERATURE WELDING THE HIGH STRENGTH STEELS R. Jovičić (Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd) i R. Prokić-Cvetković, O. Popović, N.Milošević.....	91
II.3	DEFINISANJE PARAMETARA ZAVARIVANJA POMOĆU VREMENA HLADENJA U INTERVALU TEMPERATURA 800 – 500°C DEFINITION OF WLEDING PARAMETERS BY COOLING TIME IN TEMPERATURE RANGE 800-500°C R. Jovičić (Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd) i O. Erić Cekić, S. Petronić, S. Štrbački, D. Jovičić.....	101
II.4	ZAVARIVANJE PANCIRNOG ČELIKA VISOKE TVRDOĆE WELDING OF HIGH HARDNESS ARMOUR STEEL A. Čabrilo (Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad) i K. Gerić.....	111
II.5	KOEFICIJENT SLABLJENJA ZAVARENOG SPOJA NODULARNOG LIVA THE COEFFICIENT OF WEAKENING WELDED JOINT DUCTILE IRON L. Brestovački (Cobalt doo, Bačka Palanka) .....	120
II.6	KARAKTERIZACIJA SUČEONO ZAVARENOG SPOJA NODULARNOG LIVA I VISOKOMANGANSKOG ČELIKA MAG POSTUPKOM ZAVARIVANJA CHARACTERIZATION OF BUT WELD JOINTS DUCTILE IRON AND HIGH MANGANESE STEEL WITH GMAW WELDING PROCESS L. Brestovački (Cobalt doo, Bačka Palanka) .....	127

II.7	NEKI EFEKTI UVOĐENJA AZOTA U ARGON ZAŠTITNI GAS KOD TIG ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA SOME EFFECTS OF THE NITROGEN INTRODUCTION IN ARGON SHIELDING GAS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS B. Alić (Metalurški institut „Kemal Kapetanović“, Zenica, BIH ) i S. Pašić, E. Džihó .....	141
II.8	KOROZIONO PONAŠANJE AlMgMn LEGURE ZAVARENE POSTUPKOM TRENJEM ALATOM ORROSION BEHAVIOR OF FRICTION STIR WELDED AlMgMn ALLOY Lj. Radović (Vojnotehnički institut, Beograd) i I. Radisavljević, M. Bučko .....	150
II.9	MEHANIČKA I STRUKTURNA SVOJSTVA SPOJEVA OD RAZNORODNIH ALUMINIJUMSKIH LEGURA ZAVARENIH FSW POSTUPKOM MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELD OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS I. Radisavljević (Vojnotehnički institut, Beograd) i A. Živković, N. Radović, V. Grabulov .....	160
<b>III INTEGRITET KONSTRUKCIJA I OSIGURANJE KVALITETA...170</b>		
III.1	KONCENTRACIJA NAPONA U ZAVARENOM SPOJU SA JEDNOSTRANIM UZDUŽNIM REBROM STRESS CONCENTRATION IN WELDED JOINT WITH ONE-SIDED LONGITUDINAL ATTACHMENT Z. Perović (Mašinski fakultet, Podgorica, Crna Gora) i K. Anđelić .....	171
III.2	ANALIZA TRENUTNOG STANJA I OCENA ČVRSTOĆE CEVOVODA NA HIDROELEKTRANI PIROT ANALYSIS OF CURRENT STATE AND STRENGTH EVALUATION OF THE PIPELINE AT HYDRO POWER PLANT 'PIROT' M. Arsić (Institut za ispitivanje materijala, Beograd) i V. Grabulov, M. Mladenović, Z. Savić .....	176
III.3	EKSPERIMENTALNO MERENJE ZAOSTALIH NAPONA U NAVARENIM SLOJEVIMA KOD TERMOPOSTOJANOG ČELIKA EXPERIMENTAL MEASURING OF RESIDUAL STRESSES IN HARD FACED LAYERS OF THE HOT WORK TOOL STEEL V. Lazić (Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac) i D. Arsić, M. Zrilić, S. Aleksandrović, M. Đorđević, N. Ratković .....	185
III.4	SANACIJA ZAVARIVANJEM PRSLINA SFERNOG REZERVOARA ZA ETILEN WELDING REPAIR OF CRACKS ON SPHERICAL TANK FOR ETHYLENE STORAGE D. Mitić (NIVAR DOO, Niš) i M. Ristić .....	196

III.5	OPTIMIZACIJA PROCESA NAVARIVANJA VUČNIH SEGMENTATA NA BAGERU ERS-1000/25 SURFACING PROCESS OPTIMISATION OF TENSILE SEGMENTS ON EXCAVATOR ERS-1000/25 M. Tošanić (RB Kolubara, Lazarevac) i N. Radović .....	205
III.6	ISKUSTVA U PROCJENI I ASPEKTI INTEGRITETA ZAVARENIH ČELIČNIH REZERVOARA ASSESSMENT EXPERIENCES AND INTEGRITY ASPECTS OF WELDED STEEL TANKS I. Hajro (Mašinski fakultet, Sarajevo, BIH) i P. Tasić.....	214
III.7	ANALIZA LOMA ZAVRTNJEVA IZMENJIVACA TOPLOTE HEAT EXCHANGER BOLTS FAILURE ANALYSIS M. Ristić (Institut Goša, Beograd) i M. Prvulović, M. Prokolab, I. Vasović, Z. Milutinović .....	224
III.8	UTICAJ PROMENLJIVOG OPTEREĆENJA NA INTEGRITET ZAVARENOG SPOJA MIKROLEGIRANOG ČELIKA INFLUENCE OF FATIGUE LOAD WITH INTEGRITY OF WELDED JOINT ON MICRO ALLOYED STEEL Z. Burzić (Vojnotehnički institut, Beograd) i M. Manjgo, M. Burzić, V. Grabulov, S. Perković .....	232
<b>IV</b>	<b>TEHNIČKA REGULATIVA, OBRAZOVANJE, EKOLOGIJA I ZAŠTITA .....</b>	<b>242</b>
IV.1	NEW PRESSURE DIRECTIVE 2014/68/EU IN SLOVENIA U. Zupanc (Institut za varilstvo, Ljubljana, Slovenija) i M. Jovanović, A. Intihar, M. Uran .....	243
IV.2	VIRTUELNI SIMULATOR ZAVARIVANJA – TRENING METOD 21. VEKA U OBUCI ZAVARIVAČA VIRTUAL WELDING SIMULATOR - THE 21 <sup>ST</sup> CENTURY WELDING TRAINING METHOD M. Milčić (Mašinski fakultet, NIŠ) i D. Milčić, M. Mijajlović, N. Zdravković.....	244
IV.3	ŽILAVOST ZAVARENOG SPOJA KAO ASPEKT PRIHVATLJIVOSTI KVALIFIKACIJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA NA PRIMERU ČELIKA P91 THE IMPACT TOUGHNESS OF WELDED JOINT AS WELDING PROCEDURE QUALIFICATION ACCESSABILITY ASPECT ON STEEL P91 EXAMPLE S. Dikić (KONTROL-INSPEKT d.o.o. Beograd) i M. Antić .....	256

# VIRTUELNI SIMULATOR ZAVARIVANJA – TRENING METOD 21. VEKA U OBUCI ZAVARIVAČA

## VIRTUAL WELDING SIMULATOR - THE 21<sup>ST</sup> CENTURY WELDING TRAINING METHOD

Miodrag Milčić, dipl. maš. inž., IWE, EWE<sup>1</sup>, dr Dragan Milčić, redovni profesor<sup>1</sup>,  
dr Miroslav Mijajlović, docent, IWE<sup>1</sup>, Nataša Zdravković, dipl. maš. inž.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš

milcic.miodrag@gmail.com

### Rezime:

Mnogo sati vežbanja je potrebno da bi zavarivač mogao postići potrebne motoričke sposobnosti za izvođenje zahtevnih zavarenih spojeva. Iskustvo pokazuje da je potrebno više od 100 sati praktičnog rada kako bi zavarivač uopšte počeo dolaziti do nekakvih upotrebljivih rezultata. Za vreme tog učenja, zavarivač će potrošiti znatnu količinu metalnih ploča i cevi, žice za zavarivanje (ili elektroda), zaštitnog gasa, električne energije. Pri tome će se vežbe odvijati u uslovima gorenja električnog luka, dimom zagađene atmosfere, intenzivnog svetlosnog, UV i toplotnog zračenja, od kojih se treba na odgovarajući način i zaštititi. Simulatori zavarivanja su visokotehnoški uređaji zasnovani na računarskoj tehnologiji, koji obrađuju informacije na način da zavarivač „vidi“ svoj rad u virtualnom prostoru. Virtuelni simulator zavarivanja Lincoln VRTEX 360 prevashodno je namenjen obuci zavarivača MMA (111), GMAW (135), FCAW (136) postupcima. Ovim simulatorom zavarivanja omogućuje se jeftinija, kvalitetnija, bezbednija, brža i ekološki prihvatljivija obuka zavarivanja sučeonih i ugaonih spojeva, kao i zavarivanja cevi u svim položajima. U ovom radu prikazaće se mogućnosti primene virtualnog simulatora Lincoln VRTEX 360 u nastavi na Mašinskom fakultetu u Nišu, i u obuci zavarivača.

**Ključne reči:** Virtuelna realnost, Simulator, Obuka zavarivača

### Abstract:

Many hours of practice is required to make a welder could achieve the necessary motor skills to perform complex welds. Experience shows that it takes more than 100 hours of practical work to a welder in general began to come to some sort of useful results. During this learning, welder will spend a considerable amount of metal plates and tubes, welding wires (or electrodes), shielding gas, electricity. In this exercise will take place in conditions of electric arc burning, smoke-polluted atmosphere, intense light, UV and thermal radiation, which shall be appropriately and protected. Welding simulators are high-tech devices based on computer technology, which process information in a way that the welder can "see" his work in the virtual space. Welding Simulator virtual reality Lincoln VRTEX 360 is primarily intended for training welders MMA (111), GMAW (135), FCAW (136) procedures. This simulator allows the welding is cheaper, better, safer, faster and more environmentally friendly training butt welding and fillet welds, and weld pipe in all positions. In this paper we show the application possibilities of the virtual simulator Lincoln VRTEX 360 in teaching at the Faculty of Mechanical Engineering in Nis, and in the training of welders.

**Key words:** Virtual Reality, Simulator, Training of welders

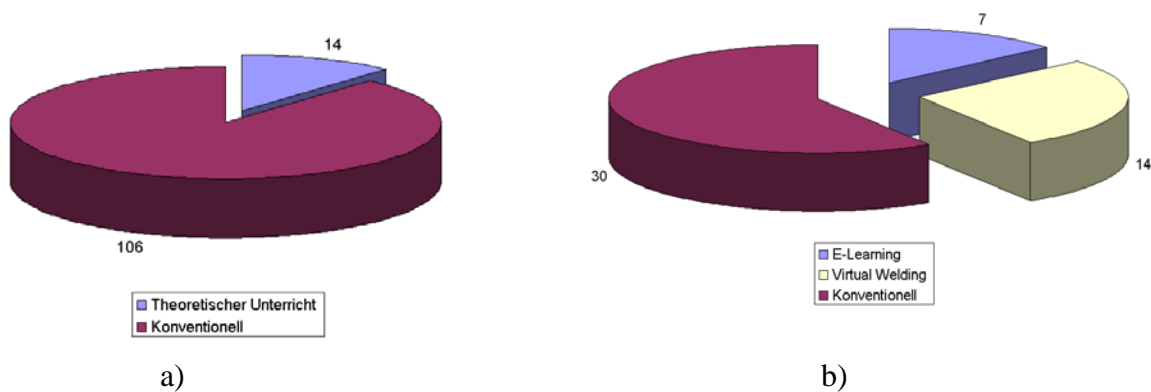
## 1. UVOD

Danas gotovo da nema proizvoda u čiju izradu nije uključeno zavarivanje ili zavarivanju srodan postupak. Spajanje materijala je vrlo složena tehnologija čije poznavanje zahteva vrlo široka opšta znanja iz područja mašinstva, fizike, metalurgije, hemije, elektrotehnike i drugih područja. Ta specijalistička znanja ne mogu se dobiti obrazovanjem na fakultetima i u školama, te je nužno da se specijalisti za zavarivanje steknu na drugi način, osposobljavanjem nakon završenog školskog obrazovanja, prema posebnim specijalističkim programima. Starosna struktura zavarivača je sve nepovoljnija. Prosečna starost zavarivača u SAD je 55 godina. Procena Američkog društva za zavarivanje je da će do 2020. godine biti manjak od 290.000 stručnjaka u oblasti zavarivanja (zavarivači, praktičari, tehnolozi, inženjeri i inspektori).

Tradicionalni kursevi za obuku zavarivača obuhvataju teoretsko obrazovanje i praktičnu obuku. Praktična obuka se sprovodi za gasno zavarivanje (311-G), ručno elektrodočno zavarivanje REL (111-MMA), zavarivanje pod zaštitom gasa netopivom elektrodom (141-TIG) i zavarivanje pod zaštitom gasova topivom elektrodom (131-135-MIG/MAG).

Savremeni pristup u obuci zavarivača danas pretpostavlja primenu virtuelnog simulatora zavarivanja, koji doprinosi da obuka zavarivača bude efikasnija, jeftinija, bezbednija, brža i ekološki prihvatljivija. To je integrisana obuka zavarivača koja se sastoji od teorijskog dela obuke, primene virtuelnog simulatora zavarivanja i konvencionalnog praktičnog dela obuke zavarivača.

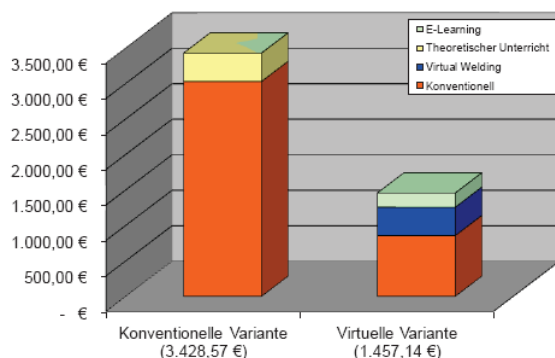
Iskustvo Nemačkog instituta za zavarivanje DVS (German Welding Institute) – za jedan nivo obuke zavarivača postupkom 111, neophodno je 120 časova i to 14 teorijskih i preostali deo praktična vežba na uređajima za zavarivanje. Napredan vid obuke zavarivača pretpostavlja da se teorijski deo obuke radi u vidu E-learning i to 7 časova, primena virtuelnog simulatora 14 časova, a praktična konvencionalna obuka samo 30 časova.



Slika 1. Obuka zavarivača a) konvencionalna, b) integrisana sa primenom virtuelnog simulatora zavarivanja

Uporedni troškovi obuke zavarivača primenom ova dva pristupa dati su na slici 2 i pokazuju da je obuka u kojoj se koristi virtuelni simulator više nego upola jeftinija.





**Slika 2. Ekonomska prednost virtuelne varijante obuke zavarivača u odnosu na konvencionalnu varijantu**

U svetu je razvijen veliki broj virtuelnih simulatora zavarivanja (CS Wave, Fronius Virtual Welding, guideWELD VR, WeldPlus itd.). Mašinski fakultet u Nišu poseduje virtuelni simulator zavarivanja LINCOLN [VRTEX® 360](#), tako da se u obuci zavarivača, koja se vrši po utvrđenom programu Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW), definisanog dokumentom IIW-a, IAB-089r5-14: Minimum Requirements for the Education, Training, Examination and Qualification of International Welder, u jednom delu praktične obuke zavarivača, koristi virtuelni simulator zavarivanja.

## 2. VIRTUELNA REALNOST

Virtuelna stvarnost (engl. *virtual reality*, VR) predstavlja skup tehnologija koje se, u jednom smeru, koriste za sintetizaciju autentičnog sklopa vizuelnih, zvučnih, dodirnih, a ponekad i drugih čulnih iskustava, kako bi pružile iluziju da praktično nepostojeće stvari definisane i smeštene samo u računarskoj memoriji mogu da se vide, čuju, dodirnu i oseće na neki drugi potreban način. U drugom smeru, ove tehnologije se koriste da bi autentično registrovale ljudske pokrete, zvuke i druge moguće ulazne podatke na način koji je tačan i obradiv od strane računara. Oba ova smera dejstva - od računara ka čoveku i od čoveka ka računaru - se koriste da bi pružili imerzivni i interaktivni interfejs između virtuelnih svetova i ljudi, ili drugih vrsta korisnika.

U stvarnom svetu ljudi primaju i šalju informacije u 3D prostoru. Konverzacija, relativni položaj tela i objekata, kao i pokreti u 3D prostoru, nose veliku količinu informacija koje mi jednostavno razumemo i povezujemo u određeni događaj.

S napretkom računarske tehnologije, logično je da svet računara pokušava da imitira stvarni svet. Dok grafički korisnički interfejsi omogućavaju korisnicima računara pristup informacijama pomoću tzv. ikona, virtuelni svet omogućava pristup informacijama imitirajući 3D prostor koji postoji u stvarnom svetu. Ovu imitaciju stvarnog prostora nazivamo virtuelni prostor ili virtuelna realnost, jer na određeni način vidimo nešto što je virtuelno, znači generisano računarnom i odgovarajućim optičkom interfejsom dok u stvarnosti fizički ne postoji.

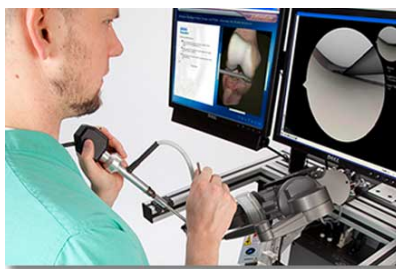
Virtuelna realnost nam je vrlo bliska u normalnoj svakodnevnicu, svi smo bar čuli za njenu primenu. Ona se koristi već godinama kod računarskih video igara, kompanija Samsung je uvela Gear VR u svet pametnih telefona, a tehnologija se je pokazala naročito korisnom u sistemima obrazovanja. Virtuelna realnost je već našla primenu u:

Vazduhoplovstvu. Piloti uvežbavaju postupke i situacije, te "izrađuju" časove letenja na virtuelnim simulatorima leta, vojnim i civilnim avionima (slika 3).



**Slika 3. Virtuelni simulator vožnje aviona**

Medicini. Lekari uvežbavaju komplikovane operativne zahvate na virtuelnim simulatorima (slika 4).



**Slika 4. Virtuelni simulator za obuku hirurga**

Obuci vozača. U auto-školama se pre kretanja na put uvežbavaju postupci vožnje koristeći simulator (slika 5).



**Slika 5. Virtuelni simulator za obuku vozača**

Pomorstvu. Pomorski kapetani uvežbavaju ulazak i pristajanje u sve svetske luke na virtuelnim simulatorima (slika 6).



**Slika 6. Virtuelni simulator za plovidbenu obuku**

Slični razlozi koji su doveli do primene virtuelne realnosti i u oblasti zavarivanja, tj. obuke zavarivača. Poznato je da je mnogo sati vežbanja potrebno da bi zavarivač mogao postići potrebne motoričke veštine za izvođenje zahtevanih zavarenih spojeva.

### 3. VIRTUELNI SIMULATOR VRTEX 360

Zavarivanje je veština, i kao takav zahteva mnogo sati vežbanja da bi zavarivač mogao postići potrebne motoričke sposobnosti za izvođenje zahtevnih zavarenih spojeva. Ova vrsta treninga zahteva vreme, novac, i talenat.

Iskustvo pokazuje da je potrebno više od 100 sati praktičnog rada kako bi zavarivač uopšte počeo dolaziti do nekakvih upotrebljivih rezultata. Za vreme tog učenja, zavarivač će potrošiti znatnu količinu metalnih ploča, žice za zavarivanje (ili elektroda), zaštitnog gasa, električne energije. Pri tome će se vežbe odvijati u uslovima gorenja električnog luka, dimom zagađene atmosfere, intenzivnog svetlosnog, UV i toplotnog zračenja, od kojih se treba odgovarajuće i zaštititi. Obuku u ovakvim uslovima nije moguće realizovati ni bez posebnog nadzora kvalifikovane osobe (instruktora zavarivanja). Za povećanje efikasnosti treninga zavarivača u poslednje vreme koriste se virtuelni simulatori zavarivanja.

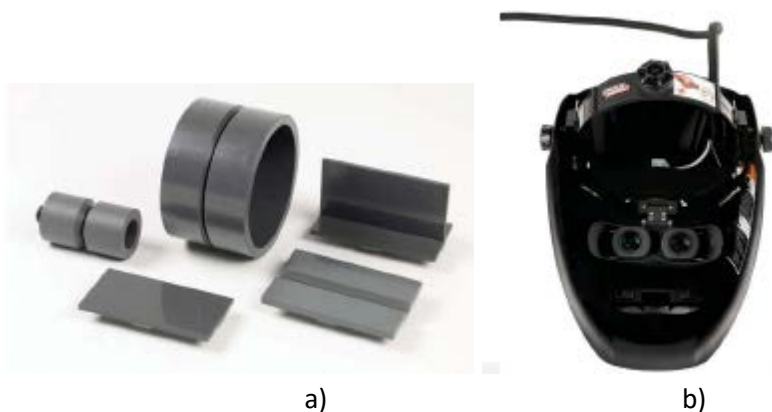
Mašinski fakultet u Nišu poseduje virtuelni simulator kompanije Lincoln Electric Co. koja je sa kompanijom za razvoj softvera VRSim, razvila simulator virtuelnog zavarivanja VRTEX 360 (slika 7).



Slika 7. Simulator virtuelnog zavarivanja VRTEX 360

Simulator virtuelnog zavarivanja VRTEX 360 može da simulira REL, MIG/MAG i TIG postupke zavarivanja. Mašinski fakultet u Nišu raspolaže softverima za REL i MIG/MAG postupak zavarivanja. Za prikaz virtualne stvarnosti koriste se 3D naočare ugrađene u zavarivačku zaštitnu masku (slika 8, b), a “virtualno zavarivanje” se vrši na modelima standardnih epruveta za zavarivanje (slika 8, a).

Epruvete za virtuelno zavarivanje imaju zadatak da simuliraju različite tipove spojeva (ploče za navarivanje, sučeoni zavareni spoj i ugaoni zavareni spoj dve ploče, sučeono zavareni spoj cevi prečnika 50 mm i 150 mm).



Slika 8. a) Epruvete za virtuelno zavarivanje, b) 3D zavarivačka maska za virtuelno zavarivanje



Slika 9. Pozicije zavarivanja

Virtuelni simulator zavarivanja omogućava obuku za sve položaje zavarivanja (slika 9). Postolje virtuelnog simulatora služi kao nosač epruveta za virtuelno zavarivanje, koji se mogu postaviti u svim položajima zavarivanja. Na postolju se nalazi i glavni senzor koji ima ulogu da stvori virtuelnu realnost.

Specijano dizajnirana zaštitna zavarivačka maska sa 3D ugrađenim naočarima preko čijih objektivna, osoba koja se obučava ulazi u svet virtuelne realnosti, a ujedno preko slušalica dobija zvuk koji se stvara prilikom zavarivanja.

Sastavni deo virtuelnog simulatora su držač elektrode za REL postupak, koji simulira trošenje elektrode u procesu zavarivanja, i pištolj koji polaznicima obuke omogućava simulaciju rada sa MIG/MAG postupkom.

U virtuelnom okruženju koje pruža VRTEX 360, korisnik dobija potpuni osećaj 3D virtuelne realnosti, posredstvom tri čula koje simulator omogućava. To su čulo dodira koje se ostvaruje neposrednim dodirima sa pištoljem za zavarivanje, čulo vida, koje preko objektivna u kacigi približavaju sliku potpunoj realnosti (prikaz električnog luka, rasprskavanja materijala, topljenje dela dodatnog i osnovnog materijala) i čulo sluha, koje preko kacige omogućava korisniku da na osnovu zvuka koji čuje, zaključuje da li je ostvario dobar električni luk.

#### 4. OBUKA NA VIRTUELNOM SIMULATORU ZAVARIVANJA

Na samom početku obuke na simulatrou VRTEX 360, kandidat unosi svoje ime. Zatim se bira tip spoja i virtuelno okruženje u kome će se kandidat obučavati (zavarivačka radionica, gradilište, vojna baza itd.). Sledeći korak zahteva izbor postupka zavarivanja (REL ili MIG/MAG). Vršiti se izbor epruvete za virtuelno zavarivanje i definiše se pozicija zavarivanja.

Nakon toga sledi unos osnovnih parametara zavarivanja. Ti parametri ne mogu biti proizvoljni, već se unose sa već pripremljenih WPS lista, koje su sastavni deo virtuelnog simulatora zavarivanja. Dakle, unose se idealni parametri zavarivanja, u zavisnosti od postupka, tip elektrode, tip struje (AC,DC), jačina struje, napon, protok gasa, brzina dovođenja žice itd.

Kada su svi parametri podešeni, polaznik počinje zavarivanje i to u redosledu kako je propisano WPS listom, po kojoj su podešeni parametri virtuelnog simulatora. Propisan je broj prolaza koje kandidat mora da napravi, kao i redosled svakog prolaza. Nakon svakog od prolaza, softver vrši ocenjivanje rada. Ocenjivanje se vrši na osnovu pet parametara, a to su: pozicija pravca zavarivanja, dužina električnog luka/rastojanje radne površine do šobe gorionika za MIG/MAG, pozicija elektrode, koja je definisana preko radnog ugla i ugla u odnosu na putanju zavarivanja i brzina zavarivanja. Konačna ocena je prosečna ocena, ovih pet parametara.

Pored ocene, polaznik obuke dobija i dijagramski prikaz svih pet praćenih parametara zavarivanja duž celog zavara. Ispod dijagramskog prikaza praćenih parametara rada zavarivača, dat je izgled šava, a ispod slike zavarenog spoja date su generisane površinske i zapreminske greške zavara (poroznost u metalu zavara, nedovoljan provar, preveliko nadvišenje zavara, utonulost zavara, progorevanje itd.).

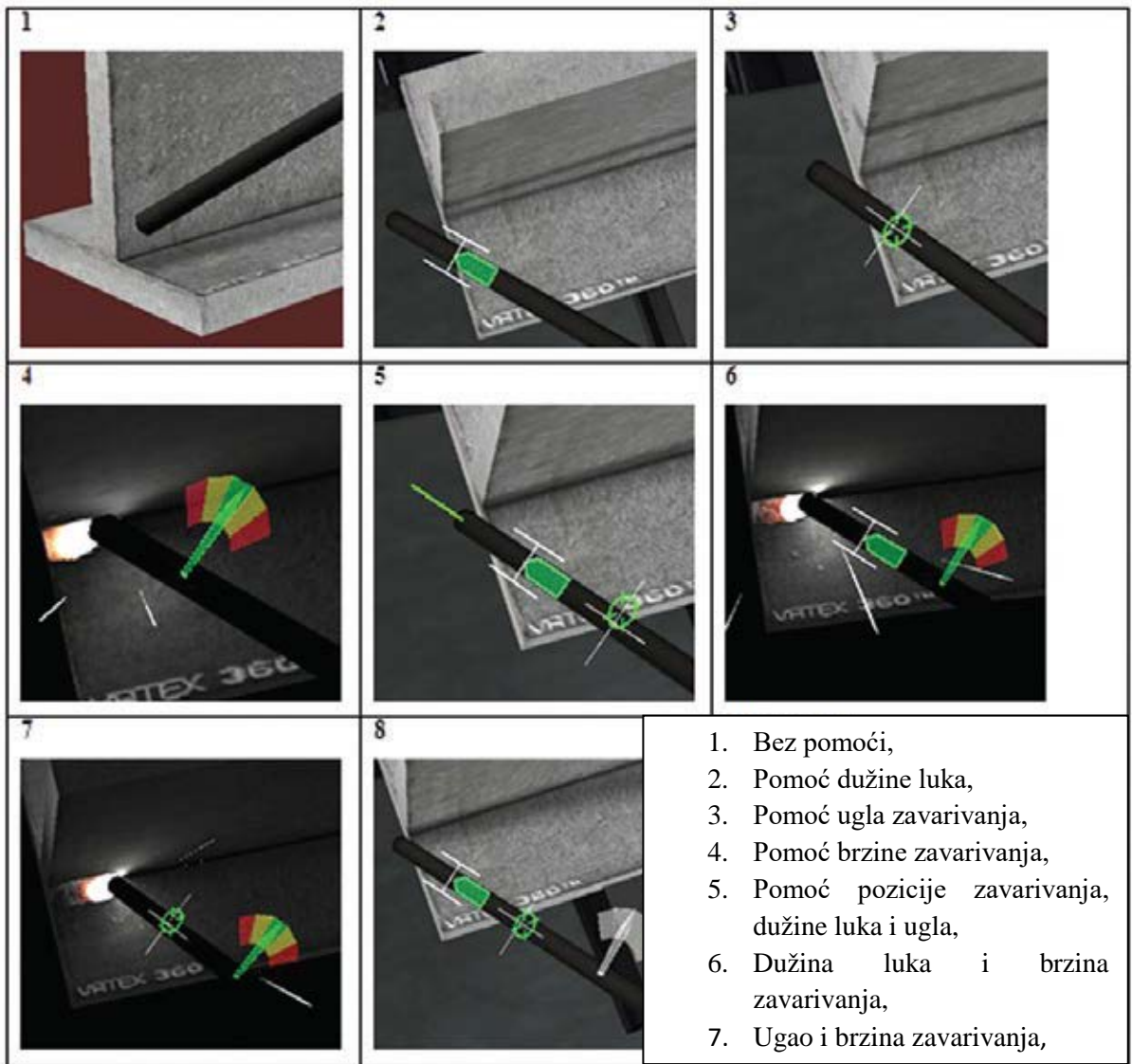
Početna faza obuke na simulatoru obuhvata vežbe osnovne motorike kod zavarivanja, za što se u realnom načinu obuke troši mnogo vremena i resursa. Najpre se uvežbavaju sledeće faze:

Vođenje gorionika i održavanje konstantne i potrebne brzine zavarivanja

Vođenje gorionika i održavanje potrebne udaljenosti kontaktne vodilice (slobodne dužine žice)

Vođenje gorionika , održavanje udaljenosti, držanje pravilnog nagiba gorionika

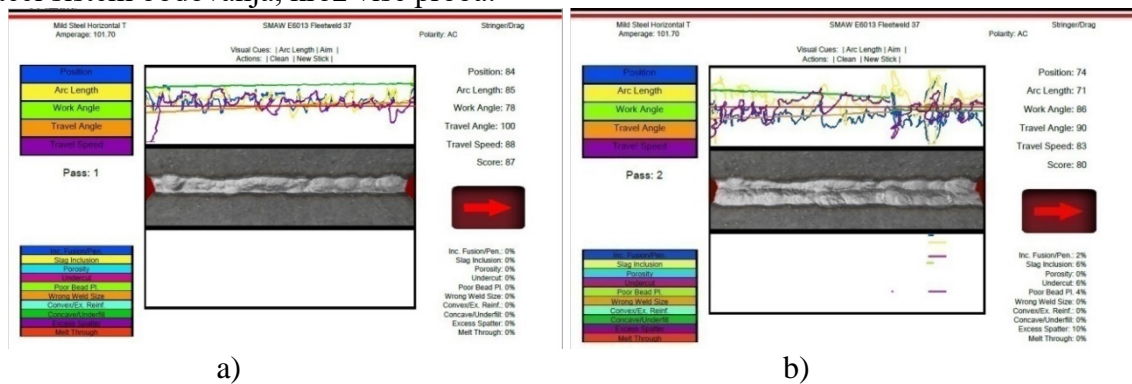
Ova faza se može ponavljati sve dok se motorika ne ujednači u postizanju dobrih rezultata. Virtuelni simulator zavarivanja VRTEX 360 u ovoj početnoj fazi obuke omogućava uključivanje pomoći koje omogućavaju brzu i uspešnu obuku zavarivača (slika 10).

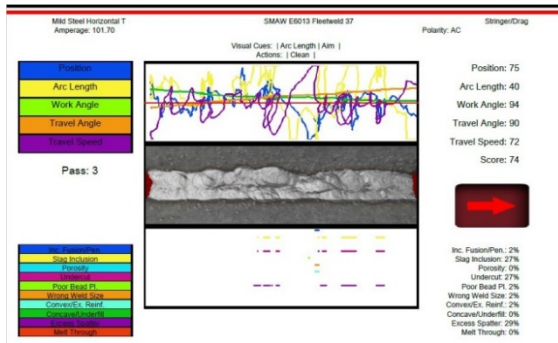


1. Bez pomoći,
2. Pomoć dužine luka,
3. Pomoć ugla zavarivanja,
4. Pomoć brzine zavarivanja,
5. Pomoć pozicije zavarivanja, dužine luka i ugla,
6. Dužina luka i brzina zavarivanja,
7. Ugao i brzina zavarivanja,

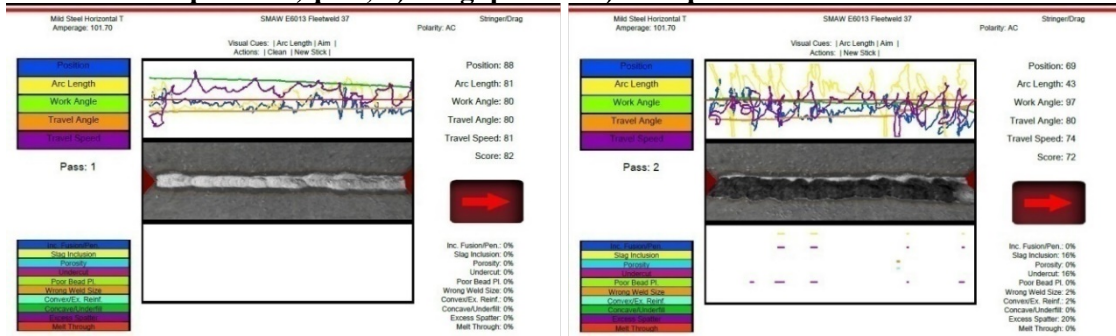
Slika 10. Pomoći prilikom obuke zavarivača

Na slikama 11, 12 i 13 dat je primer obuke jednog polaznika obuke na slučaju uganog zavarivanja u horizontalnom položaju, postupkom REL, sa tri prolaza, i praćenje napredovanja koristeći sistem bodovanja, kroz više proba:



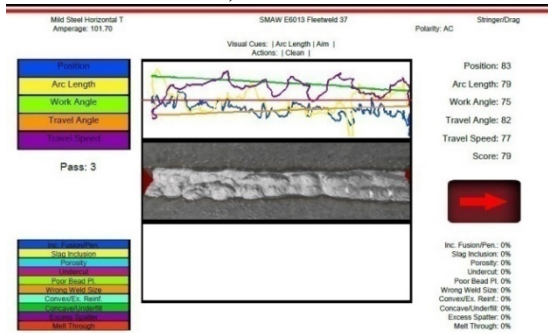


c) **Slika 11. Prva proba: a) prvi, b) drugi prolaz i c) treći prolaz**

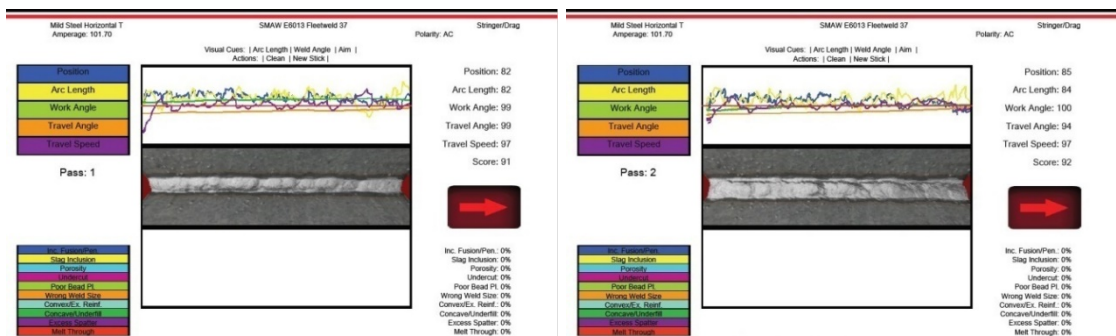


a)

b)

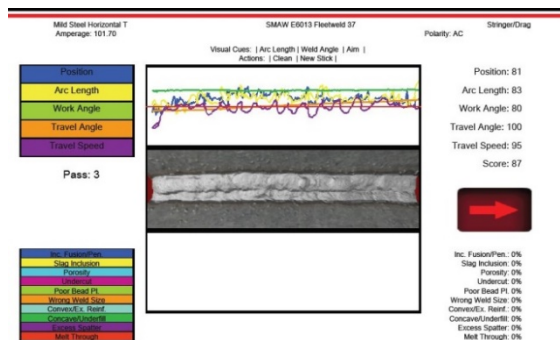


c) **Slika 12. Druga proba: a) prvi, b) drugi prolaz i c) treći prolaz**



a)

b)



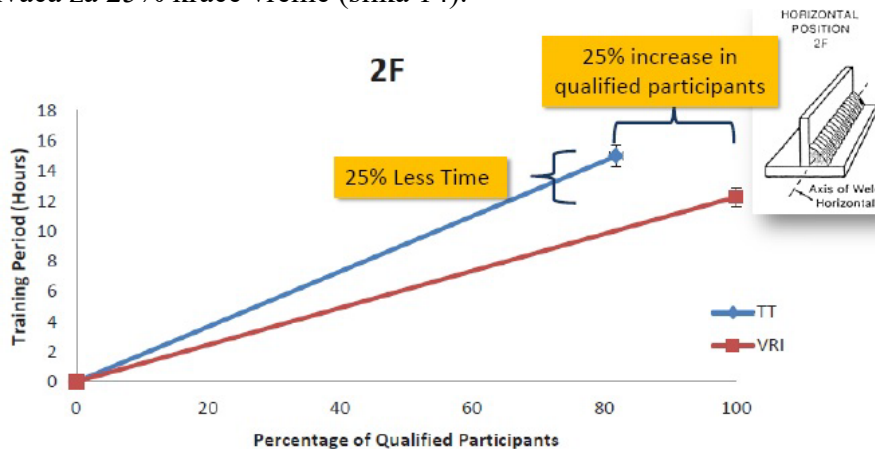
c)  
**Slika 13. Treća proba: a) prvi, b) drugi prolaz i c) treći prolaz**

Simulator VRTEX 360 pruža mogućnost da se na tzv. Weldometer-u vidi koliko je kandidat proveo vremena na obuci, koliko je potrošio dodatnog materijala, osnovnog materijala, gasa, struje, pa se može sračunati i kolika je ušteda napravljena prilikom obuke, što je pored ekološkog, vrlo bitan aspekt obuke.

Benefiti obuke zavarivača u koju je integrisana primena virtuelnog simulatora zavarivanja u odnosu na konvencionalnu obuku zavarivača su:

- Kraće vreme obuke zavarivača,
- Veći broj obučenih zavarivača,
- Manji troškovi obuke.

Efekat obuke [4] na primeru obuke zavarivanja ugaonih spojeva u horizontalnom položaju je da se primenom virtuelnog simulatora u obuci povećava za 25% broj obučenih zavarivača za 25% kraće vreme (slika 14).



**Slika 15. Efekat obuke zavarivača primenom virtuelnog simulatora zavarivanja [4]**

Primena virtuelnog simulatora, u obuci kod sučeonog zavarivanja ploča u horizontalnom položaju, daje efekat kraćeg vremena obuke za 28% u odnosu na konvencionalnu obuku i povećani broj obučenih zavarivača 65% [4].

Smanjenje troškova obuke u osnovnom materijalu, u dodatnom materijalu (elektrode, žica), u zaštitnim gasovima, u potrošnji električne energije idu i do 70% u korist integrisane obuke sa virtuelnim simulatorom u zavisnosti od procentalnog učešća virtuelnog simulatora.



## 5. ZAKLJUČAK

Obuka zavarivača u kojoj je integrisana primena virtuelnog simulatora zavarivanja je obuka zavarivača 21. veka. Primenom virtuelnog simulatora u obuci zavarivača, skraćuje se potrebno vreme za obuku zavarivača, ostvaruju se uštede u osnovnom materijalu, dodatnom materijalu, zaštitnim gasovima i električnoj energiji i istovremeno može da se obuču veći broj zavarivača u odnosu na obuke konvencionalnim pristupom.

Simulator zavarivanja virtualne realnosti Lincoln VRTEX 360, kojim raspolaže Mašinski fakultet u Nišu – Centar za zavarivanje i zavarene konstrukcije, namenjen je obuci zavarivača MMA (111), GMAW (135), FCAW (136) postupcima. Ovim simulatorom zavarivanja omogućuje se jeftinija, kvalitetnija, bezbednija, brža i ekološki prihvatljivija obuka zavarivača sučeonih i ugaonih spojeva ploča, kao i sučeonog zavarivanja cevi u svim položajima.

## LITERATURA

- [1] Grubić, K., Kralj, S., Andrić, Š., Evropski system obrazovanja stručnjaka za zavarivanje, ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE (3/2004) , str. 133-138.
- [2] Jovanić, D., Jovanović, M., Jonaš, Z., CS WAVE simulator zavarivanja – analiza rezultata i napredak obuke, ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE, 1/2013, str. 41-46
- [3] Stone, R. T., McLaurin, E., Zhong, P., Watts, K. P., Full Virtual Reality vs. Integrated Virtual Reality Training in Welding, Welding Journal Vol. 92 Iss. 6 (2013) pp. 167S - 174S
- [4] Stone, R. T., Watts, K. P., Zhong, P., Virtual Reality Integrated Weld Training - A scientific evaluation of training potential, cost effectiveness and implication for effective team learning, [http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/training-equipment/Documents/Virtual\\_Reality\\_Integrated\\_Weld\\_Training\\_13July2011.pdf](http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/training-equipment/Documents/Virtual_Reality_Integrated_Weld_Training_13July2011.pdf)
- [5] Rudan, M., Tucman, T., Simulatori virtualne realnosti u zavarivanju, 6. SEMINAR Novine u tehnologiji zavarivanja i srodnim tehnikama, Pula, 28.10.2010, <http://www.dtzi.hr/upload/pdf/6.%20SEMINAR/RADOVI/3.%20Simulatori%20virtualne%20realnosti%20u%20zavarivanju.pdf>