UDK/UDC: 621.791 **EISSN 3042-3163 ISSN 0354-7965**

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 71	Br. 3	97-144	Beograd	Srbija	2026.
Vol. 71	No. 3	97-144	Belgrade	Serbia	2026.

ČASOPIS DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI I TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

SERBIAN WELDING SOCIETY AND FACULTY OF TECHNOLOGY AND METALLURGY OF THE UNIVERSITY OF BELGRADE QUARTERLY REVIEW

PERIODIČNOST IZLAŽENJA – ČETIRI PUTA GODIŠNJE

PUBLISHED IN FOUR ISSUES ANNUALLY

IZDAVAČI / PUBLISHERS

DUZS - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji
Grčića Milenka 67, Beograd, Srbija
TMF - Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu
Karnegijeva 4, Beograd, Srbija

Za izdavača / For Publisher
Branislav Lukić, dipl.ing, predsednik DUZS

UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)
Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.
Doc.dr Ismar Hajro, dipl.ing. (BiH)
Prof.dr Darko Bajić, dipl.ing. (Crna Gora)
Prof. dr Dragoslav Dobraš, dipl.ing. (BiH, Republika Srpska)
Prof. dr Sveto Cvetkovski, dipl.ing. (Makedonija)
Doc. dr Tomaž Vuherer, dipl.ing. (Slovenija)
Prof. dr Ivan Samardžić, dipl.ing. (Hrvatska)
Dr Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)
Dr Tushar Sonar, dipl.ing. (Rusija)

UREDNIŠTVO / EDITORIAL

Glavni i odgovorni urednik / Editor-in-Chief
Dr Zoran Odanović, dipl.ing.
duzs011@gmail.com, zoranodanovic@gmail.com

Tehnički urednici / Technical Editors
Branislav Lukić, dipl.ing
štampano izdanje / printed edition
Dr Bojan Gligorijević, dipl.ing
internet izdanje / online edition

Redakcijski odbor / Editorial Board
Dr Nenad Radović, dipl.ing.
Dr Radomir Jovičić, dipl.ing.
Dr Srđan Bulatović, dipl.ing.
Dr Stefan Dikić, dipl.ing.
Mr Miloš Pavlović, dipl.ing.

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING

Vesna Jović
Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd

Tel / Fax + 381 (11) 2420-652
(10-16h)

duzs011@gmail.com
www.wwsjournal.org.rs

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
621.791

ZAVARIVANJE i zavarene konstrukcije : časopis Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji i Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu = Welding & welded structures : Serbian welding society and Faculty of Technology and metallurgy of theUniversity of Belgarde quarterly review / glavni i odgovorni urednik Zoran Odanović. - Vol. 41, no. 1 (1996)- . - Beograd : DUZS - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji : TMF - Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, 1996- (Beograd : RIC grafičkog inženjerstva Tehnološkometalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu). - 29 cm

Tromesečno. - Je nastavak: Zavarivač = ISSN 0513-8523. - Drugo izdanje na drugom medijumu: Zavarivanje i zavarene konstrukcije (Online) = ISSN 3042-3163 ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije COBISS.SR-ID 105396743

CENE I NARUDŽBINA ZA 2026.
Cena pojedinačnog broja 1.150,00 dinara
Godišnja pretplata 3.520,00 dinara
Tekući račun: 325-9500600002588-46

PRICE AND ORDER
Annual subscription: EUR 100
Account No. RS35325960160000041546
OTPVRS22 (VOJVOĐANSKA BANKA AD)
IBAN RS35325960160000041546

ŠTAMPA / PRINT
RIC grafičkog inženjerstva
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Karnegijeva 4, Beograd
Tiraž / Circulation: 150

Časopis sufinansira Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije br. 413-00-2272/2001-01, časopis ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE je publikacija od posebnog interesa za nauku

3/2026

SADRŽAJ CONTENTS



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ — SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

101 **POREĐENJE ZAVARENIH SPOJEVA DOBIJENIH LASERSKIM POSTUPKOM ZAVARIVANJA U ATMOSFERI RAZLIČITIH ZAŠTITNIH GASOVA** — **COMPARISON OF WELDS MADE WITH A LASER WELDING MACHINE UNDER DIFFERENT SHIELDING GASES**

Edvard Bjelajac, Andrej Skumavc, Tomaž Vuherer,Nenad Gubeljak, Damjan Klobčar, Gorazd Lojen



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ — SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

113 **UTICAJ SINHRONIZACIJE GMAW I LBW PROCESA NA KVALITET ZAVARA I MEHANIČKE KARAKTERISTIKE KONSTRUKCIONOG ČELIKA** — **CHRONIZING GMAW AND LBW PROCESSES ON WELD QUALITY AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL STEEL**

Martin Petreski, Dobre Runchev, Gligorche Vrtanoski, Aleksandra Krstevska



PRAKSA — PRACTICE

121 **SANACIJA PUKOTINE NA ČEONOJ STIJENI MLINA CEMENTA** — **REPAIR OF A CRACK ON THE CEMENT MILL END WALL**

Resul Hamzić, Namik Džibrić, Alen Hodžić



OBRAZOVANJE — EDUCATION

127 **SAVREMENI PRISTUPI U OBUCI KOORDINATORA I INSPEKTORA ZA METALNE KONSTRUKCIJE U SKLADU SA ZAHTEVIMA EU CPR** — **MODERN APPROACHES TO TRAINING COORDINATORS AND INSPECTORS FOR METAL STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH EU CPR REQUIREMENTS**

Miro Uran, Vital Uran, Miloš Jovanović



OBRAZOVANJE — EDUCATION

131 **WELD ME - PROGRAM ZA PROCJENU ZAVARLJIVOSTI I TERMIČKIH USLOVA ZAVARIVANJA ČELIKA** — **WELD ME - SOFTWARE FOR ASSESSING THE WELDABILITY AND THERMAL CONDITIONS OF STEEL WELDING**

Muhadin Kozica



VESTI — NEWS

100 **73. GODIŠNJA SKUPŠTINA DUZS**

112 **73. GODIŠNJA SKUPŠTINA DUZS**

142 **79. GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE I MEĐUNARODNA KONFERENCIJA**

144 **MARKETING**

Poštovani čitaoci,

Pred vama je treći broj časopisa *Zavarivanje i zavarene konstrukcije* za 2026. godinu, koji je posvećen događaju od posebnog značaja za stručnu i naučnu zajednicu u oblasti tehnologija spajanja materijala u Crnoj Gori. Ovu godinu obilježila je realizacija Prve konferencije sa međunarodnim učešćem „Konferencija o tehnologijama spajanja materijala – CG2026“ i predstavlja važan iskorak u daljem razvoju struke, nauke i međunarodne saradnje u oblasti zavarivanja i srodnih tehnologija.

Konferenciju, održanu od 14. do 16. maja 2026. godine u Bečićima, organizovalo je Društvo za zavarivanje Crne Gore, uz podršku Mašinskog fakulteta Univerziteta Crne Gore i brojnih partnera iz zemlje i inostranstva. Okupljanje istraživača, univerzitetskih profesora, inženjera, predstavnika industrije i stručnih organizacija iz više država potvrdilo je da oblast tehnologija spajanja materijala predstavlja jednu od ključnih interdisciplinarnih oblasti savremenog inženjerstva, sa značajnim uticajem na energetiku, transport, građevinarstvo, brodogradnju, metaloprerađivačku industriju i razvoj novih materijala.

Kvalitet prezentovanih radova i aktivne diskusije učesnika pokazali su da region raspolaže značajnim istraživačkim i stručnim potencijalom, ali i da postoji snažna potreba za intenzivnijim povezivanjem nauke i industrije.

Govoreći o kontinuitetu i tradiciji, posebno mjesto zauzima dugogodišnja saradnja Društva za zavarivanje Crne Gore i Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji. Saradnja dvije organizacije traje već sedam decenija i predstavlja jedan od najdugovječnijih i najuspješnijih primjera stručnog povezivanja u regionu. Tokom svih tih godina, saradnja je doprinijela očuvanju visokog nivoa stručnosti i omogućila da se iskustvo i znanje prenose na nove generacije inženjera i istraživača. Rezultat uspešne saradnje predstavlja i ovaj broj časopisa *Zavarivanje i zavarene konstrukcije,* gde su publikovani pojedini radovi izlagani na „Konferenciji o tehnologijama spajanja materijala – CG2026“.

Dugogodišnje partnerstvo DZCG i DUZ Srbije predstavlja snažan temelj za buduće zajedničke projekte, naučna istraživanja i aktivnosti usmjerene ka unapređenju tehnologija spajanja materijala u regionu i šire.

Predsjednik Društva za zavarivanje Crne Gore
Prof. dr Darko Bajić



34. MEĐUNARODNO SAVETOVANJE "ZAVARIVANJE 2026"



Nastavak na strani 112

DRUŠTVO ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI – DUZS, član ***European Federation for Welding, Joining and Cutting*** organizuje od 15. do 17. oktobra 2026. godine 34. Međunarodno Savetovanje **ZAVARIVANJE 2026**

Teme skupa:

(1) KONVENCIONALNI I NEKONVENCIONALNI POSTUPCI ZAVARIVANJA
(2) OSNOVNI, DODATNI I POMOĆNI MATERIJALI
(3) INTEGRITET KONSTRUKCIJA I OSIGURANJE KVALITETA
(4) TEHNIČKA REGULATIVA, OBRAZOVANJE, EKOLOGIJA I ZAŠTITA

MESTO ODRŽAVANJA



Srebrno jezero - Nedaleko od Beograda, na reci Dunav nalazi se jedno od najpopularnijih jezera u Srbiji, Srebrno jezero. Zraci sunca koji u suton padaju na površinu Srebrnog jezera kreiraju jedinstven iskričavi sjaj po kome je jezero i dobilo ime. Srebrno jezero udaljeno je 110 km od Beograda, 190 km od Novog Sada, 30 km od Požarevca i 2 km od Velikog Gradišta. Idealno je mesto za godišnji odmor, ljubitelje plivanja, skijanja na vodi, ribolovce ili one koji žele da uživaju prirodi i šetnjama ovim krajevima.

Hotel Danubia Park - Hotel Danubia Park nalazi se na Srebrnom jezeru, nadomak Dunava i na samo sat i po vremena vožnje od Beograda. Uz gostoprimstvo, topli ambijent, udoban smeštaj kao i brojne sadržaje kako za one koji traže aktivan odmor tako i za one željne opuštanja, hotel Danubia Park pruža usluge spa i fitness centra kao i slobodan ulaz u Aqua Club.



Nastavak na strani 112

Edvard Bjelajac[1,a], Andrej Skumavc[2], Tomaž Vuherer [3,b],Nenad Gubeljak [3,c], Damjan Klobčar [4,d], Gorazd Lojen [3,e]

COMPARISON OF WELDS MADE WITH A LASER WELDING MACHINE UNDER DIFFERENT SHIELDING GASES

POREĐENJE ZAVARENIH SPOJEVA DOBIJENIH LASERSKIM POSTUPKOM ZAVARIVANJA U ATMOSFERI RAZLIČITIH ZAŠTITNIH GASOVA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

Paper received / Rad primljen:

July 2026.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

August 2026.

Author's address / Adresa autora:

[1] Messer Slovenija d.o.o., Ruše, Republic of Slovenia

[2] SIJ Acroni, Jesenice, Republic of Slovenia

[3] Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Maribor, Republic of Slovenia

[4] Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Republic of Slovenia

Email / ORCID ID:

[a] edvard.bjelajac@messergroup.com /

/ [b] 0000-0002-1866-8266

/ [c] 0000-0002-3276-8431

/ [d] 0000-0002-6130-0328

/ [e] 0000-0002-9757-5710

Keywords: laser welding, shielding gases, tensile properties, hardness

Ključne reči: lasersko zavarivanje, zaštitni gasovi, svojstva na zatezanje, tvrdoća

Abstract

Welding of S235 pickled structural steel sheets was performed in a Trumpf TruLaser 5000 laser cell to determine the effect of the protective atmosphere on welding parameters, microstructure, and mechanical properties of the welded joint. Three series of samples were welded. The first two were produced in a protective atmosphere of argon and nitrogen. The third series of samples was processed without shielding gas. Metallographic cross-sections were prepared, the microstructure was examined, geometry of welded joints was analyzed, tensile tests and hardness measurements were done.

Rezime

Zavarivanje konstrukcionog čelika S235 u dekapiranom stanju urađeno je na laserskoj ćeliji Trumpf TruLaser 5000 kako bi se utvrdio utjicaj zaštitne atmosfere na parametre zavarivanja, mikrostrukturu i mehaničke osobine zavarenog spoja. Zavarene su tri serije uzoraka. Prve dvije serije uzoraka zavarene su u zaštitnoj atmosferi argona i azota. Treća serija uzoraka obrađena je bez upotrebe zaštitnog gasa. Pripremljeni su metalografski uzorci, ispitana je mikrostruktura i geometrija zavarenih spojeva. Na kraju su bila sprovedena ispitivanja na zatezanje i mjerenje tvrdoće.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 1st Conference with international participation "Technology of Joining Materials" held in Bečići, Montenegro from May 14 to 16, 2026.

1. Introduction

MAG welding with an active shielding gas or the MIG process using inert gas is the most commonly used arc process for joining metal materials in industrial practice. MAG processes are highly productive, and their productivity can be further increased by optimizing the composition of the shielding gas mixture. The advantages of the MAG process also include easy inspection of the welded joint, the possibility of precise observation of the weld pool, the possibility of combining a wide range of materials, good mechanical properties of joints, and easy mechanization and robotization of the welding process [1 - 3].

As the thickness of the base material decreases, technological problems arise in practice during MIG/MAG processes. These are mainly related to high heat input, resulting in internal stresses and deformations in the product [4, 5]. In addition, spatter often occurs, which reduces the aesthetic appearance of the weld and increases the amount of work required after welding [6].

Laser welding, with or without filler material, has recently become established for welding thin sheets of non-alloy structural steels, high-alloy steels, and non-ferrous metals. It should be noted that the laser heat source differs significantly from the classic MAG source. The metallurgical processes that take place during laser welding differ from those in arc welding methods. Consequently, the properties of laser-welded joints also differ from those achieved using conventional technologies [7 - 9].

One of the modern solutions in the field of laser welding are hand-held laser welding devices, which have been developing rapidly in recent years. They operate with a laser beam generated by power sources mostly between 1 kW and 3 kW. Currently, sources with a power of 2 kW are most commonly used in industrial environments [4, 10].

The choice of shielding gases depends on the base material. In MAG arc welding, argon-based shielding gases containing active components such as carbon dioxide, oxygen, nitrogen, and hydrogen, as well as the inert gas helium, are commonly used. The active components react with the base material and affect the mechanical properties in the weld area [11].

In laser welding, in addition to inert gas argon, nitrogen is also very often used as a basic shielding gas, for welding of unalloyed structural steels, high-alloy stainless steels, as well as non-ferrous metals [11].

The effect of nitrogen on steel during arc and laser welding was investigated by Kokawa [11]. He found that the absorption/desorption of nitrogen by molten metal is influenced by many factors, including the chemical composition of the base material, the partial pressure of the gas, the equilibrium solubility of nitrogen, reaction rate, melt pool configuration, and its change over time. By defining these factors, it is possible to understand the absorption/desorption in the molten metal and make a quantitative prediction of the nitrogen content. It is assumed that the phenomenon can be understood by using empirical data on the chemical composition of materials and the welding process, taking into account only a few predominant factors. It should be noted that absorption/desorption of nitrogen is closely related to formation of porosity [11].

The aim of this research was to produce butt welds on the base material S235 by laser welding without a filler material. The laser beam power was the same for all samples, while the welding speed varied depending on the type of protective atmosphere. To determine the effect of shielding gases on microstructure, geometry, and mechanical properties of the welded joint, three groups of experiments were conducted: welding with argon, welding with nitrogen, and the third, welding in air, without any shielding gas. Microstructures of the welds were examined, geometries of weld metal and HAZ cross-sections analyzed, and tensile strengths and hardness were determined.

2. Materials and methods

2.1. Material

For this study, 6 mm-thick structural steel S235JR+N, in accordance with EN 10025-2, was used as the base material. The chemical composition of the steel is presented in Table 1. According to EN 10204 3.1 ATEST of the steel, the yield stress of the steel (R_{eH}) is 322 MPa, the ultimate tensile strength (R_m) is 437 MPa, and the elongation of the steel (A_5) is 34 %.

Table 1. *Chemical composition of the base material S235 JR+M (wt.%).*

Tabela 1. *Hemijski sastav osnovnog materijala S235JR+M (u mas.%).*

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	N	Fe
0.14	0.51	0.01	0.011	0.006	0.03	0.01	0.01	0.034	0.004	rest

2.2. Welding

Welding was carried out in a laser robotic cell TruLaser Weld 5000. A Trumpf fiber laser TruLaser 5000 was used in combination with a Kuka's six-axis high-precision industrial robot KR 30 HA, The robot payload capacity is 30 kg and its reach is 2033 mm. The robotic cell is shown in Figure 1.



Figure 1. *The laser robotic cell TruLaser Weld 5000.*

Slika 1. *Robotska ćelija za lasersko zavarivanje TruLaser Weld 5000.*

The specimen designations and welding parameters are presented in Table 2. During the welding process, the laser power was kept constant at 3000 W. The focal position of the laser beam was varied, with the focal point located at different depths below the surface of the weldment (f = – 2 mm to – 4 mm), and the welding speed was also adjusted (v = 5 mm/s to 10 mm/s). Consequently, the linear heat input varied in the range of 0.3 kJ/mm to 0.6 kJ/mm. Welding was performed either with or without shielding gas. When applied, the shielding gas was either argon or nitrogen, each at a flow rate of 20 l/min. The third laser welding was performed without any shielding gas.

Table 2. *Designation of the specimens and parameter of laser welding.*

Tabela 2. *Oznake uzoraka i parametri laserskog zavarivanja.*

Specimen mark	**LA-1**	**LA-2**	**LA-3**	**LA-4**
P = 3000 W Shielding gas Ar	f = -3 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm	f = -3 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm	f = -4 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm	f = -2 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm
Specimen mark	**LN-1**	**LN-2**	**LN-3**	
P = 3000 W Shielding gas N_2	f = -3 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm	f = -3 mm v = 7 mm/s Q = 0.43 KJ/mm	f = -3 mm v = 8 mm/s Q = 0.375 KJ/mm	–
Specimen mark	**LB-1**	**LB-2**	**LB-3**	
P = 3000 W Without gas	f = -3 mm v = 5 mm/s Q = 0.6 KJ/mm	f = -3 mm v = 8 mm/s Q = 0.375 KJ/mm	f = -3 mm v = 10 mm/s Q = 0.3 KJ/mm	–

2.3. Macro section and weld geometry measurement

We prepared macro-polished sections from all welded samples. Grinding was performed using wet-grinding papers with various grain sizes ranging from P100 to P1000. Final polishing was performed using 0.5 μm Al_2O_3. Finally, the macro-polished surfaces were etched with 3 % nitric acid (3 % nital) for 15 seconds.

All macro samples were photographed and analyzed using a Leica Wild M10 light microscope. Particular attention was paid to the geometry of the welded joint, where the weld width (WW), root width (RW) and penetration depth (P) of the weld were measured (Figure 2). The face reinforcement (FR) and root reinforcement (RR) were also measured, as well as concavities, i.e. the weld face negative reinforcement (– FR) and negative root reinforcement (– RR) of the weld. The weld cross-sectional area was also measured.

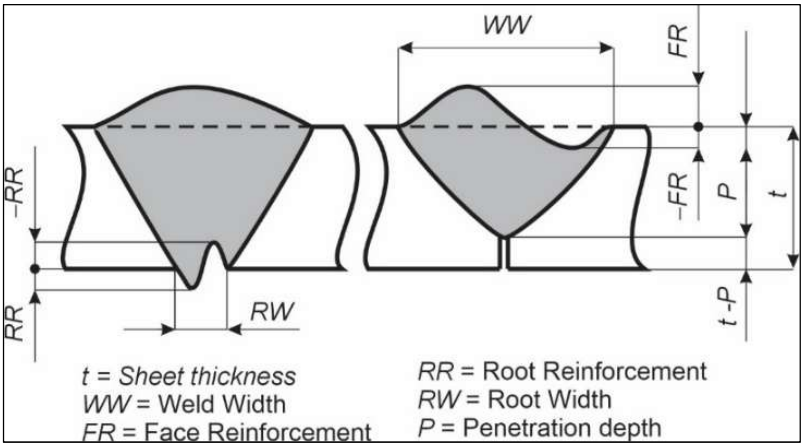


Figure 2. *Measured weld geometry.*

Slika 2. *Izmerena geometrija zavarenog spoja.*

2.3. Mechanical properties

Based on the best-measured weld geometry on the macro-grinds and welds free of any defects, we selected one weld from each group as a reference weld for further analysis.

The microstructure of the reference welds was analyzed, and Vickers hardness was measured using a 10 kg load. Hardness was measured in the root and root-face regions of the weld, as shown in Figure 3. At least three measurements were taken in each area (BM, HAZ, WM, HAZ, BM).

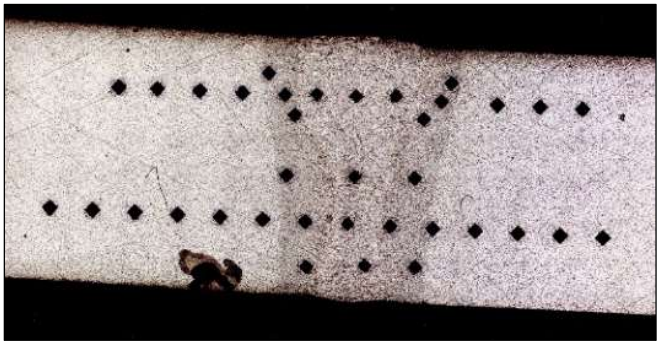


Figure 3. *Vickers hardness measurements in the crown and root of the weld.*

Slika 3. *Merenje tvrdoće po Vikersu u licu i korenu zavarenog spoja.*

Tensile tests were performed on the base materials of selected welded joints in accordance with EN ISO 6892-1[12], and tensile tests on the welded joints were performed in accordance with EN ISO 5178[13]. Two tensile tests were performed on each part using a flat tensile test specimen (10 mm wide and 6 mm thick). A total of 12 tensile tests were performed, 6 on the base metal and 6 on the welds.

3. Results and discussion

3.1. Macrosection

Macrographs were prepared for all 10 welds, as shown in Figure 4. The figures include the focal length of the laser beam below the weld surface and the linear heat input. The first column shows macro-sections of laser welding where argon 4.6 was used as the shielding gas during welding. These welds are labelled LA-1 through LA-4. As can be seen, porosity is present in the weld, which we attempted to eliminate by adjusting the focal depth of the laser beam below the weld surface. We succeeded to some extent by increasing or decreasing the focal depth, but we achieved complete penetration only by reducing the focal depth to – 2 mm. This weld was then further analysed.

The middle column in Figure 4 shows samples of welds made in a nitrogen 5.0 shielding gas, labelled LN-1 through LN-3. In the first two samples, we achieved complete fusion, but not in the third, as the heat input was too low (Q = 0.375 kJ/mm). In the first case, at the maximum heat input (Q = 0.6 kJ/mm), occasional drips appeared at the root along the weld, so we selected weld LN-2 for further analysis.

The last column in Figure 4 shows macrographs of welds where no shielding gas was used during welding, labelled LB-1 through LB-3. In the case of the highest heat input LB-1 (Q = 0.6 kJ/mm), a lack of material appeared at the crown and sagging at the root. In the case of the lowest heat input at LN-3 (Q = 0.3 kJ/mm), we were unable to fully penetrate the weld, and an increased crown height of the weld also appeared. For this reason, we selected sample LB-2 for further analysis, where we were able to fully penetrate the weld without material loss at the crown and without an increased undercut at the root of the weld.

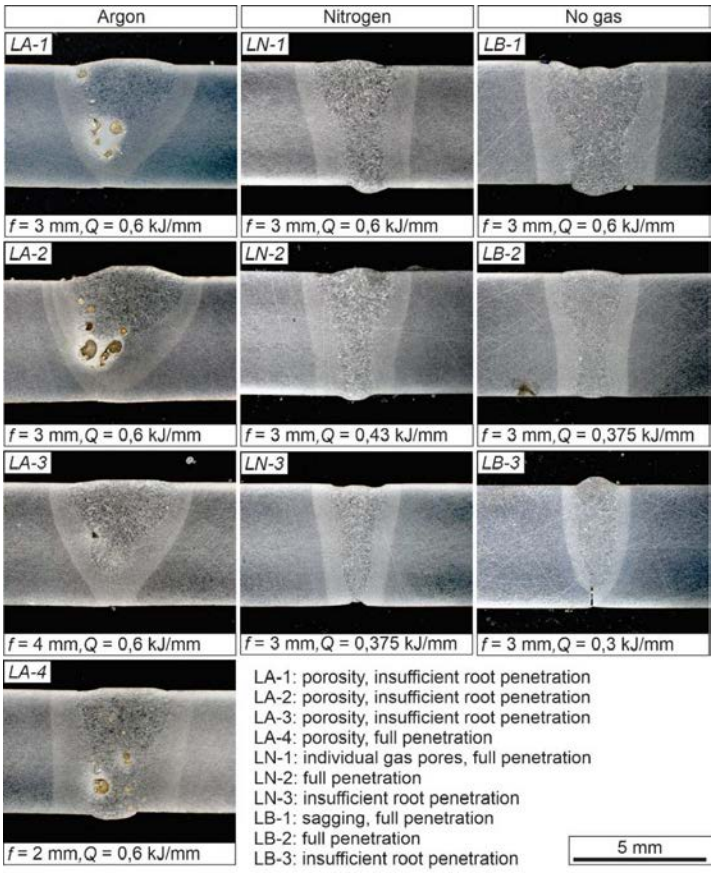


Figure 4. *Macro-scale examination of laser-welded joints with different welding parameters and various shielding atmospheres.*

Slika 4. *Makroskopsko ispitivanje laserski zavarenih spojeva izrađenih pri različitim parametrima zavarivanja i u različitim zaštitnim atmosferama.*

3.2. Analysis of weld geometry measurements results

The geometry of the welded joints on selected LA-4, LN-2, and LB-2 macro sections was analyzed in detail in accordance with the designations shown in Figure 5. The results of the measurements of the weld geometries and the surfaces of the weld sections are presented in Table 3 and Table 4.

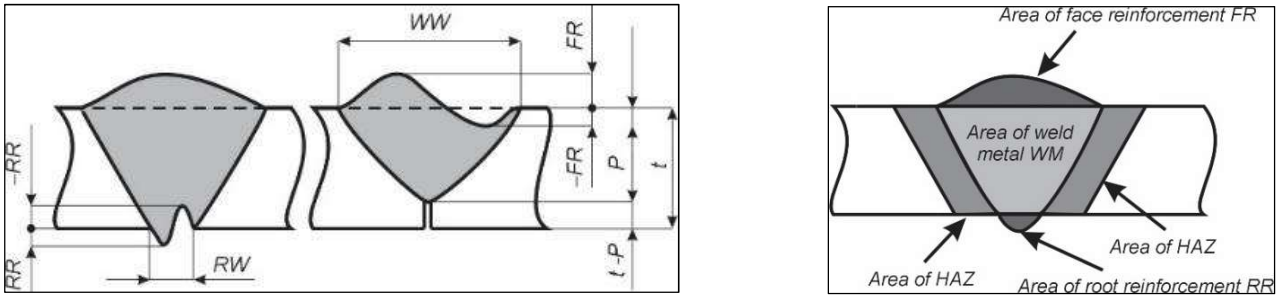


Figure 5. *Weld geometry; a) dimensions; b) surfaces*

Slika 5. *Geometrija zavarenog spoja: a) dimenzije; b) površine*

Table 3. *Analysis of dimensions of welded joints in accordance with Figure 5a.*

Tabela 3. *Analiza dimenzija zavarenih spojeva u skladu sa Slikom 5a.*

Specimen	LA-4	LN-2	LB-2
Weld face width *WW* / mm	4.67	3.91	2.70
Face reinforcement *FR* / mm	0.12	0.21	0.17
Root width *RW* / mm	2.33	1.78	1.63
Root reinforcement *RR* / mm	0.37	0.26	0.01
Max HAZ width / mm	2.08	1.39	1.1
Min. HAZ width / mm	1.08	0.79	0.78
Max. weld width of affected area / mm	7.16	5.49	4.80

Table 4. *Analysis of the areas of welded joints according to Figure 5b.*

Tabela 4. *Analiza površina zavarenih spojeva u skladu sa slikom 5b.*

Specimen	LA-4	LB-2	LN-2
Face reinforcement *FR* / mm^2	3.46	0.38	0.28
Root reinforcement *RR* / mm^2	5.21	0.07	0.29
Weld metal area WM/ mm^2	20.46	12.66	15.03
HAZ area / mm^2	19.56	12.07	13.21
Weld metal + HAZ mm^2	41.00	24.73	28.24
Porosity	Yes	No	No

The measured dimensions and surface areas show that the widest weld and the weld with the largest surface area is achieved when welding with argon; however, there may be a problem with insufficient penetration, as can be seen from the cross-sectional images. Porosity also occasionally occurs here due to trapped gases during welding and insufficient degassing of the weld pool. A wider heat-affected zone (HAZ) and a larger HAZ surface area are also observed in argon welding.

When comparing welding with nitrogen and without shielding gas, we observed that welds of the same shape were achieved even when the heat inputs differed slightly. In the case of welding with nitrogen, an approximately 13 % higher heat input was necessary for the same weld area. This can be attributed to the difference in thermal conductivity between the individual gases. In both cases, however, it can be observed that there is no porosity in the weld. When the heat input is the same (Q = 0.6 kJ/mm, Figure 4), we can observe a lack of material at the weld crown in the weld made without shielding gas and an increased sagging at the root of the weld. The root is also wider.

3.3. Hardness measurement results

Figures 6 through 8 show the results of Vickers hardness measurements using a 10 kg load in individual sections of the weld. In all three cases, the highest hardness is found in the weld. In the heat-affected zone, however, the hardness gradually decreases toward the base material as the distance from the weld increases. The lowest hardness was measured in the base material.

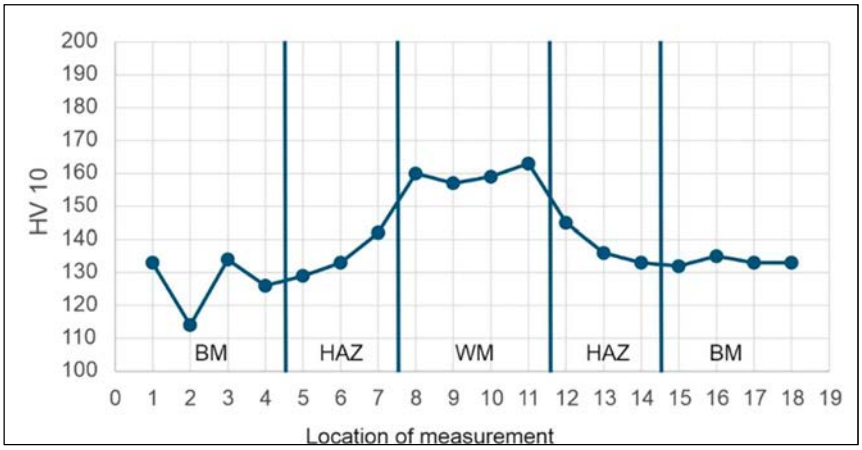


Figure 6. *Hardness measurements on a laser-welded joint in an argon atmosphere – LA-4.*

Slika 6. *Rezultati merenja tvrdoće laserski zavarenog spoja izrađenog u atmosferi argona – LA-4.*

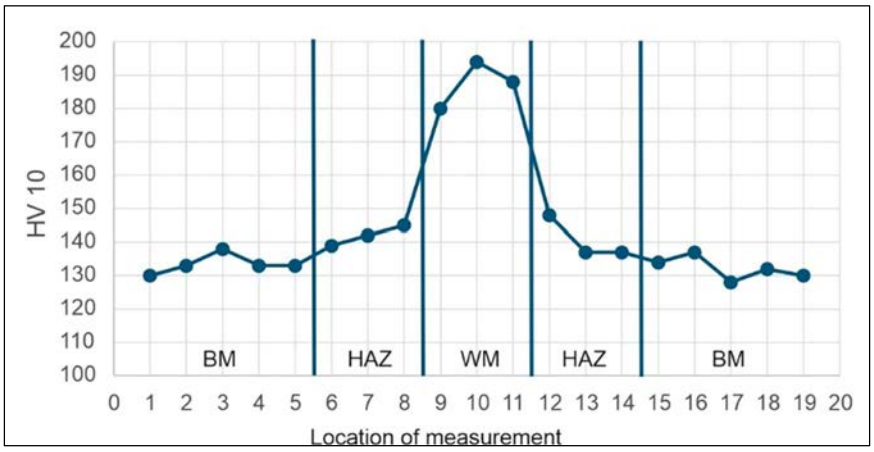


Figure 7. *Hardness measurements on a laser-welded joint in a nitrogen atmosphere – LN-2.*

Slika 7. *Rezultati merenja tvrdoće laserski zavarenog spoja izrađenog u atmosferi azota – LN-2.*

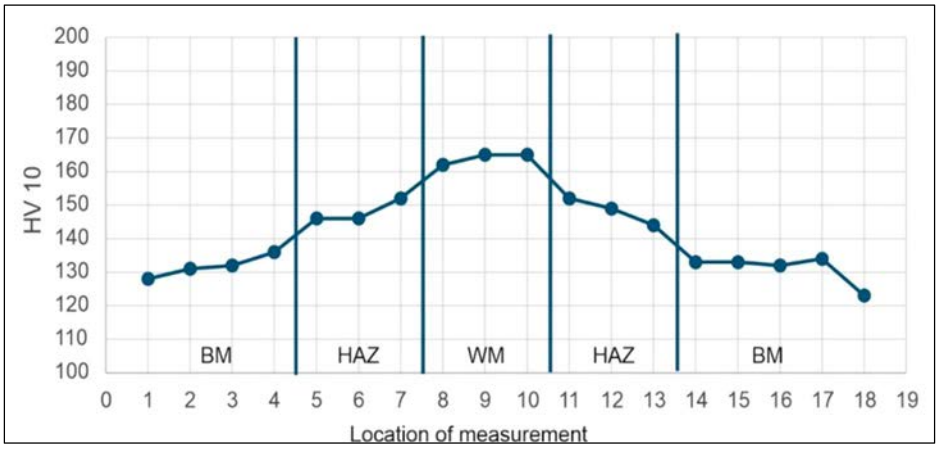


Figure 8. *Hardness measurements on an unprotected laser weld – LB-2.*

Slika 8. *Rezultati merenja tvrdoće laserski zavarenog spoja bez primene zaštitne atmosfere – LB-2.*

We measured the highest hardness in the weld on the LN-2 sample, which was welded in a nitrogen shielding gas, where heat input was minimal. Compared to the base material, the hardness increased by approximately 50% to about 195 HV10.

The lowest hardness in the welds was measured in samples welded with argon shielding gas. The increase in hardness relative to the base material was approximately 23% in the weld, reaching about 160 HV10.

We observed a similar result in welding without shielding gas, where the increase in hardness in the weld compared to the base material was approximately 28% to 169 HV10. This weld, however, was made with the lowest heat input (Q = 0.375 kJ/mm) among the welds selected for analysis.

3.4. Results of tensile tests

A total of 12 test specimens were tested - 6 welded specimens and 6 made solely of the base material, with four from each series, Figure 9, Figure 10, and Figure 11. All fractures occurred in the base material. In the specimens with a weld in the middle, the material failed in the middle between the clamping and the weld; in the specimens without a weld, the failure occurred near the middle of the tensile specimen.



Figure 9. *Tensile test specimens LA-4, welded with argon and base metal: (a) before and (b) after the tensile test.*

Slika 9. *Epruvete LA-4, zavarene u atmosferi argona, i epruvete od osnovnog materijala za ispitivanje zatezanjem: a) pre i b) nakon ispitivanja.*

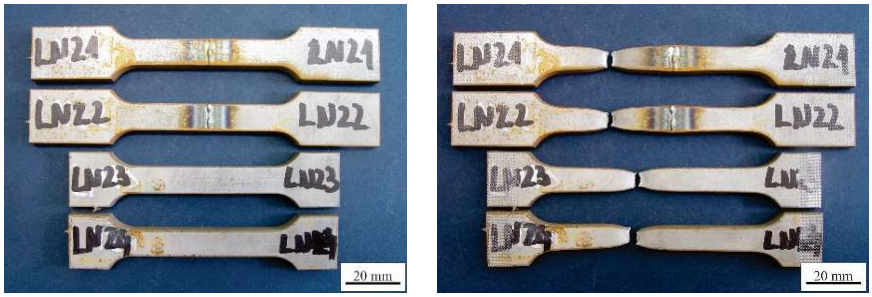


Figure 10. *Tensile test specimens LN-2, welded with nitrogen and base metal: (a) before and (b) after the tensile test.*

Slika 10. *Epruvete LN-2, zavarene u atmosferi azota, i epruvete od osnovnog materijala za ispitivanje zatezanjem: a) pre i b) nakon ispitivanja.*

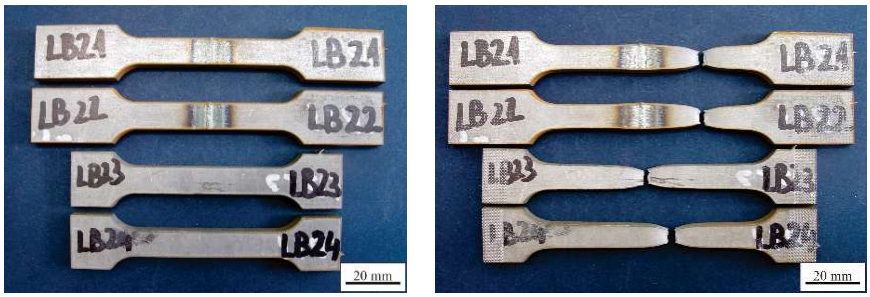


Figure 11. *Tensile test specimens LB-2, welded without shielding gas and base metal: (a) before and (b) after the tensile test.*

Slika 11. *Epruvete LB-2, zavarene bez primene zaštitnog gasa, i epruvete od osnovnog materijala za ispitivanje zatezanjem: a) pre i b) nakon ispitivanja.*

As can be seen, all welded samples fractured in the base material, and the stress-strain curves were very similar to those of the base material. For this reason, we present only one typical tensile test curve, shown in Figure 12.

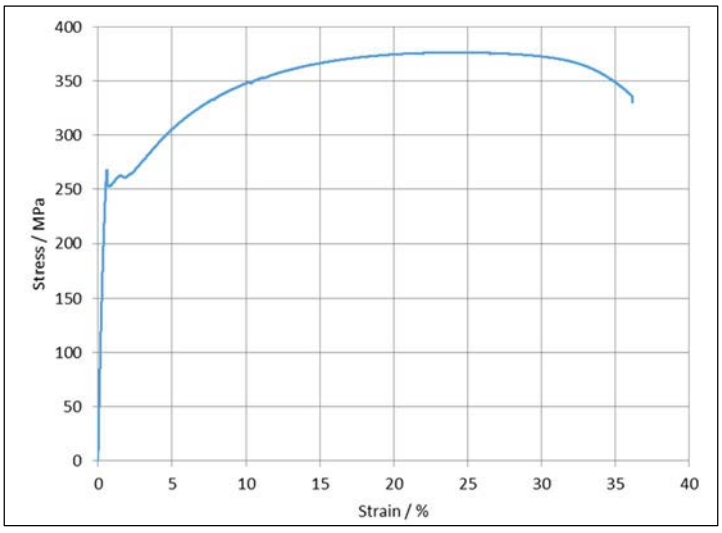


Figure 12. *Strain-Stress diagram of the tensile test specimen LB-23.*

Slika 12. *Dijagram napon–deformacija epruvete LB-23 ispitane zatezanjem.*

The results of the tensile tests are presented in Table 5, which shows the yield strength $R_{p0.2}$ or R_{eH}, the tensile strength R_m, the elongation A, and the reduction in area Z. All the breaks are in the BM, so the results are very similar.

Table 5. *Results of tensile tests on welds and base material.*

Tabela 5. *Rezultati ispitivanja zatezanjem zavarenih spojeva i osnovnog materijala.*

Specimen ID	$R_{p0.2}$ / MPa	R_{eH} / MPa	R_m / MPa	*A* / %	*Z* / %
LB21	243	–	380	34	75
LB22	229	–	378	34	68
LB23	268	268	376	33	58
LB24	260	261	374	35	47
LA41	248	–	383	33	69
LA42	241	–	382	32	63
LA43	263	263	374	34	43
LA44	264	267	376	33	71
LN21	251	–	381	33	65
LN22	240	–	382	34	70
LN23	257	262	376	34	50
LN24	262	265	376	33	60

4. Conclusions

We compared the properties of laser welds made with argon and nitrogen as shielding gases, as well as without a shielding gas.

We optimized the welding parameters and conducted a detailed analysis of the welds produced using the optimized welding parameters.

It has been found that the type of shielding gas at laser welding significantly affects the weld geometry and the heat-affected zone.

We found that the choice of shielding gas affects the hardness of the weld. As expected, argon has the least effect on hardness.

The porosity of welded joints is highest when argon is used as a shielding gas.

The tensile test revealed no differences in the measured values among the samples under consideration, as all fractures occurred in the base material.

4. Zaključci

Upoređena su svojstva laserski zavarenih spojeva izrađenih uz primenu argona i azota kao zaštitnih gasova, kao i bez primene zaštitnog gasa.

Optimizovani su parametri zavarivanja, nakon čega je sprovedena detaljna analiza zavarenih spojeva izrađenih primenom optimizovanih parametara.

Utvrđeno je da vrsta zaštitnog gasa pri laserskom zavarivanju značajno utiče na geometriju zavarenog spoja i zonu uticaja toplote.

Izbor zaštitnog gasa takođe utiče na tvrdoću zavarenog spoja. Očekivano, primena argona imala je najmanji uticaj na vrednosti tvrdoće.

Najveća poroznost zavarenih spojeva zabeležena je pri primeni argona kao zaštitnog gasa.

Rezultati ispitivanja zatezanjem nisu pokazali značajne razlike između razmatranih uzoraka, budući da je kod svih epruveta lom nastao u osnovnom materijalu.

References / Literatura

[1] D. Stanisz, T. Machniewicz, S. Parzych, G. Jeż, L. Dvorkin, and M. Hebda, Microstructure and Mechanical Properties of Joints Depending on the Process Used, Materials, vol. 15, no. 15, Aug. 2022,

doi: 10.3390/ma15155171.

[2] A. K. Sehgal, An investigation of variable welding current on impact strength of metal inert gas welded specimen, in Materials Today: Proceedings, Elsevier Ltd, 2020, pp. 3679–3682.

doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.151.

[3] K. R. Madavi, B. F. Jogi, and G. S. Lohar, Metal inert gas (MIG) welding process: A study of effect of welding parameters, in Materials Today: Proceedings, Elsevier Ltd, 2021, pp. 690–698.

doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.206.

[4] H. Danielewski et al., Numerical and metallurgical analysis of laser welded, sealed lap joints of s355j2 and 316l steels under different configurations, Materials, vol. 13, no. 24, pp. 1–22, Dec. 2020,

doi: 10.3390/ma13245819.

[5] E. Dogan, M. Ay, M. Kurtulmus, A. I. Yukler, and A. Etyemez, Effects of welding parameters on the angular distortion of welded steel plates, Open Chem., vol. 20, no. 1, pp. 417–423, Jan. 2022,

doi: 10.1515/chem-2022-0152.

[6] M. Suban, Determination of Stability of MIG/MAG Welding Processes, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 17, pp. 345–353, (2001).

[7] I. Vishev, C. P. Feuring, and O. Bringmann, Implementation and evaluation of an echo state network for a quality inspection system for laser welding, in Procedia CIRP, Elsevier B.V., 2021, pp. 496–501.

doi: 10.1016/j.procir.2021.03.070.

[8] G. Casalino, S. L. Campanelli, U. D. Maso, and A. D. Ludovico, Arc leading versus laser leading in the hybrid welding of aluminium alloy using a fiber laser, in Procedia CIRP, Elsevier B.V., 2013, pp. 151–156.

doi: 10.1016/j.procir.2013.09.027.

[9] A. Sadeghian and N. Iqbal, A review on dissimilar laser welding of steel-copper, steel-aluminum, aluminum-copper, and steel-nickel for electric vehicle battery manufacturing, Feb. 01, 2022, Elsevier Ltd.

doi: 10.1016/j.optlastec.2021.107595.

[10] P. Zhang et al., A review on the effect of laser pulse shaping on the microstructure and hot cracking behavior in the welding of alloys, Aug. 01, 2021, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.optlastec.2021.107094.

[11] H. Kokawa, Nitrogen absorption and desorption by steels during arc and laser welding, Welding International, vol. 18, no. 4, pp. 277–328756, 2004, doi: 10.1533/wint.2004.3235.

[12] ISO 6892-1Metallic materials-Tensile testing-Part 1: Method of test at room temperature. [Online]. Available: www.randb.co.kr,

[13] ISO 5178, 2001.

Nastavak sa strane 100

34. MEĐUNARODNO SAVETOVANJE "ZAVARIVANJE 2026"

KOTIZACIJA

Kotizacijom se nadoknađuju: izrađeni materijali savetovanja, troškovi organizacije, koktel dobrodošlice, kafe na pauzama savetovanja, svečana večera, izlet i iznosi:

Studentska	10.000,00 RSD (85,00 EUR) + PDV 20%
Autori i koautori	14.000,00 RSD (120,00 EUR) + PDV 20%
Članovi DUZS	17.000,00 RSD (145,00 EUR) + PDV 20%
Ostali učesnici	20.000,00 RSD (170,00 EUR) + PDV 20%

SMEŠTAJ

Smeštaj za učesnike obezbeđen je u hotelu Danubia Park 3* i Vila Dinčić (20m od hotela Danubia Park) i uključuje noćenje na bazi punog pansiona. Usluga počinje ručkom 15. oktobra i završava se doručkom 17. oktobra.

Hotel	Kategorije smeštaja po osobi	Cena po danu* (RSD / EUR)
Danubia Park 3*	Jednokrevetna soba	13.200,00 / 113,00
	Dvokrevetna soba	20.400,00 / 175,00
	Trokrevetni apartman	28.080,00 / 240,00
Vila Dinčić (ishrana u hotelu Danubia Park)	Jednokrevetna soba	9.480,00 / 80,00
	Dvokrevetna soba	15.840,00 / 135,00
	Jednokrevetni apartman	10.680,00 / 90,00
	Dvokrevetni apartman	16.560,00 / 140,00

Naznačene cene date su sa uključenim PDV-om, boravišnom taksom i osiguranjem gosta

MESTO ODRŽAVANJA



Srebrno jezero - Nedaleko od Beograda, na reci Dunav nalazi se jedno od najpopularnijih jezera u Srbiji, Srebrno jezero. Zraci sunca koji u suton padaju na površinu Srebrnog jezera kreiraju jedinstven iskričavi sjaj po kome je jezero i dobilo ime. Srebrno jezero udaljeno je 110 km od Beograda, 190 km od Novog Sada, 30 km od Požarevca i 2 km od Velikog Gradišta. Idealno je mesto za godišnji odmor, ljubitelje plivanja, skijanja na vodi, ribolovce ili one koji žele da uživaju prirodi i šetnjama ovim krajevima.

Hotel Danubia Park - Hotel Danubia Park nalazi se na Srebrnom jezeru, nadomak Dunava i na samo sat i po vremena vožnje od Beograda. Uz gostoprimstvo, topli ambijent, udoban smeštaj kao i brojne sadržaje kako za one koji traže aktivan odmor tako i za one željne opuštanja, hotel Danubia Park pruža usluge spa i fitness centra kao i slobodan ulaz u Aqua Club.



DRUŠTVO ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI
Gvozdićeva 15/4, 11000 Beograd, Srbija
E-Mail: duzs011@gmail.com; Web: www.duzs.org.rs
Tel/Fax: +381 11 2420 652

Tehnički organizator savetovanja:
BBN CONGRESS MANAGEMENT D.O.O.
Deligradska 9, 11000 Beograd, Srbija
E-Mail: bbn@bbn.co.rs; bbn.pco@gmail.com; Web: www.bbn.co.rs
Mob: +381 66 8027 718

Martin Petreski [1,a], Dobre Runchev [1,b], Gligorche Vrtanoski [1,c], Aleksandra Krstevska [1,d]

EFFECT OF SYNCHRONIZING GMAW AND LBW PROCESSES ON WELD QUALITY AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL STEEL

UTICAJ SINHRONIZACIJE GMAW I LBW PROCESA NA KVALITET ZAVARA I MEHANIČKE KARAKTERISTIKE KONSTRUKCIONOG ČELIKA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

Paper received / Rad primljen:

June 2026.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

September 2026.

Author's address / Adresa autora:

[1] Ss. Cyril and Methodius" University of Skopje, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, Republic of North Macedonia

Email / ORCID ID:

[a] martin.petreski@mf.edu.mk / 0000-0001-6308-3366
/ [b] 0000-0001-7657-1799
/ [c] 0009-0000-1318-015X
/ [d] 0000-0002-5596-6596

Keywords: hybrid welding, welding parameters, tensile strength, hardness, penetration depth

Ključne reči: hibridno zavarivanje, parametri zavarivanja, zatezna čvrstoća, tvrdoća, dubina penetracije

Abstract

The combination of two or more welding processes within the same welding pool offers significant advantages over the limitations of individual processes. This paper presents an experimental investigation of Hybrid Laser Arc Welding (HLAW) achieved by synchronization Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Laser Beam Welding (LBW), with the aim of evaluating theirs positive effects on the weld characteristics. The experiments were performed on 12 mm thick S355J2+N structural steel in a zero-gap butt joint configuration. The process parameters were kept constant for the individual GMAW and LBW processes, as well as for the HLAW process: laser beam power 8 kW, welding speed 1,5 m/min, welding current 316 A and arc voltage 33,1 V. The quality of the weld and its mechanical characteristics were determined by non-destructive testing, tensile testing and hardness measurements. The experimental results show that the applied welding parameters enable deeper penetration by HLAW process compared to conventional GMAW process. The synergistic interaction between the electric arc and laser beam improves energy efficiency and reduces stringent edge preparation requirements, resulting in lower overall heat input, improved tensile strength and a hardness reduction of at least 50 HV, particulary in the laser zone. These findings demonstrate the potential of the HLAW process as an efficient and reliable welding process for high-productivity industrial applications.

Rezime

Kombinacija dva ili više procesa zavarivanja unutar istog zavarivačkog kupatila nudi značajne prednosti u odnosu na ograničenja pojedinačnih procesa. Ovaj rad predstavlja eksperimentalno istraživanje hibridnog laserskog zavarivanja (HLAW) postignutog sinhronizacijom elektrolučnog zavarivanja topljivom elektrodom u zaštitnom gasu (GMAW) i zavarivanja laserskim snopom (LBW), sa ciljem procjene njihovih pozitivnih efekata na karakteristike šava. Eksperimenti su izvedeni na konstrukcionom čeliku S355J2+N debljine 12 mm u konfiguraciji sučeonog spoja bez zazora. Parametri procesa održavani su konstantnim za pojedinačne GMAW i LBW procese, kao i za HLAW proces: snaga laserskog snopa 8 kW, brzina zavarivanja 1,5 m/min, struja zavarivanja 316 A i napon luka 33,1 V. Kvalitet šava i njegove mehaničke karakteristike utvrđeni su ispitivanjima bez razaranja, zateznim ispitivanjem i mjerenjem tvrdoće. Eksperimentalni rezultati pokazuju da primijenjeni parametri zavarivanja omogućavaju dublju penetraciju HLAW procesom u poređenju sa konvencionalnim GMAW procesom. Sinergijska interakcija između električnog luka i laserskog snopa poboljšava energetsku efikasnost i smanjuje stroge zahteve za pripremu ivica, što rezultira manjim ukupnim unosom toplote, poboljšanom zateznom čvrstoćom i manjom tvrdoćom za najmanje 50 HV, posebno u zoni delovanja lasera. Ovi nalazi demonstriraju potencijal HLAW procesa kao efikasnog i pouzdanog procesa zavarivanja za industrijske primene visoke produktivnosti.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 1st Conference with international participation "Technology of Joining Materials" held in Bečići, Montenegro from May 14 to 16, 2026.

1. Introduction

In recent years, traditional manufacturing processes have gradually failed to meet the needs of the manufacturing industry due to the rapid development of the economy. Global trends in manufacturing of welded components are characterized by a growing demand for reduced welding operation costs and welding cycle times on the one hand and consistent or even improved, quality and mechanical integrity of welded components on the other [1]. In this context, welding processes are in urgent need of innovation and improvement, and welding-related industries must keep pace with international advanced standards [2]. One such advancement is automated Hybrid Laser Arc Welding (HLAW), which integrates the benefits of Laser Beam Welding (LBW) and Gas Metal Arc Welding (GMAW), offering a highly efficient alternative to conventional welding processes [3].

The HLAW has gained significant attention in various industrial applications due to its ability to leverage the synergistic benefits of both processes, including high welding speed, low residual stresses, minimal distortion, deep penetration, and the ability to control the chemical composition of the weld seam [4].

Despite its numerous advantages, the process has certain limitations, such as high equipment costs and the need to precisely control multiple welding parameters to prevent defects and avoid solidification cracking, particularly when welding thick-section steel [3]. Moreover, the efficiency of HLAW depends not only on the proper selection and synchronization of welding parameters, but also on the method of edge preparation.

Therefore, the aim of this study is to investigate the effect of synchronizing GMAW and LBW processes on weld seam quality and its mechanical characteristics by welding the 12 mm thick structural steel in a zero-gap butt joint configuration. Several single-pass welds were performed using constant welding parameters for the individual GMAW and LBW processes, as well as for the HLAW process.

2. Materials and methods

For the welding experiments of the present stud, S355J2 structural steel with thickness of 12 mm where employed. The pieces were cut to dimensions 150 x 400 mm before welding preparation. The welds were performed in an I-joint configuration with zero-gap. The welding wire used for HLAW was a solid wire G3Nil according to EN ISO 14341-A: G 42 3 M21 3Sil with a diameter of 1.2 mm. As a shielding gas is used a mixture of argon with 18% CO2 - CORGON 18 according to EN ISO14175: M21 ArC 18 with a flow rate of 25 1 min-1. The base material has a carbon equivalent value of max. 0.39 (CEIw for low alloy steels, CEIIW = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15).

For edge preparation two different industrial methods are used: milling and plasma cutting. The average measured profile of the edges for milling and plasma cutting are following: roughness of profile 1.84/3.64 μm (Ra), height of profile 4.66/12.14 μm (Rp) with waviness included, and mean peak to valley height of primary profile 8.68/ 20.67 μm (Rz). The plasma cutting edges are characterized with higher roughness with visible striations, that lead to no zero-gap between the pieces, at the bottom it is nearly 0 mm and opens slightly towards the top.

A high – power fiber laser IPG YLR-20000 of IPG was used in the experiments with the following parameters: an optical fiber with a 200 μm, beam parameter product of 11 mm×mrad, and 1070-nm wavelength. A laser processing head, BIMO HP, with a focal length of 350 mm providing a spot focus diameter (df) of 0.56 mm was used. A welding machine, Qineo Pulse 600 of Cloos, with a maximum current of 600 A was applied as a power source for the arc. GMAW was performed with direct current of positive polarity (DC+).

The laser optics and GMAW torch were mounted on the robot arm, where the laser beam longitudinal inclination angle was 0° from normal towards the welding surface reflections, while the GMAW torch was tilted 65° to the welding surface, and the position of the robot remains unchanged during all welding process. All the experiments were carried out with an arc leading orientation with the distance of 3 mm between the two heat sources. The focal position of the laser beam was -3 mm relative to the workpiece surface. The wire stick-out was set to 15 mm. The HLAW process configuration is shown in Figure 1.

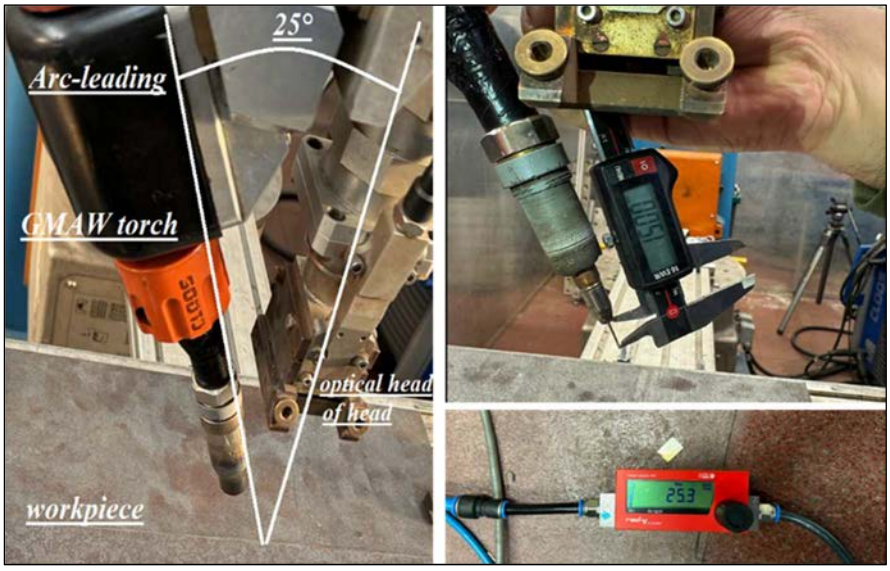


Figure 1. *HLAW system; a) experimental setup; b) stick-out; c) gas flow rate.*

Slika 1. *HLAW sistem: a) eksperimentalna postavka; b) slobodna dužina elektrode; c) protok zaštitnog gasa.*

The experiment was conducted to analyze the effect of synchronizing the GMAW and LBW processes on weld quality and to achieve welds free of imperfections, meeting the requirements of the EN ISO 12932 standard while maximizing productivity. The welding parameters are given in Table 1.

After the welding, a visual inspection is performed to detect surface defects, such as overlap, undercutting, surface craters, humping and misalignment.

Table 1. *Single-pass welding process parameters.*

Tabela 1. *Parametri procesa zavarivanja u jednom prolazu.*

Weld no.	Methods of edge prepartion	Gap (mm)	Laser power (kW)	Arc mode	Arc current (A)	Arc voltage (V)	Wire feed (m/min)	Wedling speed (m/min)	Focal position (mm)	Gas low rate (l/min)	Wire stickout (mm)	Arc - laser distance (mm)
1	Milling	0	10	Pulse	325	34	10	1.4	0	25	15	5
2	Milling	0	10	Pulse	389	38.2	14	1.8	-3*	25	15	3
3	Milling	0	10	Pulse	355	36.7	12	1.8	-3*	25	15	3
4	Milling	0	11.5	Pulse	359	36.8	12	1.8	-3*	25	15	3
5	Plasma cut	0	10	Pulse	355	36.8	12	1.8	-3*	25	15	3
6	Milling	0	8	/	/	/	/	1.5	-3*	25	/	/
7	Milling	0	8	Pulse	371	37.3	13	1.5	-3*	25	15	3
8	Milling	0	/	Pulse	378	37.6	13	1.5	/	25	15	/

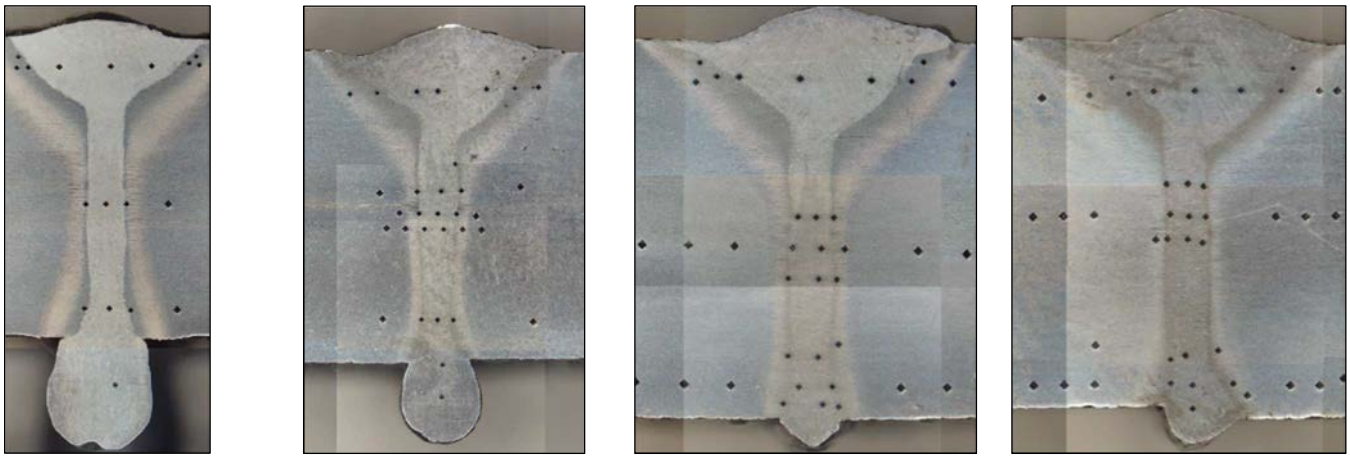
For the macrostructure analysis of the welds, test specimens of appropriate length were extracted from the middle of the welded plates, polished using standard metallographic procedures, and subsequently etched with a 2% Nital solution before being examined under a stereo microscope.

All welds were subjected to mechanical testing – tensile and hardness testing. Cross-weld tensile test was performed based on EN ISO 4136 using the standard dimension and geometry of the tensile test specimen.

Vickers hardness test (HV10) was performed in accordance with two standards, ISO 9015-1 and ISO 22826, the first one was applied in the upper zone, the arc–laser zone, and the second one in the laser zone. The measurements were performed in three rows of material thickness: one below the weld face and one from the root side at depth of <2mm, and one in the middle of material thickness [5].

3. Results and discussion

The visual inspection found that two of five hybrid welds can not meet the lowest requirements according to EN 12932. The macrographs of the weld shown in Figure 2, represent that the main imperfection of milling sidewalls is root humping which is not acceptable.



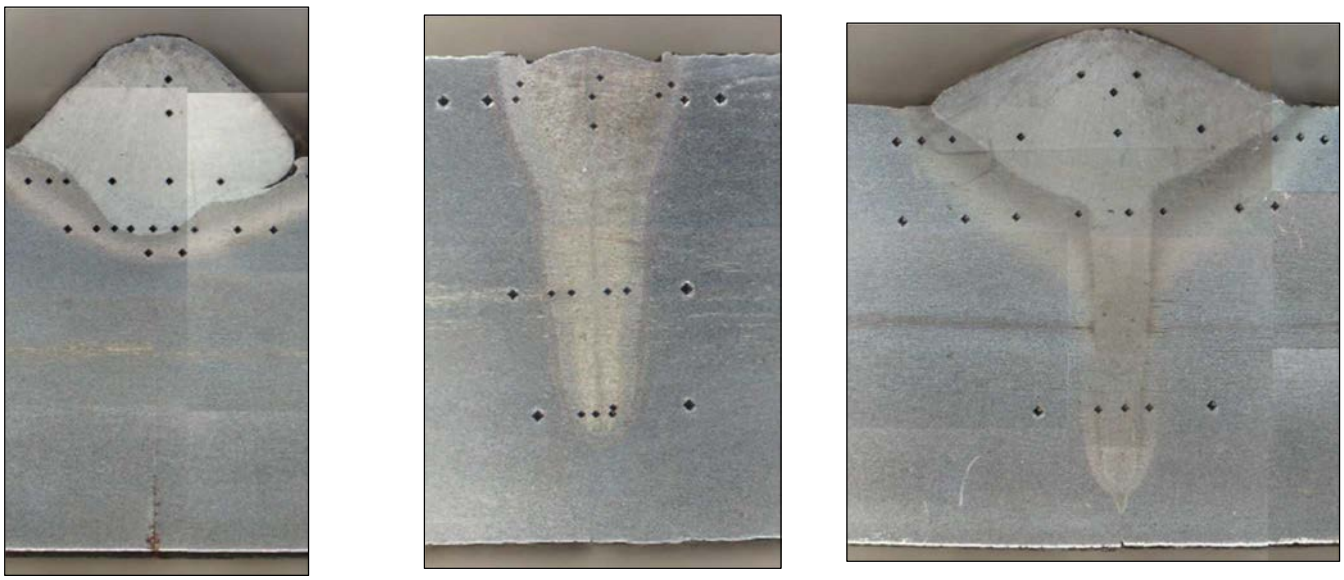
a) b) c) d)

Figure 2. *HLAW weld of 12 mm thick plates; a) no.1, b) no.3, c) no.4, d) no.5.*

Slika 2. *HLAW zavareni spojevi ploča debljine 12 mm: a) br. 1; b) br. 3; c) br. 4; d) br. 5.*

It is evident that arc affects the melt flow by increasing the mass momentum towards the root which is corralled with the amount of molten metal in the weld pool. To suppress humping on pieces with milled edges, the welding speed and laser power were increased. On the other hand, the weld with plasma cutting edges is humping free for the same welding parameters. According to Bunaziv et al. [6] a slight air gap in the I-joint preparation can be beneficial to prevent humping by reducing the pressure at the bottom of the keyhole. Therefore, using the same HLAW process parameters, zero-gap plasma-cut edges performed better because they can reduce the keyhole pressure due to the natural gaps formed by the peaks and valleys of the surface roughness. The striations of the plasma-cut can increase the laser absorption and, at the same time, improve the flow of molten filler material flow further inside the joint. However, an air gap larger than 1 mm can lead to melt humping, as the surface tension is insufficient to prevent molten metal dropout [7, 8]. Furthermore, welding with an air gap introduces additional complexity and reduces reliability due to difficulties in maintaining a consistent gap during production.

The visual inspection of welds produced by the individual LBW and GMAW processes, compared with HLAW using the same welding parameters, shows a positive improvement in weld bead geometry, heat-affected zone, and especially in weld penetration, Figure 3. Deeper penetration in HLAW is achieved due to the synergistic interaction between the laser and arc. The arc preheats the material and enhances laser energy absorption, stabilizes the laser-induced keyhole, and constricts and intensifies the arc through metal vapor interaction. It also improves molten pool dynamics, resulting in more efficient heat utilization and consequently greater weld penetration [9]. According to Ruifeng [1], the melting energy in hybrid laser–arc welding HLAW is higher because the arc preheats the workpiece before laser irradiation, forming a shallow molten layer that reduces reflectivity and improves laser energy absorption.



a) b) c)

Figure 3. *Weld cross-section; a) GMAW, b) LBW, c) HLAW.*

Slika 3. *Poprečni presek zavarenog spoja: a) GMAW; b) LBW; c) HLAW.*

In terms of tensile strength, all weld pieces showed satisfactory results, even those with root hump that are not acceptable from a visual point of view. All standard tensile test specimens exceeded the strength of the base material, reaching at least 385MPa yield strength and 560MPa ultimate tensile strength, resulting in BM failure. Welds with insufficient penetration, resulting from lower welding parameters, tend to fracture within the weld zone. Figure 4 presents the tensile strength curve for weld no. 7 calculated based on the weld area, showing a yield strength of 650 MPa, an ultimate tensile strength of 739 MPa and a total elongation of 5.81%.

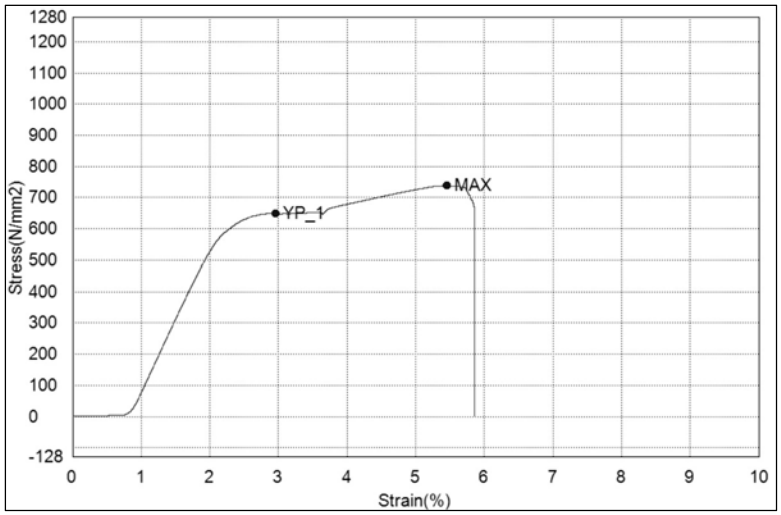


Figure 4. *Tensile strength of hybrid weld no. 7.*

Slika 4. *Zatezna čvrstoća hibridnog zavarenog spoja br. 7.*

The Vickers hardness HV10 distribution across the cross-section of welds no. 6, 7 and 8 are presented in Figure 5.

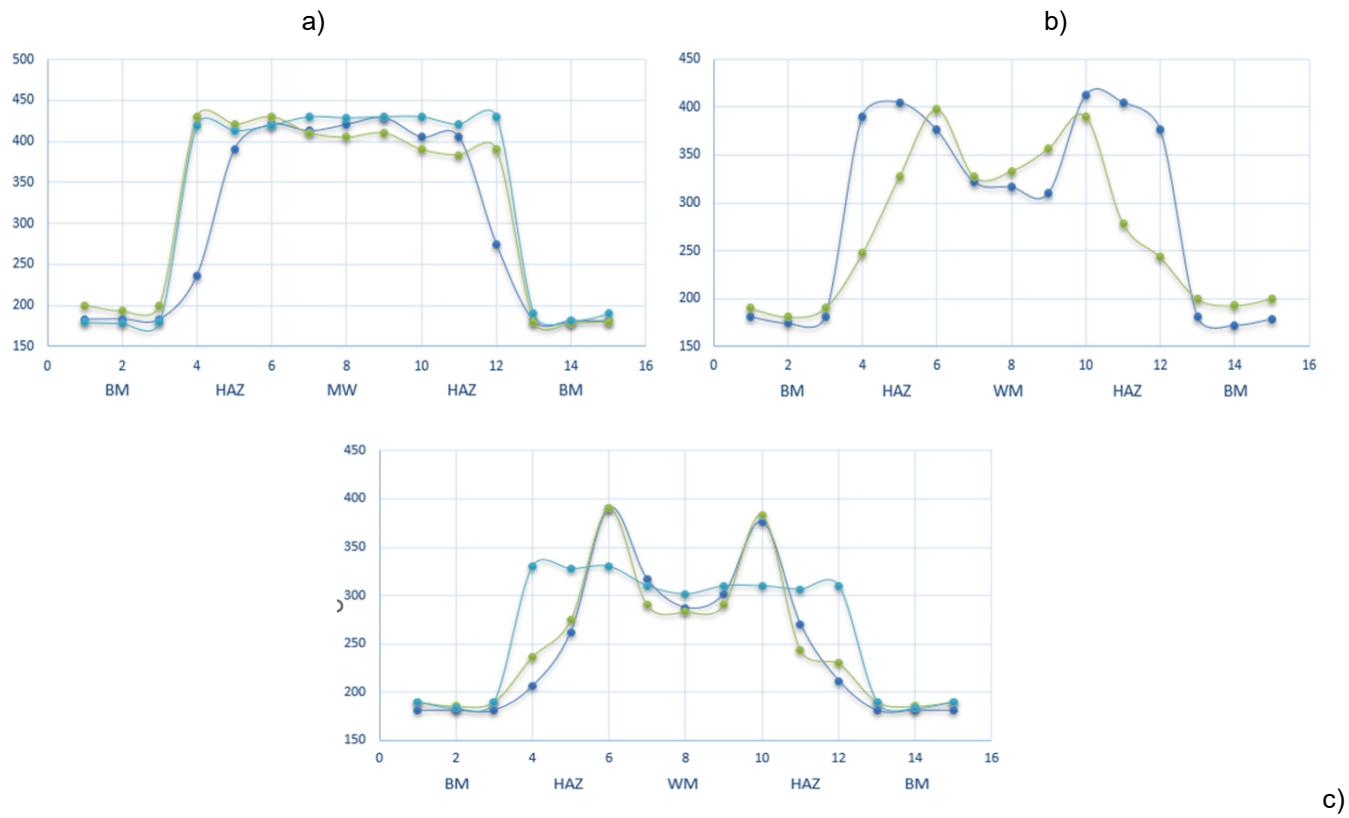


Figure 5. *Results of Vickers hardness HV10; a) LBW, b) GMAW, c) HLAW.*

Slika 5. *Rezultati ispitivanja tvrdoće po Vikersu (HV10): a) LBW; b) GMAW; c) HLAW.*

It can be observed that the hardness profiles of HLAW and GMAW welds exhibit a similar M-shaped distribution, with the highest hardness located in the HAZ due to the coarse-grained microstructure and higher cooling rate. The hardness of the weld metal is slightly lower, primarily due to the use of filler material and the larger molten pool. In contrast, LBW produces a relatively uniform hardness distribution throughout both the weld metal and the HAZ.

A comparison of the average hardness values indicates that the WM and HAZ in HLAW exhibit hardness values of approximately 300 HV and 380 HV, respectively, whereas LBW shows higher hardness values of around 430 HV. The differences of approximately 130 HV in the weld metal and 50 HV in the HAZ can be attributed to the higher energy input per unit length. According to Kawahito et al. [10] hardness values exceeding 400 HV are typical for laser welding of thick steel at welding speeds above 1.00 m/min. According to ISO 15614-1, the maximum allowed hardness level is 350HV. However, HLAW is not covered by this standard. The formation of brittle areas in HLAW which can result in hardness values exceeding 300 HV may be mitigated by reducing the cooling rate or by selecting an appropriate filler material [11].

4. Conclusions

In this study, the effects of synchronizing GMAW and LBW processes on weld quality and mechanical characteristics of structural steel were examined. The most important conclusions drawn from the present experimental results are as follows:

1. The combination of the individual GMAW and LBW processes in HLAW process has proven to be reliable and efficient technology for single-pass welding of the 12 mm thick structural steel in a zero-gap butt joint configuration.
2. Humping in welds with milled edges can be suppressed by increasing the welding speed and laser power, or by improving melt flow dynamics and reducing keyhole pressure through the introduction of a slight air gap.
3. Larger air gaps >1 mm should be avoided due to melt instability and metal dropout, which reduce process reliability because of the difficulty in maintaining a consistent gap during production.
4. HLAW welds are characterized by satisfactory tensile strength, exceeding that of the base material when root hump imperfections are present.
5. The hardness values of HLAW welds are directly correlated with the energy input per unit length and can be improved by controlling the cooling rate.

4. Zaključci

U ovoj studiji ispitan je uticaj sinhronizacije procesa GMAW i LBW na kvalitet zavarenog spoja i mehanička svojstva konstrukcionog čelika. Najvažniji zaključci izvedeni na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata su sledeći:

1. Kombinovanje pojedinačnih procesa GMAW i LBW u okviru HLAW procesa pokazalo se kao pouzdana i efikasna tehnologija za jednoprolazno zavarivanje konstrukcionog čelika debljine 12 mm u konfiguraciji sučeonog spoja bez zazora.
2. Pojava ispupčenja zavara kod ploča sa obrađenim ivicama može se suzbiti povećanjem brzine zavarivanja i snage lasera ili poboljšanjem dinamike strujanja rastopa i smanjenjem pritiska u parnom kanalu uvođenjem malog zazora između ploča.
3. Veće zazore, iznad 1 mm, treba izbegavati zbog nestabilnosti tečnog kupatila i ispadanja rastopljenog metala, čime se smanjuje pouzdanost procesa usled otežanog održavanja ujednačenog zazora u proizvodnim uslovima.
4. HLAW zavareni spojevi odlikuju se zadovoljavajućom zateznom čvrstoćom, koja premašuje zateznu čvrstoću osnovnog materijala čak i kada su prisutne nepravilnosti u vidu ispupčenja korena zavara.
5. Vrednosti tvrdoće HLAW zavarenih spojeva neposredno su povezane sa unosom energije po jedinici dužine i mogu se poboljšati kontrolisanjem brzine hlađenja.

References / Literatura

[1] Ruifeng, L., Taotao, L.: Advanced Welding Methods and Equipment, Springer Singapore, 2024.

[2] Pan, Q., Mizutani, M., Kawahito, Y., Katayama, S.: Effect of shielding gas on laser–MAG arc hybrid welding results of thick high-tensile-strength steel plates. Weld World 6, (2020), pp.653–664.

[3] Petreski, M., Runchev, D., and Vrtanoski, G.: Hybrid laser arc welding – State of the art in technology. Welding and welded structures, 66(3), (2021), pp 115-124.

[4] Gook S., Biegler, M., Gumenyuk, A., and Rethmeier M.: Integration of hybrid Laser-Arc and narrow gap submerged arc welding for cost-effective joining of 80 mm thick S355ML steel plates, Optics and Laser Technology 197, (2026), 114796.

[5] Petreski, M., Krstevska, A., Bogatinoski Z.: Mechanical testing od HLAW welded joints in accordance with European standards – Theoretical approach. Mechanical Engineering –Scientific Journal, 40 (1), (2023), p.5-13

[6] Bunaziv, I., Dørum, C., Nielsen, S.E., Suikkanen, P., Ren, X., Nyhus, B., Eriksson, M., and Akselsen, O.M.: Laser-arc hybrid welding of 12-and 15-mm thick structural steel. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107, (2020), pp. 2649-2669.

[7] Farrokhi, F., and Kristiansen, M.: A practical approach for increasing penetration in hybrid laser-arc welding of steel. Physics Procedia 83, (2016), pp. 576-586.

[8] Petreski, M., Runchev, D., Vrtanoski, G., Krstevska, A: Influence of edge surface quality on hybrid laser arc welding of structural steel S355J2, IIW 2024 International Conference on Welding and Joining, Rhodos, Greece, 2024.

[9] Üstündağ Ö., Gook S., Gumenyuk A., and Rethmeier M.: Hybrid laser arc welding of thick high-strength pipeline steels of grade X120 with adapted heat input. Journal Material Process Technology, 275 (2020), 116358.

[10] Kawahito, Y., Wang, H.Z., Katayama, S. et al., Ultra high power 100kW fiber laser welding of steel, Opt. Lett, 43(19), (2018), pp.4667-4670.

[11] Wallerstein, D., Vaamonde, E., Prada, A., Torres, E.A., Urtiga Filho, S.L., and Santos, T.F.A: Influence of welding gases and filler metals on hybrid laser - GMAW and Laser-FCAW welds. Mechanical Engineering Science, (2020), pp.3-14.

Resul Hamzić [1,a], Namik Džibrić [1,b], Alen Hodžić [2,c]

SANACIJA PUKOTINE NA ČEONOJ STIJENI MLINA CEMENTA

REPAIR OF A CRACK ON THE CEMENT MILL END WALL

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Jun 2026.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Oktobar 2026.

Adresa autora / Author's address:

[1]*Institut za zavarivanje d.o.o., Tuzla, Bosna i Hercegovina*

[2] *Tehnopetrol d.o.o., Tuzla, Bosna i Hercegovina*

Email / ORCID ID:

[a] *resul.hamzic@izz-bh.ba / 0009-0008-8864-9205*

[b] *namik.dzibric@izz -bh.ba / 0009-0006-3742-233X*

[c] *alen.hodzic@tehnopetrol / 0009-0004-5306-7652*

Ključne reči: reparaturno zavarivanje, mlin cementa, liveni čelik GS30Mn5V, pukotina

Keywords: repair welding, cement mill, GS30Mn5V cast steel, crack

Rezime

U ovom radu dat je kompletan proces sanacije kritičnog oštećenja na čeonoj stijeni mlina cementa. Predmet sanacije je pukotina dužine 700 mm i dubine 160 mm, locirana u zoni radijusa stijene, koja je ugrožavala stabilnost i kontinuitet proizvodnje. Rad detaljno opisuje tehnologiju reparaturnog zavarivanja prilagođenu osnovnom materijalu livenom čeliku GS30Mn5V, uz primjenu specijalnih elektroda na bazi nikla E Ni 6182. Poseban fokus stavljen je na tehnološke korake, uključujući precizno kontrolisano predgrijavanje u opsegu 180÷200°C, metodu žljebljenja grafitnom elektrodom, zatim višeslojno zavarivanje s obaveznim međufaznim iskivanjem radi relaksacije zaostalih napona. Pored tehnološkog aspekta, rad analizira i proces stručnog nadzora koji je obuhvatio ispitivanja bez razaranja (NDT) u svim fazama rada. Bez obzira na otežane uslove rada u ograničenom prostoru i veću dubinu pukotine od inicijalno procijenjene, primjenjena metodologija osigurala je uspješnu sanaciju bez pojave novih pukotina i bez deformacija.

Abstract

This paper presents a comprehensive procedure for the rehabilitation of critical damage on the front wall of a cement mill. The repair addressed a crack measuring 700 mm in length and 160 mm in depth, located in the wall radius zone, which posed a significant risk to structural integrity and production continuity. The study provides a detailed analysis of the repair welding technology tailored to the base material, GS30Mn5V cast steel, with the application of specialized nickel-based electrodes (E Ni 6182). Particular emphasis is placed on the technological sequence of operations, including carefully controlled preheating within the temperature range of 180÷200°C, groove preparation using a graphite electrode, and subsequent multilayer welding. Mandatory interpass peening was applied to promote relaxation of residual stresses. In addition to the technological aspects, the paper examines the process of professional supervision, which encompassed non-destructive testing (NDT) at all stages of the repair. Despite challenging working conditions in a confined space and a crack depth exceeding initial estimates, the implemented methodology enabled a successful repair, with no occurrence of new cracks or permanent deformation.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 1. Konferencije sa međunarodnim učešćem „Tehnologije spajanja materijala“ održane u Bečićima, Crna Gora od 14. do 16. maja 2026. godine.

1. Uvod

U toku eksploatacionog vijeka, uslijed stalnih dinamičkih i termičkih opterećenja, komponente mlina su podložne pojavi različitih oštećenja, od kojih su posebno kritične prsline [1, 2].



Slika 1. *Mlin cementa sa lokacijom oštećenja u toku predgrijavanja*

Figure 1. *Cement mill with location of damage during preheating*

U praksi, ovakva oštećenja mogu za kratko vrijeme dovesti do ozbiljnih posljedica, od smanjenja nosivosti konstrukcije pa do potpunog zastoja proizvodnje. Upravo iz tog razloga komponente mlina se periodično provjeravaju i kontrolišu. Tokom takve jedne redovne kontrole identifikovana je pukotina dužine *cca* 700 mm u zoni radijusa čeone stijene mlina. S obzirom na potencijalne gubitke uslijed zastoja u radu na duži period i znatno većih troškova nabavke i ugradnje nove čeone stijene, odlučeno je da se pristupi sanaciji pukotine na licu mjesta.

U ovom radu dat je kompletan prikaz pristupa rješavanju ovog problema u slučaju mlina cementa (Slika 1), od izbora tehologije i dodatnog materijala, do samog izvođenja i kontrole kvaliteta radova. Cilj je bio osigurati dugoročno pouzdano rješenje.

2. Tehnologija reparaturnog zavarivanja

2.1. Osnovni materijal i njegova zavarljivost

Uvidom u tehničku dokumentaciju došlo se do podatka da je predmetni dio izrađen od livenog čelika tipa GS30 Mn5V. Ovdje se radi o ugljeničnom čeličnom livu koji ima primjenu u izradi odlivaka komponenti koje su izložene dinamičkim opterećenjima, kao što su kućišta mlinova, glave čekića i slični masivni dijelovi. Tipičan hemijski sastav čeličnog liva GS30 Mn5V dat je u Tabeli 1.

Tabela 1. *Hemijski sastav čeličnog liva GS30 Mn5V*

Table 1. *Chemical composition of cast steel GS30 Mn5V*

Elementi	Sadržaj (maseni %)
C	0,25÷0,32
Si	< 0,6
Mn	1,2÷1,8
P	< 0,035
S	< 0,03
Fe	ostatak

Čelični liv GS30 Mn5V posjeduje dobru zavarljivost uz uslov prethodnog predgrijavanja.

2.2. Izbor postupka zavarivanja

Prema pristupačnosti zone sanacije kao i tipa proizvoda (masivni odlivak složene geometrije), odabran je postpak zavarivanja 111 (REL - ručno elektorlučno zavarivanje obloženom elektrodom). REL postupak omogućava fleksibilan pristup teško dostupnim mjestima s obzirom na ograničen prostor i geometriju pukotine.

2.3. Dodatni i pomoćni materijal za zavarivanje

Na osnovu odabranog postupka zavarivanja, materijala za zavarivanje i pristupačnosti zone sanacije, reparaturno zavarivanje se vršilo obloženom elektrodom tipa E Ni 6182 prema EN ISO 14172, oznake kod proizvođača *Castolin Xuper NucleoTec 2222*. Ova elektroda osigurava visoku postojanost na pojavu pukotina, naročito pri stalnim temperaturama i mehaničkim opterećenjima.

U Tabeli 2 dat je prikaz mehaničkih i fizičkih osobina elektrode E Ni 6182, a u Tabeli 3 preporuke parametara zavarivanja.

Tabela 2. *Mehaničke i fizičke osobine elektrode E Ni 6182*

Table 2. *Mechanical and physical properties of the electrode E Ni 6182*

Osobina	Vrijednost
Zatezna čvrstoća [Rm]	620÷690 (N/mm^2)
Granica tečenja [Rp]	ca. 390 (N/mm^2)
Izduženje [l=5d]	40÷45(%)
Udarni rad [Aw]	ca. 120 (J)*
Tvrdoća [HV]	180÷220
*Pri ekstremnim temperaturama	

Tabela 3. *Preporuke parametara za zavarivanje od strane proizvođača*

Table 3. *Recommendations of parameters for welding by the manufacturer*

Parametar	Vrijednost
Vrsta struje/polaritet	DC (+) ili AC
Jačina struje za zavarivanje [I]	Ø 2,4 [mm] = 50÷70[A]
	Ø 3,25 [mm] = 70÷90[A]
	Ø 4,0 [mm] = 90÷100[A]
	Ø 5,0 [mm] = 110÷140[A]

Nakon procesa očvršćavanja, ohlađena masa osigurava nehrđajući zavareni spoj koji se odlikuje visokom elastičnošću. Spoj je žilav do - 269°C i otporan je na oksidaciju do 1000°C. Elektrode su sušene u mobilnoj peći na temperaturi od 250°C u vremenu od 1 časa.

2.4. Tehnologija reparaturnog zavarivanja

Prije postupka reparaturnog zavarivanja, bilo je neophodno rasteretiti i pozicionirati mlin, tako da pukotina bude u najpogodnijem položaju za pripremu i zavarivanje.

Izvršena je zaštita osjetljivih dijelova u blizini mjesta reparaturnog zavarivanja, a zatim pozicioniranje termoelemenata na predviđenim mjestima u zoni pukotine. Izvršeno je kontrolisano zagrijavanje komada (Slika 2). Kontrola temperature vršena je na rastojanju 50 mm od pukotine.



Slika 2. *Kontrolisano zagrijavanje zone reparacije*

Figure 2. *Controlled heating of the repair zone*



Slika 3. *Proces žlijebljenja*

Figure 3. *The grooving process*

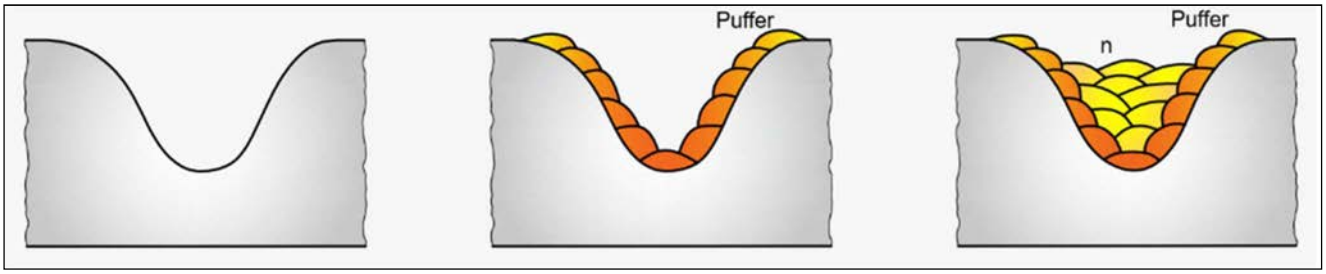
Nakon što je temperatura na komadu dostigla vrijednost od minimalno 100°C, pristupljeno je žljebljenju grafitnom elektrodom. Postupak žlijebljenja (Slika 3) izvođen je dok se prslina potpuno nije odstranila.

U toku žlijebljenja vršena je kontrola temperature komada. Prilikom postupka žlijebljenja korišten je pneumatski čekić za čišćenje i opuštanje materijala. Žlijeb je pripremljen u obliku slova „U" sa blagim prelazima bez oštrih ivica, srhova ili bilo kakvih nedostataka (Slika 4a).

Nakon završenog postupka žljebljenja, provedeno je kontrolisano hlađenje komada do 50°C. Žlijebljena površina je pripremljena do fine glatkoće.

Nakon provedene penetrantske kontrole koja je bila zadovoljavajuća, komad je kontrolisano dogrijavan do 200°C, nakon čega se pristupilo zavarivanju.

Reparaturno zavarivanje izvođeno je na način da se prvo nanio sluj „puffer" (Slika 4b), a zatim popuna žlijeba (Slika 4c), uz obavezno iskivanje i čišćenje.



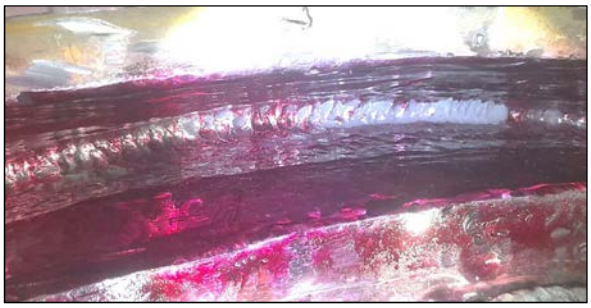
Slika 4. *Priprema i ispuna žlijeba; a) blagi prelazi, b) puffer sloj, c) popuna*

Figure 4. *Preparation and filling of the groove; a) soft transitions, b) puffer layer, c) filling*

3. Rezultati i diskusija

Tokom i nakon provedenog reparaturnog postupka zavarivanja vršena je vizuelna i penetrantska kontrola, radi prevencije pojave nedostataka.

Penetrantska kontrola potvrdila je da je kompletna pukotina odstranjena žlijebljenjem, ali i da ne postoje površinski nedostatci u zoni zavarivanja nakon zavarivanja (Slika 5).



Slika 5. *Penetrantska kontrola u toku žlijebljenja*

Figure 5. *Penetrant control during grooving*

U toku procesa reparaturnog zavarivanja nije došlo do pojave novih pukotina, što daje poseban značaj s obzirom na početnu kompleksnost oštećenja i dubinu pukotine.

Kontrolisani režimi predgrijavanja i međuprolazne temperature imali su ključnu ulogu za smanjenje zaostalih napona i pojavu hladnih pukotina. Izbor postupka 111 (REL) pokazao se kao optimalan za uslove rada, prvenstveno zbog ograničene pristupačnosti (Slika 6). Odabrani dodatni materijal na bazi nikla bio je ključan za kvalitetno reparaturno zavarivanje (Slika 7).



Slika 6. *Proces reparaturnog zavarivanja postupkom 111*

Figure 6. *Process of repair welding by procedure 111*



Slika 7. *Utrošeni dodatni materijal*

Figure 7. *Used filler material*

Nakon kompletnog procesa reparaturnog zavarivanja, hlađenja i kontrole, pristupilo se oblikovanju navarene površine brušenjem, što je u konačnom dovelo do homogene geometrije na samom komadu (Slika 8).



Slika 8. *Obrušena površina nakon reparaturnog zavarivanja*

Figure 8. *Grinded surface after repair welding*

4. Zaključci

Kompletna reparatura oštećenog dijela čeone stijene mlina cementa sprovedena je u skladu s definisanom tehnologijom zavarivanja, što je dovelo do efikasnog i ekonomski opravdanijeg rješenja u odnosu na zamjenu dijela.

Ključni faktori koji su osigurali kvaliteno reparaturno zavarivanje su priprema žlijeba, kontrolisano zagrijavanje, dogrijavanje i hlađenje, zatim iskivanje u toku procesa reparaturnog zavarivanja kao i kontrola u svim fazama.

Još jednom se pokazalo da uprkos otežanim uslovima rada i većoj dubini pukotine od očekivane, primijenjena tehnologija i kvalitetan nadzor omogućili su sanaciju oštećenja bez pojave novih prslina.

Nakon puštanja u rad nije došlo do deformisanja niti degradacije spoja, što potvrđuje dugoročnu pouzdanost izvršene reparacije.

4. Conclusion

The complete repair of the damaged part of the face of the cement mill was carried out in accordance with the defined welding technology, which led to an efficient and economically justified solution compared to the replacement of the part.

The key factors that ensured high-quality repair welding are groove preparation, controlled heating, reheating and cooling, then forging during the repair welding process, as well as control in all phases.

Once again, it was shown that despite the difficult working conditions and the greater depth of the crack than expected, the applied technology and quality supervision made it possible to repair the damage without the appearance of new cracks.

After commissioning, there was no deformation or degradation of the joint, which confirms the long-term reliability of the performed repair.

References / Literatura

[1] Jürgen Tuchtfeld, Thomas Assion, Issam Chiguer; Efficient welding repairs in the cement industry, 7. Međunarodno znanstveno-stručnom savjetovanje SBZ 2013.

[2] Wolfgang Martini, Stella Ruiz; Cement mill - Cracks in the mill ends - Short Paper on an interesting case of damage; Machinery Insurance; Prepared for IMIA, Munich Re; Feb. 2008.

Miro Uran [1,a], Vital Uran [1], Miloš Jovanović [1,b]

SAVREMENI PRISTUPI U OBUCI KOORDINATORA I INSPEKTORA ZA METALNE KONSTRUKCIJE U SKLADU SA ZAHTEVIMA EU CPR

MODERN APPROACHES TO TRAINING COORDINATORS AND INSPECTORS FOR METAL STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH EU CPR REQUIREMENTS

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Jun 2026.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Septembar 2026.

Adresa autora / Author's address:

[1] Institut za varilstvo d.o.o., Ljubljana, Republika Slovenija

Email / ORCID ID:

[a] *miro.uran@i-var.si /*

/ [b] 0000-0002-0554-7908

Ključne reči: EN 1090, CPR, zavarivanje, edukacija

Keywords: EN 1090, CPR, welding, education

Rezime

U radu je predstavljen model uvođenja hibridnog (mešanog) načina edukacije za koordinatore i inspektore metalnih konstrukcija (prema EN 1090), prilagođen novim zahtevima EU Uredbe o građevinskim proizvodima (CPR) 2026–2029, s fokusom na održivosti, digitalizaciji i CE označavanju, kao i novostima u regulativi koje će biti implementirane tokom nekoliko narednih godina. Tematika je usmerena ka simultanom učenju inspektora i rukovodilaca odgovornih za izradu metalnih konstrukcija.

Model obuke se sastoji od:

• Online modula: Teorijski deo preko LMS (Moodle) i Zoom predavanja na daljinu, praktičnih predavanja i učenja na daljinu. Pokriva sve potrebne teme iz teorijskog dela CPR, EN 1090-2 (izvođenje), EN ISO 3834 (zavarivanje) i EN ISO 9712 (IBR),

• Praktičnog dela: Terenska ili video obuka za ispitivanje zavara (VT/PT/UT), antikorozijsku zaštitu (EN ISO 12944 C1–C5), dimenzionu kontrolu (EN ISO 11048), vijčane veze (EN 1993-1-8) itd.

• On-line ispita: Nadzirani pismeni ispiti na računarima za teorijska znanja, te Zoom usmeni ispiti na daljinu.

Program je moderan, parcijalizovan na male zatvorene jedinice s ciljem testiranja novih EU pravila za mikro kredite i mikro kurseve, koji se mogu na kraju spojiti u jednu veću celinu. Program je povezan i sa IIW/EWF specijalizacijom u delu koji se odnosI na tehnologiju zavarivanja, što može skratiti ukupno trajanje specijalizacije. Razvoj i implementaciju ovakvog načina obuke odgovornog osoblja podržavaju RR projekti EU.

Abstract

The paper presents a model for introducing a hybrid (blended) training approach for coordinators and inspectors of metal structures (according to EN 1090), adapted to the new requirements of the EU Construction Products Regulation (CPR) 2026–2029. It focuses on sustainability, digitalization, and CE marking, as well as upcoming regulatory updates to be implemented over the next few years. The topic targets the simultaneous training of inspectors and managers responsible for manufacturing metal structures.

The training model consists of:

• Online modules: Theoretical content delivered via LMS (Moodle) and Zoom lectures, including remote practical sessions and distance learning. It covers all required topics from the theoretical parts of CPR, EN 1090-2 (execution), EN ISO 3834 (welding), and EN ISO 9712 (NDT).

• Practical component: Field or video-based training for weld inspection (VT/PT/UT), corrosion protection (EN ISO 12944 C1–C5), dimensional control (EN ISO 11048), bolted connections (EN 1993-1-8), etc.

• Online exams: Supervised written computer-based tests for theoretical knowledge, along with Zoom oral exams.

The program is modern and modularized into small, self-contained units to test new EU rules for micro-credentials and micro-courses, which can later be combined into a larger whole. It is also linked to IIW/EWF specialization in welding technology sections, potentially shortening the overall specialization duration. The development and implementation of this training approach for responsible personnel are supported by EU Recovery and Resilience (RR) projects.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 1. Konferencije sa međunarodnim učešćem „Tehnologije spajanja materijala“ održane u Bečićima, Crna Gora od 14. do 16. maja 2026. godine

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE, 3/2026, str. 127-130

1. Uvod

Evropska unija je 2011. godine usvojila Uredbu (EU) br. 305/2011 o građevinskim proizvodima (CPR), koja je stupila na snagu 10. jula 2013. godine i zamijenila stariju Direktivu 89/106/EEC. Ova uredba propisuje usklađena pravila za stavljanje građevinskih proizvoda na tržište unutar EU, s fokusom na sigurnosti i kvalitetu.

Standard EN 1090-1, koji reguliše izradu čeličnih i aluminijumskih konstrukcija, usvojen je kao usklađeni standard u okviru CPR-a, a njegova upotreba postala je obavezna 1. jula 2014. godine. To je omogućilo proizvođačima da svoje proizvode označe CE oznakom, što osigurava usklađenost sa tehničkim zahtevima za konstrukcije. Ovi propisi sa kontinuiranim ažuriranjima danas predstavljaju osnovu za certifikaciju u Sloveniji. Godine 2024. objavljena je nova Uredba o građevinskim proizvodima (CPR) EU 2024/3110, koja je zamenila prethodnu Uredbu (EU) br. 305/2011 o građevinskim proizvodima (CPR), kojom su utvrđena usklađena pravila za stavljanje građevinskih proizvoda na tržište u EU.

Nova uredba uvodi strože zahteve za održivost, cirkularnu ekonomiju, digitalizaciju i sigurnost građevinskih proizvoda, uključujući promovisanje recikliranja materijala i bolju procenu uticaja na životnu sredinu. Stupila je na snagu 7. januara 2025. godine, a ključne odredbe postepeno su se počele koristiti od 8. januara 2026. Implementacija će trajati više godina, što će proizvođačima građevinskih proizvoda omogućiti lakše prilagođavanje na novosti [1].

Prema važećim standardima, potrebno je obezbediti odgovarajuće kvalifikovane vođe projekata, vođe kvaliteta i inspektore za sva područja obuhvaćena standardom EN 1090. Ta područja su: implementacija i pregled projektovanja, pregled i nadzor proizvodnje, zavarivanje, NDT kontrola, vijčano spajanje, montaža, zaštita od korozije, dimenziona kontrola i drugo.

U Evropi je obuka i certifikacija celokupnog zavarivačkog osoblja definisana smernicama IIW (Međunarodni institut za zavarivanje), a NDT osoblje se obučava i certifikuje prema važećim EN ISO standardima. Za osoblje koje izvodi i nadzire izvođenje zaštite od korozije, postoji system obuke FROSIO, koji je previše zahtevan za većinu kompanija, a drugih odgovarajućih oblika obuka osoblja za ovo područje za sada nemamo.

Institut za zavarivanje iz Ljubljane je trenutno kao partner uključen u četiri EU razvojna projekta u ovoj oblasti. Institut je uvođenjem novih metoda kombinovanog učenja od 2015. godine postao jedan od pionira učenja na daljinu za sve nivoe zavarivačkog osoblja. Po broju stanovnika Slovenija je dugi niz godina najuspešnija zemlja na svetu u obrazovanju međunarodnih inženjera zavarivanja (IWE). Uvođenjem savremenih metoda učenja je taj broj IWE kandidata višestruko veći.

U ovom radu je opisan razvoj savremenih obrazovnih sistema, koji je prilagođen potrebema CPR direktive, zatim novi principi učenja na radnom mestu, učenje na daljinu i kombinovano učenje, kao i primeri dobre prakse u novim evropskim principima mikrokurseva i mikrodokaza [2].

2. Razvoj projekta

2.1. Prva faza

Na Institutu za varilstvo smo u prvom koraku razvili sistem za certificiranje kompanija putem imenovanog tela EU. Dobili smo odobrenje od Slovenačke akreditacije (SA) i notifikaciju od Evropske komisije kao imenovano telo pod rednim brojem NB- 2042. Tokom prvih pet godina certificiranja proizvodnje u više od 500 kompanija, stekli smo široku bazu znanja o potrebama kompanija. Nakon prgleda i analize tih potreba pripremili smo odgovarajuće nastavne planove i programe za obuku odgovornog osoblja za potrebe standarda EN 1090. U okviru **BET** projekta pripremili smo sistem rada, sistem za učenje na daljinu preko platforme Moodle, kao i materijale i praktične vežbe, te na kraju organizovali pilotni kurs, koji je 80% izveden na daljinu, 10% kroz predavanja i 10% kroz praktično vođeni rad. Kao ključni deo projekta je bila obuka osoblja, koju smo izvršili u obliku kombinovanog kursa za vođe osiguranja kvaliteta u kompanijama i inspektore za EN 1090. Teorijsko znanje je osnova za praktične zadatke koji su bili izvedeni kao planirana konfrontacija inspektora s odgovornim osobama u kompaniji.

Paralelno s ovim razvojnim trendovima, uspostavljena je interaktivna online učionica "all-in-one" za kurs Međunarodnog inženjera zavarivanja (IWE). Većina programa se održava na daljinu putem predavanja uživo (Zoom), uz dodatak praktične obuke u Sloveniji. Istovremeno je postepeno uveden i sisteme za izvođenje ispita na daljinu. Zbog svoje visoke fleksibilnosti, takav pristup omogućava polaznicima da usklade

obrazovanje sa poslovnim obavezama, što se ogleda u izrazito međunarodnoj strukturi kandidata (EU, Balkan, Bliski istok, Indija itd). Dodatna prednost je činjenica da je osoblje sa Institutu za varilstvo angažovano na auditima za sisteme mešovitog učenja (BL) na IIW specijalizacijama. To nam omogućava da aktivno pratimo i implementiramo primere dobre prakse na nivou cele Evrope [1, 3].

2.2. Druga faza

Implementirali smo i testirali sistem pismene i usmene provere znanja na daljinu. Sistem je testiran, optimizovan nekoliko puta i konačno prihvaćen u smeernicama IIW i EWF za sve ispite. Naravno, sistem je potrebno neprekidno kontrolisati i ažurirati. Poslednji izazov je kako kandidatima tokom ispita na daljinu onemogućiti upotrebu nedozvoljenih sredstava (pre svega veštačke inteligencije), bez velikih ulaganja u kontrolisana ispitna okruženja ili obiman trodimenzionalni video nadzor.

2.3. Treća faza

EU projekat **FiVE** ima za cilj oblikovanje održivog i korisnog okvira za implementaciju kratkih kurseva (mikro kurseva), koji će omogućiti dobijanje međunarodno važećeg formalnog digitalnog zapisa (dokumenta, potvrde) o stečenim kvalifikacijama putem tzv. mikro-potvrda (eng. micro-credentials). To predstavlja jedan od ključnih razvojnih zadataka Evropske komisije u obrazovanju odraslih.

Sklop od nekoliko tako povezanih mikro kurseva dovest će do sticanja određene kvalifikacije ili diplome, kojom će zaposleni na brz i efikasan način pokriti specifične praznine u kompetencijama koj su potrebne kompanijama, a klasičnim obrazovanjem takva znanja nije moguće steći. Najnovije politike u oblasti obrazovanja i obuke vode do fleksibilne mogućnosti prilagođavanja sadržaja učenja stvarnim potrebama, potrage za specifičnim znanjem u usko specijalizovanim oblastima i harmonizaciju ishoda učenja, koji bi potom bili priznati i prihvaćeni u EU i šire [2].

Razvoj opisanog modela obuke u projektu **FiVE** odvija se na dva potpuno različita područja, ali oba područja zahtevaju vrlo fokusirano znanje. Ova dva područja su obuka osoblja za rad na farmama ribe i obuka inspektora za EN 1090, gde će stečena stručnost omogućiti obavljanje zadataka vezanih za nadzor proizvodnje ili dokumentacije čeličnih konstrukcija koje spadaju pod Uredbu o građevinskim proizvodima. Očekuje se da će Evropska komisija iz projekta steći dobre prakse koje bi pomogle u definisanju konačnih zajedničkih smernica.

Proces smo optimizovali kroz **IQMET** projekat, koji je nastavio razvoj inovativnih metoda za obuku zavarivačkog osoblja korištenjem obogaćene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR). Nakon uspešne početne faze u kojoj su razvijeni prvi simulatori i osnovni moduli za učenje, u protekloj godini izvedeno je nekoliko pilot aktivnosti u saradnji s obrazovnim organizacijama i industrijskim partnerima. Na osnovu tih iskustava, osmišljen je inovativni kurikulum s didaktičkim materijalima kao podrška nastavnicima i instruktorima u integraciji digitalnih tehnologija u obrazovanju.

Važan korak napred je i priprema studija praktičnih primera zasnovanih na analizama stvarnih nesreća i uspešnih implementacija projekata zavarivanja. Ovi slučajevi pružaju dublje razumevanje tehničkih i organizacijskih aspekata zavarivanja, kako za zavarivače, tako i za inspektore zavarivanja. U budućnosti, projekat će se fokusirati na smanjenje uticaja na okolinu (ozelenjavanje) zavarivanja, što uključuje razumevanje uticaja tehničkih odluka, parametara procesa i korištenih materijala na održivost okoline.

Celokupan proces se trenutno optimizuje kroz projekat **HighFive**, koji ima za cilj objedinjavanje znanja i iskustva trenera, instruktora i stručnjaka iz reprezentativnih javnih organizacija i kompanija koje primenjuju Uredbu o građevinskim proizvodima (CPR) kako bi se uspostavio optimalan obrazovni sistem i podržala politika zasnovana na dobroj praksi širom Evrope. Ove mreže organizacija će se fokusirati na razvoj ekosistema znanja, koji će kontinuirano unapređivati znanja, veštine i kompetencije vezane za kontrolu kvalitete (QC) i inspekciju CPR proizvoda.

Kao odgovor na rastuću popularnost digitalnog učenja, posebno nakon pandemije, projekat se fokusira na razvoj, testiranje i izvajanje eksperimentalne digitalne obuke za nastavnike/predavače i učenike na nivou Evropskog kvalifikacijskog okvira(EQF) 3–6 [3, 4].

3. Rezultati i diskusija

Navedeni EU projekti su usmereni u razvoj inovativnih nastavnih planova i programa, smernica za podučavanje i resurse za e-učenje kako bi se promovisala zelena tranzicija i održivost u industriji CPR-a. Ovo će imati primetne dugoročne uticaje na kvalitet i sigurnost novih, inovativnih proizvoda i

struktura za proizvodnju CPR-a, a istovremeno će smanjiti troškove kontrole kvalitete i inspekcijskog nadzora.

Javno-privatna partnerstva će biti uspostavljena za razvoj programa obuke na radnom mestu, za standardizaciju i zagovaranje novog usklađenog evropskog ekosistema učenja odraslih za CPR korištenjem jedinica za kompetencija (CU) i razmenu znanja i veština između pedagoga, stručnjaka iz industrije i kreatora politika. Fokus će biti na uključivanju industrije i uvođenju novih proizvoda i tehnologija kontrole kvaliteta koji će značajno uštedeti troškove proizvodnje.

4. Zaključak

Standardizovane metode za proveru kvaliteta i dostupnosti obrazovanja će biti razvijene, testirane i implementirane za celu EU. Pored stečenog potrebnog znanja i optimizovanog kombinovanog obrazovanja, korisnici će takođe imati koristi od usklađenih mikro-potvrda koje će biti važeće u celoj EU.

4. Conclusion

Standardized methods for checking the quality and availability of education will be developed, tested and implemented for the entire EU. In addition to the acquired knowledge and optimized blended learning, users will also benefit from harmonized micro-certificates that will be valid throughout the EU.

Zahvalnica

Sva četiri projekta finansirana su iz Erasmus+ programa Evropske unije. Evropska komisija ne sofinansira izradu ove publikacije niti sofinansira njen sadržaj, koji odražava isključivo stavove autora, te se Komisija ne može smatrati odgovornom za bilo kakvu upotrebu koja se može izvesti iz nje.

Acknowledgment

All four projects are financed from the Erasmus+ program of the European Union. The European Commission does not co-finance the production of this publication nor does it co-finance its content, which reflects solely the author's views, and the Commission cannot be held responsible for any use that may be made of it.

Literatura / References

[1] D2.2 EN1090 Inspector Course Guideline, September 2025.

[2] The Five project website: https://www.stimuli2. no/project/five, september 2025

[3] D3.2 Baseline guideline containing the user requirement specification for micro courses applying CUs leading to MCs, and MQs that are recognized by industry and VET providers, September 2025.

[4] Innovative Scalable High-Impact Excellence Learning that Engage, Explore, Explain, Elaborate and Evaluate Optimized Adult Education, Project proposal, EU Grants: Application form (ERASMUS BB and LS Type II): V2.0 –01.06.2022.

Muhadin Kozica [1,a]

WELD ME - PROGRAM ZA PROCJENU ZAVARLJIVOSTI I TERMIČKIH USLOVA ZAVARIVANJA ČELIKA

WELD ME - SOFTWARE FOR ASSESSING THE WELDABILITY AND THERMAL CONDITIONS OF STEEL WELDING

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Jun 2026.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Septembar 2026.

Adresa autora / Author's address:

[1] DENIKOO d.o.o., Podgorica, Crna Gora

Email / ORCID ID:

[a] mkozica@outlook.com /

Ključne reči: zavarljivost, temperatura predgrijavanja, vrijeme hlađenja t8/5, zona uticaja toplote, program za zavarivanje

Keywords: weldability, preheat temperature, cooling time t8/5, heat-affected zone, welding software

Rezime

Hladne i tople pukotine i povećana tvrdoća u zoni uticaja toplote (ZUT) predstavljaju kritične probleme pri zavarivanju čelika, uzrokovane zavarljivošću materijala, sadržajem vodonika i termičkim ciklusom zavarivanja. U ovom radu dat je prikaz i mogućnost softverskog alata Weld Me, namijenjenog analizi i procjeni zavarljivosti čelika prema EN 1011-2. Softver ima implementirane proračune ugljeničnih ekvivalenta (CE, CET, Pcm, CE(WES), CEN), Graville dijagram, indikatore osjetljivosti na tople pukotine HCS, UCS, proračun temperatura transformacija, proračun temperature predgrijavanja, vrijeme hlađenja t8/5, procjenu tvrdoće u ZUT-u kao i Schaeffler-ov i WRC-1992 dijagram za analizu mikrostrukture metala zavara.

Program povezuje preporuke standarda i empirijskih izraza iz naučne literature (ugljenični ekvivalenti, Yurioka model, Schaeffler i WRC-1992 dijagrami) sa industrijskom praksom, smanjujući na taj način subjektivnost pri izradi postupaka zavarivanja i povećavajući pouzdanost zavarenih spojeva.

Abstract

Cold and hot cracks and increased hardness in the heat-affected zone (HAZ) represent critical problems in steel welding, caused by the weldability of the material, hydrogen content and the thermal cycle of welding. This paper presents an overview and the capabilities of the software tool Weld Me, intended for the analysis and assessment of steel weldability according to EN 1011-2. The software has implemented calculations of carbon equivalents (CE, CET, Pcm, CE(WES), CEN), the Graville diagram, hot cracking susceptibility indicators HCS and UCS, calculation of transformation temperatures, calculation of preheat temperature, cooling time t8/5, estimation of hardness in the HAZ, as well as the Schaeffler and WRC-1992 diagrams for the analysis of weld metal microstructure.

The program links the recommendations of standards and empirical expressions from the scientific literature (carbon equivalents, the Yurioka model, the Schaeffler and WRC-1992 diagrams) with industrial practice, thereby reducing subjectivity in the development of welding procedures and increasing the reliability of welded joints.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 1. Konferencije sa međunarodnim učešćem „Tehnologije spajanja materijala“ održane u Bečićima, Crna Gora od 14. do 16. maja 2026. godine

1. Uvod

Weld Me je softver, razvijen u programskom jeziku Python, koji implementira niz analitičkih metoda kao što su: proračun ugljeničnih ekvivalenata, proračun indikatora osjetljivosti na tople pukotine, temperature transformacija, temperaturu predgrijavanja prema EN 1011-2, analitičke modele za vrijeme hlađenja $t_8/_5$, procjenu tvrdoće u ZUT-u i konstitucijske dijagrame za metal zavara.

Cilj razvoja ovog programa je pojednostavljenje standardizovanih postupaka u jedinstven proračunski pristup koji eliminiše potrebu za ručnim očitavanjem nomograma i konstitucijskih dijagrama (Schaeffler, Graville, WRC-1992) i pojednostavljuje proces izrade tehnologije zavarivanja a uz to i omogućava ponovljive rezultate sa višestrukim scenarijima.

2. Teorijske osnove

Zavarljivost čelika određuje se preko ugljeničnih ekvivalenata, koji sadržaj različitih legirajućih elemenata prevodi u ekvivalentni sadržaj ugljenika. Dominantan uticaj na kaljivost zone uticaja toplote (ZUT) ima ugljenik (C). Ostali legirajući elementi kao što su mangan (Mn), silicijum (Si), hrom (Cr), molibden (Mo), vanadijum (V), nikl (Ni), bakar (Cu) i niobijum (Nb), doprinose otvrdnjavanju u različitoj mjeri, što se izražava odgovarajućim težinskim koeficijentima u formulama ugljeničnog ekvivalenta. Veća vrijednost ugljeničnog ekvivalenta znači veću sklonost ka stvaranju tvrde martenzitne strukture u ZUT-u tokom hlađenja, čime raste rizik od hladnih pukotina indukovanih vodonikom.

Tokom više od osam decenija razvijene su brojne formule za ugljenični ekvivalent, od koncepta koji su Dearden i O'Neill uveli 1940. godine (kasnije standardizovan kao CE(IIW) od strane IIW-a 1967.), preko CET, Pcm i CE(WES), do savremene Yuriokine CEN formule iz 1987. godine koja premoščuje razlike između prethodnih pristupa. Sve ove formule služe kao osnovni indikator za potrebu predgrijavanja, izbor dodatnog materijala i kontrolu unosa toplote pri zavarivanju.

CE (IIW) ili CEV

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (1)$$

Formula (1) je definisana od strane Međunarodnog instituta za zavarivanje. Najčešće se koristi u praksi i implementirana je u raznim standardima, a koristi se kao Metod A u EN 1011-2.

Validan opseg primjene je CE ≈ 0.30 do 0.70. Okvirno, za debljine elemenata do približno 20 mm važi: CE ≤ 0.40 - dobra zavarljivost bez predgrijavanja; 0.40÷0.60 - zahtijeva predgrijavanje; iznad 0.60 - obavezno je pojačano predgrijavanje. Validan opseg hemijskog sastava čelika je: C = 0,05 do 0,25; Si = max. 0,8; Mn = max. 1,7; Cr = max.0,9; Cu = max. 1,0; Ni = max. 2,5; Mo = max. 0,75; V = max. 0,20 [2].

CET

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (2)$$

CET formula se koristi u okviru Metode B u standardu EN 1011-2. Razvijena je u istraživačkim laboratorima čeličane Thyssen Stahl AG.

Formula važi za hemijski sastav koji se kreće u sledećim granicama: 0.05 ≤ C ≤ 0.32; Si ≤ 0.8; 0.5 ≤ Mn ≤ 1.9; Cr ≤ 1.5; Cu ≤ 0.7; Mo ≤ 0.75; Nb ≤ 0.06; Ni ≤ 2.5; Ti ≤ 0.12; V ≤ 0.18; B ≤ 0.005 [2] .

Pcm

Parametar Pcm (engl. Crack Susceptibility Parameter), poznat i kao Ito-Bessyo formula, koristi se pri procjeni osjetljivosti čelika na pojavu hladnih pukotina u zoni uticaja toplote (ZUT) tokom hlađenja nakon zavarivanja. U odnosu na klasični CE(IIW), Pcm daje znatno veću težinu sadržaju ugljenika, čime bolje opisuje ponašanje modernih niskougljeničnih čelika povišene čvrstoće gdje ugljenik dominantno određuje zakaljivost ZUT-a.

$$Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (3)$$

Ova formula je razvijena u Japanu, i specifično dizajnirana za niskougljenične čelike povećane čvrstoće sa sadržajem ugljenika C < 0,12%, kao i niskougljenične čelike za cjevovode (API 5L) i čelike koji se koriste u brodogradnji.

Validan opseg hemijskog sastava je: C = 0.07÷0.22%, Si ≤ 0.60%, Mn = 0.40÷1.40%, Cu ≤ 0.50%, Ni ≤ 1.20%, Cr ≤ 1.20%, Mo ≤ 0.70%, V ≤ 0.12%, Nb ≤ 0.04%, Ti ≤ 0.05% i B ≤ 0.005%.

Granice primjenjivosti Pcm parametra za procjenu zavarljivosti, koje su prikazane u Tabeli 1, često se koriste u industrijskoj praksi (AWS D1.1 Annex I) kao prvi indikator potrebe za

predgrijavanjem i izborom dodatnog materijala sa niskim sadržajem vodonika.

***Tabela 1**. Granice primjenjivosti Pcm formule*

***Table 1**. Applicability limits of the Pcm formula*

Vrijednost Pcm	Zavarljivost
Pcm ≤ 0,20	Dobra zavarljivost
0,20 < Pcm ≤ 0,30	Zahtijeva se predgrijavanje i elektrode sa niskim nivoom vodonika
Pcm > 0,30	Obavezne pojačane mjere

CE (WES)

Formulu (4) propisalo je Japansko društvo za zavarivanje (JWES/WES - Welding Engineering Standard). Ona uzima u obzir više legirajućih elemenata od CE(IIW), uključujući silicijum, sa različitim težinskim koeficijentima koji odražavaju mikrostrukturni odgovor poboljšanih (Q&T).

$$CE(WES) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (4)$$

Ovaj izraz za izračunavanje je primarno namijenjen poboljšanim (Q&T) niskolegiranim čelicima visoke čvrstoće sa zateznom čvrstoćom od 500÷1000 MPa.

CEN

Parametar CEN (engl. Carbon Equivalent Number), poznat i kao Yuriokin ugljenični ekvivalent, razvijen je 1987. godine sa ciljem da premosti razlike između CE(IIW) i Pcm formula. Pokriva znatno širi raspon kvaliteta čelika, od niskougljeničnih do konvencionalnih C-Mn čelika. CEN je usvojen u američkim standardima ASTM A1005 i ASME B16.49.

$$CEN = C + A(C) \cdot \left[\frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{(Cr + Mo + Nb + V)}{5} + 5B\right] \quad (5)$$

gdje je:

$$A(C) = 0{,}75 + 0{,}25 \cdot tanh[20 \cdot (C - 0{,}12)] \quad (6)$$

Specifičnost ove formule je u koeficijentu $A(C)$ tako da se za C < 0.08% A(C) približava 0.5 i CEN konvergira ka Pcm, dok za C > 0.18% A(C) teži ka 1.0 i CEN konvergira ka CE(IIW). Svaki od ovih izraza (1-5) optimizovan je za određenu grupu čelika i debljinu materijala [1, 2, 4, 9].

Temperatura predgrijavanja prema EN 1011-2 računa se prema dvije metode iz Aneksa C.

Metoda A (Aneks C.2) koristi CEV ekvivalent i grafičke dijagrame, uz kombinovanu debljinu spoja kao parametar toplotnog odvoda. Namijenjena je primarno C-Mn i niskolegiranim konstrukcionim čelicima.

Metoda B (Aneks C.3) koristi CET ekvivalent i analitičku formulu, uz debljinu lima *d* kao parametar. Primjenjiva je primarno za sitnozrne i niskolegirane čelike povećane čvrstoće. Obje metode kombinuju doprinose hemijskog sastava, debljine spoja, sadržaja difundovanog vodonika i unosa toplote prema sljedećem izrazu [2]:

$$T_p = 697 \cdot CET + 160 \cdot \tanh\frac{d}{35} + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 328 \quad (7)$$

gdje su: Tp - temperatura predgrijavanja [°C]; CET - ugljenični ekvivalent po EN 1011-2 u [%]; d - debljina lima [mm]; HD - sadržaj difuznog vodonika [ml/100g] i Q unos toplote [kJ/mm].

Granice primjenjivosti formule su: CET od 0,2–0,5 %; d od 10–90 mm; HD od 1–20 ml/100 g i Q od 0,5–4,0 kJ/mm [2].

Vrijeme hlađenja t8/5 predstavlja vrijeme tokom kojeg se metal zavara hladi sa 800°C na 500°C. To je interval u kojem se odvijaju najznačajnije fazne transformacije koji direktno utiče na mikrostrukturu i mehaničke osobine zone uticaja toplote (ZUT). Prema EN 1011-2 koriste se dva analitička modela u zavisnosti od debljine materijala. Za tanke limove primjenjuje se 2D model:

$$t_{8/5} = (4300 - 4{,}3 \cdot T_0) \cdot 10^5 \cdot \frac{k^2 \cdot Q^2}{d^2} \cdot \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2}\right] \quad (8)$$

a za debele limove 3D model:

$$t_{8/5} = (6700 - 5 \cdot T_0) \cdot k \cdot Q \cdot \left[\frac{1}{(500 - T_0)} - \frac{1}{(800 - T_0)}\right] \quad (9)$$

Izbor modela određuje se prema tzv. prelaznoj debljini (d_{tr}). Prelazna debljina je debljina lima pri kojoj se odvođenje toplote mijenja iz

dvodimenzionog u trodimenziono stanje i računa se iz unosa toplote i početne temperature:

$$d_{tr} = \sqrt{\frac{(4300 - 4{,}3 \cdot T_0)}{(6700 - 5 \cdot T_0)} \cdot k \cdot Q \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{(500 - T_0)} + \frac{1}{(800 - T_0)}\right)} \quad (10)$$

gdje su: T_0 - početna temperatura (predgrijavanje) [°C]; Q - unos toplote [kJ/mm]; d - debljina [mm] i k faktor oblika zavara. Za $d < d_{tr}$ koristi se 2D model, a u suprotnom koristi se 3D model [2].

Tvrdoća u zoni uticaja toplote procjenjuje se prema Yurioka modelu, koja povezuje hemijski sastav sa brzinom hlađenja [10]. Yurioka model iz 1987 godine opisuje tvrdoću u zoni uticaja toplote (ZUT) S-krivom u zavisnosti od logaritma vremena hlađenja $t_{8/5}$.

Tvrdoća se zatim interpolira između dvije granične vrijednosti - tvrdoće potpuno martenzitne strukture HM (kada je $t_8/_5$ vrlo kratko) i tvrdoće potpuno beinitne strukture HB (kada je $t_{8\ /5}$ vrlo dugo) - pomoću arctan funkcije koja opisuje prelaz između ta dva stanja:

$$HV = \frac{H_M + H_B}{2} - \frac{H_M - H_B}{2{,}2} \cdot arctan\, x \quad (11)$$

gdje je:

$$x = 4 \cdot \frac{log\frac{t_{8/5}}{t_M}}{log\frac{t_B}{t_M}} - 2 \quad (12)$$

Yurioka model je detaljno opisan u literaturi [10] i [14].

Za procjenu mikrostrukture metala zavara pri zavarivanju legiranih i različitih osnovnih i dodatnih materijala koriste se konstitucijski dijagrami.

Schaefflerov dijagram (1949) je grafička metoda za procjenu mikrostrukture metala zavara nerđajućih čelika na osnovu hemijskog sastava. Dijagram prikazuje regije postojanja austenitne (A), feritne (F) i martenzitne (M) faze i njihovih kombinacija (A+M, A+F, A+M+F), uz izoferitne linije za kvantitativno očitavanje udjela ferita. Položaj radne tačke određuje se preko ekvivalenata hroma i nikla:

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 1{,}5 \cdot Si + 0{,}5 \cdot Nb \quad (13)$$

$$Ni_{eq} = Ni + 30 \cdot C + 0{,}5 \cdot Mn \quad (14)$$

Radna tačka omogućava grafičku procjenu fazne strukture (austenit, ferit, martenzit i njihove kombinacije) u metalu zavara, uz očitavanje udjela ferita sa izo-feritnih linija.

WRC-1992 dijagram [6] koristi modifikovane ekvivalente hroma i nikla kalibrisane za tačnije predviđanje feritnog broja (FN) u metalu zavara. U odnosu na Schaeffler-ove formule uključuje i azot (N) u nikl ekvivalentu, kao i bakar (Cu) kao značajan austenitni stabilizator:

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 0{,}7 \cdot Nb \quad (15)$$

$$Ni_{eq} = Ni + 35 \cdot C + 20 \cdot N + 0{,}25 \cdot Cu \quad (16)$$

Dijagram je posebno pogodan za austenitne i duplex nerđajuće čelike jer omogućava direktno očitavanje feritnog broja (FN) u opsegu 0÷100 FN. Modovi solidifikacije (A - austenitni, AF - austenitno-feritni, FA - feritno-austenitni, F - feritni) se dodatno mogu procijeniti iz Cr_eq/Ni_eq omjera [3, 6, 7].

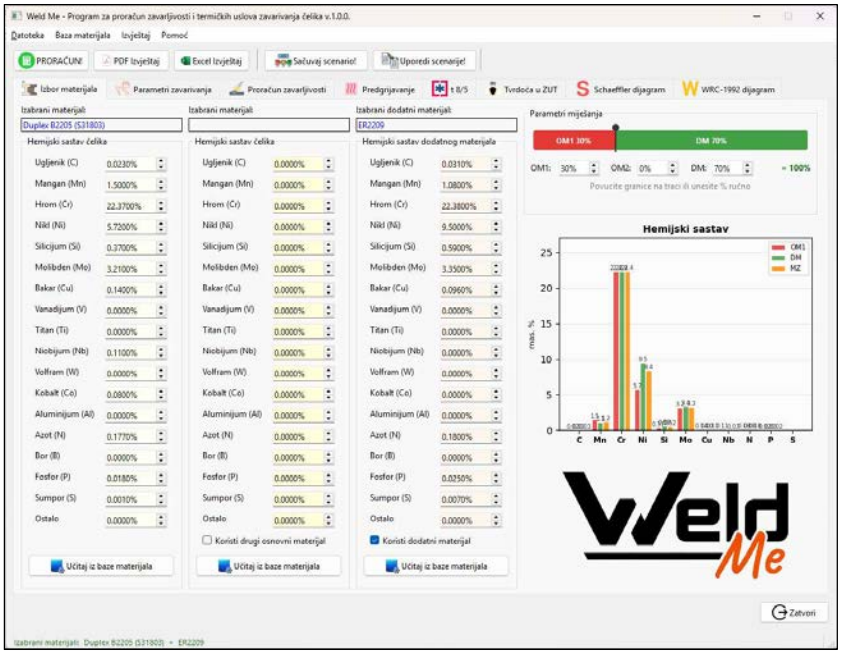
3. Razvoj softvera

3.1. Arhitektura i korisnički interfejs

Softver Weld Me razvijen je u programskom jeziku Python 3.11 sa grafičkim interfejsom (GUI) dizajniranim u QtDesigneru. Arhitektura softvera je modularna. Grafički korisnički interfejs (GUI) odvaja se od proračunskog modula, što omogućava nezavisno testiranje algoritama i jednostavno proširivanje funkcionalnosti.

Baza podataka materijala sadrži oko 120 čelika i dodatnih materijala, i potpuno je otvorena za korisnike a implementirana je u SQLite formatu. Ona sadrži hemijske sastave definisane standardima ali i iz atestnih listova proizvođača, čime se eliminiše potreba za ručnim unosom sastava za najčešće korišćene čelike.

Glavni prozor softvera Weld Me, koji prikazuje organizaciju korisničkog interfejsa sa karticom za izbor materijala, prikazan je na Slici 1.



Slika 1. *Glavni prozor softvera Weld Me*

Figure 1. *Weld Me main window*

Korisnik bira osnovni materijal iz baze podataka ili ručno unosi hemijski sastav, definiše parametre zavarivanja (napon, struja, brzina, postupak) i debljinu materijala. Softver nakon klika na dugme Proračun, automatski računa unos toplote, sve ugljenične ekvivalente, Schaeffler i WRC-1992 ekvivalente, indikatore osjetljivosti na tople pukotine, temperature transformacija, temperaturu predgrijavanja (po metodi B standarda EN 1011-2, metodi Ito-Bessyo i po Seferijanu), zatim prelaznu debljinu, vrijeme hlađenja $t_8/_5$ i maksimalnu tvrdoću u ZUT-u prema Yurioka i Terasaki formuli. Za analizu metala zavara, korisnik može definisati drugi osnovni materijal i/ili dodatni materijal sa odgovarajućim udjelima miješanja.

3.2. Algoritam i tok proračuna

Tok proračuna organizovan kroz jasno definisane faze. Softver ima logičan redoslijed kartica (tab-ova) od izbora materijala, pa do konstitucijskih dijagrama Schaeffler i WRC-1992.

Kao posebna mogućnost je predviđeno kreiranje PDF izvještaja sa tabelarnim prikazom i dijagramima, koji izuzetno može koristiti inženjerima i tehnolozima zavarivanja. Posebna pogodnost je što softver ima mogućnost da čuva unijete podatke kao sopstveni fajl.wme. Svi proračuni imaju jasno definisane granice primjene i to po hemijskom sastavu (prema standardima) i po opsegu validnosti samih izraza (prema literaturnim izvorima). Softver na neki način predstavlja mali ekspertni sistem koji na osnovu unijetih vrijednosti i granica primjenjivosti daje upozorenja i obavještava korisnika.

Proračun ugljeničnih ekvivalenata zasniva se na primjeni formula (1)-(5) a proračun Schaeffler i WRC-1992 ekvivalenata prema formulama (13)-(16), dok se za proračun indikatora osjetljivosti na tople pukotine koriste izrazi za HCS, ΔG, UCS i PSR. Proračun temperatura transformacije Ac1, Ac3, Ms, Mf, Bs je dat u [11].

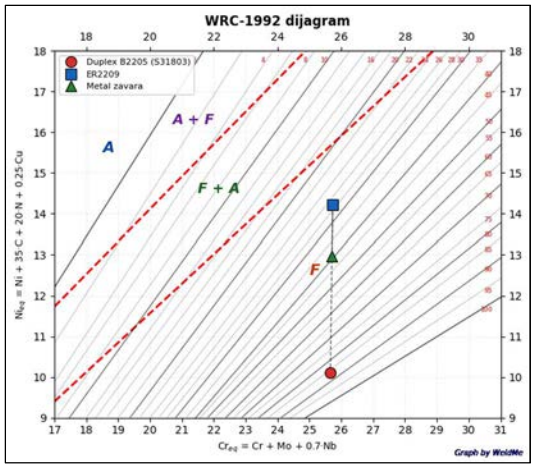
Proračun temperature predgrijavanja zasniva se na Metodi B iz standarda EN 1011-2 [2], kao i Ito-Bessyo metodi [13] a kao referencu koristi i stariju formulu prema Seferijanu.

Softver automatski računa prelaznu debljinu i na osnovu nje bira odgovarajući model za proračun $t_8/_5$. Za debljinu manju od prelazne koristi se 2D model (tanki limovi), a za veću ili jednaku debljinu 3D model (debeli limovi). Na osnovu izračunatog $t_8/_5$, softver procjenjuje maksimalnu tvrdoću u ZUT-u prema Yurioka i Terasaki formuli.

Posebno se može naglasiti mogućnost softvera za analizu zavarivanja različitih čelika. Hemijski sastav metala zavara izračunava se linearnom kombinacijom (pravilo smješe) hemijskih sastava na bazi težinskih udjela razblaženja dva osnovna materijala i jednog dodatnog, pri čemu udio razblaženja korisnik definiše interaktivno upotrebom klizača (slajdera). Iz dobijenog sastava se zatim računaju ekvivalenti hroma i nikla prema metodologijama Schaeffler-a i WRC-1992, nakon

čega se određuje položaj radne tačke na odgovarajućim dijagramima. Na osnovu položaja radne tačke softver procjenjuje mikrostrukturnu fazu i feritni broj, i računa parametar PREN kao mjeru otpornosti na tačkastu (rupičastu) koroziju.

Primjer prikaza WRC-1992 dijagrama u softveru Weld Me, sa položajem radne tačke za zavarivanje duplex čelika B2205 sa dodatnim materijalom ER2209, prikazan je na Slici 2.



Slika 2. *WRC-1992 dijagram u softveru Weld Me za primjer zavarivanja duplex čelika B2205 sa dodatnim materijalom ER2209*

Figure 2. *WRC-1992 diagram in Weld Me software for an example of welding duplex steel B2205 with filler material ER2209*

4. Verifikacioni primjer

Verifikacija primijenjenih analitičkih modela je urađena na brojnim primjerima, a najjednostavnija je na formulama ugljeničnih, Schaeffler i WRC-1992 ekvivalenata, jer tačnost isključivo zavisi od preciznosti unešenih vrijednosti legirajućih elemanata.

Primjer: Određivanje temperature predgrijavanja, vremena hlađenja t 8/5 i tvrdoće u ZUT [13]. Hemijski sastav čelika P 460 NL1 [13], prikazan je u Tabeli 2.

Tabela 2. *Hemijski sastav materijala, čelik P 460 NL1(u masenim %)*

Table 2. *Chemical composition of the material, steel P 460 NL1 (in mass %)*

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni
%	0,153	0,380	1,40	0,015	0,0021	0,031	0,037	0,630
Element	Mo	Cu	V	Nb	Ti	B	N	Fe-
%	0,004	0,061	0,099	0,038	0,004	0,0003	0,0052	ostatak

Parametri zavarivanja

Postupak - MIG; Struja - 130A; Napon - 16 V; Brzina zavarivanja - 1,33 mm/s; efikasnost (η) - 0.80; debljina lima - 14 mm; zaštitni gas - argon + 5,9% CO_2 + 1,1% O_2; sadržaj difundovanog vodonika - 5 ml/100 gr MZ.

Parametar CET je izračunat na osnovu jednačine (2) i iznosi 0,314 i u softveru i u referentnom radu. Parametar Pcm je izračunat prema formuli (3) i u softveru iznosi 0,263 dok je u referentnom radu 0,261.

U svim slučajevima unos toplote je Q = 1,251 kJ/mm. Izabran je geometrijski faktor k = 0,90. S obzirom da je debljina lima d = 14 mm, manja od izračunate prelazne debljine dtr = 15,8 mm, prema EN 1011-2 se koristi 2D model i jednačina (8).

U Tabeli 3 dat je uporedni prikaz vrijednosti temperature predgrijavanja Tp i vremena hlađenja $t_{8/5}$ izračunatih u softveru Weld Me i u referentnom radu [13], za tri različita pristupa: Ito-Bessyo metoda za slabo i jače ukrućen spoj i metoda B prema EN 1011-2.

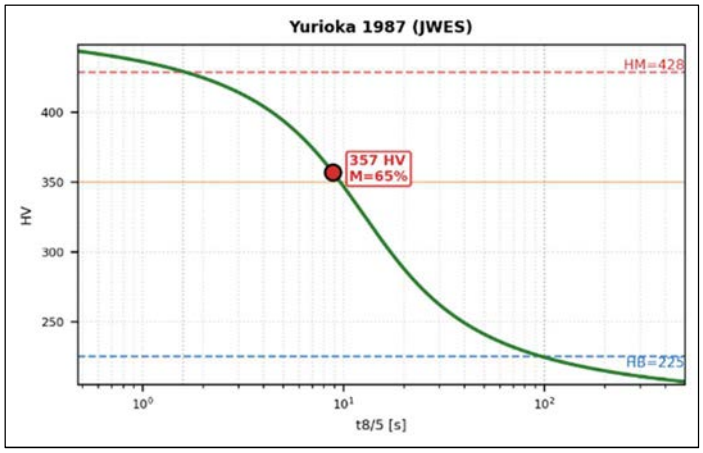
Tabela 3. *Uporedni prikaz proračuna temperatura predgrijavanja Tp i vremena hlađenja $t_{8/5}$*

Table 3. *Comparative presentation of calculations of preheating temperatures Tp and cooling time $t_{8/5}$*

Postupak	Literatura [13]		Weld Me	
	Tp [°C]	$t_{8/5}$ [s]	Tp [°C]	$t_{8/5}$ [s]
Tp prema Ito-Bessyo (slabo ukrućen spoj)	137	14,20	140	14,40
Tp prema Ito-Bessyo (jače ukrućen spoj)	161	16,20	164	16,49
Tp prema EN 1011-2 (Metoda B)	36	8,70	40	8,88

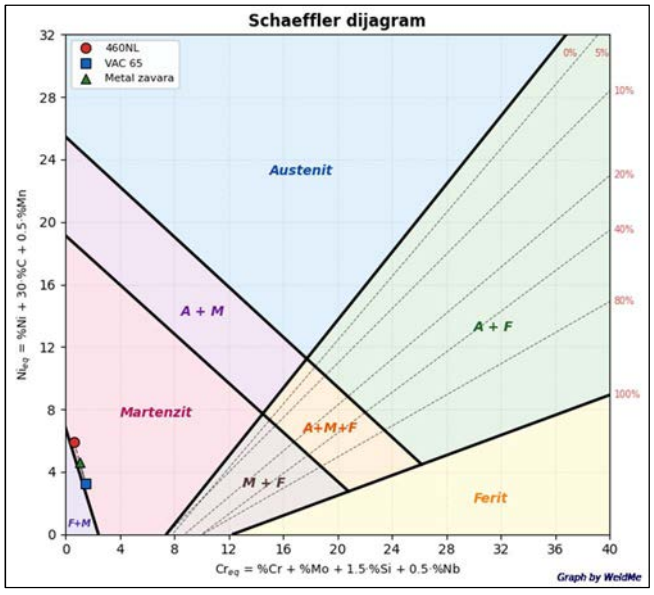
Na Slici 3 prikazan je dio grafičkog interfejsa softvera sa rezultatom proračuna tvrdoće u ZUT-u prema Yurioka modelu, dok je na Slici 4 prikazan Schaeffler dijagram za par materijala P 460 NL1 (osnovni materijal) i VAC 65 (dodatni materijal).

Tvrdoća u ZUT-u, dobijena pomoću Weld Me softvera po Yurioka formuli [10, 14] iznosi HV = 356,6, dok izračunata vrijednost za iste parametre, prema literaturnom izvoru [14] iznosi HV-5 = 360,4 što je relativno odstupanje od 1,05%.



Slika 3. *– Dio grafičkog interfejsa sa prikazom izračunate HV i dijagrama prema Yurioka metodi*

Figure 3. *- Part of the graphical interface showing the calculated HV and the diagram according to the Yurioka method*



Slika 4. *– Schaeffler dijagram za P 460 NL1 + VAC 65*

Figure 4. *– Schaeffler diagram for P 460 NL1 + VAC 65*

5. Zaključak

Weld Me je koristan softverski alat u kojem su implementirani analitički modeli za procjenu zavarljivosti čelika, sa odgovarajućim grafičkim prikazima. U ovom radu je dat jedan numerički primjer za čelik P 460 NL1 na osnovu čega se može zaključiti da su odstupanja od referentnih izvora izuzetno mala.

Primjena softvera donosi prednost u pogledu isključivanja subjektivnog pristupa pri tumačenju dijagrama, zatim, daje mogućnost automatskog izbora 2D/3D modela za $t_8/_5$, kao i mogućnost poređenja više scenarija zavarivanja. Značajna prednost je mogućnost proračuna hemijskog sastava metala zavara koji u kombinaciji sa Schaeffler-ovim i WRC-1992 dijagramom omogućava inženjeru i tehnologu da prije samog zavarivanja procijeni rizik vezan za mikrostrukturu zavarenog spoja.

Granice primjene softvera određene su važećim rasponom implementiranih formula. Program je pouzdan za nelegirane, niskolegirane i visokočvrste konstrukcione čelike (ISO/TR 15608 grupe 1–3), dok za nerđajuće, CrMo/CrMoV i druge specijalne čelike određene rezultate softver eksplicitno označava upozorenjem (vizuelnim indikatorom u korisničkom interfejsu) kao neprimjenjive. Verifikacija je izvršena sa određenim brojem referentnih primjera, dok će opširnija verifikacija sa eksperimentalnim radovima biti predmet daljeg istraživanja i testiranja.

Buduće verzije softvera mogu uključiti integraciju sa CCT dijagramima, proširenu bazu dodatnih materijala, automatske preporuke za izbor dodatnog materijala i eventualno jednostavniju verziju softvera za web i mobilne uređaje.

5. Conclusion

Weld Me is a useful software tool that implements analytical models for assessing the weldability of steel, with corresponding graphical representations. In this paper, one numerical example is given for steel P 460 NL1, on the basis of which it can be concluded that the deviations from the reference sources are extremely small.

The application of the software brings the advantage of excluding the subjective approach when interpreting diagrams, then, it gives the possibility of automatic selection of 2D/3D models for $t_8/_5$, as well as the possibility of comparing several welding scenarios. A significant advantage is the possibility of calculating the chemical composition of the weld metal, which, in combination with Schaeffler's and WRC-1992 diagrams, allows the engineer and technologist to assess the risk related to the microstructure of the welded joint before welding.

The limits of software application are determined by the valid range of implemented formulas. The program is reliable for non-alloyed, low-alloyed and high-strength structural steels (ISO/TR 15608 groups 1–3), while for stainless, CrMo/CrMoV and other special steels, the software explicitly indicates with a warning (visual indicator in the user interface) that certain results are not applicable. The verification was carried out with a certain number of reference examples, while a more extensive verification with experimental works will be the subject of further research and testing.

Future versions of the software may include integration with CCT diagrams, an expanded database of additional materials, automatic recommendations for selecting additional materials, and possibly a simpler version of the software for web and mobile devices.

Literatura / References

[1] MEST EN 1011-1:2010 - Zavarivanje - Preporuke za zavarivanje metalnih materijala - Dio 1: Opšte uputstvo za elektrolučno zavarivanje.

[2] MEST EN 1011-2:2010, Zavarivanje - Preporuke za zavarivanje metalnih materijala - Dio 2: Elektrolučno zavarivanje feritnih čelika.

[3] MEST EN 1011-3:2020, Zavarivanje - Preporuke za zavarivanje metalnih materijala - Dio 3: Elektrolučno zavarivanje nerđajućih čelika.

[4] ISO 15608:2025, Welding — Grouping system for metallic materials.

[5] Prokić Cvetković, R., Popović, O., Metalurgija zavarivanja, Beograd, 2019.

[6] Kotecki, D.J., Siewert, T.A., "WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals", Welding Journal, Vol. 71, No. 5, 1992.

[7] Lippold, J.C., Kotecki, D.J., Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, Wiley-Interscience, 2005.

[8] Yurioka, N., Kasuya, T., "A Chart Method for Determination of Preheat Temperature", IIW Doc. IX-2074-04, 2004.

[9] Stout, R.D., Doty, W.D., Weldability of Steels, Welding Research Council, New York, 4th edition, 1978.

[10] Yurioka, N., "Prediction of HAZ Hardness of Transformable Steels", Metal Construction, Vol. 19, No. 4, 1987, pp. 217–223.

[11] K. W. Andrews, "Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperatures," JISI, July 1965, pp. 721-727.

[12] Lukas Quackatz, Elin Marianne Westin, Axel Griesche,Arne Kromm, Thomas Kannengiesser, Kai Treutler, Volker Wesling, Sten Wessman "Assessing ferrite content in duplex stainless weld metal: WRC '92 predictions vs. practical measurements", Welding in the World (2025), 69:31–45.

[13] Radomir Jovičić, Radica Prokić Cvetković, Olivera Popović, Nenad Milošević, "Metode za izračunavanje temperatura predgrevanja pri zavarivanju čelika povišene i visoke čvrstoće", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 61(3), 115-119., Zbornik radova sa savetovanja "ZAVARIVANJE 2016".

[14] https://www-it.jwes.or.jp/weld_simulator/en/Pristupljeno:april 2026

73. GODIŠNJA SKUPŠTINA DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI

Beograd, 30.06.2026.

Redovna 73. godišnja skupština DUZS - Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji održana je 30. juna 2026. godine, u svečanoj sali Instituta IMS u Beogradu sa sledećim dnevnim redom:

1. Otvaranje zasedanja Skupštine; izbor radnih tela
2. Verifikacija mandata članova Skupštine
3. Izveštaj o radu DUZS za period 2025 - 2026. godine.
4. Izveštaj o radu DUZS-CertPers za period 2025 - 2026. godine.
5. Izveštaj o finansijskom poslovanju u 2025. godini.
6. Diskusija po podnetim izveštajima i usvajanje izveštaja
7. Predlog plana rada za 2026-2027. godinu; diskusija i usvajanje
8. Izbor upravnog odbora DUZS
9. Izbor nadzornog odbora DUZS
10. Razno





Ovogodišnja Skupština bila je izborna, pa se tako birao Upravni odbor DUZS kao i Nadzorni odbor DUZS. Predloženi su i izabrani su članovi sledećih odbora:

Upravni odbor DUZS:

1. Branislav Lukić – Institut za zaštitu na radu, Novi Sad
2. Milan Prokolab – Institut GOŠA, Beograd
3. Marija Kovjanić – Promonting DVM, Pančevo
4. Miloš Pavlović – Zavod za zavarivanje doo, Beograd
5. Marko Ristić – Institut Mihajlo Pupin d.o.o. Beograd
6. Zoran Nikolić - Siemens Mobility d.o.o. Cerovac
7. član Upravnog odbora je, u skladu sa izmenama statuta sa prethodno održane Skupštine, izvršni rukovodilac DUZS-CertPers Dr Vencislav Grabulov, dipl.inž.

Nadzorni odbor DUZS:

1. Prof. dr Milorad Zrilić, dipl.inž. – Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
2. Nada Ilić, dipl.inž. – Vojno-tehnički institut, Beograd
3. Prof. dr Radica Prokić-Cvetković, dipl.inž. – Mašinski fakultet, Beograd

U okviru izveštaja o radu, između ostalog, prezentovano je i sledeće:

- Poslovanje časopisa: „Zavarivanje i zavarene konstrukcije“ i konstatovano da su tokom 2026. g. na vreme izašla sva četiri broja časopisa u ukupnom obimu od 192 strane. Status časopisa je ostao nepromenjen i za 2025. godinu je M-52: Istaknuti nacionalni časopis.

- Međunarodno savetovanje ZAVARIVANJE 2026: U periodu od 15 - 17. oktobra 2026. godine u hotelu Danubia Park 3* i Vila Dinčić na Srebrnom jezeru, biće održano 34. Međunarodno savetovanje ZAVARIVANJE 2026 u organizaciji DUZS i tehničkoj organizaciji agencije BBN Congress Management.
- Međunarodno takmičenje mladih zavarivača koje je održano u septembru 2025. godine u Nemačkoj (o ovome ste mogli da pročitate u prethodnom broju časopisa)
- Takmičenje madih zavarivača, Trstenik, 22. i 23. maj 2026. godine

  U okviru republičkog takmičenja učenika srednjih mašinskih škola Srbije (III stepen), koje organizuje Zajednica mašinskih škola Republike Srbije u skladu sa usvojenim kalendarom takmičenja Zajednice i Ministarstva prosvete, održano je i takmičenje mladih zavarivača u postupcima 111 – REL; 135 – MAG i 141 – TIG. Takmičenje je organizovano u dva dana, 22. i 23. maja 2026. godine, a škola domaćin takmičenja je bila Tehnička škola iz Trstenika.

  Praktični deo takmičenja u disciplini zavarivanje obavljen je u AMM Manufacturing d.o.o., Aleja Milanović 34325 Lužnice, u petak, 22. 05. 2026. godine, uz zalaganje i pomoć osoblja AMM Manufacturing d.o.o., na čijoj se gostoljubivosti ovom prilikom još jednom zahvaljujemo.

  AMM Manufacturing d.o.o. i IMW Institut d.o.o. nalaze se u okviru Mind parka u Lužnicama

  Ukupno se takmičilo 42 učenika iz 21 srednje mašinske škole.

  Srednja škola **Svilajnac**, Srednja škola **Krupanj**, Tehnička škola "Mileta Nikolić" **Aranđelovac**, Tehnička škola "Nikola Tesla" **Šid**, Prva Tehnička, **Kruševac**, Mašinsko-elektrotehničke škola “GOŠA” **Smederevska Palanka**, Tehnička škola "Kolubara" **Lazarevac**, Mašinska škola "Pančevo" **Pančevo**,

  Tehnička škola “Nikola Tesla” **Velika Plana**, Tehnička škola “Sava Munćan” **Bela Crkva**, Tehnička škola **Obrenovac**, Tehnička škola "Zmaj" **Novi Beograd**, Mašinsko-tehnička škola “14. oktobar” **Kraljevo**, Srednja škola “Lukijan Mušicki” **Temerin**, Mašinska škola **Niš**, Srednja škola "Dragačevo" **Guča**, Srednja tehnička škola **Sombor**, Srednja stručna škola **Kragujevac**, Tehnička škola "9 maj" **Bačka Palanka**, Tehnička škola **Ćuprija**,Mašinsko-saobraćajna škola **Čačak**.

  Po postupcima, broj prijavljenih takmičara bio je: 19 za MAG, 14 za REL i 9 za TIG. Osim praktičnog dela, učenici su radili test iz teorijskog dela, pa je konačna rang lista takmičara formirana na osnovu ukupnih rezultata postignutih na teorijskom i praktičnom delu.

  Najuspešniji takmičari po postupcima: TIG-Sredojević Uroš SŠ Krupanj; MAG-Stevanović Aleksandar SŠ Svilajnac; REL-Radisavljević Boris SŠ Svilajnac.

Što se tiče DUZS-CertPers-a, napomenuto je da je 2025. godine započelo 7 međunarodnih kurseva u svih 5 ATB centara: ATB Zavod za zavarivanje, ATB Institutu GOŠA, ATB MFBeograd , ATB MFNiš, ATB Institut za zavarivanje u Tuzli.

Nadzorni odbor je na osnovu razmatranja finansijskog i materijalnog poslovanja Društva, odnosno uvida u finansijski izveštaj DUZS po godišnjem računu za 2025. godinu, konstatovao da nije uočio nepravilnosti u radu.

Izveštaji o radu DUZS i DUZS-CertPers, izveštaj o finansijskom poslovanju, planovi rada usvojeni su jednoglasno. Takođe je jednoglasno doneta odluka o izboru članova Upravnog odbora kao I Nadzornog odbora Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji.

79. GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE I MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

SALZBURG, AUSTRIJA, 12–17. jul 2026.

U Kongresnom centru Salzburga, u peroidu od 12-17. jula 2026. godine, održana je 79. po redu Godišnja skupština Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW/MIZ), sa ostalim pratećim sadržajima.

Za razliku od svih do sada održanih Godišnjih skupština, ova Skupština, kako organizator kaže u svom zvaničnom dokumentu -Izveštaju za štampu-, je „istorijska prekretnica zbog činjenice da je u pitanju prva Godišnja skupština koja je u potpunosti isplanirana, vođena i sprovedena direktno od strane struktura MIZ-a uz dragocenu pomoć austrijskog organizacionog komiteta i međunarodne agencije ARISTEA specijalizovane za organizaciju profesionalnih kongresa“.

Ocenu kakva je bila organizacija i koliko 79. Godišnja skupština MIZ-a predstavlja globalnu „potvrdu da je kolektivnim naporom tokom poslednjih šest godina IIW zajednica ojačala svoje globalne odnose, ponovo potvrdila svoju nepokolebljivu posvećenost za unapređivanje tehnologija zavarivanja i spajanja širom sveta“ ostavićemo za diskusiju na godišnjim sastancima MIZ-a koji slede, posebno što bi ovakva formulacija mogla da se tumači da do pre 6 godina gore nabrojani ciljevi MIZ-a nisu bili aktuelni.

Pored Godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanja i redovnih sastanaka tehničkih komisija i radnih grupa MIZ-a, održana je i Međunarodna IIW konferencija na temu „Aditivna proizvodnja metalnih materijala: materijali, postupci i karakteristike komponenata”, digitalna izložba „Umetnička duša zavarivanja“ fotografija zavarenih umetničkih eksponata pod nazivom „Oblikovanje budućnosti“ kao i Izložbe opreme za zavarivanje, dodatnih i potrošnih materijala za zavarivanje na kojoj su učestvovali sponzori Godišnje skupštine.

Značajno je pomenuti da je na Godišnjoj Skupštini, održanoj 12. jula 2026. godine za predsednika IIW/MIZ za period 2026-2029 godine izabran Dr Stephan Egerland iz Austrije.



Dr Vencislav Grabulov i Dr Stephan Egerland, predsednik IIW

Što se statistike tiče, podaci su sledeći:

- U radu Godišnje skupštine Međunarodnog instituta, radnih grupa, tehničkih komisija i međunarodne Konferencije učestvovalo je ukupno oko 1000 učesnika iz 51 zemlje, uključujući predstavnike zemalja i institucija članica MIZ-a, predstavnika industrije, akademskih i istraživačkih institucija, nacionalnih zavarivačkih asocijacija, sertifikacionih tela i vladinih organizacija.
- Struktura učesnika je bila 504 profesora, doktora, inženjera i profesionalaca iz industrije, 293 mladih profesionalaca i studenata i 66 učesnika registrovanih samo za Međunarodnu konferenciju na kojoj je bilo izloženo 87 naučno-istraživačkih i stručnih radova
-Najbrojnije delegacije, kao i uvek, bile su delegacije Nemačke, Kine, Austrije, Japana, Južne Koreje i SAD
-Organizovane su tehničke posete, pri čemu se posebno izdvaja poseta Tehničkom centru za obrazovanje u Lincu, koji se između ostalog bavi i izvođenjem nastave po pravilima IIW za obrazovanje kadrova u zavarivanju



Dr Vencislav Grabulov tokom održavanja Godišnje skupštine

-Što se društvenih ili socijalnog programa tiče, kako je uobičajeno, a i u skladu sa procedurama organizacije godišnjih skupština IIW-a, sve je počelo ceremonijom otvaranja Godišnje skupštine na kojoj su dodeljene nagrade i priznanja IIW kojih je bilo 15. U pitanju su nagrade i priznanja koje nose ime po članovima IIW-a, a najvećim delom su sponzorisane od strane članova Međunarodnog Instituta za zavarivanje ili nacionalnih zavarivačkih asocijacija i odnose se na izuzetan doprinos pojedinaca u delu razvoja i implementaciji naučnog i tehnološkog napretka u zavarivanju i srodnim procesima, kao i pojedinaca koji su doprineli da IIW postane i ostane najprestižnija pozornica – svetska mreža za razmenu znanja i saradnju u širokom spektru spajanja i srodnih tehnologija.

-Sastanci IIW tehničkih Komisija, radnih grupa i IAB grupa su održavane svakodnevno, paralelno u više od 10 sala. Broj prisutnih po sednici se kretao od 10 do 220.

-Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji je, zajedno sa rumunskom, bugarskom i grčkom aocijacijom za zavarivanje, sponzor priznanja koje nosi ime po Chris Smallbone-u, a odnosi se na regionalne aktivnosti koje doprinose regionalnom razvoju zavarivanja i jačanju veza asocijacija koje se bave zavarivanjem i srodnim tehnologijama.

Ovogodišnji dobitnik je Wataru Mizunama, dugogodišnji izvršni direktor Japanskog društva za inženjerstvo zavarivanja (JWES). Priznanje mu je uručio predstavnik DUZS-a, Vencislav Grabulov.

Ceremonija otvaranja i dodela IIW nagrada i piznanja zaokružena je koktelom dobrodošlice (12.jula), nastavljena 13. jula nacionalnom večerom (Pivnica), a završena ceremonijom zatvaranja Godišnje skupštine na gala banketu.



Dodela priznanja Wataru Mizunami
za regionalnu saradnju “Chris Smallbone“

AKTIVNOSTI DELEGACIJE SRBIJE

Na 79. sednici skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje je ispred naše zemlje bio prisutan nažalost samo jedan član, naučni savetnik dr Vencislav Grabulov, izvršni rukovodilac DUZS-CertPers-a.

U pripremnim aktivnostima oko Godišnje skupštine učestvovali su naši predstavnici člana IIW-a, Zavoda za zavarivanje, a u aktivnostima Međunarodnog tela za ovlašćivanje – IAB, Grupe A i Grupe B, predstavnici ANB za Srbiju, Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, odnosno DUZS-CertPers i predstavnici ANBCC Zavoda za zavarivanje.

Pored učešća u radu na samoj sednici Skupštine 12. jula, najznačajnija aktivnost je bila učešće u radu IAB Grupe A (održana 13.07.), IAB Grupe B (14.07.), sastanku predstavnika članica IAB grupe (15.07.), poseta trening centru u Lincu (15.07) i Komisije za obrazovanje i radne grupe za regionalnu saradnju održane 16.jula.

Na ovim sednicama su razmatrane izmene i dopune dokumenata za realizaciju kurseva za obrazovanje kadrova u zavarivanju, kao i primena istih.

Dr Vencislav Grabulov je imao više bilateralnih susreta, kao na primer sa novoizabranim predsednikom IIW-a Dr Stephan Egerland-om, dosadašnjim predsednikom IIW prof. dr Thomas Boellinghausom, prethodnim predsednikom Sorin Keller-om koji je bio predsednik lokalnog organizaciong odbora, izvršnim direktorom IIW dr Luca Costa-om, predsednikom Evropske zavarivačke federacije Fernandom Manjas-om, dugogodišnjim predsednikom skupštine DVS dr-ing.Roland Boecking-om.

Sastanci sa predstavnicima delegacija iz regiona se podrazumevaju. To se odnosi na delegacije Rumunije i Hrvatske od po 2 člana i po jednim delegatom iz Slovenije i Bugarske, gde je potvrđena želja da se odnosi produbljuju i gde su dogovorene konkretne aktivnosti.



Prof.Dr Thomas Boellinghaus, predsednik IIW,
delegati iz Hrvatske Prof.dr Zoran Kožuh, Dr Jadranka Eržišnik,
Dr. Svetlana Bošnjakova (Bugarska), Dr Miloš Jovanović, Dr Nicusor Alin Sirbu

Na kraju se može zaključiti da je učešće u radu Godišnjih skupština IIW-a i radnih grupa, pre svega IAB grupe, korisno i neophodno. Ostaje veliki problem što veoma mali broj aktivista i stručnjaka naše zavarivačke javnosti prati i učestvuje u pripremnom radu na izradi ili dopuni dokumenata IIW-a koji mogu bitno da utiču na naše nacionalne aktivnosti i imaju nesagledive posledice za razvoj i unapređivanje zavarivanja u Srbiji.

Neophodno je da se više stručnjaka i/ili subjekata uključi ne samo u praćenje, već da uzme i učešće u radu IIW-a i EWF-a, blagovremeno, još u fazi pripremnog perioda na izradi novih dokumenata ili pravila. U vezi sa tim, veoma je značajna i brojnost delegacije iz Srbije na ovakvim manifestacijama, odnosno radnim sastancima gde se „kroji sudbina“ razvoja zavarivanja u svetu ali i kod nas.

Fizičko prisustvo je veoma bitno, jednočlana ili delegacija sastavljena od par članova ne može ni fizički da isprati sva bitna događanja i da prati izmene dokumenata i pravila. Da ne govorimo o potrebi da utiče na promene koje nam često nisu naklonjene. Uspešnost zavisi i od brojnosti naše delegacije koja prisustvuje u radu stručnih tela.

Dr Vencislav Grabulov dipl.ing.IWE
naučni savetnik

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2026

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
	dimenzije (mm)	2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
DIN	crno/beli	-	45 000	28 000	19 000	12 000
	kolor	120 000	85 000	-	-	-

- U cene nije uračunat PDV 20%.
- Objavljivanje oglasa u samo jednom broju iznosi 30% od datih cena.
- Reklamni tekstovi: 25% od cene površine crno/belih oglasa.
- Dostava materijala:
  - za crno-beli film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
  - za kolor film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
  - izrada filma sa CD: 10% od cene angažovanog prostora.
- Na web prezetaciji DUZS-a, (www.duzs.org.rs), na strani Marketing, objavljuje se pregled firmi-oglašivača sa podacima o glavnim grupama proizvoda/usluga i adresom web prezetacije. Svi posetioci naše web prezentacije mogu da posete i web prezentacije oglašivača, preko aktivnih linkova koji se nalaze na ovoj stranici!

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review

Advertising prices for four successive numbers in 2026

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
	dimensions (mm)	2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
EUR	black/white	-	1000	500	400	300
	colour	3000	2000		-	-

- VAT 20% included.
- Advertising in one number only is 35% of the given prices.
- Commercial articles: 30% of black/white advertising price.
- Print material:
  - for black/white CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW)
  - for color CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW).
- All the visitors of our web site may be linked to the advertisers' web site.

INDEKS OGLAŠIVAČA
ADVERTISERS INDEX

MESSER TEHNOGAS

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

NEMINIK

SIGMA LAB

TMS CEE D.O.O BEOGRAD

1. **ČLANARINA DUZS za 2026. godinu** …… **5.000 dinara**

   Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"

2. **ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2026. godina**
   u slobodnoj prodaji (u cene je uračunat PDV 10%)**:**
   - cena pojedinačnog broja..... ……. 1.150 dinara
   - godišnja pretplata za 1 komplet brojeva godišnjeg izdanja…….. 3.520 dinara
3. **ČASOPIS - stari brojevi** (u cene je uračunat PDV 10%)

   a) u slobodnoj prodaji:
   - cena pojedinačnog broja za 2025. godinu ..... ……..…… 500 dinara
   - cena pojedinačnog broja za prethodne godine…….....…... 250 dinara

   b) beneficirane cene za članove DUZS:
   - cena pojedinačnog broja za 2025. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) .....……..... 400 dinara
   - cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) ……..... Gratis
4. **Knjiga Organizacija i ekonomika zavarivačkih radova –** autor: prof. dr Zoran Radojević (uračunat PDV 10%) ……. 1.045 dinara
5. **Zbirke standarda OBEZBEĐENJE KVALITETA U ZAVARIVANJU, komplet 4 toma (izdanja su i z 2012. godine)** 6.750 dinara